

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ

Алтайский государственный  
технический университет им. И.И. Ползунова

**Бийский технологический институт**

**М. А. Ленский, А. В. Ожогин, А. В. Балахнина,  
А. И. Легаев, Н. Н. Волкова**

## **ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ПОЛИМЕРОВ И КОМПОЗИТОВ**

Допущено научно-методическим советом БТИ АлтГТУ  
для внутривузовского использования в качестве учебного пособия  
для студентов специальности 18.05.01 «Химическая технология  
энергонасыщенных материалов и изделий» специализации  
«Автоматизированное производство химических предприятий»,  
«Химическая технология полимерных композиций, порохов и твердых  
ракетных топлив»

ISBN 978-5-9257-0340-3



АлтГТУ

Барнаул • 2022

Об издании – [1](#), [2](#)

© М. А. Ленский, А. В. Ожогин,  
А. В. Балахнина, А. И. Легаев, Н. Н. Волкова, 2022  
© БТИ АлтГТУ, 2022

© Алтайский государственный технический  
университет им. И.И. Ползунова, 2022

УДК 66.02(076)  
О22

Рецензенты: П. В. Петреков, к.т.н., доцент кафедры  
ТГВ ПАХТ БТИ АлтГТУ;  
А. Н. Блазнов, д.т.н., заведующий лабораторией  
материаловедения минерального сырья ИПХЭТ СО РАН

**Оборудование для производства полимеров и композитов** : учебное пособие для студентов специальности 18.05.01 «Химическая технология энергонасыщенных материалов и изделий» специализации «Автоматизированное производство химических предприятий», «Химическая технология полимерных композиций, порохов и твердых ракетных топлив» / М. А. Ленский, А. В. Ожогин, А. В. Балахнина, А. И. Легаев, Н. Н. Волкова ; АлтГТУ им. И. И. Ползунова, БТИ. – Барнаул : АлтГТУ, 2022. – 119 с. – URL : [http://elibr.altstu.ru/uploads/open\\_mat/2022/Lenskiy\\_OPPK\\_up.pdf](http://elibr.altstu.ru/uploads/open_mat/2022/Lenskiy_OPPK_up.pdf). – Текст : электронный.

ISBN 978-5-9257-0340-3

Учебное пособие содержит основы технологии получения энергонасыщенных материалов и сборочные чертежи оборудования основных стадий процесса получения полимеров и композитов. Приведены инженерные расчеты специализированных узлов технологических машин и аппаратов химической промышленности. Предназначено для студентов и преподавателей вузов, а также инженерно-технических работников предприятий.

Учебное пособие предназначено для студентов специальности 18.05.01 «Химическая технология энергонасыщенных материалов и изделий» специализация «Автоматизированное производство химических предприятий», «Химическая технология полимерных композиций, порохов и твердых ракетных топлив».

Учебное пособие публикуется в авторской редакции.

Рассмотрено и одобрено на заседании научно-методического совета  
Бийского технологического института  
Протокол № 1 от 21.11.2022 г.

Учебное пособие  
Минимальные системные требования  
Yandex (20.12.1) или Google Chrome (87.0.4280.141) и т.п.  
скорость подключения - не менее 5 Мб/с, Adobe Reader и т.п.

Дата подписания к использованию 23.12.2022. Объем издания – 4,5 Мб.  
Федеральное государственное образовательное учреждение высшего образования «Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова, 656038, г. Барнаул, пр-т Ленина, 46, <https://www.altstu.ru>.

ISBN 978-5-9257-0340-3

[вперед \(содержание\)](#)

© М.А. Ленский, А.В. Ожогин, А.В. Балахнина,  
А.И. Легаев, Н.Н. Волкова, 2022  
© БТИ АлтГТУ, 2022  
© Алтайский государственный технический  
университет им. И.И. Ползунова, 2022

## СОДЕРЖАНИЕ

ГЛАВА 1 РЕАКТОРЫ.....	5
1.1 Инжектор.....	5
1.2 Расчет размеров проточной части инжектора.....	10
1.3 Холодильник.....	12
1.3.1 Тепловой расчет холодильника.....	15
1.3.2 Определение удельных коэффициентов при средних температурах эмульсии и хладагента.....	16
1.3.3 Определение коэффициента теплопередачи.....	17
1.3.4 Расчет необходимой поверхности теплообменника.....	19
1.4 Аппараты с механическим перемешиванием.....	19
1.4.1 Аппараты II и III фаз производства.....	19
1.4.2 Расчет подъемника.....	24
1.4.3 Аппарат основной.....	27
1.4.4 Разбавитель.....	31
1.4.5 Аппарат кислой промывки.....	33
1.4.6 Совмещенный аппарат.....	36
1.4.7 Нитратор-дозер (НД-3).....	37
1.4.8 Аппарат окончательной промывки (АОП).....	39
1.4.9 Эмульсатор.....	41
1.4.10 Суспензатор.....	43
1.4.11 Смеситель.....	45
ГЛАВА 2 МАШИНЫ ЦЕНТРОБЕЖНОГО ДЕЙСТВИЯ.....	49
2.1 Центробежные сепараторы.....	49
2.1.1 Технологический расчет центробежного сепаратора.....	52
2.1.2 Расчет мощности электродвигателя привода сепаратора.....	54
2.2 Центробежные промывные аппараты.....	55
2.2.1 Технологический расчет аппарата.....	58
ГЛАВА 3 КРИСТАЛЛИЗАТОРЫ.....	63
3.1 Кристаллизаторы расплава.....	63
3.1.1 Барабан чешуирования.....	63
3.1.2 Гранулятор.....	66
3.2 Ванна сушильная.....	69
3.3 Кристаллизаторы растворов.....	70
3.4 Фильтры.....	73
3.4.1 Вакуум – воронки.....	73
3.4.2 Барабанный вакуум – фильтр.....	75
ГЛАВА 4 СМЕСИТЕЛИ.....	79
4.1 Смесители для сыпучих материалов.....	79
4.2 Смесители для пастообразных материалов.....	93
ГЛАВА 5 ШНЕК-ПРЕССА.....	101

5.1 Пресс отжимной ПО-125-1000 .....	101
5.2 Пресс ПИС-34 .....	104
5.3 Пресс ПСВ .....	108
5.4 Пресс П-600 .....	110
5.5 Пресс инструмент конусный Ø 304 мм .....	113
5.6 Пресс – инструмент Ø 800 .....	115
ЛИТЕРАТУРА .....	119

## ГЛАВА 1 РЕАКТОРЫ

Основное событие при получении нового вещества происходит в реакторе, где при определенных термических и гидравлических условиях происходит создание из атомов исходных веществ молекулы нового вещества.

В производстве ВВ применяются реакторы проточные и кубового типа, последние широко применяются в производстве нитросоединений.

### 1.1 Инжектор

В современной технологии производства жидких нитроэфиров это происходит в проточном реакторе струйного типа – инжекторе, где происходит интенсивное смешение двух потоков жидкости: минерального – нитрующей смеси и органического – исходных спиртов.

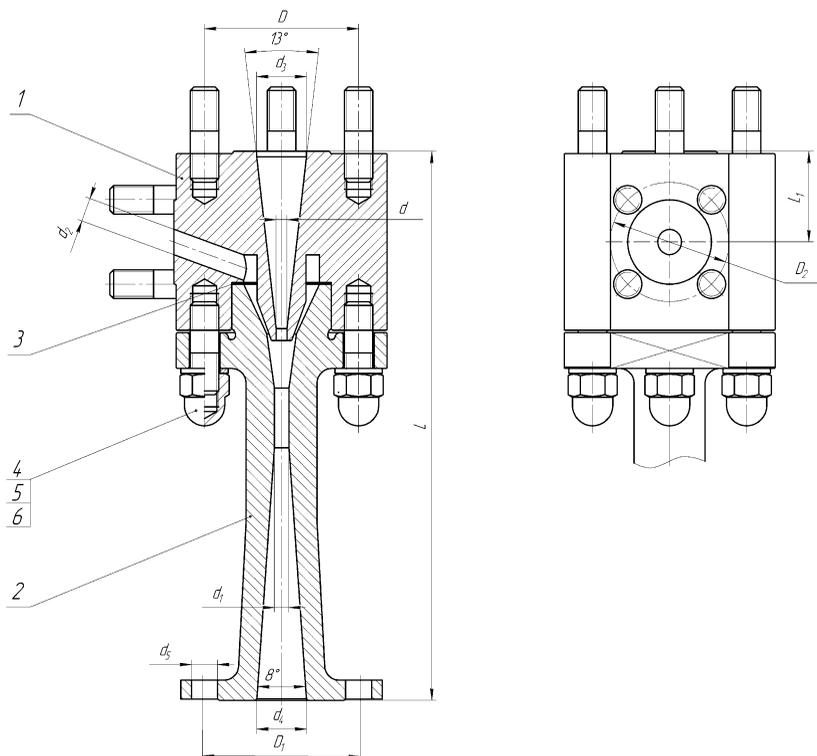
Инжектор – устройство, в котором смешиваются два потока жидкостей с разной энергией, образуя смешанный поток с усредненной энергией. Возможность преобразования энергии без механических подвижных элементов особое качество инжекторов, делающее предпочтительным их применение в производстве ВВ.

Инжекторы также применяются для транспортирования ВВ.

Реакционный инжектор помечается буквой Н, а транспортирующий буквой Т.

Условное обозначение нитрационного инжектора производительностью 800 кг/час – инжектор – Н-800, транспортирующего с такой же производительностью – инжектор Т<sub>Г</sub>-800 или Т<sub>Н</sub>-800, где Т<sub>Г</sub> – транспортирующие инжекторы с горизонтальным вводом продукта, Т<sub>Н</sub> – с нижним вводом продукта.

Нитрационный инжектор (рисунок 1.1) состоит из сопла 1, диффузора 2, прокладки 3. Сопло и диффузор собраны воедино с помощью шпильки 6, гайки 4 и стопорной шайбы 5.



1 – сопло; 2 – диффузор; 3 – прокладка из фторопласта-4; 4 – гайка по ГОСТ 11860-85; 5 – шайба по ГОСТ 11371-78; 6 – шпилька по ГОСТ 22032-76

Рисунок 1.1 – Инжектор типа Н

В сопло нитрующего инжектора подается под давлением рабочая жидкость (нитрующая смесь); нитруемый продукт (инжектируемая жидкость) за счет создаваемого разрежения поступает по отверстию  $d_2$  в камеру смешения, перемешивается с нитрующей смесью и под давлением полученная смесь выходит из диффузора инжектора в последующий аппарат.

Таблица 1.1 – Геометрические характеристики инжекторов типа Н (мм) по ОСТ В 84-1500-77. Инжекторы

Инжекторы	$d$		$d_1$		$d_2$	$d_3$	$d_4$	$d_5$	$D$	$D_1$	$D_2$	$L$	$L_1$	Масса, кг	
	но-мин.	пред.откл.	но-мин.	пред.откл.											
Н-50	1,6	+0,020	2,2	+0,020	10	14	10	12	55	50	50	150	37	4,2	
Н-100	2,3		3,1	+0,025										14	55
Н-200	3,2	4,3	+0,025	21			21		65	65		230			
Н-400	4,6	6,2		28			75		75	260		40		5,1	
Н-600	5,6	7,5			+0,030	15		28			40		14	75	100
Н-800	6,4	8,6	+0,030	75	55		260		40	5,8					
Н-1200	7,4	9,9								6,0					
Н-1600	8,6	11,5	+0,035											6,1	

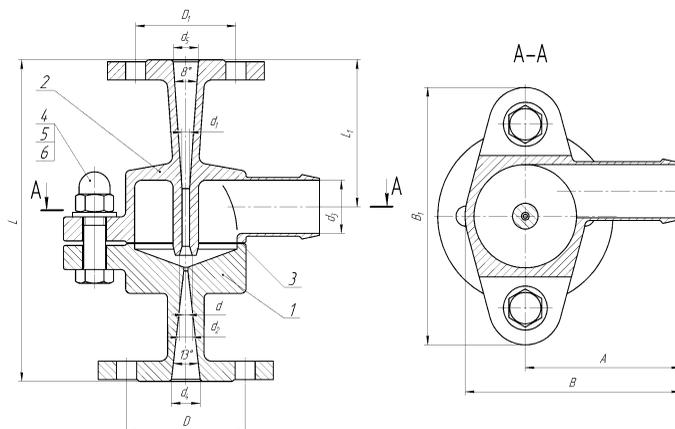
Таблица 1.2 – Расходные и напорные характеристики инжекторов типа Н по ОСТ В 84-1500-77. Инжекторы

Инжектор	Номинальная производительность по продукту, кг/час	Максимальный напор инжектирующей жидкости $P_p$ , МПа	Минимальный напор развиваемый инжектором $P_c$ , МПа	Номинальный расход инжектирующей жидкости, кг/час
Н-50	50	0,357	0,095	240
Н-100	100	0,327	0,103	475
Н-200	200	0,35	0,100	950
Н-400	400	0,327	0,103	1900
Н-600	600	0,335	0,106	2850
Н-800	800	0,35	0,100	3800
Н-1200	1200	0,356	0,099	5700
Н-1600	1600	0,342	0,101	7600

Реакционные компоненты в инжекторе смешиваются, температура в зоне реакции достигает 50 °С, чтобы смягчить тепловой удар нитрующая смесь перед подачей в инжектор охлаждается до 0 °С и насосом-дозатором подается в сопло инжектора. При истечении рабочей жидкости из сопла внутри инжектора создается разрежение, благодаря которому в инжектор поступает спирт, заполняющий кольцевое пространство между струей и стенкой смесительной камеры диффузора. Смесительная камера – это цилиндрический участок в средней части канала диффузора. Струя нитрующей смеси, выходя из сопла, подвергается волнообразным и осесимметричным колебаниям, которые раз-

рушают струю, происходит смешение рабочего и инжектируемого потоков и этерификация спирта. С целью увеличения поглощения теплоты реакции реагирующими жидкостями, в нитрующую смесь добавляется некоторое количество отработанной кислоты от предыдущей операции. После смешения нитромасса нагревается до температуры, определяемой массой спирта, вступившего в реакцию. Таким образом, температуру нитроэмульсии можно регулировать расходом спирта, поступающего в инжектор. И управлять модулем нитрации по температуре в инжекторе. Из инжектора нитроэмульсия перетекает в холодильник, охлаждается до температуры 20 °С и из холодильника смесь поступает в центробежный сепаратор, отсепарированный нитроэфир инжектируется на стабилизацию в центробежный промывной аппарат, отработанные кислоты поступают в контрольный сепаратор, а оттуда качаются на переработку.

Транспортирующие инжекторы (рисунок 1.2) имеют аналогичную конструкцию, отличаясь от нитрационных тем, что соосность сопла и диффузора и их сборка обеспечивается прецизионными болтами 4. Осевой сдвиг сопла и герметизация внутренней полости инжектора обеспечивается прокладкой 3.



1 – сопло; 2 – диффузор; 3 – прокладка из фторопласта-4; 4 – болт специальный; 5 – гайка по ГОСТ 11860-85; 6 – шайба по ГОСТ 11371-78

Рисунок 1.2 – Инжектор типа Т<sub>г</sub>

Таблица 1.3 – Геометрические характеристики инжекторов типа Т<sub>г</sub> (мм) по ОСТ В 84-1500-77. Инжекторы

Инжекторы	d		d <sub>1</sub>	d <sub>2</sub>	d <sub>3</sub>	d <sub>4</sub>	d <sub>5</sub>	D	D <sub>1</sub>	A	B	B <sub>1</sub>	L	L <sub>1</sub>
	номин.	пред. откл.												
Т <sub>г</sub> -50	0,90		1,6	2,5	14	14	6	55	50	72	85	145	55	
Т <sub>г</sub> -100	1,15		2,1	3,5	14	14	8	55	50	72	85	145	55	
Т <sub>г</sub> -200	1,60		3,0	5,0	14	14	10	55	50	72	85	145	55	
Т <sub>г</sub> -350	2,10	+0,020	3,9	6,5	29	18	14	65	55	85	130	170	240	120
Т <sub>г</sub> -400	2,25		4,2	7,0	29	18	16	65	55	85	130	170	240	120
Т <sub>г</sub> -450	2,40		4,5	7,5	29	18	18	65	55	85	130	170	240	120
Т <sub>г</sub> -600	2,75		5,1	8,5	29	18	18	65	55	85	130	170	240	120
Т <sub>г</sub> -800	3,15		5,9	10,0	34	21	21	65	55	85	130	170	240	120
Т <sub>г</sub> -900	3,35		6,3	10,5	34	21	26	65	55	85	130	170	240	120
Т <sub>г</sub> -1200	3,90		7,3	12,5	34	21	28	65	55	85	130	170	240	120
Т <sub>г</sub> -1600	4,50	+0,025	8,4	14,5	34	21	28	65	55	85	130	170	240	120
Т <sub>г</sub> -1800	4,80		9,0	15,0	34	28	33	75	90	100	110	145	205	
Т <sub>г</sub> -2000	5,00		9,4	16,0	34	28	40	75	90	100	110	145	205	
Т <sub>г</sub> -2500	5,60		10,5	17,5	34	28	40	75	90	100	110	145	205	
Т <sub>г</sub> -3000	6,20	+0,030	11,6	19,5	34	40	51	100	110	110	110	145	205	
Т <sub>г</sub> -4500	7,50		14,0	23,5	34	40	51	100	110	110	110	145	205	

Таблица 1.4 – Расходные и напорные характеристики инжекторов типа Т по ОСТ В 84-1500-77. Инжекторы

Инжек-тор	Номинальная производи-тельность по продукту, кг/час	Максимальный напор инжек-тирующей жидкости $P_p$ , МПа	Минималь-ный напор развиваемый инжектором $P_c$ , МПа	Номинальный расход ин-жектирующей жидкости, кг/час
Т-50	50	0,456	0,124	65
Т-100	100	0,447	0,116	105
Т-200	200	0,431	0,108	200
Т-350	350	0,445	0,113	350
Т-400	400	0,441	0,112	400
Т-450	450	0,431	0,108	450
Т-600	600	0,445	0,113	600
Т-800	800	0,459	0,115	800
Т-900	900	0,454	0,113	900
Т-1200	1200	0,440	0,110	1200
Т-1600	1600	0,441	0,112	1600
Т-1800	1800	0,431	0,106	1800
Т-2500	2500	0,449	0,112	2500
Т-3000	3000	0,459	0,111	3000
Т-4500	4500	0,452	0,114	4500

Инжектор транспортирующий работает следующим образом. В сопло под давлением подается вода (рабочая жидкость), через тангенциально расположенный патрубок диффузора – транспортируемый продукт (инжектируемая жидкость). Полученная смесь через отверстие  $d_3$  в диффузоре поступает в транспортную магистраль.

## 1.2 Расчет размеров проточной части инжектора

Материальный баланс процесса нитрования. Исходные компоненты:

1. Нитрующая смесь с расходом  $G_p$  и давлением  $P_p$  образует рабочий поток с более высокой энергией, который подается в сопло инжектора.

2. Органический компонент (нитруемый спирт) образует инжектируемый поток с меньшей энергией. Расход инжектируемого потока определяется заданной производительностью инжектора по нитроэффиму  $G$ , кг/с, тогда:

$$G_u = G/a,$$

где  $a$  – масса ВВ, получаемого при нитровании 1 кг спирта.

Расход рабочего потока (нитрующей смеси определяется установленным модулем нитрования, в современном процессе он равен 10. Тогда  $G_p=10G_u$ . Материальный баланс будет иметь вид:

$$G_p + G_u = G_c,$$

где  $G_c$  – смешанный поток, состоящий из нитропродукта и отработанной кислоты. Отношение  $G_u/G_p=U$  называется коэффициентом инжекции. Скоростной режим рабочего потока в инжекторе определяется условием качественного эмульгирования спирта в нитросмеси. Экспериментально установлено, что данное условие соблюдается при истечении нитросмеси из сопла со скоростью  $V_p=20$  м/с  $G_p=fV_p$ , отсюда:

$$f = G_p/V_p,$$

где  $f$  – площадь сечения выходного отверстия сопла, м<sup>2</sup>.

Размер канала диффузора определяется через расчёт оптимального отношения площади сечения канала диффузора к площади выходного отверстия сопла, это отношение определяет возможность достижения инжектором требуемых напорных характеристик при заданном коэффициенте инжекции.

Напорные характеристики инжектора определяются относительным перепадом давлений:

$$\frac{\Delta P_c}{\Delta P_p},$$

где  $\Delta P_c=P_c-P_u$ ;

$\Delta P_p=P_p-P_u$ ;

$P_p$  – давление жидкости в тракте рабочего потока, Па;

$P_u$  – давление жидкости в тракте инжектируемого потока, Па;

$P_c$  – давление жидкости в тракте смешанного потока, Па.

Относительный перепад давлений может быть рассчитан по зависимости:

$$\frac{\Delta P_c}{\Delta P_p} = \frac{f}{f_1} \left[ 1,75 + 0,7 \frac{\rho_p}{\rho_n} \frac{f}{f_1} u^2 - 1,07 \frac{\rho_c}{\rho_n} \frac{f}{f_1} (1 + u^2) \right],$$

где  $f_1$  – площадь сечения горловины диффузора, м<sup>2</sup>;

$\rho_p, \rho_u, \rho_c$  – плотности рабочей, инжектируемой жидкостей и их смеси кг/м<sup>3</sup>.

Требуемые перепады давлений при заданном коэффициенте инжекции могут быть обеспечены при определенном отношении площадей сечений сопла и диффузора  $\left(\frac{f_1}{f}\right)_{opt}$ , которое может быть рассчитано по зависимости:

$$\left(\frac{f_1}{f}\right)_{opt} = 1,22 \frac{\rho_p}{\rho_c} (1+u)^2 - 0,801 \frac{\rho_p}{\rho_n} nu^2,$$

$$n = \frac{f_1}{f_{n_2}} = \frac{f_1/f}{f_1/f - 1},$$

$$f_{n_2} = f_1 - f.$$

После подстановки  $n$  в уравнение, решение получаемого квадратного уравнения будет найдено как:

$$\left(\frac{f_1}{f}\right)_{opt} = \frac{-b + \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a},$$

где  $a = 0,975$ ;

$$b = - \left[ 2,165 \frac{\rho_p}{\rho_c} (1+u)^2 - 0,781 \frac{\rho_p}{\rho_c} u^2 \right];$$

$$c = 1,19 \frac{\rho_p}{\rho_c} (1+u)^2.$$

Отношение  $\left(\frac{f_1}{f}\right)_{opt}$  для инжекторов типа Н должно составлять от 1,75 до 1,8, для инжекторов типа Г – 3,46...3,53.

### 1.3 Холодильник

Теплообменники такой конструкции (рисунок 1.3, 1.4) применяются для охлаждения нитроэмульсии, получаемой при использовании инжектора в качестве реактора. Инжектор типа Н устанавливается непосредственно на фланец  $B$  катушки двух термопар, по показаниям которых ведется регулирование расхода инжектирующей жидкости, то есть процесса нитрования.

Теплообменная поверхность выполнена в виде змеевика диаметром  $D_1$ , установленного в промежутке, образуемый двумя цилиндрическими обечайками диаметрами  $D$  и  $D_2$ , куда подается хладагент, как правило рассол.

Конструкция фланцев с разрезными стопорными кольцами на входе и выходе охлаждаемой жидкости и использование сальниковых уплотнений в крышках холодильника позволяют вынимать змеевик из корпуса для осмотра и ремонта.

A-A

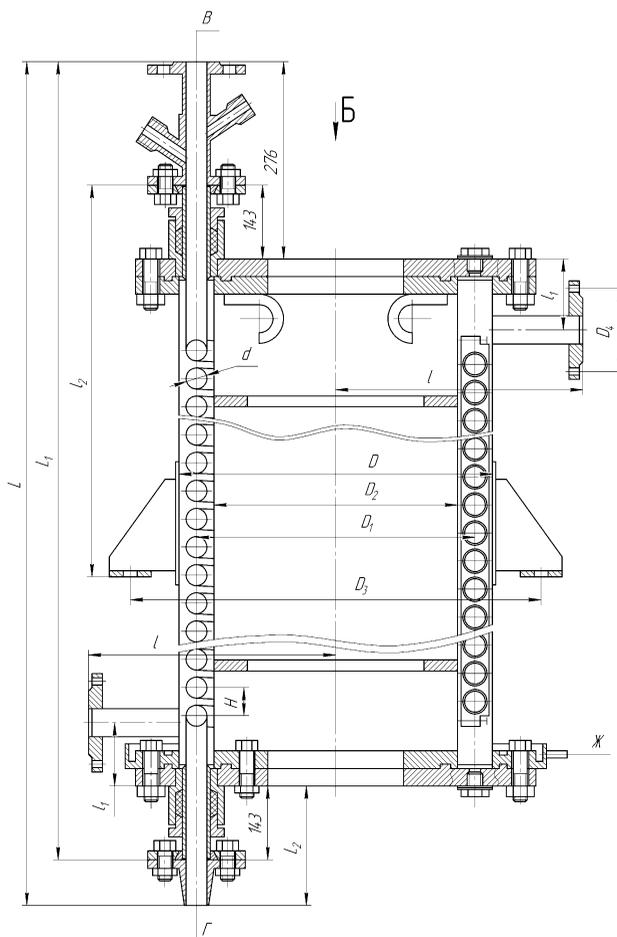
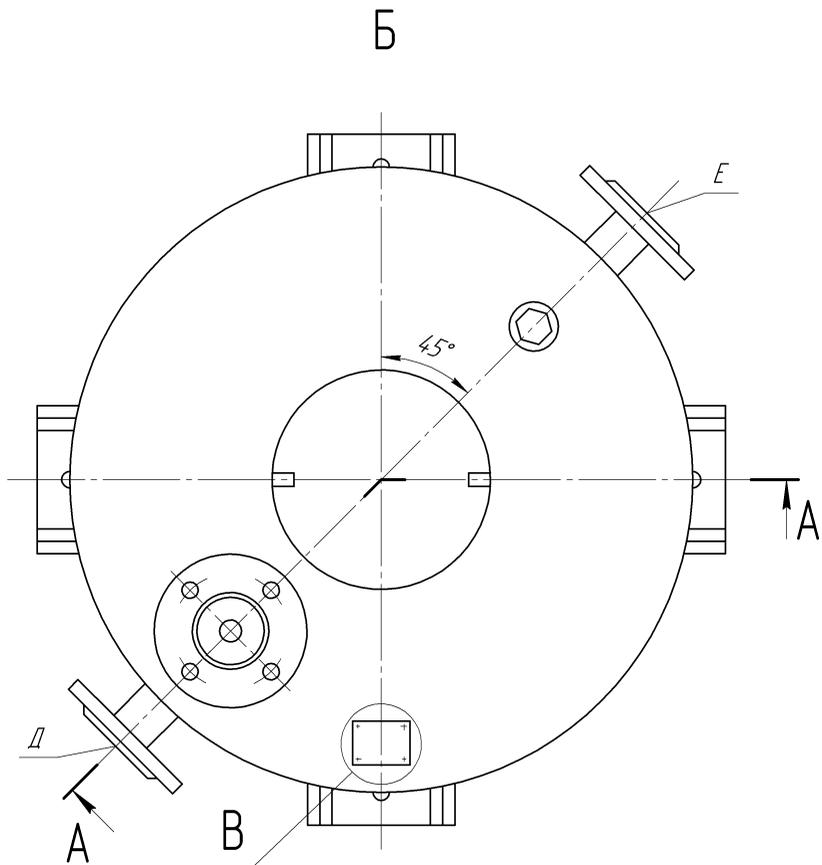


Рисунок 1.3 – Холодильник



В (1:2)

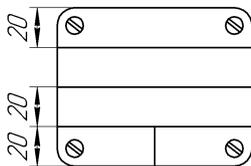


Рисунок 1.4 – Холодильник (вид Б)

Таблица 1.5 – Геометрические характеристики холодильников (мм)

Обозначение	$D$	$D_1$	$D_2$	$D_3$	$D_4$	$L$	$L_1$	$L_2$	$l$	$l_1$	$l_2$	$d$	$H$	Масса, кг
164.114.000	610	560	510	760	110	1737	1560	180	433	80	960	38×2	45	440
-01	865	800	735	1005	136	2307	2120	190	560	90	1060	45×2,3	60	650

Штуцер Ж используется для отвода конденсата влаги воздуха, стекающего с цилиндрической боковой поверхности холодильника. Приведенные на чертеже параметры соответствуют холодильникам с производительностью по продукту 800 и 1600 кг/час соответственно.

### 1.3.1 Тепловой расчет холодильника

Задано:

1. Производительность по продукту  $G_1$ , кг/час.

2. Состав охлаждаемой смеси:

– нитропродукт  $g_1 = 19,8\% (G_1)$ ;

– серная кислота  $g_2 = 57,74\% (G_2)$ ;

– азотная кислота  $g_3 = 9,63\% (G_3)$ ;

– вода  $g_4 = 12,83\% (G_4)$ .

Общий расход охлаждаемой смеси  $G = G_1 + G_2 + G_3 + G_4$ .

3. В качестве хладагента применяется рассол с начальной температурой  $t_1 = -15$  °С и температурой на выходе из холодильника  $t_2 = -12$  °С.

4. Тип теплообменника – змеевиковый.

Диаметр трубы змеевика выбирается из условия течения жидкости в нем со скоростью 0,5–0,8 м/с. Поверхность теплообмена рассчитывается по формуле:

$$F = \frac{Q}{K \Delta t_{cp}},$$

где  $Q$  – тепловая нагрузка, кДж/час;

$\Delta t_{cp}$  – средняя разность температур, °С.

Если  $t_n$  и  $t_k$  – начальная и конечная температуры охлаждаемой жидкости то,  $\Delta t_6 = t_n - t_2$ ,  $\Delta t_{cp} = t_k - t_1$  – большие и меньшие разности температур.

$$\text{При } \frac{\Delta t_{\delta}}{\Delta t_{\text{м}}} \leq 1,7 \quad \Delta t_{\text{ср}} = \frac{\Delta t_{\delta} + \Delta t_{\text{м}}}{2},$$

$$\text{при } \frac{\Delta t_{\delta}}{\Delta t_{\text{м}}} \geq 1,7 \quad \Delta t_{\text{ср}} = \frac{\Delta t_{\delta} - \Delta t_{\text{м}}}{2,31 \lg \frac{\Delta t_{\delta}}{\Delta t_{\text{м}}}}.$$

1.3.2 Определение удельных коэффициентов при средних температурах эмульсии и хладагента

$$t_{\text{ср.эм}} = \frac{t_{\text{н}} + t_{\text{к}}}{2}, \quad t_{\text{ср.хл}} = \frac{t_1 + t_2}{2}.$$

а) Плотность охлаждаемой эмульсии определяется плотностью составляющих ее компонентов и их процентным содержанием в эмульсии:

$$\rho_{\text{эм}} = g_1 \rho_1 + g_2 \rho_2 + g_3 \rho_3 + g_4 \rho_4,$$

где  $\rho_1 = 1600 \text{ кг/м}^3$ ;

$\rho_2 = 1824 \text{ кг/м}^3$ ;

$\rho_3 = 1488 \text{ кг/м}^3$ ;

$\rho_4 = 993,8 \text{ кг/м}^3$ .

б) Удельная теплоемкость рассчитывается исходя из теплоемкости составляющих компонентов и их процентного содержания:

$$\text{теплоемкость нитропродукта} - C_1 = 1,466 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}^\circ\text{С}};$$

$$\text{теплоемкость серной кислоты} - C_2 = 1,495 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}^\circ\text{С}};$$

$$\text{теплоемкость азотной кислоты} - C_3 = 1,774 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}^\circ\text{С}};$$

$$\text{теплоемкость воды} - C_4 = 4,18 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}^\circ\text{С}}.$$

$$C_{\text{э}} = g_1 C_1 + g_2 C_2 + g_3 C_3 + g_4 C_4.$$

в) Теплопроводность эмульсии соответственно:

$$\lambda_{эм} = g_1\lambda_1 + g_2\lambda_2 + g_3\lambda_3 + g_4\lambda_4,$$

где  $\lambda_1 = 0,0742 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot ^\circ\text{С}}$ ;

$$\lambda_2 = 0,337 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot ^\circ\text{С}};$$

$$\lambda_3 = 0,247 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot ^\circ\text{С}};$$

$$\lambda_4 = 0,621 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot ^\circ\text{С}}.$$

г) Вязкость эмульсии:

$$\mu_{эм} = g_1\mu_1 + g_2\mu_2 + g_3\mu_3 + g_4\mu_4,$$

где  $\mu_1 = 23 \cdot 10^{-3} \text{Па} \cdot \text{с}$ ;

$$\mu_2 = 18,2 \cdot 10^{-3} \text{Па} \cdot \text{с} ;$$

$$\mu_3 = 7,58 \cdot 10^{-3} \text{Па} \cdot \text{с} ;$$

$$\mu_4 = 0,88 \cdot 10^{-3} \text{Па} \cdot \text{с} .$$

д) Параметры рассола:

$$\rho_p = 1395 \text{кг/м}^3, \mu_p = 61,8 \cdot 10^{-3} \text{Па} \cdot \text{с},$$

$$\lambda_p = 0,6119 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot ^\circ\text{С}}, C_p = 2,689 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{С}}.$$

Тепловая нагрузка на теплообменники составит:

$$Q = G \cdot C_{эм} (t_n - t_k)$$

### 1.3.3 Определение коэффициента теплопередачи

а) Определение коэффициента теплоотдачи от эмульсии к стенке

$$\alpha_{эм} = \alpha \cdot \left( 1 + 1,77 \frac{d_2}{R_{прив}} \right),$$

где  $R_{прив}$  – радиус змеевика;

$d_2$  – внутренний диаметр трубы змеевика.

$$\alpha = \text{Nu}_{\text{зм}} \frac{\lambda_{\text{зм}}}{d_2}$$

где  $\text{Nu}_{\text{зм}}$  – критерий Нуссельта, характеризующий теплообмен между стенкой змеевика и теплоносителем для турбулентного движения;

$$\text{Nu} = 0,023 \text{Re}^{0,8} \text{Pr}^{0,4};$$

$$\text{Re} = \frac{v_3 d_2 \rho_3}{\mu_3}, \quad \text{Pr} = \frac{\mu_3 C_3}{\lambda_3} \text{ – критерии Рейнольдса и Прандтля, ха-}$$

рактеризующие состояние потока и физические свойства охлаждаемой жидкости.

б) Определение коэффициента теплопередачи от рассола к стенке змеевика

$$\alpha_p = \text{Nu} \frac{\lambda_p}{d}, \quad \text{Nu}_p = c \text{Re}^n \cdot \text{Pr}^{0,4},$$

где  $d$  – наружный диаметр змеевика;

$c, n$  – коэффициенты, зависящие от  $\text{Re}$  при  $\text{Re} = 80 \dots 5000$   $c = 0,715, n = 0,46$ .

Скорость рассола в межтрубном пространстве:

$$v_p = \frac{G_p}{S_{\text{м.пр.}} \cdot \rho_p \cdot 3600};$$

$$G_p = \frac{Q}{C_p (t_2 - t_1)};$$

$$\text{Re}_p = \frac{v_p \cdot d_1 \cdot \rho_p}{\mu_p};$$

$$\text{Pr} = \frac{\mu_p \cdot C_p}{\lambda_p}.$$

в) Коэффициент теплоотдачи:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{\text{зм}}} + \frac{\delta}{\lambda_c} - \frac{1}{\alpha_p}},$$

где  $\delta = \frac{d_1 - d_2}{2}$  – толщина стенки трубы;

$\lambda_c$  – теплопроводность материала змеевика.

С учетом загрязнения принимаем  $K_\phi = (0,8..0,95)K$ . При  $K_\phi \approx 300$  – расчет удачен, если меньше – повторить.

#### 1.3.4 Расчет необходимой поверхности теплообменника

$$F = \frac{Q}{K_\phi \cdot \Delta t_{cp}}.$$

Длина змеевика  $L = \frac{F}{\pi d_1}$ .

Количество витков змеевика  $n = \frac{L}{2\pi D_1}$ .

Шаг витка при уклоне 3 % ( $i = 3\%$ )  $h = \frac{\pi D_1 \cdot i}{100}$ .

Высота змеевика  $H = n \cdot h$  (м).

Количество эмульсии в змеевике  $M = \frac{\pi d_2^2}{4} \cdot L \cdot \rho_{эм}$  (кг).

Загрузка органическим веществом  $M_1 = 0,198 \cdot M$  (кг).

### 1.4 Аппараты с механическим перемешиванием

Аппараты этого типа достаточно широко представлены на предприятиях отрасли в качестве реакторов на фазе синтеза, промывных аппаратов, смесителей различного назначения на фазах приготовления кислотных смесей, промывных жидкостей, в качестве растворителей и кристаллизаторов. Несмотря на общность конструктивных элементов: наличие котла, теплообменника, вала-мешалки, приводной головки, имеются и специфические элементы, присущие данной отрасли.

#### 1.4.1 Аппараты II и III фаз производства

Приведенные конструкции аппаратов с механическим перемешиванием (рисунок 1.5, 1.6, 1.7, 1.8), применяются на фазах синтеза жидких веществ.

Закономерности, используемые при расчете таких аппаратов известны из курса процессы и аппараты химической промышленности и конструирования химических машин и аппаратов. Конструктивные особенности их видны из приведенных чертежей. Наибольшая оригинальность проявляется пожалуй в совмещении в одном аппарате реак-

тора и сепаратора со связью их посредством шнек-подъемника. Такое конструктивное решение позволяет организовать каскад аутентичных аппаратов с расположением их на одном уровне.

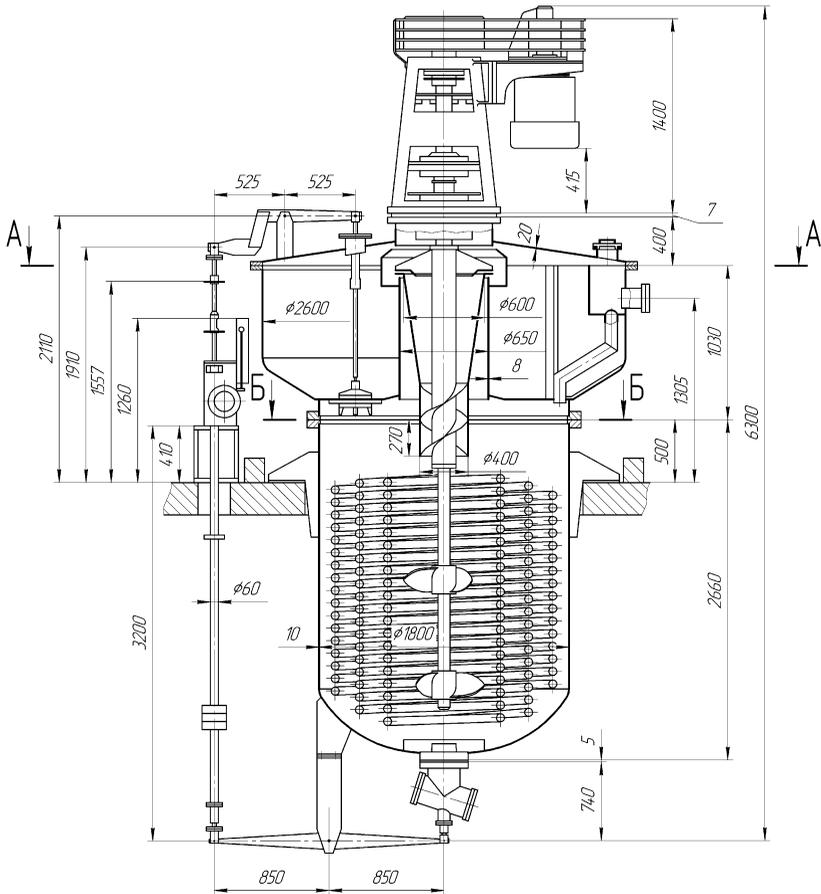


Рисунок 1.5 – Аппарат II фазы

# A-A

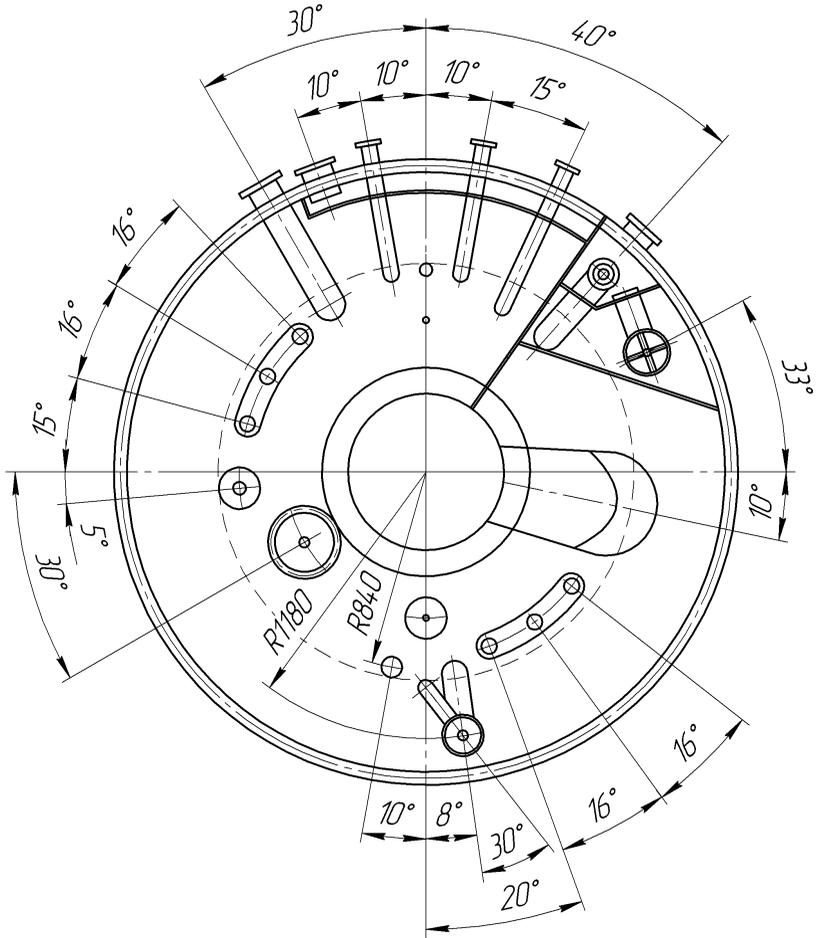


Рисунок 1.6 – Аппарат II фазы (разрез А-А)

Б-Б

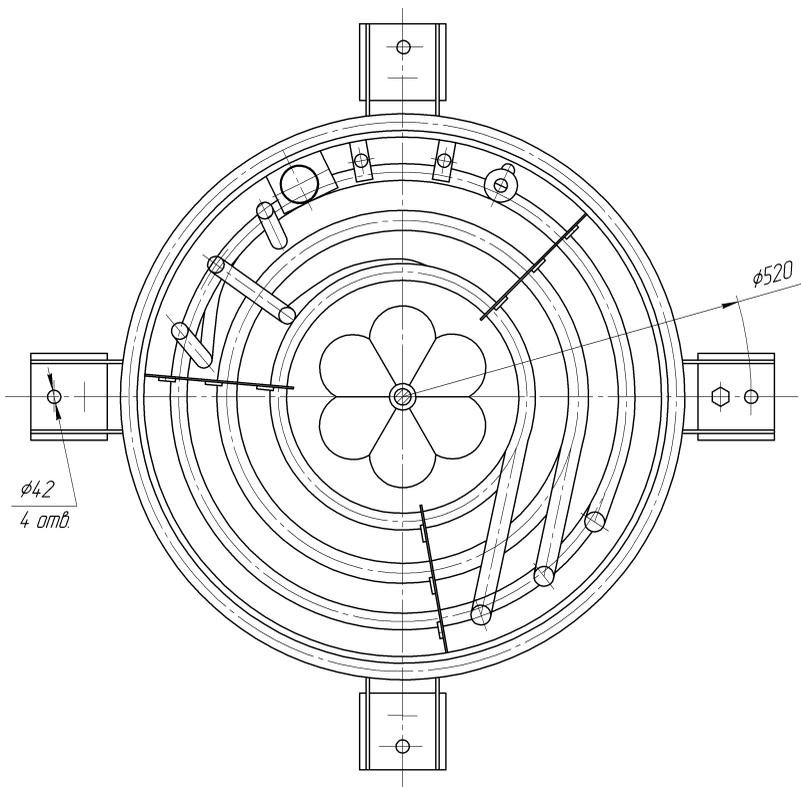


Рисунок 1.7 – Аппарат II фазы (разрез Б-Б)

Перемешиваемая жидкость в таком аппарате за счет мешалки циркулирует в направлении вдоль оси вверх, то есть воронки в перемешиваемой жидкости не создаются. Шнек-подъемник представляет собой усеченный конус, расположенный и закрепленный на валу мешалки вершиной вниз. В нижней части на внутренней поверхности конуса закреплен сварной виток шнека, зачерпывающий жидкость из котла, далее за счет конусности жидкость перемещается вверх по внутренней поверхности конуса. Предельные значения угла при вершине конуса, частоты вращения и радиальные его размеры определяются по зависимости, получаемой из анализа сил, действующих на жидкость во вращающемся конусе.

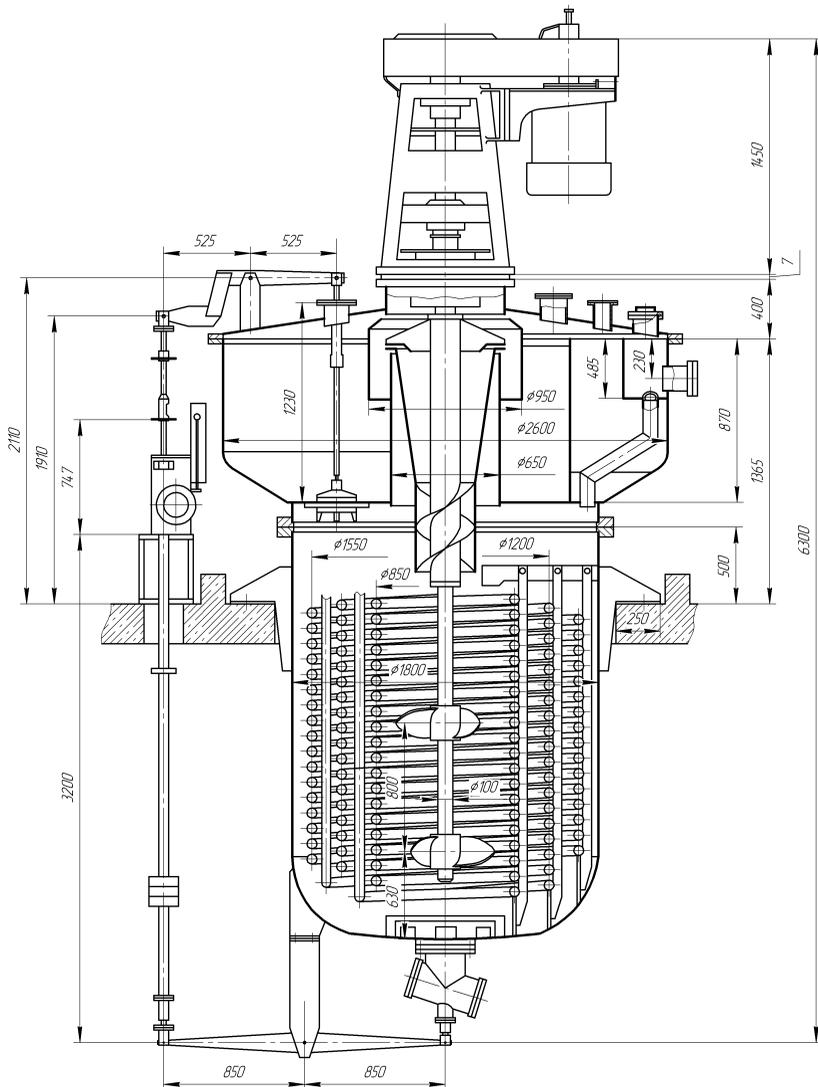


Рисунок 1.8 – Аппарат III фазы

## 1.4.2 Расчет подъемника

Условие движения жидкости вверх по образующей конуса (рисунок 1.9) можно выразить следующим образом:

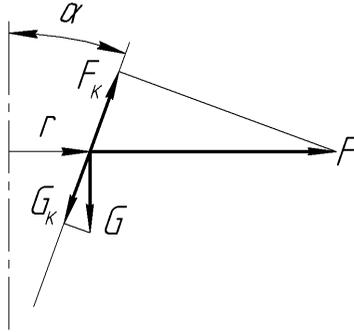


Рисунок 1.9 – Схема к расчету конического подъемника

$$F_K \geq G_K,$$

где  $F_K = F \cdot \sin \alpha$ ;

$G_K = G \cdot \cos \alpha$ ;

$F = m\omega^2 r$  – центробежная сила;

$G = mg$  – сила тяжести.

$$m\omega^2 r \sin \alpha \geq mg \cos \alpha$$

$$\operatorname{ctg} \alpha \geq \frac{\omega^2 r}{g}$$

$r_{\min} \geq \frac{g \operatorname{ctg} \alpha}{\omega^2}$  – минимально допустимый радиус шнека.

$$\omega = \frac{\pi \cdot n}{30};$$

$$r_{\min} \geq \frac{900 g \operatorname{ctg} \alpha}{\pi^2 n^2},$$

где  $n$  – частота вращения вала мешалки, 1/мин.

Производительность заборной части подъемника будет определяться скоростью вращения вала и размерами витка шнека:

$$Q = 1,5\pi(d_{\min}^2 - d_e^2) \cdot h \cdot n \cdot \kappa,$$

где  $d_{\min}$  – диаметр конуса подшипников нижней части, м;

$d_e$  – диаметр вала мешалки, м;

$h$  – шаг витка, м;

$n$  – скорость вращения вала, об/мин;

$\kappa$  – коэффициент заполнения межвиткового пространства ( $\kappa \approx 0,7$ ).

Скорость вращения вала мешалки определяется условием перемешивания, рассчитывается либо угол  $\alpha$ , либо задаваясь углом из конструктивных соображений рассчитывается  $r_{\min}$ .

Высота подъема жидкости определяется требуемым перепадом высот в каскаде аппаратов. Жидкость из шнек-подъемника выливается в неподвижную корзину, имеющую в днище отверстие, через которое смесь поступает в кольцевой сепаратор. Образующийся двумя цилиндрическими обечайками и днищем, в которое вмонтирован клапан аварийного опорожнения, открываемый одновременно с аварийным сбросом из котла. Сепарируемая полость аппарата, разделена радиальной стенкой, определяющей начало и конец сепаратора, так что жидкость в сепараторе движется по кругу. Объем котла аппарата определяется производительностью системы и степенью конверсии исходного сырья происходящей в данном аппарате. Размеры же сепарируемой части аппарата должны обеспечить разделение получаемой в котле эмульсии с требуемой остаточной концентрацией органической фазы в неорганической. Данный сепаратор работает в режиме отстойника и его производительность определяется:

$$Q = S \cdot v,$$

где  $S$  – площадь горизонтального сечения отстойника, м<sup>2</sup>;

$v$  – скорость разделения эмульсии в поле сил тяжести, м/с.

$$v = \frac{d^2 g \Delta\rho}{18\mu},$$

где  $d$  – диаметр предельно сепарируемой капли эмульсии, м;

$g$  – ускорение сил тяжести, м/с<sup>2</sup>;

$\Delta\rho$  – разность плотностей фаз эмульсии, кг/м<sup>3</sup>;

$\mu$  – вязкость неорганической фазы, Па·с.

Требуемая площадь сепаратора:

$$S = \frac{Q}{v}; \quad S = \frac{\pi(D_{\sigma}^2 - D_{\mu}^2)}{4},$$

где  $D_{\sigma}$  – наружный диаметр сепаратора, м;

$D_{\mu}$  – внутренний диаметр обечайки, через которую проходит шнек-подъемник, и определяется его конструкцией, м.

Тогда наружный диаметр сепаратора будет:

$$D_{\sigma} = \sqrt{\frac{72\mu \cdot Q}{\pi \cdot d^2 \cdot \Delta\rho \cdot g} + D_{\mu}^2},$$

Высота сепаратора не определяется производительностью, она выбирается из условия равенства давлений столбов легкого и тяжелого компонентов эмульсии, обеспечивающий надежный гидрозатвор и непрерывный вывод осветленных компонентов.

Таблица 1.6 – Техническая характеристика реакторов

	II фаза	III фаза
Объем реактора полный, м <sup>3</sup>	6,38	6,38
Объем реактора рабочий, м <sup>3</sup>	5,0	5,0
Объем сепаратора полный, м <sup>3</sup>	3,7	3,7
Объем сепаратора рабочий, м <sup>3</sup>	3,3	3,3
Среда	взрывоопасная	
Давление в аппарате	гидростатическое	
Расход воды в змеевиках, м <sup>3</sup> /час	64	67
Поверхность теплообменника, м <sup>2</sup>	55	40
Частота вращения мешалки, об/мин	250	250
Окружная скорость мешалки, м/с	7,85	7,85
Ход штока аварийного клапана, мм	70	70
Мощность электродвигателя, кВт	13	13
Производительность шнек-подъемника, м <sup>3</sup> /час	до 50	50
Время полного опорожнения, мин	3	<3
Масса материала аппарата, кг		
сталь 08Х22Н6Т	4070	
сталь 12Х18Н10Т	2060	
сталь 06ХН28НДТ150		2500



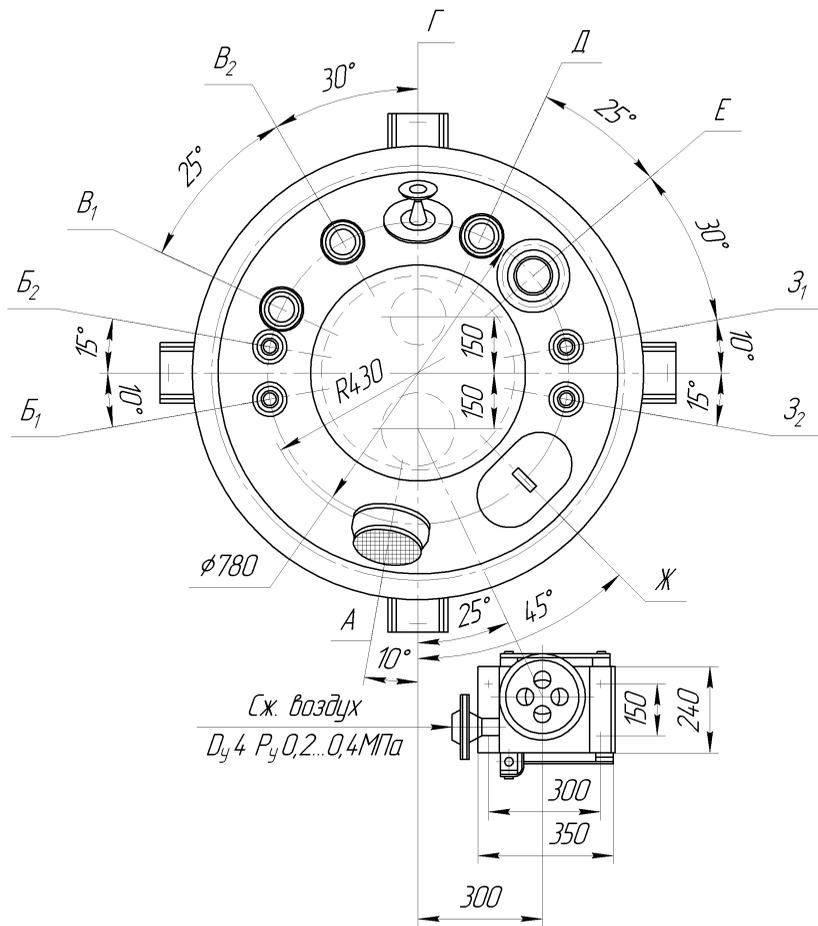


Рисунок 1.11 – Аппарат основной (исполнение 1)

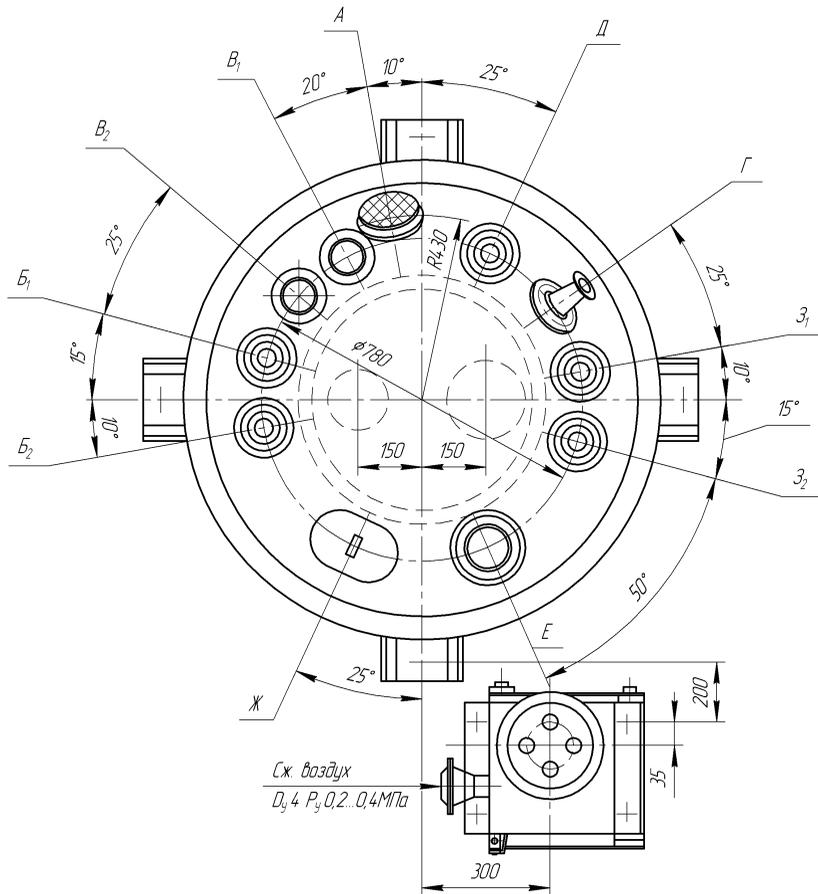


Рисунок 1.12 – Аппарат основной (исполнение 2)

Таблица 1.7 – Техническая характеристика основного аппарата

Объем котла, м <sup>3</sup>	1,05
Давление в аппарате	гидростатическое
Давление в змеевике, МПа	0,3–0,4
Хладагент	вода
Поверхность теплообмена, м <sup>2</sup>	7
Температура в корпусе, °С	20
Температура в змеевике, °С	10
Среда	агрессивная, взрывоопасная
Частота вращения вала мешалки, об/мин	224
Электродвигатель	ВАО 61-8
Мощность электродвигателя, кВт	7,5
Частота вращения вала, об/мин	730

Таблица 1.8 – Штуцеров основного аппарата

Обозначение	Условный проход D <sub>y</sub> , мм	Давление P <sub>y</sub> , МПа	Назначение	Количество	Расстояние до оси аппарата, мм
А	130/20	-	Загрузка продукта	1	430
Б <sub>1-2</sub>	32/50	1	Вход охлаждающей воды в змеевик	2	390
В <sub>1-2</sub>	25/50	0,25	Под термометр сопротивления	2	390
Г	50/100	0,25	Вход отработанной кислоты	1	430
Д	50/70	0,25	Вход крепкой кислоты	1	430
Е	100	0,25	Воздушный	1	430
Ж	244×144	-	Люк	1	430
З <sub>1-2</sub>	32/50	1	Выход воды из змеевика	2	390
И	50	0,25	Опорожнение	1	150
К	125	0,25	Аварийный слив	1	150

#### 1.4.4 Разбавитель

Особенностью этого аппарата (рисунок 1.13, 1.14, 1.15), пожалуй, можно считать наличие на валу пропеллерной и турбинной мешалок, причем последняя установлена у самого дна и обеспечивает перемешивание в начальный период слива, когда уровень в аппарате мал.

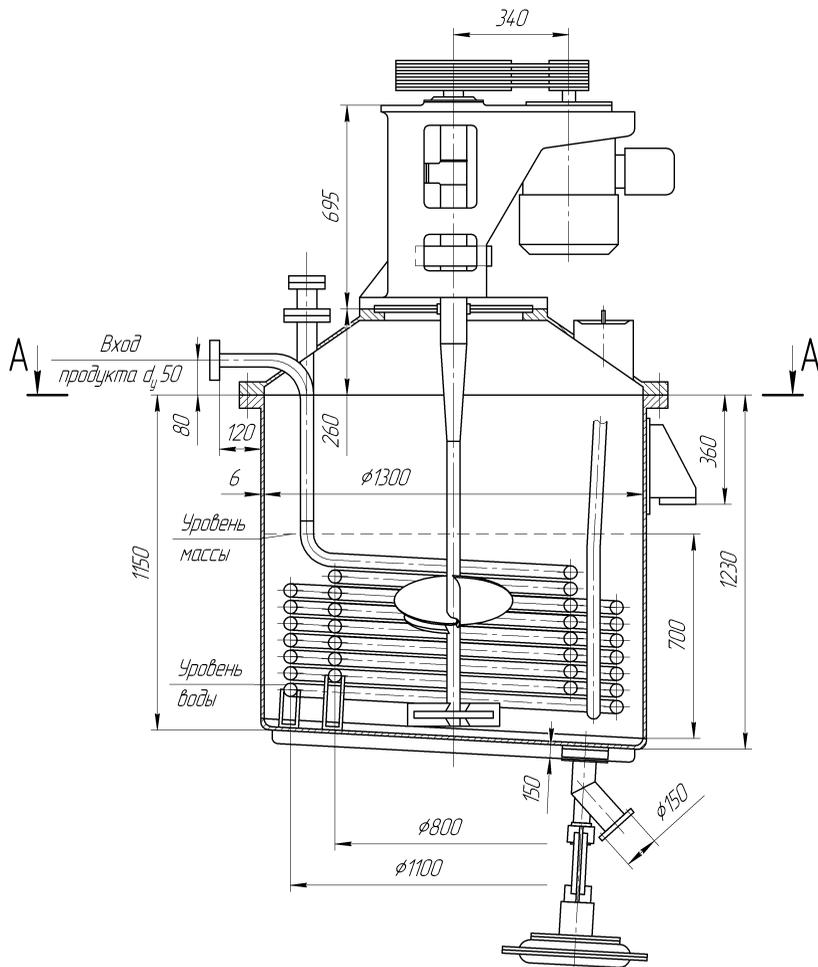


Рисунок 1.13 – Разбавитель

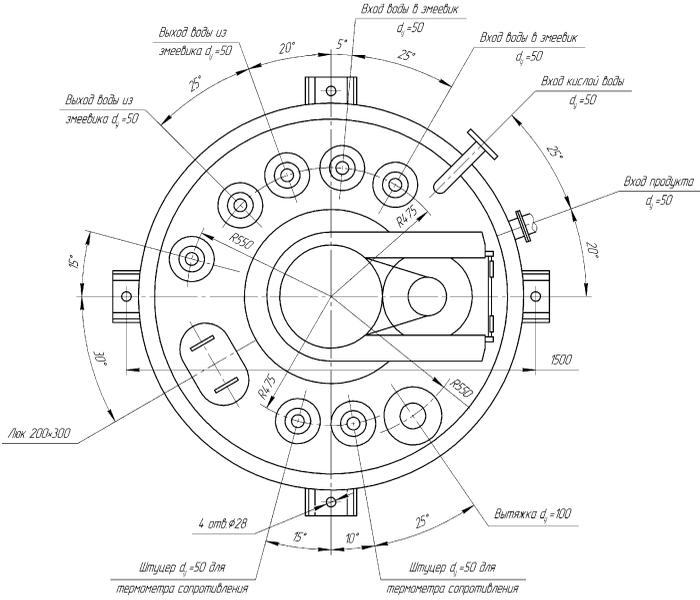


Рисунок 1.14 – Разбавитель (вид сверху)

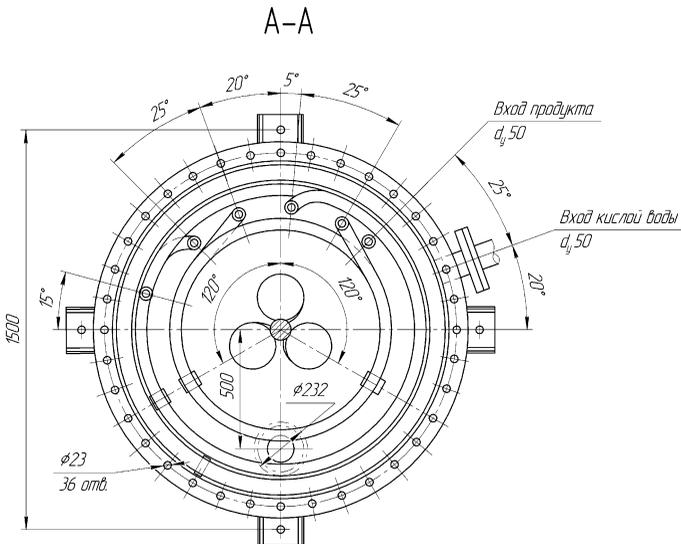


Рисунок 1.15 – Разбавитель (разрез А-А)

Аппарат предназначен для проведения взрывоопасного процесса, поэтому при изготовлении высокие требования предъявляются к качеству сварных швов. В частности, сварка производится только в среде аргона неплавящимся электродом, швы и околошовные зоны проверяются на склонность к межкристаллитной коррозии, 25 % швов подвергается рентгенокопии, а все швы проверяются на герметичность керосиновой пробой. Сварные швы на внутренних поверхностях аппарата зачищаются заподлицо и полируются. Полируются все внутренние поверхности, соприкасающиеся с продуктом.

Таблица 1.9 – Техническая характеристика разбавителя

Диаметр аппарата, мм	1300
Высота до крышки, мм	1270
Емкость рабочая, м <sup>3</sup>	1,2
Емкость полная, м <sup>3</sup>	1,5
Давление в аппарате	гидростатическое
Среда	0–65 % HNO <sub>3</sub>
Температура, °С	до 30
Поверхность теплообмена змеевиков, м <sup>2</sup>	8,6
Диаметр внутренних труб змеевиков, мм	50
Частота вращения мешалки, об/мин	210
Мощность электродвигателя, кВт	4
Частота вращения вала электродвигателя, об/мин	750
Материал аппарата	сталь X18H10T

#### 1.4.5 Аппарат кислой промывки

Аппарат (рисунок 1.16, 1.17) предназначен для промывки продукта водой от кислот, растворенных в продукте и находящихся во взвешенном состоянии в нем. Продукт смешивается с водой в корзине, установленной внутри отстойника, образуемая смесь перетекает из корзины в отстойник, где сепарируется, причем кислая вода, как показано на чертеже, выводится через штуцер, выполненный в верхней части обечайки отстойника, а продукт – в донной его части. В корзине устанавливается змеевиковый теплообменник.

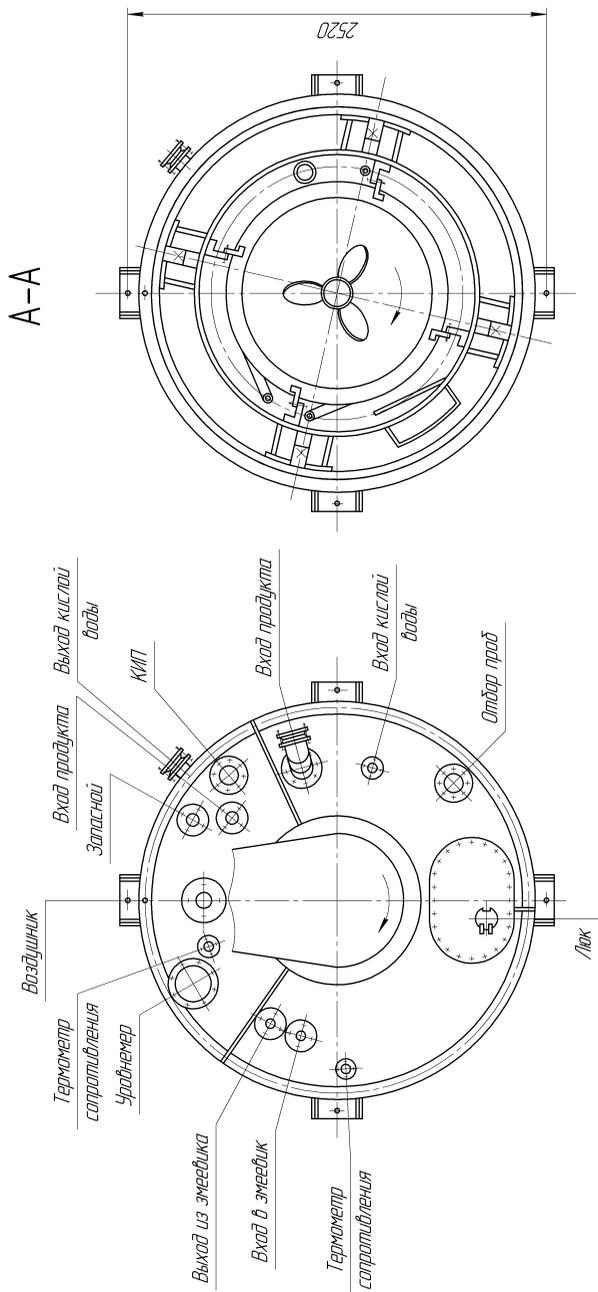


Рисунок 1.16 – Аппарат кислотной промывки (вид сверху, разрез A–A)

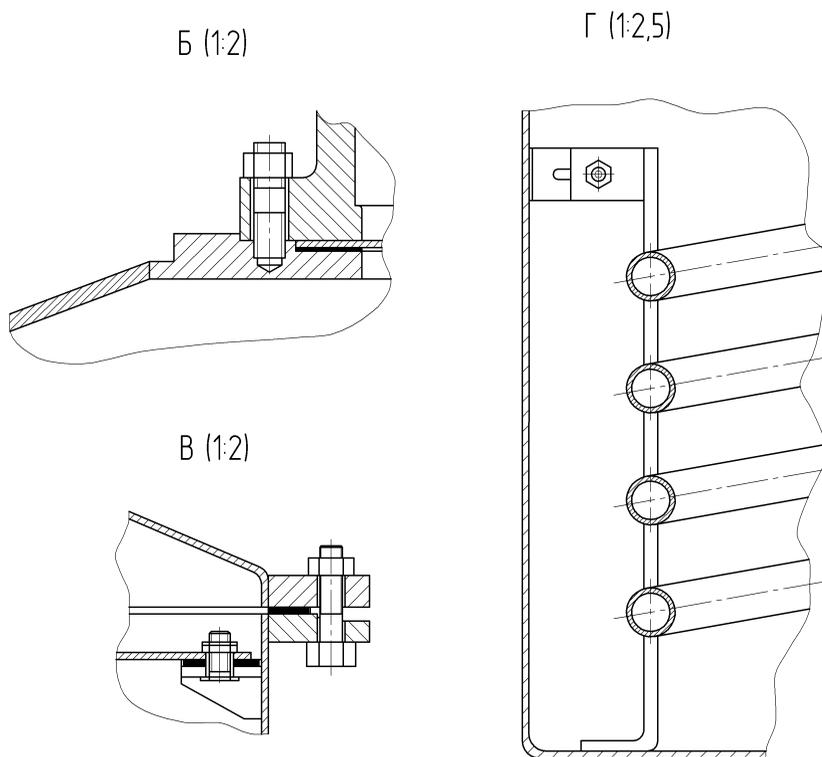


Рисунок 1.17 – Аппарат кислой промывки (выносные элементы)

Таблица 1.10 – Техническая характеристика аппарат кислой промывки

Диаметр аппарата, мм	2000
Высота аппарата до крышки, мм	2750
Общая высота аппарата, мм	4810
Объем корзины, м <sup>3</sup>	2
Давление в аппарате	гидростатическое
Объем сепаратора, м <sup>3</sup>	5,26
Частота вращения мешалки, об/мин	250
Поверхность охлаждения, м <sup>2</sup>	3,7
Среда	кислая
Мощность электродвигателя, кВт	11
Частота вращения вала, об/мин	720
Аппарат изготавливается по ГОСТ Р 52630-2006	

### 1.4.6 Совмещенный аппарат

Применяется на сульфитной очистке продукта, предназначается для смешения сульфитного щелока с продуктом и последующим сепарированием образовавшейся смеси (рисунок 1.18). Конструктивные принципы аналогичны аппаратам, применяющимся на II и III фазах.

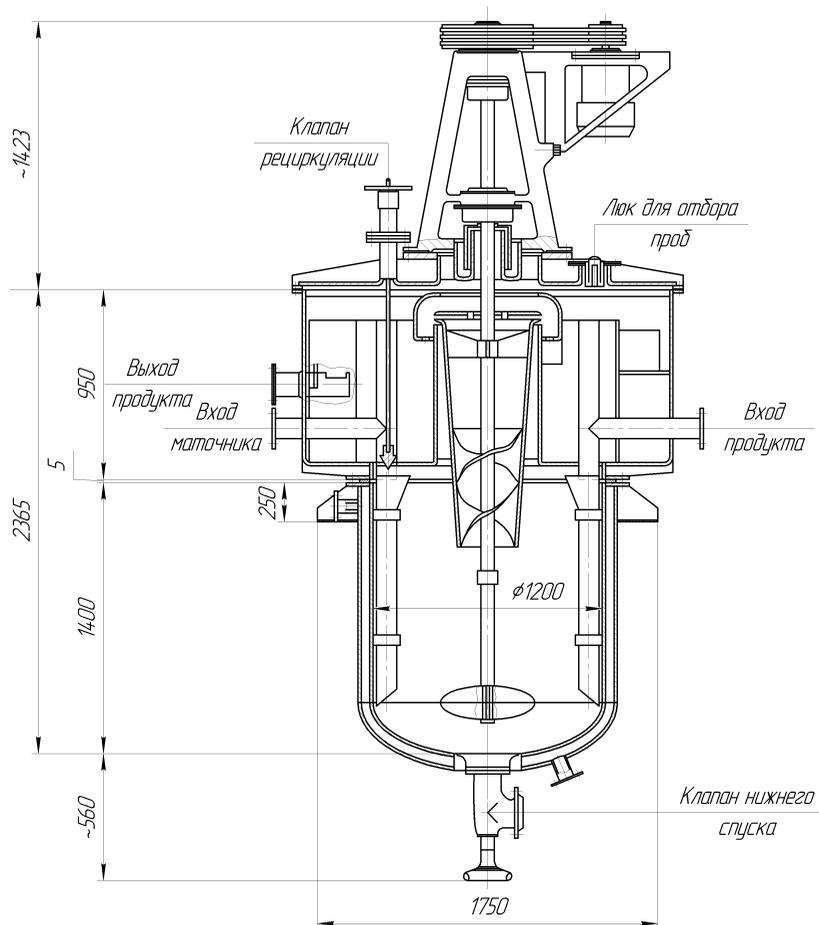


Рисунок 1.18 – Аппарат совмещенный

Таблица 1.11 – Техническая характеристика совмещенного аппарата

Диаметр реактора, мм	1200
Диаметр сепаратора, мм	2000
Высота аппарата общая, мм	3820
Давление в аппарате	гидростатическое
Рабочий объем котла, м <sup>3</sup>	1
Рабочий объем сепаратора, м <sup>3</sup>	1,55
Поверхность нагрева котла, м <sup>2</sup>	4,5
Частота вращения мешалки, об/мин	240
Мощность электродвигателя, кВт	6
Вес аппарата без продукта, кг	2804

На этой же стадии производства применяется реактор (без сепаратора), его конструкция понятна из приведенного чертежа.

#### 1.4.7 Нитратор-дозер (НД-3)

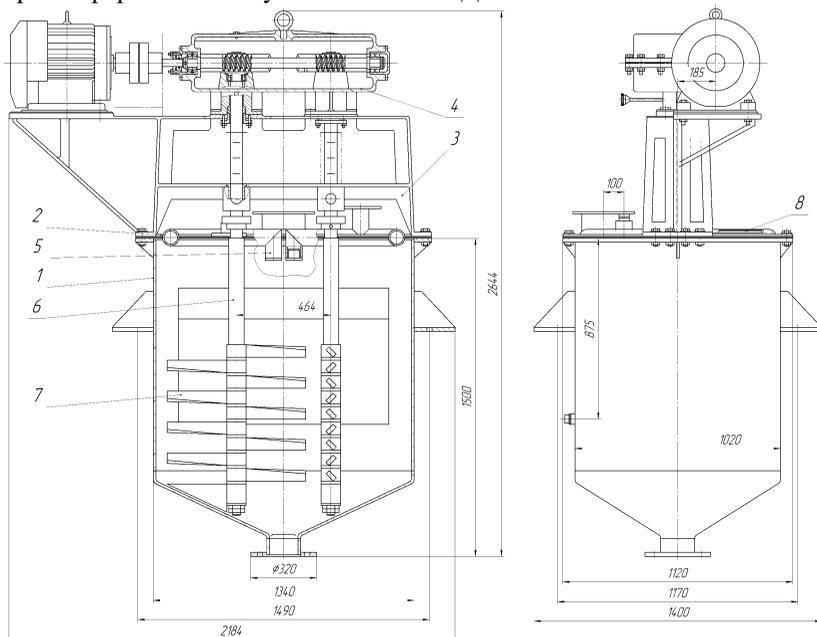
Нитратор-дозер (рисунок 1.19) предназначен для проведения процесса предварительной нитрации расчетной навески целлюлозы рабочей кислотной смесью (РКС). При этом выдерживается модуль нитрации равный 30. В работе последовательно работают четыре нитратора-дозера, создавая непрерывность процесса нитрации.

Нитратор-дозер представляет собой объемный аппарат с двумя лопастными мешалками 7. Аппарат изготавливается из нержавеющей стали 12Х18Н10Т. Привод аппарата состоит из асинхронного двигателя переменного тока, приводящего в действие червячный редуктор-раздвоитель 4, вращающий одновременно обе лопастные мешалки аппарата, размещенные внутри корпуса 1. Привод аппарата установлен на крышке 2. Над крышкой установлен кронштейн 3. Внутри аппарата установлена оросительная труба 5 для залива в аппарат РКС. Лопастные мешалки 7 устанавливаются на вертикальных валах 6. Аппарат имеет опоры для установки. В коническом днище имеется сливной патрубок для слива суспензии, полученной в результате нитрации (нитроцеллюлоза (НЦ) и отработанная РКС). Навеску целлюлозы, предназначенную для нитрации, загружают в аппарат через загрузочный люк 8.

Работа нитратора-дозера осуществляется следующим образом.

Целлюлоза, предназначенная для нитрации (марки РБ или ХЦ), поступает в бункер-дозатор целлюлозы, из которого шнеком подается в загрузочный люк НД-3. Рабочая кислотная смесь определенного состава перед подачей в нитратор-дозер предварительно охлаждается в кожухотрубном теплообменнике до заданной температуры. Процесс

нитрации начинают с залива РКС в аппарат при закрытом спускном клапане. При достижении уровня нижних лопастей мешалок включаются мешалки, и начинается загрузка расчетной навески целлюлозы при непрерывном поступлении РКС в НД-3.



1 – корпус; 2 – крышка; 3 – кронштейн; 4 – привод;  
5 – оросительная труба; 6 – вертикальный вал; 7 – лопастная мешалка; 8 – загрузочный люк

Рисунок 1.19 – Нитратор-дозер (НД-3)

Последовательность операций загрузки целлюлозы, залива РКС в НД-3 и выгрузки массы из НД-3 осуществляется с помощью командно-электропневматического прибора (КЭПП) или вручную. При этом периодически (раз в смену) рассчитывается средняя навеска целлюлозы, величина которой не должна отличаться от заданной более чем на 6 %. Полноту заполнения аппарата определяют по уровню. По истечении установленного времени нитрации открывается спускной клапан, и масса из НД-3 при работающих мешалках выгружается в аппарат непрерывного улова отработанных кислот (НУОК). Полное удаление массы в конце слива осуществляется подачей РКС, для смыва ее.

Таблица 1.12 – График работы НД-3

Операции	Нитроцеллюлоза	
	из РБ	из ХЦ
Залив РКС, мин	1,0–2,5	1,0–2,5
Загрузка целлюлозы, мин	0,5–2,0	0,5–2,0
Выгрузка, мин	0,5–2,0	0,5–2,0
Время нитрации, мин	10–18	10–18

Таблица 1.13 – Режимы работы НД-3

Операции	Нитроцеллюлоза	
	из РБ	из ХЦ
Загрузка целлюлозы по сухой массе, кг	50–60	35–45
Модуль ванны	1/20–1/30	1/30–1/50
Продолжительность нитрации, мин	10–18	10–18
Температура РКС перед нитрацией, °С	10–18	10–18

#### 1.4.8 Аппарат окончательной промывки (АОП)

Аппарат окончательной промывки (рисунок 1.20) предназначен для окончательной промывки нитроэфиров с обеспечением требуемого водородного показателя рН среды (отмывка от кислот).

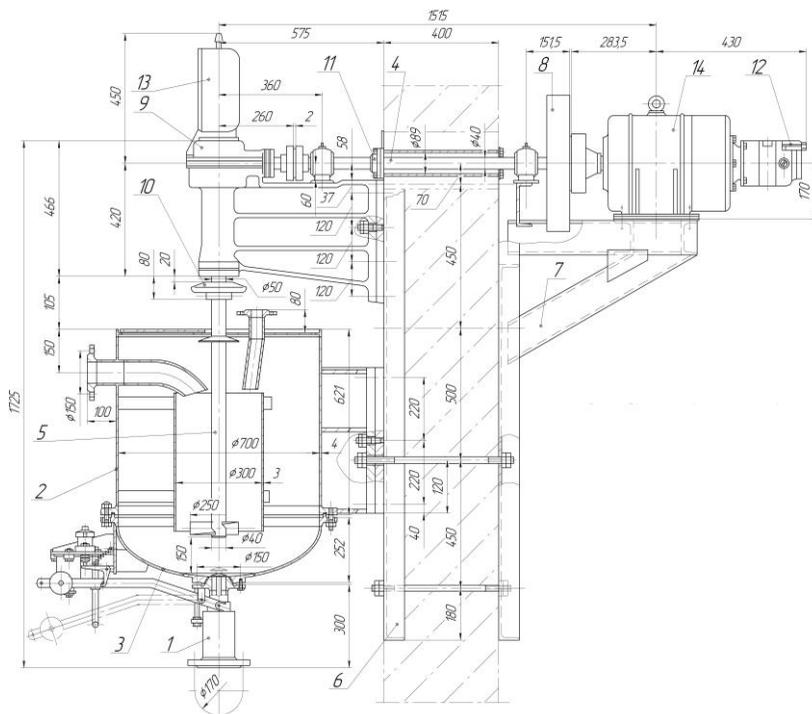
АОП представляет собой сварную конструкцию, изготовленную из стали 10Х18Н10Т.

Турбинная мешалка аппарата 5 приводится во вращение электродвигателем 14 с тахогенератором 12. На валу мешалки установлено реле контроля скорости 13. На валу электродвигателя установлена полумуфта с инерционным маховиком 8. Привод установлен в машинном отделении на раме 7. Аппарат устанавливается на стене здания, на раме 6. Через стену проходит промежуточный вал 4, имеющий две подшипниковые опоры и с помощью полумуфт соединенный с приводной головкой мешалки 9. Над крышкой аппарата, на валу мешалки, установлен маслоуловитель 10. Аппарат имеет корпус 2 и днище 3, в нижней части которого установлен клапан спускной ( $d_v=50$ ). Для исключения сообщения между машинным и рабочим помещениями на валу 4 устанавливается сальник стеной 11.

Подготовленный к работе аппарат заполняется водой с температурой порядка 25 °С, после чего устанавливаются обороты вращения мешалки. Загрузка нитроэфира в АОП происходит из отделителя аппарата предварительной промывки (АПП-2), имеющего слабокислую

среду. Промывку ведут теплой водой с температурой 25 °С при количестве оборотов мешалки от 400 до 800 об/мин.

По окончании процесса нитрации, в конце промывки, водная эмульсия сбрасывается из аппарата при помощи спускового клапана дистанционно.



- 1 – клапан спусковой; 2 – корпус аппарата; 3 – днище; 4 – вал; 5 – вал с мешалкой; 6, 7 – рама; 8 – полумфта с маховиком; 9 – приводная головка; 10 – маслоуловитель; 11 – сальник стенной; 12 – установка тахогенератора с электродвигателем; 13 – установка РКС; 14 – электродвигатель

Рисунок 1.20 – Аппарат окончательной промывки

Таблица 1.14 – Техническая характеристика АОП

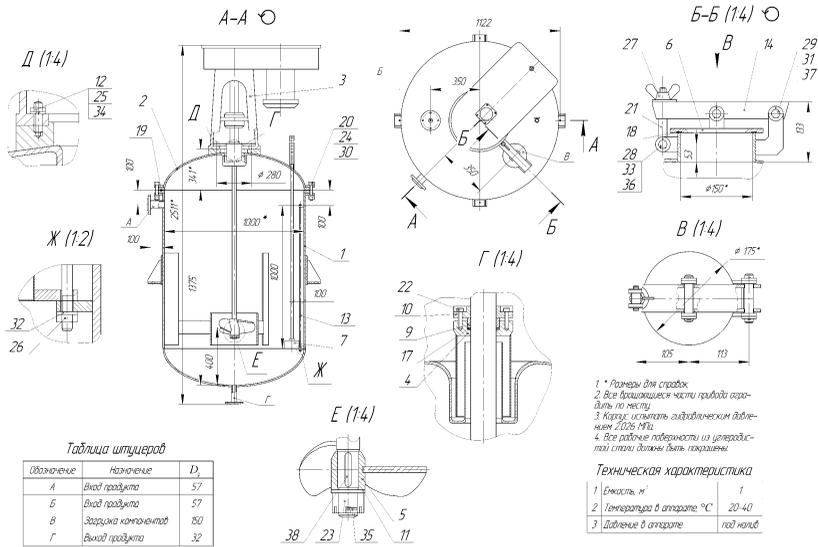
Диаметр аппарата, мм	700
Высота аппарата общая, мм	875
Высота установки, мм	1750
Давление в аппарате	гидростатическое
Среда	кислая
Температура, С°	25
Частота вращения мешалки, об/мин	400-800
Мощность электродвигателя, кВт	4,2
Вес аппарата без продукта, кг	925

#### 1.4.9 Эмульсатор

Аппарат эмульсатор (рисунок 1.21, 1.22) предназначен для подготовки эмульсий жидких компонентов состава (например дифениламина в воде) и непрерывного их дозирования в варочный смеситель.

Эмульсатор представляет собой сварную конструкцию, состоящую из корпуса 1 со сферическим днищем, сферической крышки 2, на которой смонтирован привод 3 быстроходной лопастной мешалки, помещенной в диффузоре аппарата; на корпусе аппарата установлены перегородки. Для исключения попадания смазки в эмульсию используется клиноременная передача. Эмульсатор имеет штуцера загрузки компонентов, загрузочный люк с крышкой 6, разгрузочный штуцер. Внутри аппарата установлен поплавковый уровнемер 7 на направляющей 13.

Подготовленный к работе аппарат заполняется расчетным количеством воды, включается мешалка, после чего через загрузочный люк 8 сливается расчетная навеска компонента состава. После перемешивания в течение часа эмульсия готова для дозирования ее непрерывным дозатором НД-3 в варочный смеситель. Для обеспечения непрерывности дозирования в технологии устанавливают два параллельно работающих аппарата.

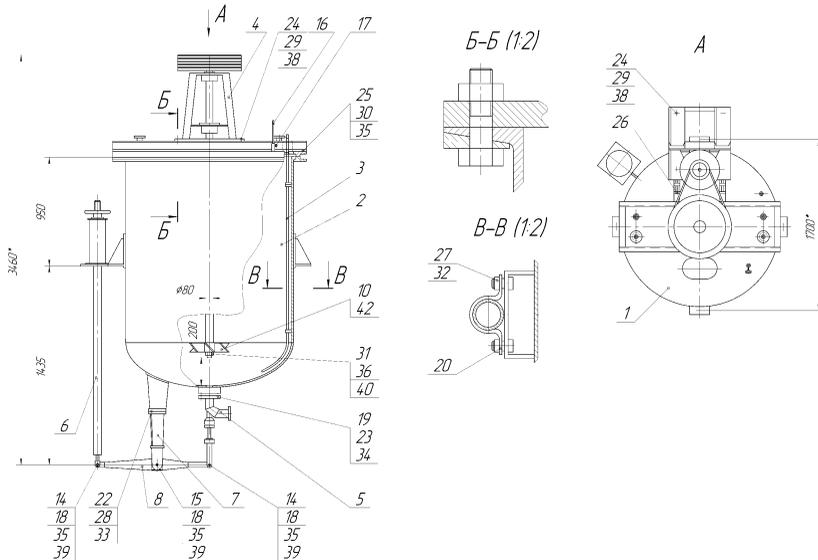


1 – корпус; 2, 6, 10 – крышка; 3 – привод; 4 – гидрозатвор;  
 5 – устройство; 7 – поплавок; 9 – втулка; 11, 30, 31, 32, 33, 34 – шайба;  
 12 – шпилька; 13 – направляющая; 14 – рычаг; 17, 18, 19 – прокладка;  
 20, 21 – болт; 22 – винт; 23, 24, 25, 26, 27 – гайка; 28, 29 – ось;  
 35, 36, 37 – шплинт; 38 – шпонка

Рисунок 1.21 – Эмульсатор

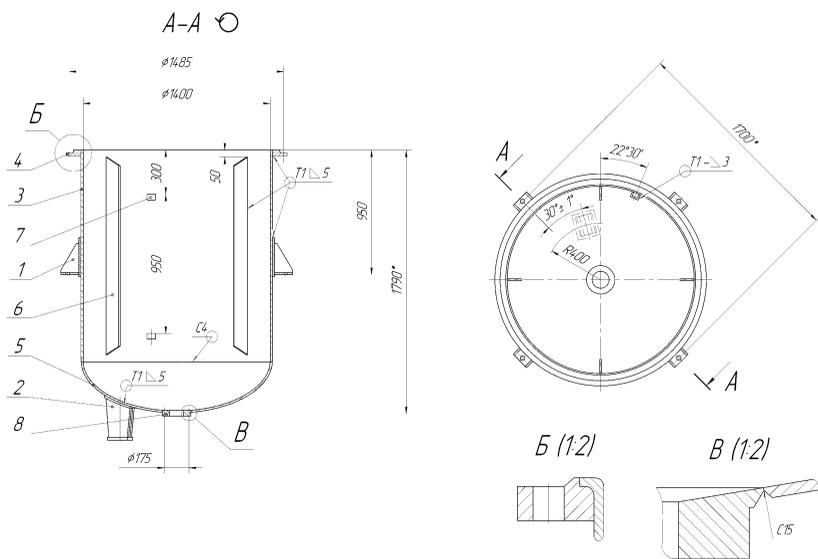


заливают расчетное количество воды, включают мешалку и загружают расчетное количество сыпучего компонента состава. После перемешивания в течение часа при температуре от 20 до 40 °С полученную суспензию сливают в расходный суспензатор, из которого суспензия непрерывнодействующим дозатором (НД-3) подается в варочный смеситель. Частота вращения мешалок в предварительном и расходном суспензаторах составляет 240 об/мин.



- 1 – крышка; 2 – корпус; 3 – труба; 4 – головка приводная; 5 – клапан спускной; 6 – механизм открывания и закрывания клапана;  
 7 – подвеска; 8 – коромысло; 10 – турбина; 14, 15 – ось; 16 – труба мерная; 17 – стопор; 18, 33, 34, 35, 36, 38 – шайба; 19 – прокладка;  
 20 – хомут; 22, 23, 24, 25, 26, 27 – болт; 28, 29, 30, 31, 32 – гайка;  
 39, 40 – шплинт; 42 – шпонка

Рисунок 1.23 – Суспензатор



1 – лапа; 2 – подвеска; 3 – обечайка; 4 – фланец; 5 – днище; 6 – ребро; 7 – скоба; 8 – бобышка

Рисунок 1.24 – Корпус суспензатора

### 1.4.11 Смеситель

Объемные смесители широко применяются на отдельных фазах в производстве баллиститных порохов. Они предназначены для приема, накопления различных суспензий коллоксилинов, пороховых масс различных составов, в режимах перемешивания, хранения и передачи с фазы на фазу. Они поддерживают частицы суспензий во взвешенном состоянии, а также постоянство фракционного состава и физико-химических свойств суспензий во всем объеме смесителя, обеспечивая высокое качество изготавливаемых порохов. Смесители бывают с пятью мешалками объемом 113 м<sup>3</sup> и с тремя мешалками объемом 40 м<sup>3</sup>.

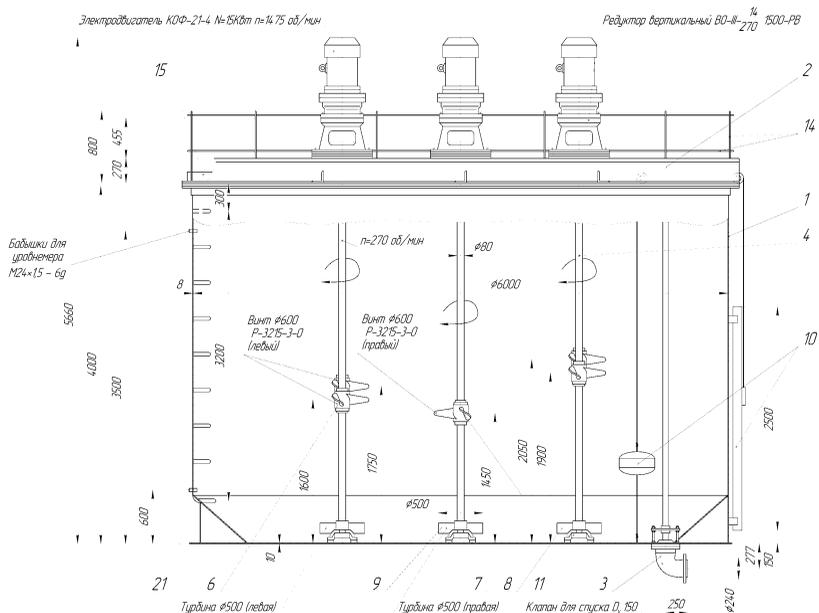
Смеситель (рисунки 1.25, 1.26) представляет собой сварной цилиндрический сосуд, состоящий из корпуса 1, крышки 2, днища. Корпус в нижней части имеет конус. Используемый материал – сталь Ст5. На крышке смесителя устанавливаются приводы мешалок (электродвигатели и вертикальные редукторы).

Внутри смесителя устанавливаются пять приводных головок 4, на

валы которых устанавливаются винтовые мешалки 6, 7, а также в нижней части – турбинные мешалки 8, 9. Ступицы мешалок соединены с валами шпонками и устанавливаются строго на высотах, указанных в чертеже. Винты мешалок имеют правое и левое направление вращения. Направление вращения устанавливается в строгом соответствии с чертежом. На днище смесителя устанавливаются подшипники скольжения, вкладыши которых изготавливаются из текстолита. Внутри смесителя под люком обслуживания приварены ступени лестницы, и размещен поплавковый уровень 10. На днище также установлен спускной клапан 3 для забора суспензий из смесителя. Клапан имеет запорное устройство (тампон), привод которого установлен на крышке. Крышка смесителя обрамлена по окружности защитным устройством для обслуживающего персонала.

Смеситель при установке по назначению обязывается трубопроводом подачи суспензий, циркуляции и перекачки. Циркуляция, закачка и перекачка осуществляются центробежными массонасосами соответствующей производительности. У смесителя устанавливается, как правило, два насоса. Работа насоса осуществляется следующим образом. В подготовленный к работе смеситель по подающему трубопроводу подается суспензия, заполняя объем. При достижении уровня около 1/3 объема включаются мешалки (количество мешалок указано в технологическом регламенте для конкретной фазы производства). При полностью заполненном смесителе должны быть включены все мешалки. При уменьшении уровня часть мешалок отключается. Смеситель работает в режимах: заполнения, перемешивания, хранения и расхода.

Время перемешивания пятью мешалками после заполнения устанавливается технологическим регламентом (достигается и обеспечивается полное усреднение свойств суспензии). Для усиления перемешивания смеситель ставится на циркуляцию. Для чего открывается тампон спускного клапана, устанавливается трехходовой кран и суспензия подается насосами в циркуляционный трубопровод, соединяющий насосы с одним из штуцеров залива. После достижения достаточного усреднения смеситель переводится в режим хранения. При этом часть мешалок периферийных можно поочередно отключать. Использование в смесителе комбинированных перемешивающих устройств (мешалок) обеспечивает закономерное турбулентное движение суспензии, как по высоте смесителя, так и по диаметру. При необходимости расхода из смесителя с помощью кранов настраивается линия перекачки (расхода), и теми же массонасосами суспензия перекачивается на другую фазу производства в аналогичные смесители для использования.



- 1 – корпус; 2 – крышка; 3 – клапан; 4 – головка приводная; 5 – люк; 6, 7 – винт; 8, 9 – турбина; 10 – указатель уровня жидкости; 11 – подшипник; 12 – редуктор вертикальный; 13 – электродвигатель; 14 – прут; 15 – полоса; 16 – прокладка; 17, 18 – болт; 19 – гайка; 20 – шайба косая; 21 – бобышка для уровнера

Рисунок 1.25 – Смеситель

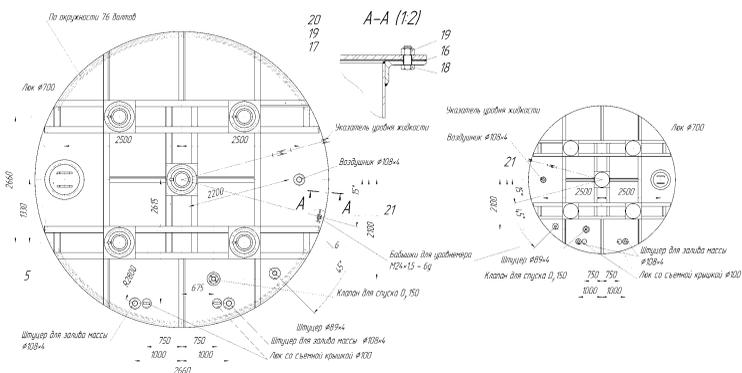


Рисунок 1.26 – Смеситель (вид сверху)

Основные параметры конструкции изложены в технической характеристике.

Таблица 1.15 – Техническая характеристика смесителя

Диаметр корпуса, мм	6000	
Высота корпуса, мм	4000	
Емкость, м <sup>3</sup>	113	
Число оборотов на валу мешалок, об/мин	270	
Количество мешалок, шт.	5	
Электродвигатель	марка	КОФ-21-4
	мощность, кВт	15
	число оборотов, об/мин	1475
Давление в аппарате	под налив	
Конструкция	сварная	
Материал	сталь углеродистая	
Масса (без наполнения), кг	15450	

## ГЛАВА 2 МАШИНЫ ЦЕНТРОБЕЖНОГО ДЕЙСТВИЯ

В производствах веществ с ограниченной чувствительностью к механическим воздействиям машины с быстровращающимися (со скоростью 4000-5000 об/мин) рабочими органами начали применяться в 60-70-х годах XX века на стадиях сепарирования и промывки органических веществ от неорганических кислот. Применение таких машин позволило существенно сократить технологический цикл фабрикации веществ, уменьшить загрузку производственных зданий целевым веществом, увеличить безопасность процесса производства.

Применение таких машин исключает, какое бы не было вмешательство человека в ход процесса в них и обеспечивает безусловный вывод человека из опасных зон производства.

Применение центробежных аппаратов – очень эффективный способ коренным образом реорганизовать производство.

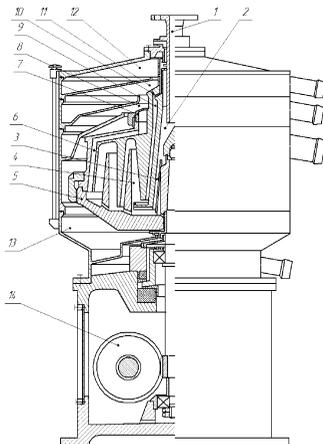
### 2.1 Центробежные сепараторы

Базовая модель центробежных сепараторов ЦТБ-1М (рисунок 2.1) состоит из ротора, нижняя часть которого выполнена заодно с хвостовиком, вставляемым в трубу, что позволяет производить разборку без демонтажа подшипниковых узлов. Верхний подшипник установлен в подпружиненную опору, что обеспечивает плавный переход через резонансную скорость. Внизу установлен двухрядный сферический подшипник. Вращение ротору передается от электродвигателя через центробежную муфту, клиноременную передачу и винтовую зубчатую пару. Вал ведущего зубчатого колеса установлен на радиально-упорных подшипниках. Приводной механизм расположен в сварной станине.

Корпус и крышка ротора собраны с помощью гайки. Гайкой крепится кольцо, регулирующее выход тяжелой фракции эмульсии. Уплотнительные прокладки выполняются из фторопласта. Для ориентации сборки крышки с корпусом ротора служит штифт.

Рабочий процесс в сепараторе осуществляется следующим образом. Эмульсия поступает в приемный патрубок на крышке ротора и по каналам через щель входит на внутреннюю поверхность цилиндрической обечайки, часть эмульсии, имеющая меньшую плотность (легкая фаза), движется к оси ротора, переливается через борт и по каналам выводится из ротора. Тяжелая фаза проходит к периферии ротора через лабиринт, образуемый обечайками, по каналу выводится из ротора. Для вывода легкой фазы, выделяемой в лабиринте, у обечайки внизу

сделаны отбортовки. Для сбора тяжелой фазы служит приемник, куда опоражняется содержимое ротора после его остановки. Легкая фаза собирается в приемник. Переполнение ротора в случае его забивки контролируется по наличию жидкости в приемнике. Все приемники собраны в пакет с помощью откидных болтов.



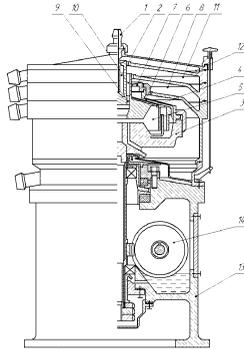
- 1 – патрубок ввода эмульсии; 2 – приемная горловина; 3 – канал ввода эмульсии в сепарационную полость; 4 – сепарационная полость;  
 5 – корпус ротора; 6 – канал вывода тяжелого компонента;  
 7 – регулировочное кольцо; 8 – приемник тяжелого компонента;  
 9,10 – каналы вывода легкого компонента; 11 – приемник легкого компонента; 12 – приемник перелива эмульсии; 13 – приемник слива;  
 14 – винтовая зубчатая передача

Рисунок 2.1 – Центрифуга ЦТБ

Таблица 2.1 – Техническая характеристика

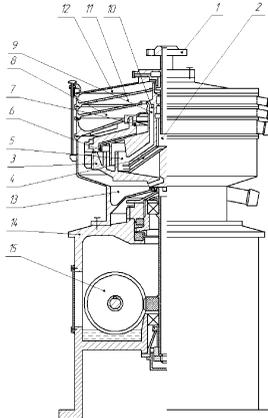
Производительность по продукту, кг/час	800
Скорость вращения ротора, об/мин	3900
Емкость ротора, л	10
Единовременная загрузка ротора продуктом, кг	4
Мощность электродвигателя, кВт	7,5
Масса, кг	650
Габариты, мм	1300×690×1163

На последующих рисунках 2.2 и 2.3 представлены модификации этой конструкции, отличающиеся производительностью и конструкцией некоторых сборочных единиц.



1 – патрубок ввода эмульсии; 2 – приемная горловина; 3 – корпус ротора; 4 – каналы ввода эмульсии; 5 – сепарационная полость; 6 – каналы ввода тяжелого компонента; 7 – регулировочное кольцо; 8 – приемник тяжелого компонента; 9,10 – вывод легкого компонента; 11 – приемник легкого компонента; 12 – приемник перелива эмульсии; 13 – станина; 14 – винтовая зубчатая передача

Рисунок 2.2 – Центрифуга ЦТА-2



1 – патрубок ввода эмульсии; 2 – приемная горловина; 3 – корпус ротора; 4 – каналы ввода эмульсии на сепарацию; 5 – сепарационная полость; 6 – канал вывода тяжелого компонента; 7 – регулировочное кольцо; 8 – приемник тяжелого компонента; 9,10 – каналы вывода легкого компонента; 11 – приемник легкого компонента; 12 – приемник перелива эмульсии; 13 – приемник опорожнения; 14 – станина; 15 – винтовая зубчатая передача

Рисунок 2.3 – Центрифуга ЦТА-2М

### 2.1.1 Технологический расчет центробежного сепаратора

Исходные данные:

1. Требуемая производительность по продукту  $G_n$ , кг/час.

2. Плотность продукта  $\rho_n$ , кг/м<sup>3</sup>.

3. Плотность кислотной фазы  $\rho_m$ , кг/м<sup>3</sup>.

4. Содержание продукта в нитроэмульсии  $\frac{G_n}{G_n} = c_n$ .

5. Содержание продукта в отсепарированной кислоте  $c_k$ . Распределение капель эмульсии по размерам.

6. Объемное отношение фаз в эмульсии  $\frac{Q_m}{Q_n} = \kappa$ .

Задаваясь законом распределения, можно нормальным законом, определяется предельный размер  $d_{np}$  капель, соответствующий заданной конечной концентрации продукта в роторе.

Исходя из того, что производительность сепаратора,  $Q = f \cdot v$

где  $Q$  – объемная производительность, м<sup>3</sup>/с;

$f$  – поверхность сепаратора, м;

$v$  – скорость седиментации, м/с.

$$f = 2\pi R \cdot n,$$

$$v = \frac{d_{np}^2 \cdot \Delta\rho \cdot \omega^2 \cdot R \cdot n}{18 \cdot \mu},$$

где  $R$  – расчетный радиус ротора, м;

$n$  – число проходов эмульсии через лабиринт;

$\Delta\rho$  – разность плотностей фаз эмульсии, кг/м<sup>3</sup>;

$\omega$  – окружная скорость ротора, с<sup>-1</sup>;

$\mu$  – динамическая вязкость, Па·с;

$d_{np}$  – предельный диаметр капель в эмульсии, м.

$$Q = \frac{\pi d_{np}^2 \omega^2 R^2 \Delta\rho}{9\mu}.$$

Считая, что большая часть дисперсной фазы эмульсии выделится в первой четверти высоты ротора, то  $Q$  понимаем  $Q_m$ , а в пересчете на целевой продукт

$$\frac{G_n}{\rho_n} = Q_n = \frac{\kappa \pi h d_{np}^2 \omega^2 R^2 \Delta \rho n}{9 \mu}$$

При сепарировании технических эмульсий  $d_{np}$  можно принимать равным 40 мкм, тогда все величины, характеризующие эмульсию, можно определить:

$$B = \frac{\pi \kappa d_{np}^2 \Delta \rho}{9 \mu},$$

тогда

$$\frac{Q_n}{B} = \omega^2 \cdot R^2 \cdot n \cdot h.$$

Задаваясь размерами ротора, определяем частоту его вращения или принимаем  $\omega \approx 400 \text{ с}^{-1}$ . Варьируя размерами  $R$ ,  $h$  и числом  $n$ , выбираем оптимальные размеры ротора.

Расчет сливных отверстий для отсепарированных фаз ведется по зависимости:

$$R_n = \sqrt{\frac{m r_m^2 - r_n^2}{m - 1}},$$

где  $m = \frac{\rho_m}{\rho_n}$ , а  $r_m$  и  $r_n$ .

Диаметр входного  $2r$  патрубка выбирается из условия, чтобы скорость эмульсии в нем не превышала 2 м/с, а  $r_0 = (r + 0,003 \text{ м})$ .

Величина борта  $r_1 - r_0$  рассчитывается из условия прогона эмульсии  $Q_n + Q_m = Q$  через выбранное из конструктивных соображений количество каналов и их сечение при заданной скорости вращения ротора:

$$r_1 = \sqrt{r_0^2 + \left( \frac{Q}{f_1 \cdot z \cdot \varphi \cdot \omega} \right)^2},$$

где  $\varphi$  – коэффициент расхода;

$z$  – количество каналов;

$f_1$  – сечение канала при условии, что  $r_n > r_1$ .

Расположение перегородок в роторе определяется из условия равенства сечений цилиндрических щелей между ними.

$$R_1 = R_n + (0,015 \div 0,02) \text{ м}.$$

Площадь сечения одной щели в конструкции, рассчитывается по формуле:

$$S = \frac{\pi(R_4^2 - R_1^2)}{3},$$

$$\text{тогда } R_2 = \sqrt{\frac{S + \pi R_1^2}{\pi}};$$

$$R_3 = \sqrt{\frac{S + \pi R_2^2}{\pi}};$$

$$R_4 = \sqrt{\frac{S + \pi R_3^2}{\pi}}.$$

### 2.1.2 Расчет мощности электродвигателя привода сепаратора

Энергетический баланс привода сепаратора складывается из следующих составляющих:

$$N = (N_1 + N_2) \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3,$$

где  $N_1$  – затраты энергии на разгон отсепарированных жидкостей;

$N_2$  – затраты энергии на преодоление аэродинамических сопротивлений ротору;

$\eta_1$  – к.п.д. радиальных подшипников;

$\eta_2$  – к.п.д. конических радиально-упорных подшипников;

$\eta_3$  – к.п.д. зубчатой винтовой передачи.

$$N_1 = \frac{1}{2} (m_m \cdot v_m^2 + m_l \cdot v_l^2),$$

где  $m_m$ ,  $m_l$  – масса тяжелого и легкого компонентов эмульсии, проходящих через ротор, кг/с;

$v_m$ ,  $v_l$  – скорость на выходе из ротора тяжелого и легкого компонента, м/с.

$$N_2 = 8 \cdot R^2 \cdot v_p^3 \cdot \rho_6 \cdot 10^{-6},$$

где  $R$  – радиус ротора на периферии, м;

$v_p$  – окружная скорость периферии ротора, м/с;

$\rho_6$  – плотность воздуха.

Пусковой момент рассчитывается по зависимости:

$$N_n = \frac{J \cdot \omega^2}{2t},$$

где  $J$  – момент инерции ротора;

$t$  – время разгона ротора до рабочей скорости вращения, с.

Время разгона устанавливается массой грузиков – сухарей центробежной муфты, обязательного элемента привода сепаратора.

## 2.2 Центробежные промывные аппараты

Центробежные промывные аппараты применяются для стабилизации нитропродукта, промывки его водой и содовым раствором. За счет высокоскоростного взаимодействия смеси вода – нитропродукт в контактной трубке образуется эмульсия с диаметром частиц порядка  $\sim 10$  мкм. Образованная поверхность раздела обеспечивает массоперенос кислот и растворимых примесей из нитропродукта в воду за короткое время пребывания смеси в контактной трубке. Из контактной трубки образуемая смесь поступает на разделение в сепарационную полость. Таким образом, смесительная и сепарационная полости формируются в блок, реализующий одну ступень промывки. Схема такого блока с указанием движения жидкостей изображены на рисунке 2.4.

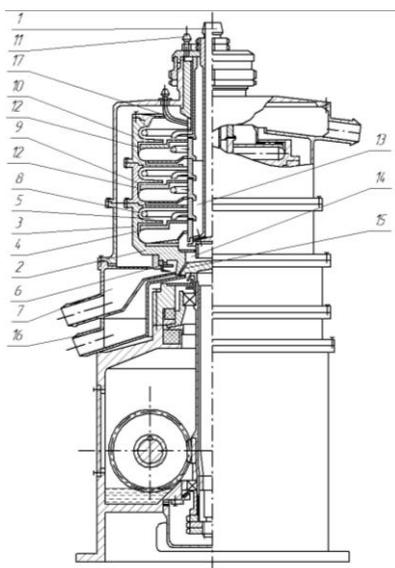
Смесительно-сепарационный блок, собранный воедино, образуют ротор центробежного промывного аппарата (экстрактора) с 3-4 ступенями промывки.

Рабочий процесс в таком роторе идет следующим образом. Продукт в смеси с водой поступает с фазы сепарации в центральную приемную трубу аппарата и перетекает в приемную камеру нижнего первого ротора, по каналам в донной части смесь поступает в сепарационную полость; отсепарированный продукт из периферийной части сепарационной полости по каналам перетекает в смесительную полость. Отсепарированная слабая кислота отбирается трубкой в полость, образуемую царгами, неподвижно закрепленными на кожухе ротора, и по каналам выводится в полость ротора, а затем в приемник.

При раздельном выводе слабых и щелочных вод слабая кислота выводится из сепарационной полости непосредственно в приемник кислых вод, как это показано на чертеже аппарата АПЦ-800. В смесительную полость нижней секции подается содовый раствор по каналам в стенках царг.

Контактная труба, навитая спирально вокруг царги, одним концом входит в смесительную полость первой секции с зазором 1,5-2 мм до ее внутренней поверхности, а другим концом входит в сепарационную полость второй секции. Нитропродукт и подаваемый на смешение содовый раствор в контактной трубке смешиваются и поступают на сепарацию во вторую секцию 3, отсепарированный нитропродукт пере-

текает во вторую смесительную полость, куда подается содовый раствор или теплая вода.



- 1 – труба приема эмульсии; 2 – первый сепаратор; 3 – первая секция ротора; 4 – канал вывода тяжелого компонента из сепаратора; 5 – смесительная полость; 6 – регулировочное кольцо вывода слабой кислоты; 7 – приемник кислых вод; 8 – контактная труба; 9 – вторая секция ротора; 10 – третья секция ротора; 11 – штуцер ввода промывной воды; 12 – канал вывода тяжелого компонента; 13 – сборник щелочных вод; 14 – приемная камера ротора для щелочных вод; 15 – каналы вывода щелочных вод из ротора; 16 – приемник щелочных вод; 17 – труба вывода продукта в смеси с водой

Рисунок 2.4 – АПС-800

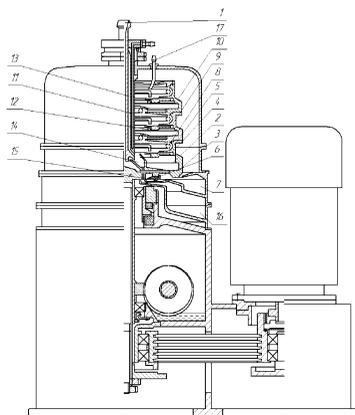
Из последней секции продукт может выводиться в смеси с водой или в чистом виде, как показано на рисунке. В чистом виде продукт выводится в том случае, если дозаторы продукта устанавливаются в той же кабине что и АПС.

Пакет царг собирается на центральной трубе и крепится гайкой с контргайкой, разъемы между царгами уплотняются фторопластовыми

прокладками; между собой царгы ориентируются с помощью штифтов, положение пакета царг в роторе регулируется гайкой с контргайкой на последней царге.

Конструкция секций ротора и их сборка выполняется так, что не имеется ни одного разъема по полости, в которой находилась бы жидкость, что обеспечивает дополнительную безопасность аппарата.

По такому принципу разработаны и эксплуатируются на предприятиях отрасли две модификации промывных аппаратов АПЦ-800 и АПЦ-3 (рисунок 2.5), предназначенных для нитроузлов производительностью 800 и 1600 кг/ч соответственно. При необходимости таких аппаратов на установках производительностью менее 800 кг/ч предусмотрено снижение скорости вращения ротора в аппарате АПЦ-800. Описание конструкции и технические характеристики приведены на чертежах.



- 1 – труба приема эмульсии; 2 – первая сепарационная полость;
- 3 – первая секция ротора; 4 – канал перетока тяжелого компонента;
- 5 – смесительная полость; 6 – регулировочное кольцо; 7 – приемник кислых вод; 8 – контактная труба; 9,10 – вторая и третья секции ротора; 11 – канал ввода промывных жидкостей; 12 – труба отбора легкого компонента; 13 – сборник щелочных вод; 14 – приемник щелочных вод в роторе; 15 – каналы вывода щелочных вод из ротора; 16 – приемник щелочных вод; 17 – труба вывода продукта в смеси с водой

Рисунок 2.5 – АПЦ-3

## 2.2.1 Технологический расчет аппарата

Исходные данные:

1. Вещество подлежащее промывке, и его физические свойства.
2. Вещество, подлежащее удалению в результате промывки, его концентрация и коэффициент распределения в экстрагенте и целевом продукте.
3. Экстрагент, его физические свойства.
4. Производительность по целевому продукту.
5. Рекомендуемый модуль промывки.
6. Конечная концентрация извлекаемого вещества.

Цель расчета – определение размеров смесительной и сепарационной части машины, скорости вращения ротора и количества ступеней (секций) промывки.

### Расчет смесительной части

Из конструктивных соображений с учетом заданной производительности принимается внутренний диаметр смесительной тарели ( $d_{mp}$ ). Сечение трубки, занятое потоком жидкости:

$$S_n = \frac{Q}{v},$$

Рассчитывается длина дуги сегмента контактной трубки, занятого потоком жидкости:

где  $Q$  – расход жидкости,  $m^3/c$ ;

$v$  – скорость периферии тарели диаметром  $d_{mp}$ ,  $m/c$ .

Рассчитывается длина дуги сегмента контактной трубки, занятого потоком жидкости:

$$L = f \left( \frac{S_n}{S_{mp}} \right),$$

где  $S_{mp} = \frac{\pi d_{mp}^2}{4}$ .

Определяется гидравлический радиус потока:

$$R_2 = \frac{S_n}{L}.$$

Рассчитывается вязкость эмульсии:

$$\mu_3 = \mu_c (1 - c)^{0,25},$$

где  $\mu_3$  – вязкость эмульсии,  $Pa \cdot c$ ;

$\mu_c$  – вязкость среды в эмульсии,  $Pa \cdot c$ ;

$c$  – концентрация дисперсной фазы в эмульсии.

Определяется значение критерия Рейнольдса во входной части контактной трубы:

$$\text{Re} = \frac{v \cdot R_c \cdot \rho_3}{\mu_3}.$$

Определяется коэффициент трения:

$$\lambda = \frac{0,324}{(4 \text{Re})^{0,25}}.$$

Рассчитывается величина объемно-поверхностного диаметра капель эмульсии:

$$d_{3,2} = 0,9 \frac{\sigma^{0,6}}{\left( \frac{\lambda \rho_3 v^3}{8 R_c} \right)^{0,4} \cdot \rho_c^{0,2}} (1 + 3c),$$

где  $\sigma$  – поверхностное натяжение на границе раздела продукт-экстрагент, кг/с<sup>2</sup>.

Определяется средняя скорость жидкости в контактной трубе:

$$v_{mp} = \frac{Q}{S_{mp}}.$$

Рассчитывается критерий Рейнольдса в трубе:

$$\text{Re}_m = \frac{v_{mp} d_{mp} \rho}{\mu_3}.$$

Определяется коэффициент трения, при  $\text{Re} > 10000$  по зависимости:

$$\lambda = \frac{0,316}{\text{Re}^{0,2}}.$$

Рассчитывается диссипативный член:

$$\varepsilon = \frac{\lambda_{mp} \rho_3 v_{mp}^3}{2 d_{mp}}$$

Рассчитываются по известной формуле Уилки и Чанга\* коэффициенты диффузии в дисперсной среде ( $D_c$ ) и дисперсной фазе ( $D_o$ ). (Для азотной кислоты в воде  $D_c = 2,62 \cdot 10^{-9}$  м<sup>2</sup>/с, для азотной кислоты в нитропродукте  $D_o = 0,86 \cdot 10^{-10}$  м<sup>2</sup>/с.).

Определяется скорость капли эмульсии в сплошной среде:

$$v_k = \left( \frac{\varepsilon \cdot d_{3,2}}{\rho_c} \right)^{1/3}.$$

Определяется коэффициент массопередачи:

$$\beta = 1,13 \sqrt{\frac{v_k \Delta c}{d_{3,2}}}.$$

Рассчитывается время пребывания в трубе:

$$\tau = \frac{l_{mp}}{v_{mp}}.$$

Рассчитываются критерии Фурье и Био:

$$Fo = \frac{4 \Delta c \cdot \tau}{d_{3,2}^2}, \quad Bi = \frac{\beta \cdot d_{3,2}}{\psi \Delta c},$$

$$\psi = \frac{C_d}{C_c^*},$$

где  $C_c^*$  – равновесная концентрация в сплошной среде.

По номограмме определяется эффективность ступени переноса

$$A = \frac{C_{d_0} - \langle C_d \rangle}{C_{d_0}},$$

где  $C_{d_0}$ ,  $\langle C_d \rangle$  – концентрации начальная и текущая извлекаемого вещества в дисперсной фазе.

В случае приемлемого значения эффективности ступени переноса определяются необходимое количество ступеней промывки.

Если значение  $A$  недостаточно и количество требуемых ступеней промывки превышает три, расчет повторяется с другими гидравлическими параметрами.

### **Расчет сепарационной части ротора**

Высота ротора определяется по зависимости:

$$h = \frac{9Q_n \cdot \mu_c}{\pi R^2 \omega^2 d_{3,2}^2 \Delta \rho},$$

где  $R$  – радиус расположения входных отверстий эмульсии в сепарационную

полость, обычно принимается  $R = \left( \frac{d_p}{2} - 0,05 \right)$  м.

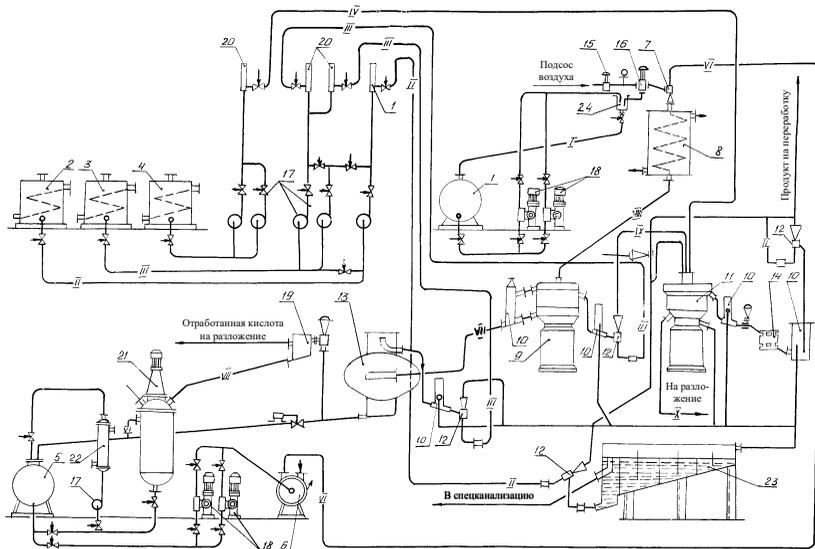
Положение сливных отверстий определяется зависимостью:

$$R = \sqrt{\frac{mr_n^2 - r_s^2}{m-1}}, \quad m = \frac{\rho_n}{\rho_s}.$$

где  $r_n$  и  $r_s$  – расположение сливных отверстий для выхода из ротора продукта и экстрагента.

Задаваясь одним из значений, чаще всего рассчитывается значение  $r_n$ .

Рассмотренное оборудование четвертого поколения явилось основой для создания современной алтайской технологии производства нитроэфиров представленной на рисунке 2.6.



I – спирты; II – теплая вода; III – холодная вода; IV – содовый раствор; V – свежая нитросмесь; VI – рабочая нитросмесь; VII – крепкая отработанная кислота; VIII – эмульсия продукта в крепкой отработанной кислоте; IX – эмульсия продукта в воде; X – слабая отработанная кислота

1 – расходный бак спиртов; 2, 3 – емкости для промывных вод теплой и холодной; 4 – бак для промывной жидкости, содового раствора; 5 – расходная емкость нитросмеси; 6 – холодильник нитросмеси; 7 – инжектор-нитратор; 8 – холодильник нитроэмульсии; 9 – сепаратор центробежный; 10 – емкость отсепарированного нитроэфира; 11 – аппарат промывной центробежный; 12 – инжектор транспортирующий; 13 – сепаратор контрольный гравитационный; 14 – дозатор нитропродукта; 15 – клапан для дистанционного регулирования разрежения в инжекторе; 16 – клапан регулируемого расхода спирта на нитрацию; 17 – насос; 18 – насосы-дозаторы; 19 – коробка распределителя отработанных кислот; 20 – бачки вспомогательные рабочих жидкостей; 21 – смеситель кислот; 22 – теплообменник; 23 – ловушка-лабиринт для отработанных вод; 24 – расходный бачок спирта

Рисунок 2.6 – Технологическая схема производства нитроэфиров с оборудованием 4-го поколения

## ГЛАВА 3 КРИСТАЛЛИЗАТОРЫ

### 3.1 Кристаллизаторы расплава

#### 3.1.1 Барабан чешуирования

Барабан чешуирования, состоит из двух опорных стоек 1 и 2, на которые в подшипниках 3 и 4 установлен вал 5 барабана 6. Вращение вала осуществляется от гидродвигателя 7 через цилиндрический редуктор 8, промежуточный вал 9 и червячный редуктор 10. На валу установлен цилиндрический барабан с полированной наружной поверхностью. Эта поверхность охлаждается холодной водой, поступающей по полуму валу в 2-х секционный змеевиковый теплообменник, изготовленный из сваренных между собой по спирали и внутренней поверхностью барабана уголкового профилем.

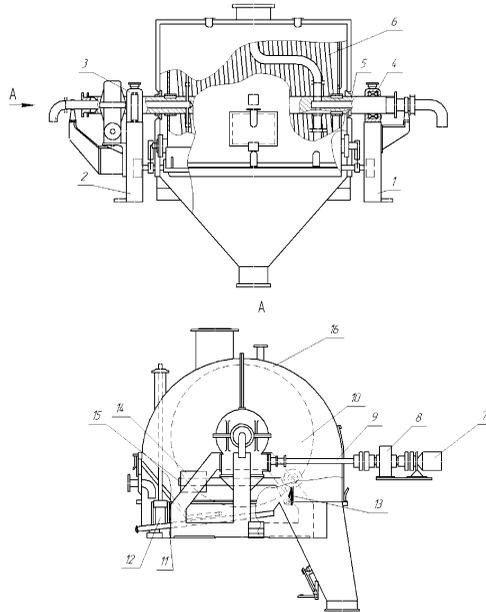
Съем затвердевшей корки продукта производится ножом 13, прижимаемым к внешней поверхности барабана грузами 14, установленными на рычагах 15. Барабан закрыт разъемным кожухом 16, внизу переходящим в течку 17. С торцевых поверхностей закристаллизовавшийся продукт снимается устройствами, показанными на выноске I.

Процесс кристаллизации осуществляется следующим образом. Расплав, подлежащий кристаллизации, по штуцеру Г поступает в обогреваемый поддон 11, с помощью буйкового уровнемера уровень расплава в поддоне поддерживается постоянным. При вращении барабана наружная его поверхность проходит через расплав и по ней формируется корка продукта, а поверхностью корки увлекается часть расплава, который кристаллизуется и охлаждается при движении поверхности барабана вне расплава; примерная толщина слоя закристаллизовавшегося продукта составляет 0,3...0,5 мм. Он снимается ножом 13, причем из-за низкой прочности закристаллизовавшийся слой ломается на чешуйки размером 3...5 мм с некоторой долей пылевой фракции.

В кожухе предусмотрен патрубок вытяжной вентиляционной коммуникации и два штуцера для установки дренчерных головок.

Таблица 3.1 – Техническая характеристика

Диаметр барабана, мм	1400
Длина барабана, мм	1700
Производительность, кг/час	2500
Толщина слоя продукта, мм	0,3-0,5
Поверхность охлаждения, м <sup>2</sup>	7,5
Частота вращения барабана, об/мин	10
Мощность привода, кВт	7



1, 2 – опорные стойки; 3, 4 – подшипники; 5 – вал; 6 – барабан; 7 – гидродвигатель; 8 – цилиндрический редуктор; 9 – промежуточный вал; 10 – червячный редуктор; 11 – поддон; 12 – поплавок; 13 – нож; 14 – груз; 15 – рычаг; 16 – кожух; 17 – течка

Рисунок 3.1 – Барабан чешуирования

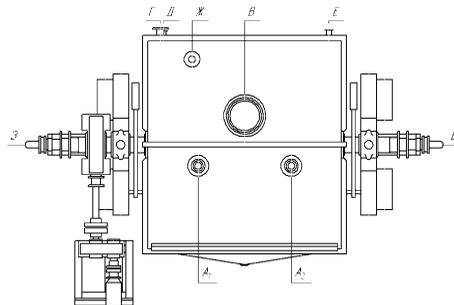


Рисунок 3.2 – Барабан чешуирования (вид сверху)

Таблица 3.2 – Штуцеров

Обозначение	Ду, мм	Назначение	Количество	Р <sub>у</sub> , МПа
А	50	Дренчерная головка	2	-
Б	25	Выход воды	1	0,7
В	300	Вентиляционный патрубков	1	0,7
Г	65	Вход продукта	1	-
Д	25	Выход конденсата	1	0,7
Е	25	Вход пара	1	0,7
Ж	100	Патрубок под поплавков	1	-
З	25	Вход воды	1	0,7

### Расчет производительности

Производительность барабанного кристаллизатора определяется прежде всего толщиной слоя закристаллизовавшегося продукта на боковой поверхности барабана:

$$\delta_{\Sigma} = \delta + \delta_{ж},$$

где  $\delta_{\Sigma}$  – толщина слоя, м;

$\delta$  – толщина слоя, образующаяся при прохождении поверхности барабана через расплав, м;

$\delta_{ж}$  – толщина слоя, образовавшаяся за счет уноса расплава коркой закристаллизовавшегося продукта, м.

При практическом равенстве плотностей расплава и кристаллического продукта  $\rho_{ж} \approx \rho_{к}$  производительность барабана определяется зависимостью:

$$G = 120 \cdot \pi \cdot R \cdot b \cdot \rho_{к} \cdot n \cdot (\delta + \delta_{ж}),$$

где  $R$  – радиус барабана, м;

$b$  – ширина барабана, м;

$\rho_{к}$  – плотность кристаллического продукта, кг/м<sup>3</sup>;

$n$  – частота вращения барабана, об/мин.

Из анализа теплового баланса и условий теплопередачи системы расплав – слой кристаллического продукта – твердая стенка – хладагент получены следующие выражения для расчета толщины слоя кристаллического продукта на поверхности барабана:

$$\delta = \sqrt{\frac{B\varphi_1}{60 \cdot \pi \cdot a(A+D)} + b^2} - b,$$

$$\delta_{жс} = \sqrt{\frac{B\varphi_2}{60 \cdot \pi \cdot a(A+B)} + (\delta + b)^2} - (\delta - b),$$

где  $B = a \cdot \lambda_k (t_k - t_c)$ ;

$$A = L_k \cdot \rho_k;$$

$$b = a \cdot \lambda_k \left( \frac{1}{\alpha_c} + \frac{\delta_{cm}}{\lambda_{cm}} \right).$$

где  $L_k$  – теплота кристаллизации, кДж/кг;

$\lambda_k$  – коэффициент теплопроводности кристаллической фазы, Вт/(м·°C);

$t_k$  – температура кристаллизации, °C;

$t_c$  – температура поверхности барабана, °C;

$a$  – показатель параболы распределения температуры по толщине кристаллического слоя;

$\alpha_c$  – коэффициент теплопроводности от охлаждаемой стенки к хладагенту Вт/(м·°C);

$\varphi_1$  – угол сектора от общей линии поверхности барабана и поверхности расплава с вертикалью, рад;

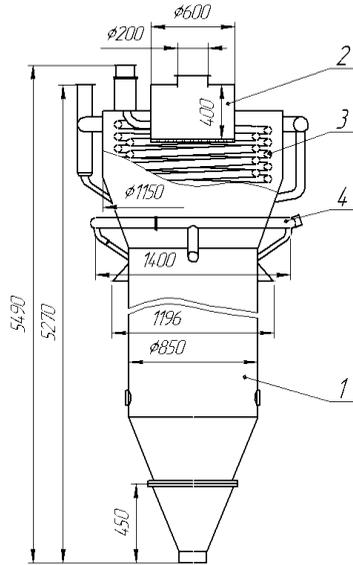
$\varphi_2$  – угол сектора от входа поверхности барабана в расплав до съёмного ножа, рад.

### 3.1.2 Гранулятор

Гранулятор представляет собой цилиндроконическую сварную емкость – колонну 1, в верхней части которой расположена корзина 2 с перфорированным днищем (диаметр отверстий 1...1,5 мм), в верхней же части колонны установлены змеевики для поддержания температуры в верхних слоях жидкости выше температуры кристаллизации. Холодная вода подается в колонну через трубопровод 4. К донной части крепится уравнивательная труба, обеспечивающая постоянный уровень жидкости в колонне и непрерывный вывод гранул продукта.

Гранулообразование происходит при струйном истечении расплава из отверстий в днище корзины в водную среду. При движении струи расплава в теплой воде она распадается на капли, которые и кристаллизуются в холодной части колонны с образованием гранул диаметром 3...5 мм. Гранулы с помощью эрлифта или струйного устройства выводятся через уравнивательную трубу из колонны на

вибросито, где отделяется вода, уходящая на градирни, а гранулы – на сушку в сушилку с кипящим слоем.



1 – колонна; 2 – корзина; 3 – змеевик; 4 – трубопровод

Рисунок 3.3 – Гранулятор

### Расчет гранулятора

Производительность гранулятора определяется по зависимости:

$$G = \frac{\pi}{4} \cdot \psi \cdot \kappa \cdot d \cdot \rho_{жс} \cdot \sqrt{2g \cdot (\Delta H \rho_{жс} + h \Delta \rho)},$$

где  $\psi$  – коэффициент истечения (0,7...0,5);

$\kappa$  – количество отверстий в днище корзины;

$d$  – диаметр отверстий, м;

$\rho_{жс}$  – плотность расплава, кг/м<sup>3</sup>;

$\Delta H$  – разница между уровнем расплава в корзине  $H$  и глубиной погружения корзины  $h$  в охлаждаемую жидкость;

$\Delta \rho$  – разность плотностей расплава и охлаждаемой жидкости, кг/м<sup>3</sup>.

Полное время кристаллизации гранул рассчитывается по зависимости:

$$\tau = \frac{L_k \cdot \rho_k \cdot r_z^2}{6\lambda_k (t_k - t_{cp})},$$

где  $L_k$  – теплота кристаллизации, кДж/кг;

$\rho_k$  – плотность кристаллического продукта, кг/м<sup>3</sup>;

$r_z$  – радиус гранулы, м;

$\lambda_k$  – коэффициент теплопроводности в кристаллизуемой грануле, Вт/(м·°C);

$t_k$  – температура кристаллизации, °C;

$t_{cp}$  – температура охлаждаемой среды, °C.

Необходимая высота колонны:

$$H_k = (v_k + v_{ox})\tau,$$

где  $v_k = \frac{2}{9} \cdot \frac{r_z^2 \cdot g \cdot \Delta\rho}{\mu}$  – скорость седиментации гранулы в охлаждающей жидкости, м/с;

$v_{ox} = \frac{4 \cdot G_{ox}}{\pi D^2 \cdot \rho}$  – скорость движения охлаждаемой жидкости вдоль оси колонны, м/с;

$\mu$  – вязкость охлаждающей жидкости, Па·с;

$G_{ox}$  – расход охлаждающей жидкости, кг/с;

$D$  – внутренний диаметр колонны, м;

$\rho$  – плотность охлаждающей жидкости, кг/м<sup>3</sup>;

$g$  – ускорение земного притяжения, м/с<sup>2</sup>.

Таблица 3.3 – Техническая характеристика

	Корпус	Корзина
Полный объем, м <sup>3</sup>	2,75	0,112
Рабочий объем, м <sup>3</sup>	2,7	0,042
Давление	гидростатическое	–
Температура, °C	30–100	80–100
Поверхность теплообмена, м <sup>2</sup>	5	–
Давление пара в змеевике, МПа	3	–
Количество отверстий в корзине	–	980
Материал	сталь 08X18Г8Н2Т	сталь 08X18Г8Н2Т
Масса, кг	900	

### 3.2 Ванна сушильная

Ванна предназначена для сушки расплавленного продукта перед кристаллизацией. Сушка производится при движении расплава по лабиринту за счет нагрева водяным паром, подаваемым в змеевики, уложенные в 3 ряда по высоте аппарата. Причем расплав барбатируется сжатым воздухом. На выходе из аппарата расплав проходит зону охлаждения и поступает на чешуирование.

Таблица 3.4 – Техническая характеристика

Емкость рабочая, м <sup>3</sup>	1,0
Температура в корпусе, °С	до 120
Давление в змеевике, МПа	0,3
Поверхность нагрева, м <sup>2</sup>	9
Поверхность охлаждения, м <sup>2</sup>	1,9
Среда	взрывоопасная, токсичная

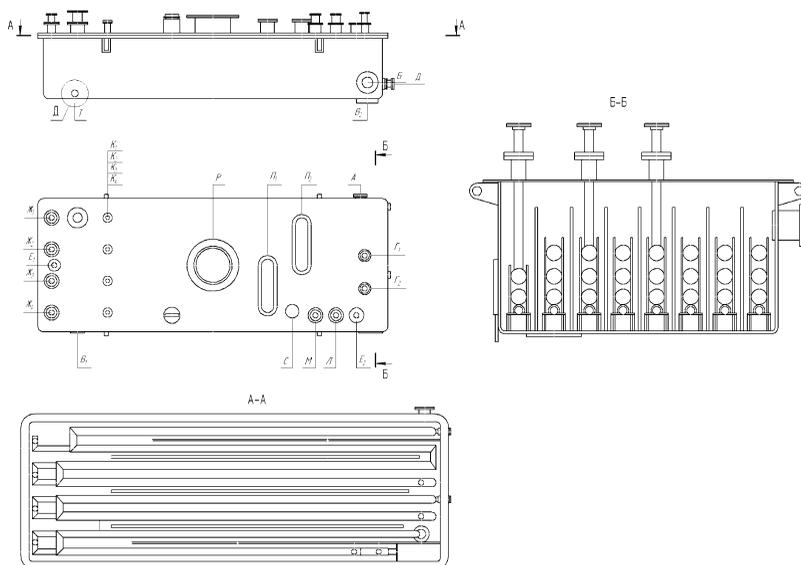


Рисунок 3.4 – Ванна сушильная

Таблица 3.5 – Штуцеров

Обозначение	Ду, мм	Назначение
А <sub>1</sub>	80	Вход продукта
Б <sub>1</sub>	80	Выход продукта
В <sub>1</sub>	80	Опорожнение
Г <sub>1</sub>	25	Вход пара в подогреватель
Д <sub>1</sub>	25	Выход конденсата
Е <sub>1</sub>	32	Термометр сопротивления
Ж <sub>1</sub>	50/32	Вход воздуха в барбатер
И <sub>1</sub>		Уровнемер
К <sub>1</sub>	25	Вход воды для аварийного орошения
Л <sub>1</sub>	40/25	Вход воды в змеевик
М <sub>1</sub>	40/25	Выход воды из змеевика
П <sub>1</sub>		Люк выхлопной
Р <sub>1</sub>	300	Воздушник
С <sub>1</sub>	40	Запасной
Т <sub>1</sub>	50	Промывка

### 3.3 Кристаллизаторы растворов

В процессе производства ряда кристаллических веществ с высокой температурой плавления, как правило, близкой к температуре разложения, выделение твердой фазы из технологических растворов происходит посредством изогидрической кристаллизации, когда пересыщение в растворе создается за счет охлаждения без изменения количества растворителя или посредством изотермической кристаллизации, когда пересыщение создается за счет удаления части растворителя при определенной температуре. Последняя применяется, в основном, при перекристаллизации с использованием растворителя с низкой температурой кипения, например ацетона.

Процесс кристаллизации происходит в две стадии: стадии зарождения кристаллов гомогенного (самопроизвольного) или гетерогенного (с использованием затравки) и стадии роста кристаллов за счет диффузии молекул растворенного вещества на поверхность зародыша. Процессы эти сложны и плохо поддаются доступному для инженерных расчетов описанию. Поэтому проектирование кристаллизаторов возможно только при наличии результатов испытания лабораторных кристаллизаторов.

По принципу действия кристаллизаторы бывают периодического и непрерывного действия. Специфика производств отрасли пока не сделала доступным применение кристаллизаторов непрерывного дей-

ствия. Кристаллизаторы периодического действия – это, как правило, аппараты емкостного типа, имеющие механические мешалки, развитую теплообменную поверхность, устройства для наполнения компонентами и опорожнения аппарата. Вопросы производительности кристаллизаторов решаются их емкостью или количеством аппаратов. На приведенных чертежах представлена одна из конструкций кристаллизатора, применяемого в отрасли. Конструкция его проста и описания не требует.

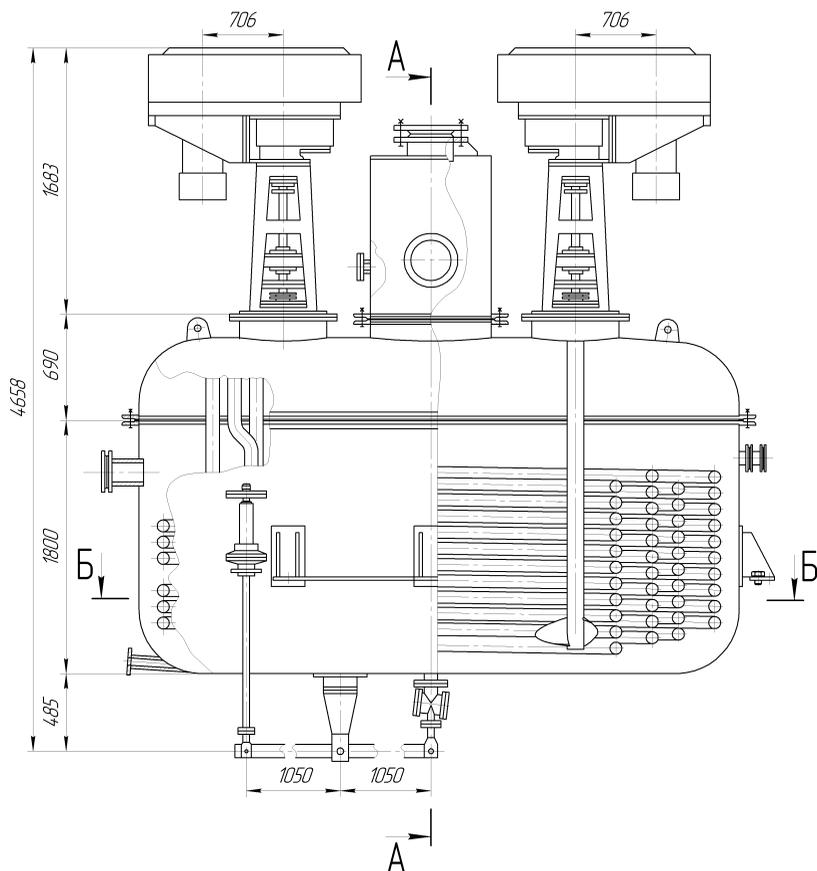
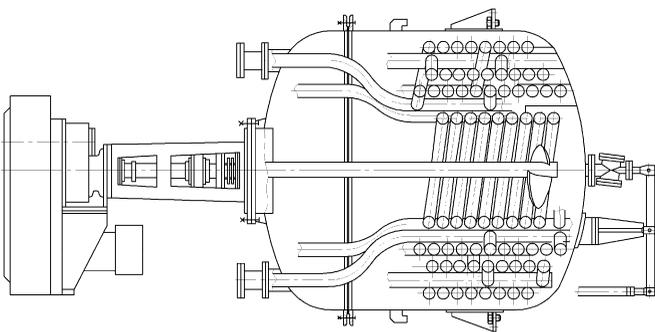


Рисунок 3.5 – Кристаллизатор (главный вид)

*A-A*

*вытяжной кораб условно не показан*



*Б-Б*

*мешалки и штуцера условно не показаны*

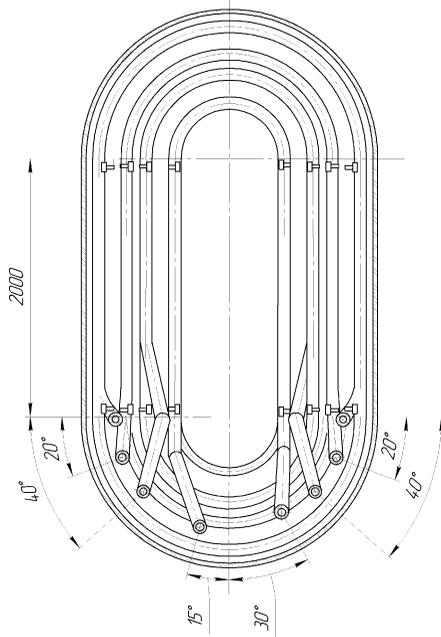


Рисунок 3.6 – Кристаллизатор (разрезы А-А, Б-Б)

Таблица 3.6 – Техническая характеристика

	Корпус	Змеевик
Объем полный, л	11900	1385
Объем рабочий, л	7000	1385
Давление, МПа	разрежение 10–50 мм.в.ст.	0,3
Температура, °С	до 80	-
Теплоноситель		вода
Общая длина змеевика, м		280
Поверхность теплообмена, м <sup>2</sup>		67
Среда	взрывоопасная, токсичная	нейтральная
Частота вращения мешалок, об/мин	160	-
Минимальный перемешиваемый объем, л	2650	-
Ход штока сливного клапана, мм	40	-
Электродвигатель:		
мощность, кВт	7,5	-
частота вращения вала, об/мин	720	-

### 3.4 Фильтры

В производствах кристаллических веществ для разделения суспензий применяются фильтры периодического действия типа вакуум – воронки и непрерывного действия типа барабанного вакуумного фильтра.

В том и другом аппарате разделение суспензий происходит с помощью пористой перегородки в качестве которой применяются фильтровальные ткани хлорвиниловая или хлопчатобумажная в зависимости от агрессивности фильтрующей среды.

#### 3.4.1 Вакуум – воронки

На чертеже приведена конструкция вакуумной воронки с рабочим объемом около 1,2 м<sup>3</sup>, рассчитанные на вакуум порядка 80 %. На воронках выполняются операции фильтрования, промывки осадка с подачей на барботаж сжатого воздуха и инжектирование осадка на последующую переработку. Конструкция воронок достаточно проста и не требует дополнительных пояснений.

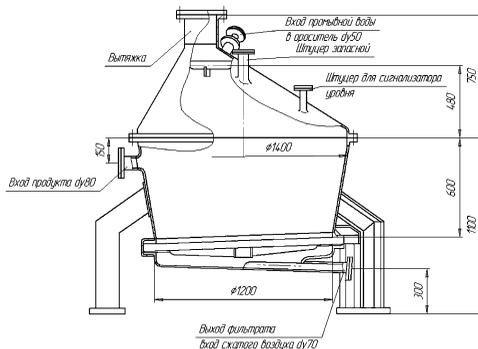


Рисунок 3.7 – Вакуум – воронка

### Расчет производительности

Производительность фильтра определяется количеством фильтрата  $V$ , прошедшего через  $1 \text{ м}^2$  фильтрующей поверхности при постоянном перепаде давления ( $\Delta P = \text{const}$ ) за время  $\tau$  и описывается уравнением:

$$V^2 + 2V \cdot C = K\tau,$$

где  $C$  – константа фильтрования, характеризующая гидравлическое сопротивление фильтрующей перегородки,  $\text{м}^3/\text{м}^2$ ;

$K$  – константа фильтрования, учитывающая режим процесса фильтрования и физико-химические свойства осадка и фильтруемой жидкости,  $\text{м}^2/\text{с}$ ;

$\tau$  – продолжительность фильтрования, с.

Расчет производительности фильтра возможен после испытаний в лабораторных условиях фильтрующего элемента при фильтровании реальной суспензии.

Так например, при перепаде давлений  $\Delta P$  равном установленному для производственного фильтра, за время  $\tau_1$  было собрано  $V_1$  фильтрата в пересчете с  $1 \text{ м}^2$ , а за время  $\tau_2$  было собрано  $V_2$ , причем  $V_2 > V_1$ .

Для расчета констант  $K$  и  $C$  на основе уравнения фильтрования  $V^2 + 2V \cdot C = K\tau$  составим два уравнения с двумя неизвестными:

$$V_1^2 + 2V_1 \cdot C = K\tau_1$$

$$V_2^2 + 2V_2 \cdot C = K\tau_2$$

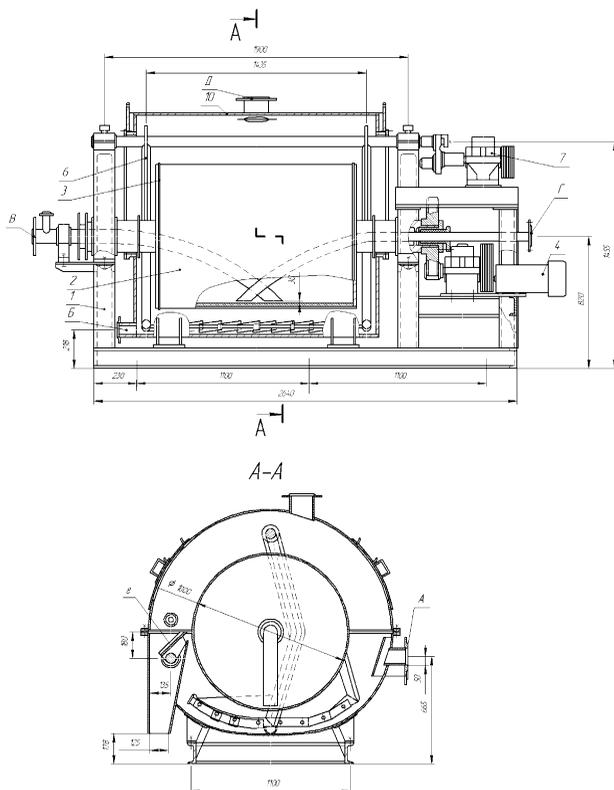
Решая эти уравнения находим:

$$C = \frac{V_1^2 \tau_2 - V_2^2 \tau_1}{2(V_2 \tau_1 - V_1 \tau_2)},$$
$$K = \frac{V_1}{\tau_1} \left( V_1 + \frac{V_1 \tau^2 - V_1 \tau_1}{V_2 \tau_1 - V_1 \tau_2} \right).$$

Зная константы  $K$  и  $C$ , решаем уравнение фильтрования при заданной величине  $\tau$ , например, 1 час, мы получим производительность по фильтрату с 1 м<sup>2</sup> фильтра, а зная концентрацию суспензии, определим и производительность фильтра по твердому осадку.

### 3.4.2 Барабанный вакуум – фильтр

Фильтр такого типа устроен следующим образом: на сваренной из швеллеров раме 1 на опорах скольжения устанавливается цилиндрический барабан 2 с перфорированной боковой поверхностью, на которую с помощью проволочных колец 3 крепится фильтрующее полотно. Барабан приводится во вращение от электродвигателя 4 через клиноременную и зубчатую передачу. В верхней части рамы в опорах 5 установлена качающаяся мешалка 6, имеющая привод 7. Для съема осадка предназначен нож 8, имеющий механизм поворота и фиксации 9. Барабан заключен в кожух 10, выполненный заодно с поддоном для приема суспензии. Процесс разделения суспензии на таком фильтре осуществляем следующим образом. Суспензия поступает по штуцеру А в поддон, качающаяся мешалка препятствует осаждению твердой фазы. Через штуцер В и неподвижную трубу, оканчивающуюся этим штуцером, внутренняя полость барабана соединена с вакуумной системой, и по этой же трубе производится удаление фильтрата. На внешней поверхности барабана образуется слой осадка, который после выхода из суспензии, находящейся в поддоне, за счет просасывания атмосферного воздуха подсушивается и снимается ножом 8, причем съем производится не всего слоя, оставшаяся часть осадка служит дополнительным фильтрующим слоем, частично препятствующим забивке пор фильтрующей ткани мелкой фракцией суспензии. Периодически этот слой обновляется поворотом ножа до упора. Поддон в конце процесса опорожняется через штуцер Б, внутренняя полость промывается подачей воды через штуцер Г. Полость аппарата, ограниченная кожухом, вентилируется через штуцер Д.



- 1 – рама; 2 – цилиндрический барабан; 3 – кольца;  
 4 – электродвигатель; 5 – опора; 6 – качающаяся мешалка; 7 – привод;  
 8 – нож; 9 – механизм фиксации; 10 – кожух

Рисунок 3.7 – Барабанный вакуум – фильтр

Таблица 3.7 – Техническая характеристика

Поверхность фильтра, м <sup>2</sup>	4
Диаметр барабана, мм	1000
Длина барабана, мм	1300
Частота вращения барабана, об/мин	1,6
Частота двойных качаний мешалки, ход/мин	25
Мощность двигателей:	
привода барабана, кВт	2,2
привода мешалки, кВт	1,05

### Расчет производительности

Исходные данные:

Производительность по суспензии, м <sup>3</sup> /час	$V_0$
Концентрация суспензии, %	$x$
Конечная влажность осадка, %	$W$
Разрежение в вакуумной системе, МПа	$\Delta P$
Плотность суспензии, кг/м <sup>3</sup>	$\rho$
Плотность фильтрата, кг/м <sup>3</sup>	$\rho_0$

На лабораторном барабанном вакуум – фильтре, имеющем разрежение  $\Delta P_1$ , требуемая влажность осадка достигается за  $\tau$  секунд. При этом константы фильтрования будут  $K_1$  и  $C$ . Для производственного фильтра константа  $K$ , пропорционально зависящая от перепада давления, будет равна:

$$K = K_1 \frac{\Delta P}{\Delta P_1}.$$

Производительность зоны фильтрования при времени фильтрования  $\tau$ :

$$V^2 + 2V \cdot C = K\tau$$

$$V = -C + \sqrt{C^2 + K\tau}$$

следовательно, удельная производительность за время  $\tau$ :

$$V_1 = \frac{V}{\tau}.$$

При влажности осадка  $W$  массовое соотношение влажного и сухого осадка:

$$m = \frac{1}{1-W}.$$

Массовая доля твердой фазы в суспензии  $x$ .

Расход суспензии  $G_c = V_0 \cdot \rho$ .

Масса влажного осадка  $G_{oc} = G_c \cdot x \cdot m$ .

Масса фильтрата  $G_\phi = G_c - G_{oc}$ .

При плотности фильтрата  $\rho_0$  его объемный расход состоит:

$$V = \frac{G_\phi}{\rho_0}.$$

Необходимая поверхность фильтра в зоне фильтрования составит:

$$F_{\phi} = \frac{V}{V_1}.$$

Обычно в барабанных вакуум – фильтрах поверхность зоны фильтрования составляет 35 % от общей поверхности, тогда общая поверхность составит:

$$F = \frac{F_{\phi}}{0,35}.$$

По величине  $F$  подбирается фильтр по каталогу или рассчитываются геометрические размеры барабана при проектировании оригинального фильтра. Частота вращения из условия обеспечения необходимого времени фильтрования  $\tau$  определится по зависимости:

$$n = \frac{60 \cdot 0,35}{\tau}.$$

## ГЛАВА 4 СМЕСИТЕЛИ

### 4.1 Смесители для сыпучих материалов

Смесители для сыпучих материалов отличаются формой корпуса и конструкцией перемешивающего устройства.

Смеситель планетарно-шнековый ПШ-1 периодического действия предназначен для смешения и усреднения партий сыпучих материалов с размером частиц не более 5 мм и насыпной плотностью не более 1300 кг/м<sup>3</sup>. Смеситель представляет собой смесительную камеру конической формы (рисунок 4.1). Внутри камеры вдоль образующей конуса консольно установлен шнек, который верхним концом с помощью муфты соединен с валом водила.

Таблица 4.1 – Техническая характеристика смесителя ПШ-1

Объем смесительной камеры, м<sup>3</sup>:

номинальный

1

рабочий

0,63

Коэффициент заполнения смесительной камеры

0,5–0,8

Рабочее давление, МПа (кгс/см<sup>2</sup>), не более:

в смесительной камере

0,002 (0,02)

в пневмосистеме

0,4–1 (4–10)

Рабочая температура в смесительной камере, °С

от 0 до +45

Тип электродвигателя:

привода шнека

АИМ90L4

привода водила

B71B4

Мощность электродвигателя, кВт:

привода шнека

2,2

привода водила

0,75

Частота вращения, с<sup>-1</sup> (об/мин):

шнека

2 (120)

водила

0,061(3,663)

Габаритные размеры, мм

1800×1530×2940

Масса без автоматики, кг, не более:

общая

1060–1100

в том числе коррозионно-стойкой стали

610



Привод шнека смонтирован на крышке смесительной камеры. Вращение шнека вокруг собственной оси осуществляется от привода, состоящего из мотор-редуктора или электродвигателя и редуктора, а вращение водила – от мотор-редуктора через муфту и червячную передачу. Материал загружают через штуцера, расположенные на крышке. Выгрузка продукта производится через разгрузочный клапан, приводимый в действие пневмоцилиндрами.

Смесители комплектуются электрооборудованием во взрывозащищенном исполнении, предназначены для установки во взрывоопасных помещениях зоны класса В-Ia по ПУЭ-86.

Смеситель-деагрегатор лопастной ДЛ-1000 (рисунок 4.2) периодического действия предназначен для смешения сыпучих материалов, а также сыпучих с небольшим количеством жидких компонентов с одновременным разрушением агломератов, образующихся в процессе смешения в момент добавки жидких компонентов, при условии, что готовая смесь остается сыпучей (угол естественного откоса не более 45° при насыпной плотности смеси не более 690 кг/м<sup>3</sup>).

Таблица 4.2 – Техническая характеристика смесителя ДЛ-1000

Объем смесительной камеры, м <sup>3</sup> :	
- номинальный	1,25
- рабочий	1
Рабочее давление, МПа (кгс/см <sup>2</sup> ):	
- в смесительной камере	0,002 (0,02)
- в рубашке	0,6 (6)
- в пневмосистеме	0,4–0,6 (4–6)
Рабочая температура в смесительной камере и рубашке, °С	от –20 до +160
Площадь поверхности теплообмена, м <sup>2</sup>	4,6
Частота вращения, с <sup>-1</sup> (об/мин):	
- ротора	1,3 (78)
- вала деагрегирующей головки	25 (1500)
Привод ротора:	
- тип редуктора	Ц2У-315Н-16-12
- тип электродвигателя	4АМ200L4 или АИМР200L4
- мощность, кВт	55
- частота вращения, с <sup>-1</sup> (об/мин)	25 (1500)
Привод деагрегирующей головки:	
- тип электродвигателя	4А100L4 или 2В100L4
- мощность, кВт	4

Продолжение таблицы 4.2

- частота вращения,  $c^{-1}$  (об/мин)

25 (1500)

Привод разгрузочного затвора

пневмоцилиндр 1412-  
100×0200

Габаритные размеры, мм, не более:

- длина

3440 или 3480

- ширина

1855

- высота

2930

Масса, кг, не более:

-общая

3345–3663

- в том числе коррозионно-стойкой стали

828

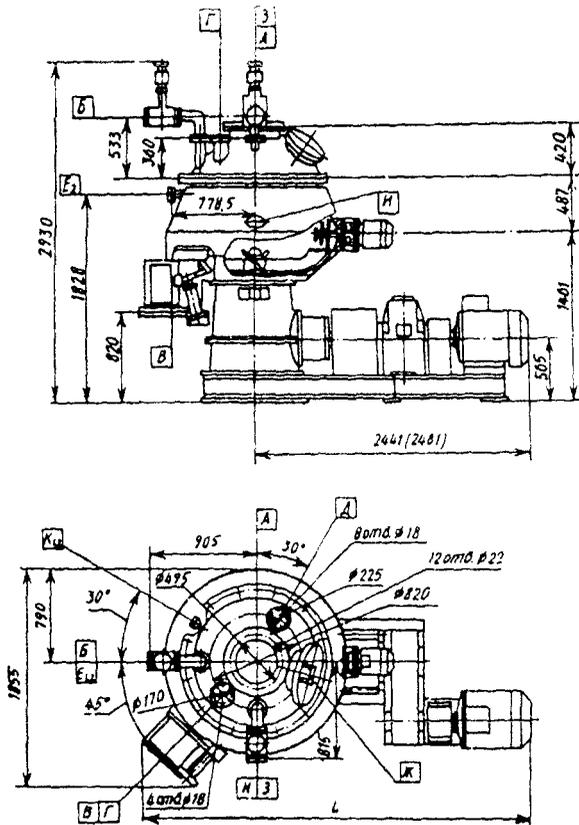


Рисунок 4.2 – Смеситель-дезагрегатор лопастной ДЛ-1000

Таблица 4.3 – Таблица штуцеров смесителя ДЛ-1000

Обозначение	Назначение	Количество	Условный проход $D_y$ , мм	Условное давление $P_y$ , МПа (кгс/см <sup>2</sup> )
<i>A</i>	Загрузка сухих компонентов	1	300	0,6 (6)
<i>B</i>	Загрузка жидких компонентов	1	50	0,6 (6)
<i>B</i>	Выгрузка готового продукта	1	250	0,1 (1)
<i>Г</i>	Отвод воды (подвод пара)	1	100	0,1 (1)
<i>Д*</i>	Резервный	1	150	0,25 (2,5)
<i>E<sub>1</sub></i>	Подвод воды (подвод пара)	1	40	0,6 (6)
<i>E<sub>2</sub></i>	Отвод воды (подвод пара)	1	40	0,6 (6)
<i>Ж</i>	Люк	1	325×400	0,1 (1)
<i>З</i>	Сброс давления	1	50	0,6 (6)
<i>И</i>	Для замера температуры	1	M20×1,5	–
<i>K<sub>1,2</sub></i>	Для слива конденсата	2	M16×1,5	0,6 (6)

\* Для смесителей исполнений ВРУ и ВРК – разрывная мембрана

Смеситель ДЛ-1000 может применяться для приготовления жидкотекучих паст вязкостью до 50 Па·с ( $5 \cdot 10^4$  сП). Смеситель состоит (рисунок 4.2) из коническо-цилиндрического корпуса с эллиптическим днищем и рубашкой для обогрева или охлаждения приготавливаемой смеси. На крышке корпуса расположены технологические штуцера. В нижней части корпуса расположен разгрузочный затвор (поворотный клапан). Ротор и дезагрегирующая головка имеют индивидуальные приводы. Рабочие органы смесителя – ротор в виде четырехлопастной мешалки с углом наклона лопастей к горизонтальной плоскости 30° и дезагрегирующая головка, установленная перпендикулярно образующей цилиндра корпуса и представляющая собой вал с набором плоских лопаток. Смесители, комплектуемые электрооборудованием во взрывозащищенном исполнении, предназначены для установки во взрывоопасных и пожароопасных помещениях зоны классов В-Ia и П-I. Смеситель оборудован системой автоматики.

Смесители фрезерно-лопастные периодического действия пред-

назначены для приготовления смесей сыпучих материалов насыпной плотностью не более  $2000 \text{ кг/м}^3$  и пастообразных жидкотекучих материалов динамической вязкостью от 10 до 200 Па·с (от  $10^4$  до  $2 \cdot 10^5$  сП), не требующих разрушения агломератов и диспергирования; для приготовления пастообразных жидкотекучих смесей динамической вязкостью от 10 до 200 Па·с (от  $10^4$  до  $2 \cdot 10^5$  сП) с разрушением агломератов и частичным диспергированием.

На рисунке 4.3 представлен фрезерно-лопастной смеситель марки ФЛ-0,01. Корпус смесителя, представляющий собой вертикальную цилиндрическую емкость с эллиптическим днищем и рубашкой, снабжен затвором для выгрузки готовой смеси. На внутренней стенке корпуса закреплен направляющий отбойник. На крышке корпуса расположены технологические штуцера. Рабочий элемент представляет собой полую гильзу, на которой в зависимости от назначения смесителя закреплены две спиральные лопатки или зубчатый диск. Для сыпучих и жидкотекучих смесей, не требующих разрушения агломератов и диспергирования, применяется лопастной диск. Для жидкотекучих смесей, требующих разрушения агломератов и частичного диспергирования, устанавливается зубчатый диск.

Таблица 4.4 – Таблица штуцеров смесителя ФЛ-0,01

Обозначение	Назначение	Количество	Условный проход $D_y$ , мм	Условное давление $P_y$ , МПа (кгс/см <sup>2</sup> )
<i>A</i>	Загрузка материала	1	50	0,1 (1)
<i>B</i>	Загрузка материала	1	10	0,1 (1)
<i>B</i>	Выгрузка продукта	1	50	0,1 (1)
<i>Г</i>	Для предохранительной мембраны	1	50	0,1 (1)
<i>Д</i>	Резервный	1	10	0,1 (1)
<i>E</i>	Подвод инертного газа	1	10	10 (100)
<i>Ж</i>	Для вакуумирования	1	10	10 (100)
<i>З</i> <sub>1,2</sub>	Для тягонапоромера	2	4	–
<i>И</i> <sub>1,2</sub>	Подвод (отвод) теплоносителя	2	10	10 (100)
<i>К</i>	Для термопары	1	M20×1,5	–

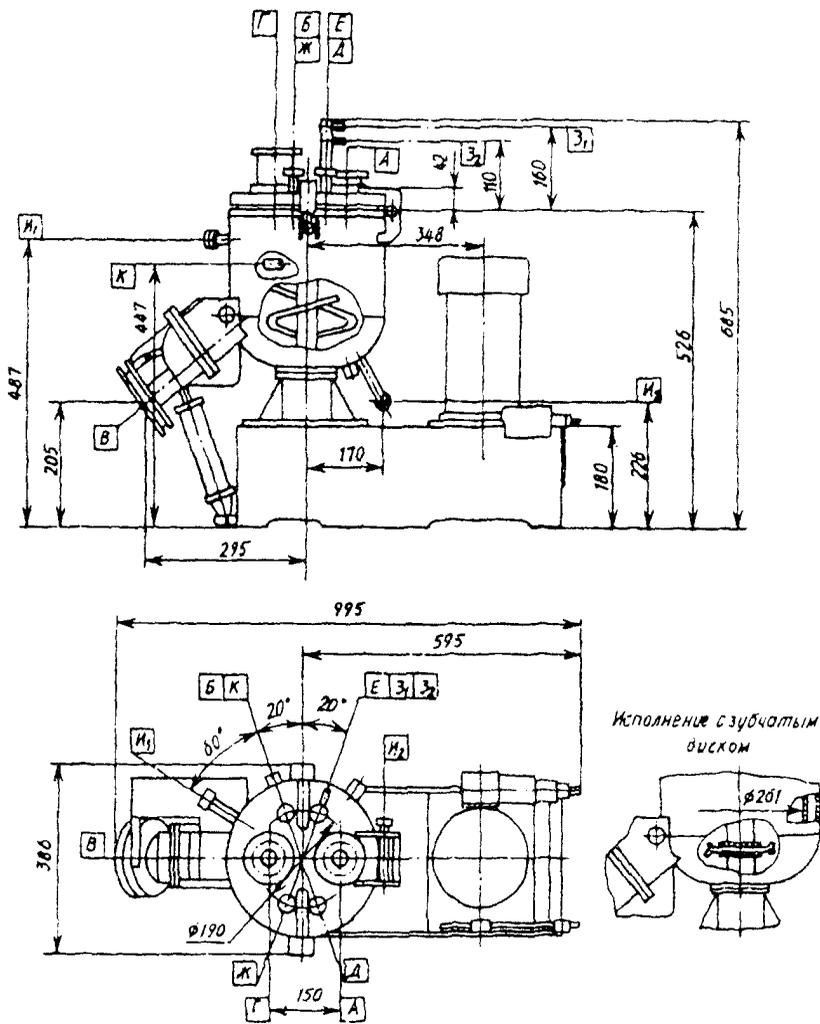


Рисунок 4.3 – Смеситель фрезерно-лопастной ФЛ-0,01

Таблица 4.5 – Техническая характеристика смесителя ФЛ-0,01

Объем смесительной камеры, м <sup>3</sup> :	
- номинальный	0,01
- рабочий	0,008
Рабочее давление, МПа (кгс/см <sup>2</sup> ):	
- в смесительной камере	0,01(0,1)
- в рубашке	0,6 (6)
- в пневмоцилиндре	0,4–0,6 (4–6)
Рабочая температура в смесительной	
- камере и рубашке, °С	от –20 до +130
Частота вращения ротора, с <sup>-1</sup> (об/мин):	
- для исполнений 24У-01 и 24К-01	8,3 (500)
- для исполнений 24У-02 и 24К-02	40 (2400)
Привод ротора:	
- электродвигатель:	
- тип	В80В4
- мощность, кВт	1,5
- частота вращения, с <sup>-1</sup> (об/мин)	25 (1500)
- передаточное число поликлиновой передачи:	
- для исполнений 24У-01 и 24К-01	3
- для исполнений 24У-02 и 24К-02	0,6
Привод разгрузочного клапана	Пневмоцилиндр 1412-050×0063
Габаритные размеры, мм	995×386×685
Масса, кг, не более:	
- общая	145 или 148
- в том числе коррозионно-стойкой стали	48

Смесители барабанные двухконусные предназначены для сухого смешения (усреднения) измельченной шихты карбидов вольфрама, шихты ангидрида или других твердосплавных смесей насыпной плотностью не более 3000 кг/м<sup>3</sup> с целью получения однородной (гомогенной) партии. Смеситель представляет собой корпус с двумя коническими днищами с углом при вершине 90°, соединенными между собой цилиндрической обечайкой. Корпус снабжен цапфами, которые установлены в подшипниках скольжения, закреплены на стойках и соединены с редуктором посредством муфты. На быстроходном валу редуктора закреплен шкив ременной передачи, связанный с основным и вспомогательными приводами. Основной привод (электродвигатель и клиноременная передача) предназначен для вращения корпуса смесителя в процессе смешения. Вспомогательный привод (мотор-редуктор и клиноре-

менная передача) служит для установки корпуса в вертикальном положении при загрузке материала и выгрузке продукта. Для ускорения остановки корпуса смесителя предусмотрена электромагнитная тормозная муфта, смонтированная на быстроходном валу редуктора. На рисунке 4.4 представлен барабанный смеситель БК-1,6 24К-01.

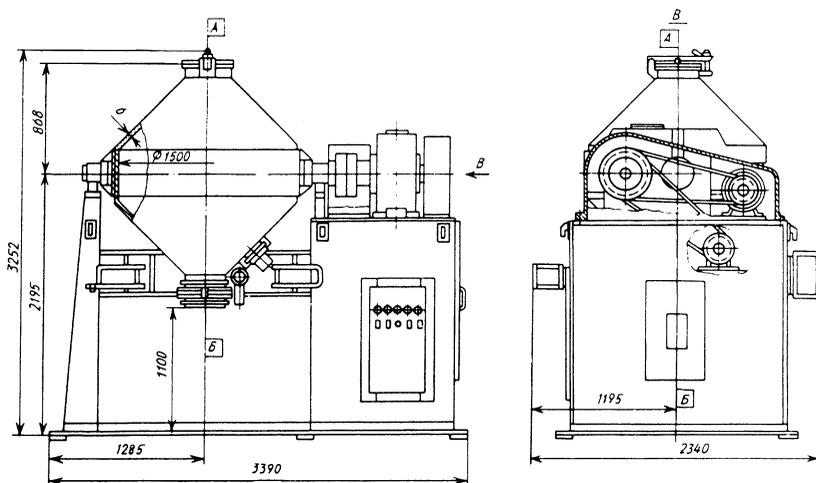


Рисунок 4.4 – Смеситель барабанный БК-1,6 24К-01

Таблица 4.6 – Таблица штуцеров БК-1,6 24К-01

Обозначение	Назначение	Количество	Условный проход $D_y$ , мм	Условное давление $P_y$ , МПа (кгс/см <sup>2</sup> )
<i>A</i>	Загрузка материала	1	400	Атмосферное
<i>Б</i>	Выгрузка продукта	1	200	Атмосферное

В верхней части корпуса расположен загрузочный люк (он же используется для осмотров), в нижней части – патрубок для выгрузки, герметично закрываемый дисковым поворотным затвором типовой конструкции с ручным управлением, и вибратор, подключаемый во время разгрузки смесителя для полного его освобождения от продукта.

Вращающиеся узлы и детали оснащены ограждениями. Смесители комплектуются электродвигателями в обычном исполнении, предназначены для установки в невзрыво- и непожароопасном помещении. Среда в смесительной камере – нетоксичная, невзрыво- и непожароопасная, абразивная.

Таблица 4.7 – Техническая характеристика смесителя БК-1,6 24К-01

Объём смесительной камеры, м <sup>3</sup> :	
- номинальный	1,6
- рабочий, не более	0,63
Производительность (при насыпной плотности 3000 кг/м <sup>3</sup> ), м <sup>3</sup> /ч, не менее	1
Рабочее давление, МПа (кгс/см <sup>2</sup> ):	
- в смесительной камере	атмосферное
- в пневмоцилиндрах, не более	0,6 (6)
Рабочая температура, °С	от 10 до 30
Частота вращения корпуса смесителя, с <sup>-1</sup> (об/мин):	
- от основного привода	0,34 (20,5)
- от вспомогательного привода	0,016 (0,96)
Привод:	
- основной электродвигатель:	
- тип	4А160S4
- мощность, кВт	15
- частота вращения, с <sup>-1</sup> (об/мин)	25 (1500)
- вспомогательный – мотор-редуктор:	
- тип	МЦ2С-63-71Ц
- мощность, кВт	0,75
- частота вращения, с <sup>-1</sup> (об/мин)	1,18 (71)
Тип редуктора (общий для основного и вспомогательного приводов)	Ц2У-315Н-40-32Ц
Габаритные размеры, мм	3390×2340×325 2
Масса, кг, не более:	
- общая	2850
- в том числе коррозионно-стойкой стали	351

Смесители плужные предназначены для смешения сыпучих материалов насыпной плотностью до 2500 кг/м<sup>3</sup>, а также сыпучих с небольшим количеством жидких компонентов с одновременным разрушением агломератов, образующихся в процессе смешивания, при условии, что готовая смесь остается сыпучей. На рисунке 4.5 представлен плужный смеситель типа Пж-250.

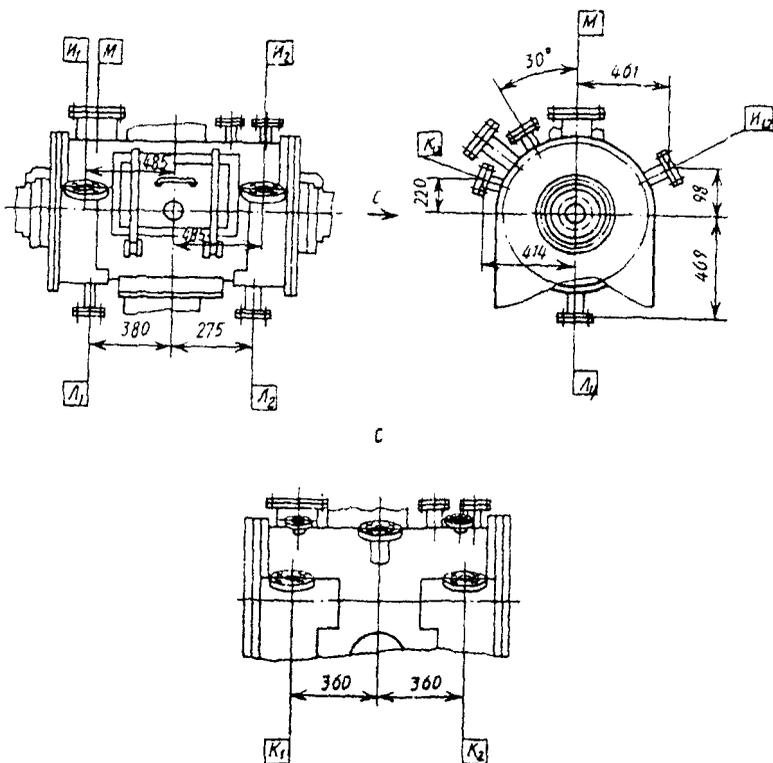


Рисунок 4.5 – Смеситель плужный типа Пж-250

Таблица 4.8 – Таблица штуцеров смесителя Пж-250

Обозначение	Назначение	Количество	Условный проход $D_y$ , мм	Условное давление $P_y$ , МПа (кгс/см <sup>2</sup> )
$I_{1,2}$	Подвод воды, раствора, пара	2	25	0,6 (6)
$K_{1,2}$	Отвод воды, раствора, подвод пара	2	25	0,6 (6)
$L_{1,2}$	Отвод конденсата	2	25	0,6 (6)
$M$	Для предохранительной мембраны	1	80	0,25 (2,5)

Смесительная камера представляет собой горизонтальный цилиндрический корпус, закрытый плоскими торцовыми стенками, опи-

рающимися на фундамент. Внутри корпуса смонтирован ротор с лемехообразными лопастями, а в нижней части его боковой поверхности – ножевая головка, служащая для дополнительного смешивания продукта и разрушения агломератов.

Таблица 4.9 – Техническая характеристика смесителя Пж-250

Объём смесительной камеры, м <sup>3</sup> :	
- номинальный	0,4
- рабочий, не более	0,25
Площадь поверхности теплообмена, м <sup>2</sup>	0,95
Рабочее давление, МПа (кгс/см <sup>2</sup> ):	
- в смесительной камере, не более	0,002 (0,02)
- в рубашке, не более	0,06 (0,6)
Рабочая температура, °С	от -20 до +160
Частота вращения ротора, с <sup>-1</sup> (об/мин):	
- ротора	1,66 (100)
- ножевой головки	25 (1500)
Привод ротора:	
- электродвигатель:	
- тип	4А200М6 или АИМР200М6
- мощность, кВт	22
- частота вращения, с <sup>-1</sup> (об/мин)	16,6 (1000)
- тип редуктора	Ц2У-250-10-11, i = 10
Привод ножевой головки:	
- электродвигатель:	
- тип	4А112М4 или 2В112М4
- мощность, кВт	5,5
- частота вращения, с <sup>-1</sup> (об/мин)	25 (1500)
Привод загрузочного и разгрузочного затворов	пневмоцилиндры 1412-100×200
Габаритные размеры, мм:	
- длина	3200
- ширина В	1300 или 1420
- высота	1780
Масса, кг, не более:	
- общая	от 1975 до 2118
- в том числе коррозионно-стойкой стали	630

Привод ротора осуществляется от электродвигателя через редуктор; привод ножевых головок – непосредственно от электродвигателей; привод загрузочного и разгрузочного затворов – от пневмоцилиндра. В смесителях предусмотрены штуцера для сброса давления при загрузке компонентов. Смесители, комплектуемые электрооборудованием во взрывозащищенном исполнении, предназначены для установки во взрывоопасных помещениях зоны класса В-Ia. Среда в смесительной камере – взрывоопасная категории ПА, группы Т4 по ГОСТ 12.1.011–78, вредная, 3 и 4-го классов опасности по ГОСТ 12.1.007–76, коррозионная.

Смеситель непрерывного действия центробежный предназначен для смешения сыпучих компонентов насыпной плотностью не более 1500 кг/м<sup>3</sup>, а также сыпучих с небольшим количеством жидких компонентов при условии получения готового продукта в виде сыпучей смеси. На рисунке 4.6 представлен центробежный смеситель типа НДЦ-25 ВБК-01.

Таблица 4.10 – Техническая характеристика смесителя НДЦ-25 ВБК-01

Номинальный объем смесительной камеры, м <sup>3</sup>	0,025
Производительность (при насыпной плотности смешиваемого материала 700 кг/м <sup>3</sup> ), кг/ч, не менее	1500
Рабочее давление, МПа (кгс/см <sup>2</sup> ), не более	0,002 (0,02)
Рабочая температура, °С, не более	60
Частота вращения, с <sup>-1</sup> (об/мин):	
- ротора	5 (300)
- шнека	25 (1500)
Привод ротора:	
- основной – электродвигатель:	
- тип электродвигателя	В80В6
- мощность, кВт	1,1
- частота вращения, с <sup>-1</sup> (об/мин)	16,6 (1000)
Привод шнека:	
- тип электродвигателя	В71А4
- мощность, кВт	0,55
- частота вращения, с <sup>-1</sup> (об/мин)	25 (1500)
Габаритные размеры, мм	1155×520×1210
Масса, кг, не более:	
- общая	310
- в том числе коррозионностойкой стали	65

Смеситель состоит из корпуса с крышкой, ротора, питающей тарели, разгрузочной лопасти и неподвижного направляющего конуса. Ротор имеет форму полого усеченного конуса, закрепленного на вертикальном валу вершиной вниз. Внутри ротора параллельно его образующей и в непосредственной близости от стенки установлен шнек. Ротор и шнек приводятся во вращение с помощью индивидуальных приводов.

Исходные компоненты через загрузочный штуцер в крышке корпуса подаются на питающую тарель, с которой под действием центробежных сил сбрасываются на стенки направляющего конуса и поступают в нижнюю часть ротора.

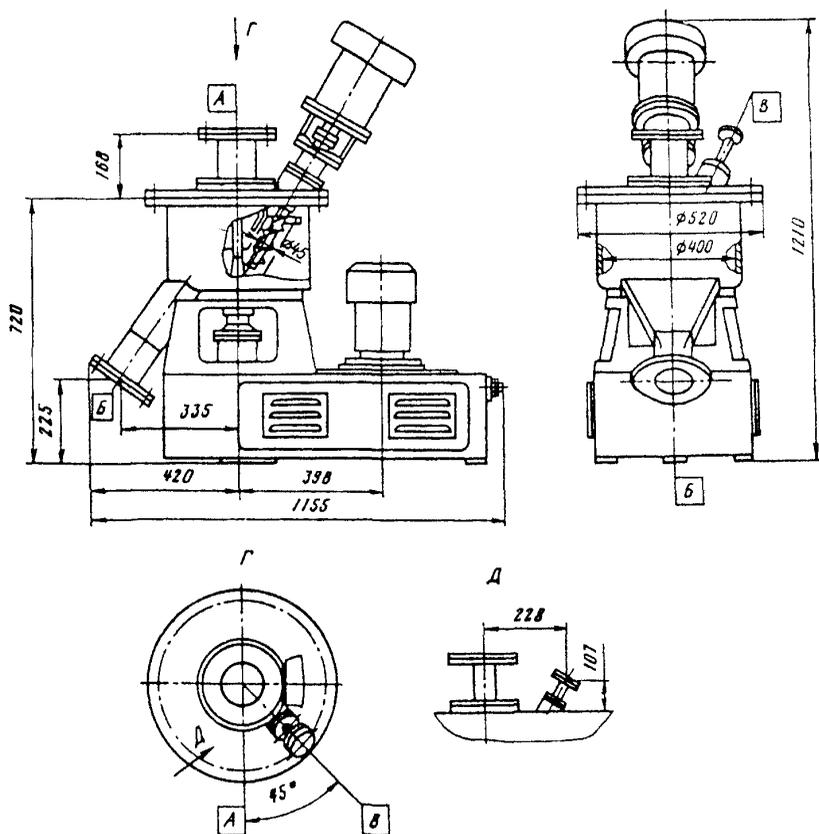


Рисунок 4.6 – Смеситель центробежный НДЦ-25 ВБК-01

Таблица 4.11 – Таблица штуцеров НДЦ-25 ВБК-01

Обозначение	Назначение	Количество	Условный проход $D_y$ , мм	Условное давление $P_y$ , МПа (кгс/см <sup>2</sup> )
<i>A</i>	Загрузка компонентов	1	100	0,6 (6)
<i>B</i>	Выгрузка продукта	1	100	0,6 (6)
<i>B</i>	Загрузка жидкого компонента	1	15	0,4 (4)

Далее под действием центробежных сил компоненты, перемещаясь вверх по конической поверхности ротора и подвергаясь воздействию шнека, смешиваются. Направление движения шнека должно быть обратным направлению движения массы по конической поверхности ротора, вследствие чего часть материала возвращается шнеком в нижнюю часть ротора. Благодаря такой циркуляции обеспечивается высокое качество перемешивания. Готовая смесь сбрасывается с ротора в корпус, после чего разгрузочная лопасть выгружает его из смесителя.

Смеситель устанавливают в помещениях зоны класса В-Па по ПУЭ-86. Среда в смесителе – коррозионная, категории ПА, группы Т4 по ГОСТ 12.1.011–78.

#### 4.2 Смесители для пастообразных материалов

Смесители периодического действия с Z-образными лопастями предназначены для приготовления липких пастообразных смесей динамической вязкостью от 200 до  $10^5$  Па·с (от  $2 \cdot 10^5$  до  $10^8$  сП). Смеситель представляет собой смесительную камеру корытообразной формы с рубашкой для нагрева или охлаждения смеси. Внутри смесительной камеры размещены два ротора с Z-образными лопастями, которые имеют различную частоту и направление вращения.

Смесительная камера может опрокидываться под определенным углом относительно оси одного из роторов. Опрокидывание производится с помощью червячного, винтового или гидравлического механизма (в зависимости от типоразмера смесителя). Крышка смесительной камеры, прикрепленная к корпусу шарнирно, уравновешена противовесом. Привод роторов от мотор-редуктора через – цепную передачу или от электродвигателя и редуктора через муфту. Все узлы смонтированы на станине, устанавливаемой на фундаменте. У смеси-

телей рабочим объемом 0,4 и 0,63 м<sup>3</sup> станина изготовлена из двух частей. Обогрев смесительной камеры осуществляется паром или с помощью электронагревателей. Загрузка материала в смесительную камеру производится при открытой крышке или через штуцера и люки, расположенные на крышке; выгрузка продукта – опрокидыванием корпуса.

Смесители, комплектуемые электрооборудованием во взрывозащищенном исполнении, предназначены для установки в помещениях зоны класса В-Ia по ПУЭ-86. На рисунке 4.7 представлен смеситель с Z-образными лопастями ЗЛ-10-01.

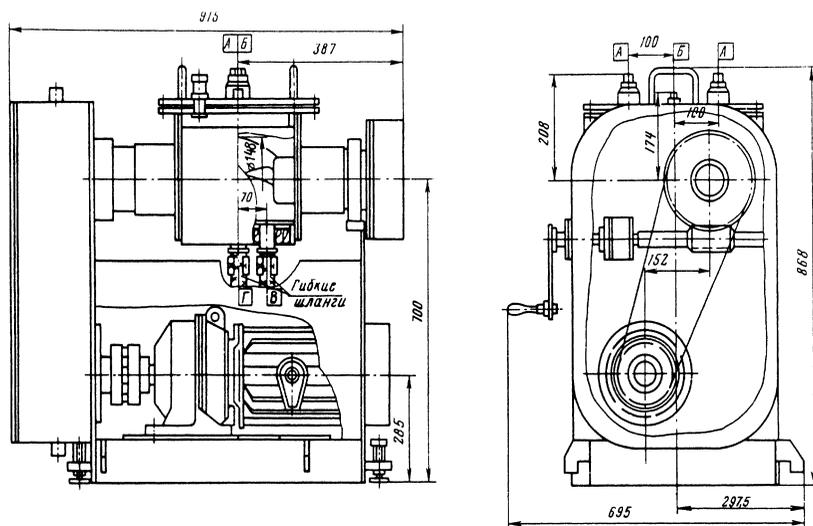


Рисунок 4.7 – Смеситель с Z-образными лопастями ЗЛ-10-01

Таблица 4.12 – Таблица штуцеров смесителя ЗЛ-10-01

Обозначение	Назначение	Количество	Условный проход $D_y$ , мм	Условное давление $P_y$ , МПа (кгс/см <sup>2</sup> )
А	Технологический	2	M20×1,5	Атмосферное
Б	Технологический	1	M12×1,25	Атмосферное
В	Подвод теплоносителя	1	10	0,6 (6)
Г	Отвод теплоносителя	1	10	0,6 (6)

Таблица 4.13 – Техническая характеристика смесителя ЗЛ-10-01

Объём смесительной камеры, м <sup>3</sup> :	
- номинальный	0,014
- рабочий	0,01
Площадь поверхности теплообмена, м <sup>2</sup>	0,15
Рабочее давление, МПа (кгс/см <sup>2</sup> ), не более:	
- в смесительной камере	0,01 (0,1)
- в рубашке	0,6 (6)
Рабочая температура, °С	от –20 до +160
Частота вращения ротора, с <sup>-1</sup> (об/мин):	
- быстроходного	0,53 (32)
- тихоходного	0,31 (19)
Угол опрокидывания смесительной камеры, град	110±5
Мотор-редуктор:	
- тип	МПО2М-10Щ-28,2-1,5/50-4АМХ80В4 или МПО2М-10Щ-28,2-2,2/50-2В90L4
- мощность, кВт	1,5 или 2,2
- частота вращения электродвигателя, с <sup>-1</sup> (об/мин)	25 (1500)
Габаритные размеры, мм	915×695×868
Масса, кг, не более:	
- общая	400–420
- в том числе коррозионно-стойкой стали	109

Смесители периодического действия с Z-образными лопастями и разгрузочным шнеком предназначены для приготовления нелипких пастообразных смесей динамической вязкостью от 200 до 10<sup>5</sup> Па·с (от 2·10<sup>5</sup> до 10<sup>8</sup> сП).

Смеситель ЗШ-2000 НРУ преимущественно применяется для приготовления смесей различных фракций углеродистых материалов со связующим. В смесителе ЗШ-1000-01 предусмотрена возможность сушки смеси под вакуумом на пониженных частотах вращения лопастей с целью сохранения структуры материала.

Смесители представляют собой смесительную камеру корытообразной формы с рубашкой для нагрева или охлаждения смеси. Внутри смесительной камеры размещены два ротора с Z-образными лопастями

и шнек. Шнек установлен в углублении, расположенном в нижней части смесительной камеры вдоль её продольной оси. Роторы имеют различные частоту и направление вращения. Привод в действие роторов и шнека производится от двух независимых приводов, установленных на раме; роторов – от электродвигателя через редуктор, муфты и зубчатую передачу; шнека – от электродвигателя через редуктор, муфты и зубчатую (или цепную для смесителя ЗШ-4 13К-01, см. рисунок 4.8) передачу. В смесителе ЗШ-1000-01 для вакуумной сушки установлены две специальные коробки передач, предназначенные для снижения частоты вращения роторов и шнека.

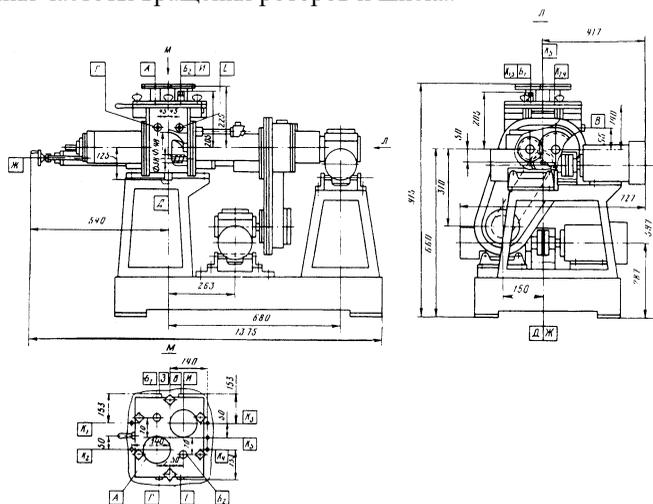


Рисунок 4.8 – Смеситель с Z-образными лопастями ЗШ-4 13К-01

Таблица 4.14 – Таблица штуцеров ЗШ-4 13К-01

Обозначение	Назначение	Количество	Условный проход $D_y$ , мм	Условное давление $P_y$ , МПа (кгс/см <sup>2</sup> )
1	2	3	4	5
A	Загрузка сухих компонентов	1	32	0,6 (6)
B <sub>1,2</sub>	Загрузка жидких компонентов	2	G 1/2-В	Атмосферное
B	Спуск воздуха	1	G 3/8-В	0,6 (6)
Г	Отвод теплоносителя	1	G 3/8-В	0,6 (6)
Д	Отвод конденсата	1	G 3/8-В	0,6 (6)

1	2	3	4	5
<i>E</i>	Подвод теплоносителя	1	G 3/8-B	0,6 (6)
<i>Ж</i>	Выгрузка продукта	1	40	Атмосферное
<i>З</i>	Установка манометра	1	M20×1,5	–
<i>И</i>	Установка мембраны	1	32	0,6 (6)
<i>K</i> <sub>1-5</sub>	Подвод уплотняющей жидкости к сальникам	5	M10×1	–

Материал загружают в смесительную камеру через штуцера и люки, расположенные на крышке. Выгрузка продукта – шнеком. Смесители, комплектуемые электрооборудованием во взрывозащищенном исполнении, предназначены для установки в помещениях зоны класса В-Iа. Смеситель ЗШ-2000 НРУ устанавливают в помещении не взрыво- и не пожароопасного класса.

Таблица 4.15 – Техническая характеристика смесителя ЗШ-4 13К-01

Объем смесительной камеры, м <sup>3</sup> :	
- номинальный	0,006
- рабочий	0,004
Площадь поверхности теплообмена, м <sup>2</sup>	0,12
Рабочее давление, МПа (кгс/см <sup>2</sup> ), не более:	
- в смесительной камере	0,01 (0,1)
- в рубашке	0,6 (6)
Рабочая температура, °С	от –20 до +160
Частота вращения, с <sup>-1</sup> (об/мин):	
- быстроходного ротора	1,33 (80)
- тихоходного ротора	0,83 (50)
- шнека	1,33 (80)
Привод роторов:	
- электродвигатель:	
- тип	B71B4
- мощность, кВт	0,75
- частота вращения, с <sup>-1</sup> (об/мин)	25 (1500)
- тип редуктора	2Ч-63-20-52-1-2
Привод шнека:	
- тип электродвигателя	B71A4
- мощность, кВт	0,55
- частота вращения, с <sup>-1</sup> (об/мин)	25 (1500)
Габаритные размеры, мм	1375×727×915
Масса, кг, не более:	
- общая	370

- в том числе коррозионно-стойкой стали	52,3
---	------

Среда в смесительной камере для смесителей исполнения 13У, 13К, ВРУ и ВРК – взрывоопасная, категории А, группы Т4 по ГОСТ 12.1.011–78.

Смесительная машина СНД-1000А предназначена для смешения порошкообразных компонентов с вязким связующим и одновременно нагнетания полученной тестообразной массы в прессформу или камеру. Вязкость перерабатываемых составов при температурах от 20 °С до 70 °С составляет от 2000 до 6000 Па·с (от  $2 \cdot 10^6$  до  $6 \cdot 10^6$  сП). Возможность использования машины для переработки масс, содержащих высокочувствительные или агрессивные компоненты должна быть подтверждена тщательной предварительной проверкой. Смесительная машина состоит из предварительного смесителя, вакуумной камеры, вакуумного смесителя, приводов мешалок и приводов шнеков.

Таблица 4.16 – Техническая характеристика смесителя СНД-1000А

Объём смесительной камеры, м <sup>3</sup> :	
- номинальный	0,7
- рабочий	0,6
Площадь поверхности теплообмена, м <sup>2</sup>	
Рабочее давление, МПа (кгс/см <sup>2</sup> ), не более:	
- в смесительной камере	0,0013 (0,013)
- в рубашке	0,15 (1,5)
Рабочая температура, °С	от 10 до +80
Частота вращения, с <sup>-1</sup> (об/мин):	
- правой мешалки	0,41 (24,4)
- левой мешалки	0,31 (18,7)
- шнека	0,15 (9)
Привод мешалок:	
- электродвигатель:	
- мощность, кВт	20
- частота вращения, с <sup>-1</sup> (об/мин)	16,3 (980)
Привод шнека:	
- электродвигатель:	
- мощность, кВт	15
- частота вращения, с <sup>-1</sup> (об/мин)	12 (720)
Габаритные размеры, мм	9800×3800×3735
Масса, кг, не более:	
- общая	26400

Предварительный смеситель состоит из станины, каретки со шнеком и корпуса с мешалками. Корпус сварной с отъемными боковинами. В кронштейнах боковых стенок установлены опоры мешалок. Валы мешалок снабжены уплотнениями. В нижней части корпуса имеется продольное окно, соединяющееся с цилиндрическим каналом, в котором располагается нарезная часть шнека. Шнек снабжен торцевым уплотнением, препятствующим вытеканию массы. Станина имеет плоские направляющие, по которым перемещается каретка, в опорах которой установлен шнек. На корпусе предварительного смесителя установлен бункер с крышкой. В крышке имеется окно для загрузки компонентов. Корпус смесителя снабжен рубашкой, а в шнеке имеется полость для водяного охлаждения. Подвод воды в полость шнека осуществляется через водораспределитель, а в рубашку корпуса по штуцерам. Уплотнение валов мешалок предварительного смесителя состоит из стального кольца и разрезного войлочного кольца, посаженного в стакан.

Вакуумный смеситель по конструкции аналогичен предварительному смесителю и отличается от него меньшими размерами. Вакуумный смеситель состоит из станины, каретки со шнеком и корпуса с мешалками. Шнек расположен под мешалками в специальной расточке, продолжением которой является цилиндрический патрубок с бронзовой втулкой. На внутренней поверхности втулки выполнены рифы. Патрубок заканчивается переходником, к которому присоединяется пресс-форма. По плоским направляющим станины передвигается каретка со шнеком. Корпус вакуумного смесителя сварной с отъемными стенками, в которых установлены опоры мешалок. Уплотнение валов мешалок вакуумного смесителя аналогично по устройству предварительному смесителю. Корпус вакуумного смесителя снабжен рубашкой, а в шнеке имеется полость для водяного охлаждения.

Корпуса предварительного и вакуумного смесителей крепятся на станинах, регулирование их положения относительно шнеков осуществляется с помощью клинового устройства. На корпусе вакуумного смесителя устанавливается и крепится откидными болтами вакуумная камера, в верхней части которой имеется цилиндрическое окно для соединения с предварительным смесителем. Верхняя часть вакуумной камеры снабжена съёмным колпаком, а в боковых стенках имеются смотровые окна.

Приводы мешалок предварительного и вакуумного смесителей состоят из электродвигателей взрывобезопасного исполнения, редукторов и распределителей. Распределители имеют по два выходных вала, которые соединяются с мешалками посредством крестово-

кулисных муфт. Приводы шнеков предварительного и вакуумного смесителей состоят из регулируемых двигателей, редукторов и промежуточных валов, вынесенных в машинное отделение, а промежуточные валы в местах прохода через стену уплотнены сальниками.

Принцип работы смесительной машины основан на совмещении операций смешения, вакуумирования и нагнетания полученной смеси в пресс-форму. Поступающие в предварительный смеситель компоненты смешиваются Z-образными мешалками и под их воздействием подаются в заборную часть шнека. Шнеком масса транспортируется к выходу, перекрытому решеткой, и попадает в вакуумный смеситель. В вакуумном смесителе создается постоянное разрежение, благодаря которому из массы удаляется закапсулированный воздух и другие газообразные продукты. Полученная масса шнеком нагнетается под давлением в пресс-форму. В целях обеспечения требуемой производительности при переработке композиций, имеющих различные реологические свойства, машина снабжена комплектом сменных шнеков, отличающихся шагом и углом подъема винтовой линии.

## ГЛАВА 5 ШНЕК-ПРЕССА

### 5.1 Пресс отжимной ПО-125-1000

Пресс отжимной ПО-125-1000 (рисунок 5.1) предназначен для отжима пороховой и топливной баллиститной массы от воды и подготовки ее для питания вальцев. Пресс способен отжимать суспензию массы, содержащей около 90 % влаги, до 6...12 %. Пресс ПО-125-1000 имеет привод (на рисунке не изображен), состоящий из электродвигателя постоянного тока мощностью 24 кВт и двух последовательно установленных редукторов типа РМ для снижения скорости вращения ведущего вала и обеспечения рабочих оборотов вращения от 0 до 7,5 об/мин. Ведущий вал привода соединен с хвостовиком винта пресса муфтой 66.

Пресс состоит из корпуса переднего 13 и корпуса заднего 45. В заднем корпусе установлены два роликовых двурядных радиальных подшипника 37, 54 для исключения перемещения винта в радиальном направлении и роликовый упорный подшипник 42, исключаящий перемещение винта в осевом направлении.

В переднем корпусе аппарата (рабочей части) помещается коническая рифленая втулка 12, обогреваемая горячей водой, внутри которой помещается конический обогреваемый винт 14. Для снижения колебаний передней части винта при работе его изготавливают двухзаходным. Винт заканчивается мелкой нарезкой для ликвидации застойной зоны у формирующей решетки и головкой четырехгранного сечения – это место установки подвижного ножа многолопастного типа. В задней части переднего корпуса имеется окно для установки питающего бункера 25, а также смонтированы кольца фильтра 20, 22, 24.

К передней части переднего корпуса хомутом 6 крепится формирующая решетка с отверстиями круглого сечения. К решетке крепится вакуумная камера 4, в которой установлены неподвижные ножи. Вакуум-камера с формирующей решеткой поддерживается подвеской 5.

Основные параметры: мощность, производительность, параметры настройки изложены в технической характеристике пресса.

После установки регулируемых параметров, обкатки пресса на негорючей массе, настройки уровнемера в бункере пресса его запускают в работу. При запуске устанавливают скорость винта 1 об/мин. Управление прессом дистанционное. Пороховая масса отбирается из циркуляционного массопровода при помощи автоматического клапана от нижнего уровня (НУ) бункера пресса 25. Подача массы циклическая, при достижении верхнего уровня (ВУ) клапан отключает подачу

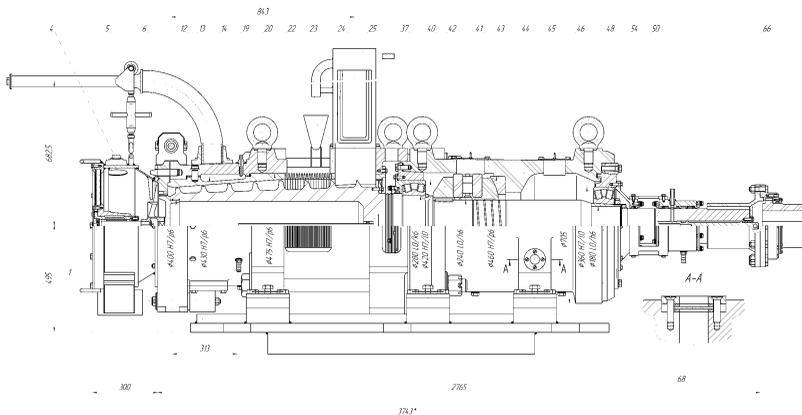
массы. В случае переполнения бункера выше верхнего уровня происходит перепуск массы в переливное устройство 23 и далее в сливной бак-смеситель. Под действием столба массы в бункере вода через фильтрующие кольца уходит в поддон пресса и направляется в баки отжимных вод и далее на декантацию (улов массы). Частично обезвоженная масса захватывается ребордами вращающегося винта, а так как винт конусный, межвинтовое пространство сужается, за счет чего увеличивается давление, достигая максимального значения у формирующей решетки. Под действием этого увеличивающегося давления вода уходит в зону фильтрующих колец и выводится из пресса. Масса в прессе должна двигаться только в направлении от бункера к формирующей решетке. Для исключения проворота массы вместе с винтом (срыва массы) в прессе установлена рифленая втулка, рифы которой удерживают массу, обеспечивая заданное ей поступательное движение.

При ходе массы, отжатой прессом, с винта образуется зона выпрессовывания. Масса винтом продавливается через отверстия формирующей решетки, из которых она выходит в виде шнуров, которые режутся на столбики («макароны») лезвиями подвижных и неподвижных ножей. Для исключения натирания массы в зоне выпрессовывания головкой винта с мелкой нарезкой масса выпрессовывается в зазор между внутренней поверхностью центрального отверстия формирующей решетки и головкой винта и направляется вместе с «макаронами» в протирочный барабан. Изменение производительности пресса производится изменением числа оборотов винта.

На рисунках 5.2, 5.3 представлены конструкции винта и втулки пресса соответственно.

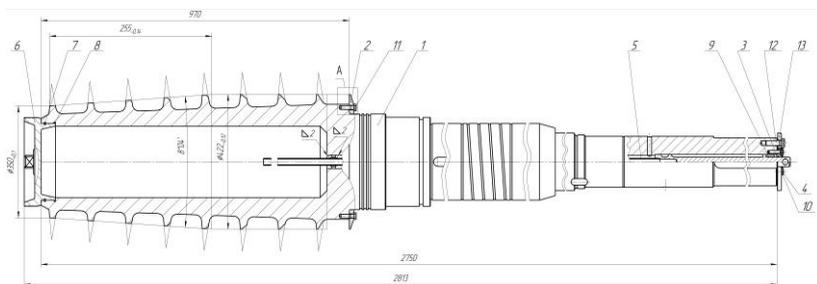
Таблица 5.1 – Техническая характеристика пресса

Частота вращения винта, об/мин, не более	7,5
Мощность электродвигателя, кВт	25
Максимальная производительность, кг/ч	1000
Длина, мм	3740
Ширина, мм	970
Высота, мм	1820
Ресурс работоспособности, ч	2000
Зазор между ребордами винта и рифами втулки, мм	1,0–2,5
Зазор между матричной решеткой и ножом, мм	0,5–5,0
Зазор между ножом и неподвижными секторами вакуумкамеры, мм, не менее	0,2
Зазор между фильтрующими кольцами, мм	0,6–0,8
Диаметр отверстий формирующей решетки, мм	7–30



- 1 – плита; 2, 11, 73 – пробка; 3, 10, 15, 18, 32, 33, 47, 52, 69, 72, 80 – прокладка; 4 – камера вакуумная; 5 – подвеска; 6 – хомут; 7 – шпилька; 8, 35, 58, 62 – уплотнение; 9 – стержень; 12, 26 – втулка; 13 – корпус передний; 14, 67 – винт; 16 – патрон; 17 – штуцер; 19 – рым-болт; 20, 22, 24 – кольца фильтра; 21, 39, 65 – шпонка; 23 – устройство переливное; 25 – бункер; 27, 63 – кольцо; 28, 29, 31, 49, 51, 74 – болт; 30, 34, 64 – крышка сальника; 36 – стакан; 37 – подшипник роликовый радиальный сферический двухрядный; 38 – кольцо пружинное; 40 – ступица; 41, 46, 53 – крышка; 42 – подшипник роликовый упорный конический; 43 – кольцо центрируемое; 44 – кольцо сферическое; 45 – корпус задний; 48 – корпус регулируемый; 50 – клин фиксирующий; 54 – подшипник роликовый двухрядный с закрепительной втулкой; 55 – гайка круглая; 56 – шайба специальная; 57 – обойма; 59 – пружина тарельчатая; 60 – болт специальный; 61 – шайба стопорная; 66 – муфта; 68 – стекло смотровое; 70 – фланец; 71 – коллектор; 75 – шплинт; 76 – гайка; 77, 78 – шайба; 79 – проволока

Рисунок 5.1 – Пресс ПО-125-1000



1 – винт; 2 – диск; 3 – крышка сальника; 4 – проволока; 5 – трубка;  
6 – шнек; 7, 8, 9 – уплотнение; 10, 11, 12 – болт; 13 – шайба

Рисунок 5.2 – Винт прессы ПО-125-1000

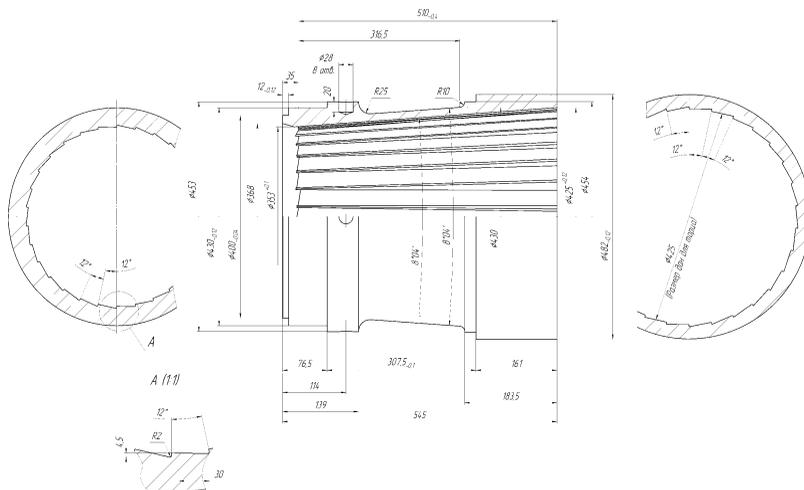


Рисунок 5.3 – Втулка прессы ПО-125-1000

## 5.2 Пресс ШС-34

Пресс ШС-34 предназначен для спрессовывания пороховой таблетки в монолит с требуемой плотностью и заполнения прессинструмента с последующим формованием шнура с заданными размерами наружного диаметра и диаметра канала при помощи формующей втулки и иглы и резки его на заготовки.

Пресс относится к особо ответственному оборудованию и должен изготавливаться в строгом соответствии с чертежом.

Пресс (рисунок 5.4) состоит из привода постоянного тока, машинной и рабочей частей. Привод состоит из двигателя постоянного тока мощностью 25 кВт, понижающего редуктора типа РМ, ведомый вал которого передает вращение на винт пресса посредством прямозубой шестеренчатой пары. Привод пресса дистанционно-управляемый, позволяющий плавно изменять обороты винта от 0 до 4,5 об/мин.

В машинной части пресса установлены два радиальных подшипника скольжения 7, 22. Так как винт пресса представляет консоль, то передний подшипник является более мощным. Для ликвидации осевого смещения винта на нем в корпусе машинной части установлен упорный роликовый конический подшипник 17. Основным рабочим узлом пресса является винт двухзаходный конический. Винты используются двух модификаций: для формования артиллерийских порохов с шагом 130 мм; для формования ракетных топлив с шагом 156 мм и 192 мм. Длина винтовой нарезки 705 мм. Глубина нарезки винтов:

шаг 130 мм, загруз 35,5 мм, прессующая зона 25,75 мм;

шаг 156 мм, загруз 41,5 мм, прессующая зона 23,75 мм;

шаг 192 мм, загруз 35,5 мм, прессующая зона 17,75 мм.

Для снижения трения поверхности винта полируются.

Рабочая часть винта (рисунок 5.6) размещается в рифленой конической динамически ослабленной бронзовой втулке 4. Пресс устанавливается на фундаментной плите 26 и крепится к ней с помощью фундаментных болтов 31. Втулку пресса относительно неподвижного винта центрируют при подготовке к работе с помощью прокладок на фундаментных болтах в вертикальном направлении и с помощью болтов бокового смещения 24. Винт имеет систему охлаждения (рисунок 5.5) горячей водой типа «труба в трубе», втулка охлаждается водой по отверстиям, просверленным в ребрах жесткости через передний и задний коллектор. Для загрузки пресса во втулке выполнено загрузочное окно, в которое устанавливается бункер. Рабочая часть пресса заканчивается передним фланцем 2, к которому с помощью хомута 1 подсоединяется пресс-инструмент. В передней части втулки пресса в месте схода пороха с винта (зона максимального давления) устанавливается тензодатчик, который регистрирует величину давления, создаваемого винтом пресса.

Втулка пресса изготавливается из бронзы, кроме рифлов специального профиля на внутренней поверхности (износ до 1,5 мм), имеет на наружной поверхности пазы для динамического ослабления (не более 600 кгс/см<sup>2</sup>), которые способствуют разрушению втулки в случае загорания в прессе. Подготовка пресса к работе проводится специальной

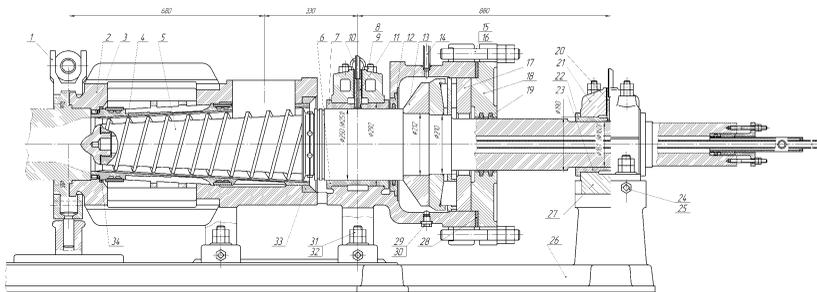
бригадой высококвалифицированных рабочих. После установки на фундаментной плите и присоединения к приводу пресс подвергается центровке, в процессе которой достигается зазор между ребордами винта и рифами втулки в пределах от 0,3 до 0,8 мм. После этого пресс сдается технологической службе на обкатку. Обкатка заключается в работе прессы на негорючей массе в течение одного часа с записью количества оборотов винта, токовых нагрузок привода (в амперах), давления и температуры на диаграмме. Для обкатки используется специальный пресс-инструмент диаметром 250 мм. По истечении часа пресс останавливают, отсоединяют пресс-инструмент, прочищают пресс ветошью и замеряют зазор. В случае неизменности размера зазора до и после обкатки пресс готов к работе на порохе. В случае изменения величины зазора после обкатки процесс центровки повторяют и снова обкатывают.

По распоряжению мастера-технолога к прессу подсоединяют собранный под конкретный вид изделий пресс-инструмент, и при достижении заданной температуры винта и втулки прессы, а также всех элементов пресс-инструмента в бункер прессы подается высушенная пороховая таблетка с температурой не ниже 60 °С. Подача таблетки осуществляется шнеком-дозером. Одновременно выводятся обороты винта (при запуске 1,0 об/мин) до значений, когда в бункере прессы уровень таблетки будет примерно постоянным. Во время работы винт прессы не должен испытывать недозагрузки или переагрузки. Эти ситуации могут приводить к срыву массы с рифов, что создает взрывоопасную ситуацию. Попадание влажной таблетки (более 0,8 %), и попадание воды также приводят к срыву массы с рифов. Попадание посторонних предметов, особенно металлических, абразивных тоже создает опасность взрыва. Поэтому таблетка проходит через металлоотсекатель.

Выпрессовываемые пороховые шнуры для артиллерийских порохов подаются к автоматам резки ленточным транспортером, а шнур ракетного топлива по рольгангу – под нож автомата.

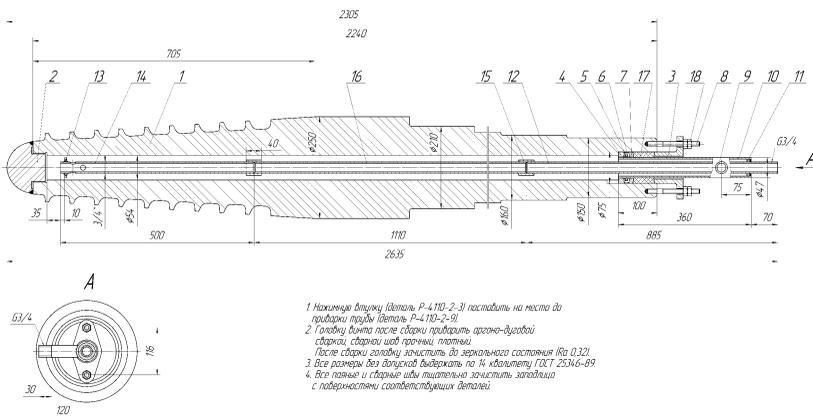
Прессы с использованием пресс-инструмента диаметром до 480 мм устанавливаются в специальных мощных железобетонных кабинах, а свыше – в отдельных обвалочных зданиях.

Непрерывный цикл работы прессы составляет 15 суток, по истечении которых прекращают подачу таблетки в бункер прессы и дистанционно в пресс подают негорючую массу шнеком из бункера негорючей массы, приготовленной перед пуском прессы. Производят вытеснение пороховой массы из прессы и пресс-инструмента. После полного вытеснения обслуживающий персонал может входить в прессовую для проведения запланированных работ.



- 1 – хомут; 2 – корпус; 3, 8, 15, 24, 31 – болт специальный;  
 4 – втулка динамически облегченная; 5 – винт; 6, 23 – вкладыш нижний; 7, 22 – вкладыш верхний; 9, 16, 32 – гайка; 10 – рым-болт; 11, 20 – ниппель; 12 – крышка; 13 – кольцо упорное; 14 – трубопровод; 17 – подшипник упорный; 18 – крышка; 19 – уплотнительное кольцо; 21 – крышка подшипника; 25 – гайка специальная; 26 – плита; 27 – корпус подшипника; 28 – кольцо прокладочное; 29 – пробка; 30 – прокладка; 33, 34 – кольцо

Рисунок 5.4 – Пресс ШС-34



- 1 – винт; 2 – головка винта; 3 – нажимная втулка; 4, 5, 6, 7, 11 – кольцо; 8 – шпилька; 9, 10, 12, 14, 16 – труба; 13 – кольцо звёздочка; 15 – муфта; 17 – набивка; 18 – гайка

Рисунок 5.5 – Винт пресса ШС-34 в сборе

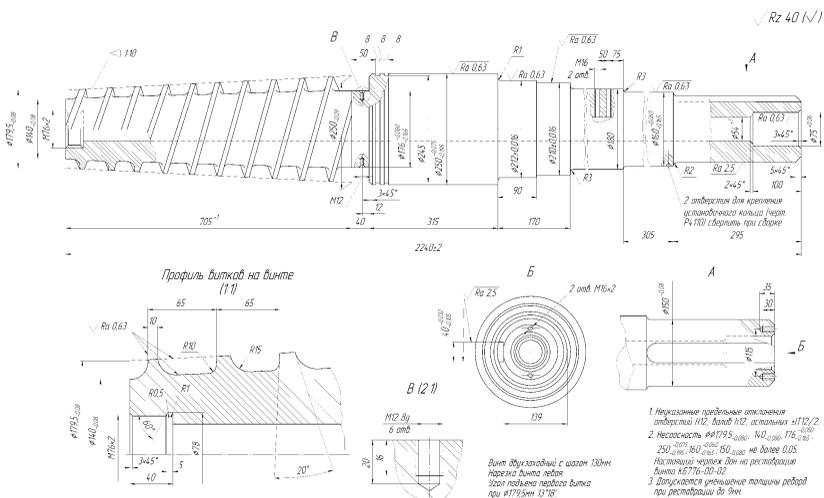


Рисунок 5.6 – Винт прессы ШС-34

Все параметры работы прессы: температуры, давления, обороты винта, производительность в течение всего цикла прессования записываются на диаграммы.

### 5.3 Пресс ПСВ

Формующий малогабаритный пресс ПСВ предназначен для спрессовывания высушенной пороховой таблетки, поступающей из сушилки, в монолит и передачи его в пресс-инструмент для формирования порохового шнура, который разрезается на шашки-заготовки для изготовления зарядов. Пресс используется на малогабаритных блоках формования при отработке новых баллистических составов, а также в исследовательских целях.

Пресс (рисунки 5.7, 5.8) состоит из заднего корпуса 8 и переднего корпуса – корпуса шнека 4.

Привод прессы состоит из электродвигателя постоянного тока и понижающего редуктора. Ведущий вал редуктора передает вращение на винт прессы при помощи пары конических шестерен, ведомая шестерня 11 которой устанавливается на хвостовике винта 2. Винт прессы 2 обогревается установкой узла обогрева 13. Корпус шнека также име-

ет рубашку обогрева. В корпусе подшипников 5 и корпусе 8 устанавливаются два радиальных шарикоподшипника разных серий, а на упорной втулке 6 устанавливается упорный шарикоподшипник 7.

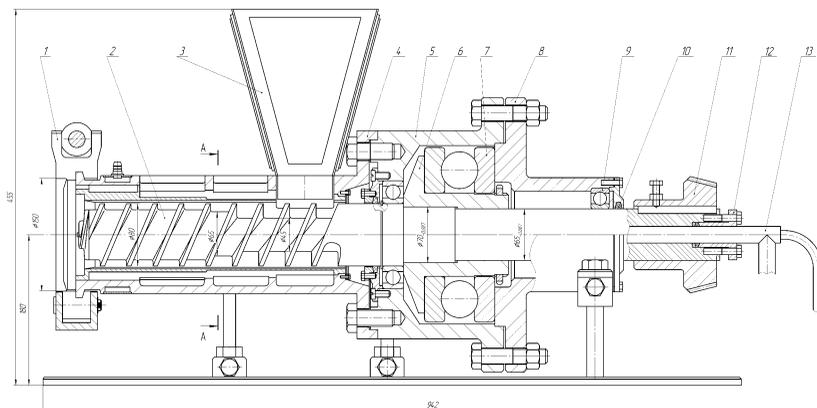
Корпус 8 соединен с корпусом подшипника 5 болтами. Корпус подшипника 5 соединен с корпусом шнека 4 также болтами. В задней части корпуса шнека профрезеровано загрузочное окно, в которое устанавливается бункер 3. Винт пресса 2 точеный двухзаходный цилиндрический, с разной глубиной нарезки. В задней части вал винта имеет диаметр 45 мм, в передней части – диаметр 65 мм при диаметре винта 80 мм. Винт помещается в цилиндрическую бронзовую втулку с прямоугольными рифами. Винт заканчивается головкой. Пресс-инструмент присоединяется к корпусу винта при помощи хомута 1. Пресс размещается на плите, установленной на бетонном фундаменте. Подготовленный к работе пресс после монтажа и обкатки на негорючей массе запускается в работу.

Пороховая таблетка, высушенная в сушилке до влажности от 0,3 до 0,8 %, подается в бункер пресса 3, из бункера таблетка захватывается ребрами глубокой нарезки винта и перемещается вдоль оси пресса к пресс-инструменту. Напорность цилиндрического винта пресса создается за счет изменения межвиткового объема (глубокой нарезки – диаметром до 45 мм и мелкой – диаметром до 65 мм). Спрессовывание таблетки происходит за счет резкого изменения (уменьшения) межвиткового пространства. Винт развивает давление до 600 кг/см<sup>2</sup>.

Для поддержания пороха в пластическом текучем состоянии винт и втулка пресса охлаждаются водой, поддерживая температуру пороха от 60 до 90 °С, что находится выше температуры стеклования баллиститных порохов (60 °С), при которой они переходят в хрупкое состояние, исключающее возможность формирования пороховых шнуров.

Спрессованная винтом в монолит пороховая масса заполняет пресс-инструмент, в котором формируется пороховой шнур, поперечное сечение которого соответствует требованиям чертежа по размерам. При выходе шнур режется на заготовки длиной в пределах требований чертежа на заряд.

Рифленая бронзовая втулка предотвращает проворот пороховой массы по окружности. Пресс устанавливается в мощной бетонной кабине в бетонном бронедворике, т.к. операция прессования является пожаро-взрывоопасной.



1 – хомут шнека; 2 – винт; 3 – бункер; 4 – корпус шнека; 5 – корпус подшипника; 6 – втулка упорная; 7 – подшипник упорный; 8 – корпус; 9 – подшипник; 10 – кольцо; 11 – шестерня; 12 – грундбукса; 13 – узел обогрева

Рисунок 5.7 – Пресс ПСВ

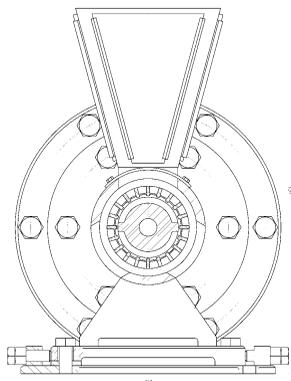


Рисунок 5.8 – Пресс ПСВ (разрез А–А)

#### 5.4 Пресс П-600

Формирующий пресс П-600 (пресс производительностью 600 кг/ч) предназначен для спрессовывания пороховой таблетки баллистического топлива и выпрессовывания через пресс-инструмент шнура с

заданными размерами поперечного сечения, после разрезания которого получают заготовки для ракетных зарядов.

Пресс (рисунок 5.9) устанавливается на плите 1, закрепленной на фундаменте. Основным конструкторским элементом является хомут 2, в котором размещается стакан пресс-инструмента 3 с вставленным в него срезным кольцом 4. Стакан крепится болтами 6. В переднем корпусе пресса 7 установлена динамически облегченная рифленая втулка 8, в которой монтируется нарезная часть трех- или четырехзаходного винта 9. В задней части переднего корпуса устанавливается загрузочный бункер 10.

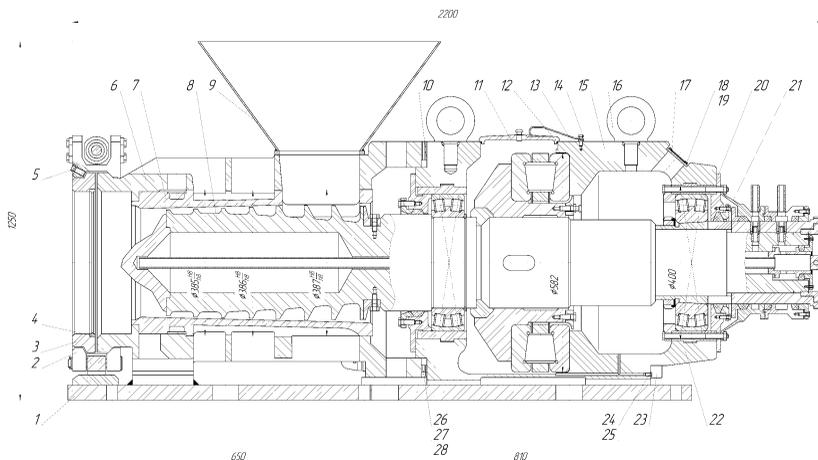
В машинной части пресса для исключения радиального перемещения винта установлены два радиальных двухрядных роликоподшипника во втулках 16, 30, и для исключения осевого перемещения винта установлен упорный конический роликоподшипник 21. Динамически облегченная втулка пресса и винт имеют системы охлаждения (обогрева). Соединение пресса с приводом постоянного тока осуществляется с помощью зубчатой муфты, установленной на хвостовике винта. Остальные детали конструкции указаны в подрисуночной надписи.

Подготовленный к работе пресс с неизменным зазором между ребордами винта и рифами втулки и установленной заданной температурой втулки и винта, а также всех элементов пресс-инструмента включают и начинают набивку пресс-инструмента негорючей массой. После чего отсоединяют пресс-инструмент, прочищают пресс и горловину пресс-инструмента от негорючей массы ветошью, подсоединяют пресс-инструмент и подают в бункер пресса пороховую таблетку. Частота вращения винта на запуске от 0,5 об/мин. Спрессовывание таблетки в монолит в прессе происходит за счет уменьшения межвиткового объема от зоны загрузки к сходу массы с витков винта, а также за счет противодавления, создаваемого заполненным негорючей массой конфузородиффузорным пресс-инструментом. Рифы втулки обеспечивают поступательное движение массы в пресс-инструмент, предотвращая ее проворачивание вместе с винтом. После выхода шнура из формующей втулки пресс-инструмента первоначальная часть его с включениями негорючей массы отрезается в сметки, после чего шнур режется на заготовки. После переработки всей массы в бункер пресса вслед за таблеткой подается негорючая масса, с помощью которой пресс и пресс-инструмент очищаются от массы. Последняя часть шнура с включениями негорючей массы также отправляется в сметки. Подготовка к работе пресса П-600 аналогична подготовке пресса ШС-34.

На рисунке 5.10 изображен винт пресса П-600 в сборе.

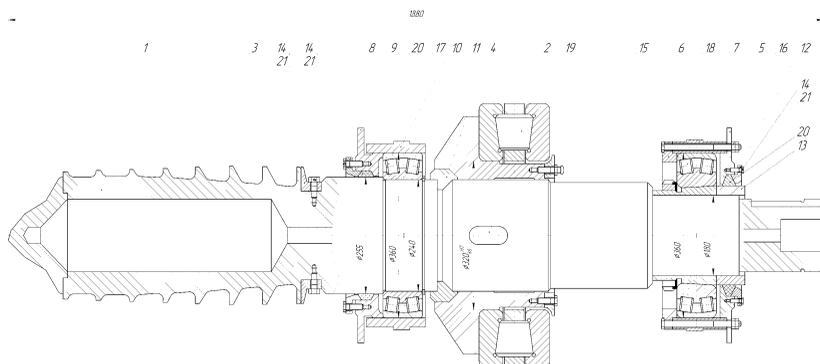
Таблица 5.2 – Технические характеристики прессы П-600

Максимальная производительность, кг/ч	600
Максимальная частота вращения винта, об/мин	3,5
Загрузка прессы, кг	15
Температура охлаждения винта и втулки, °С	60–90
Мощность двигателя привода постоянного тока, кВт	42
Масса прессы, кг	430
Длина конической части трех- и четырехзаходного винта, мм	500
Длина винтовой нарезки, мм	285
Диаметр внутренней прессующей зоны, мм	252
Диаметр наружный в загрузочной зоне, мм	335
Диаметр внутренний в загрузочной зоне, мм	260
Шаг винтовой нарезки, мм	228
Ширина паза рифа втулки, мм	11
Количество рифов втулки, шт	60
Глубина рифа втулки, мм	2,8 <sup>0,3</sup>
Износ рифов втулки, мм	до 2,0



- 1 – плита; 2 – хомут; 3 – стакан; 4 – кольцо срезное;  
 5, 14, 19, 23 – болт; 6 – корпус передний; 7 – втулка динамически  
 облегченная; 8 – винт; 9 – бункер; 10, 20, 25, 26, 27, 28 – прокладка;  
 11, 17 – крышка; 12 – кольцо; 13 – пружина; 15 – корпус верхний;  
 16 – рым-болт; 18 – проволока; 21 – узел обогрева;  
 22 – корпус нижний; 24 – пробка

Рисунок 5.9 – Пресс П-600



- 1 – винт; 2 – подшипник упорный; 3 – кольцо упорное; 4 – сухарь;  
 5, 8, 9, 12 – крышка; 7, 10 – стакан; 6, 11 – кольцо; 13 – втулка  
 распорная; 14 – проволока; 15, 21 – болт; 16 – гайка;  
 17, 18 – подшипник радиальный; 19 – шпонка; 20 – набивка плетеная

Рисунок 5.10 – Винт прессы П-600

### 5.5 Пресс инструмент конусный Ø 304 мм

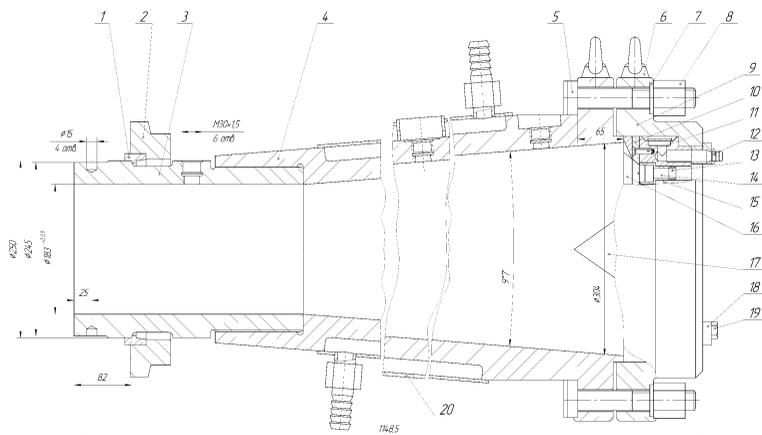
Пресс-инструмент конусный Ø 304 мм предназначен для формирования канальных пороховых шнуров с определенными размерами поперечного сечения, которые режутся на пороховые трубки длиной в пределах требований чертежа на заряд. Из трубок комплектуются заряды для артиллерийских выстрелов.

Пресс-инструмент конусный Ø 304 мм (рисунок 5.11) состоит из диффузора 4 с конусностью  $9^{\circ}7'$ . С задней стороны в диффузор ввернута горловина 3, которая входит в формирующий пресс ШС-34. Соединение с прессом осуществляется посредством горшка 2, в который ставится срезное кольцо 1, рассчитанное на определенное усилие срезания ( $500 \text{ кгс/см}^2$ ,  $550 \text{ кгс/см}^2$ ,  $600 \text{ кгс/см}^2$ ). В горловине и диффузоре имеются шесть отверстий М 30×1,5 для установки тензодатчиков давления. К передней стороне диффузора с помощью специальных болтов 5 присоединяется фланец прижимной 9, в котором расположена матричная решетка 15. В отверстиях матричной решетки размещены матрицы 14. На матричную решетку накладывается диск промежуточный 10, на который укладывается шестигранник 16 с рассекателем 17. Диффузор и матричная решетка имеют рубашку охлаждения 20. Подвод и отвод охлаждающей воды с температурой от 60 до 90 °С осуществляется через установленные штуцера.

В зависимости от диаметра выпрессовываемых шнуров в пресс-инструментах  $\varnothing 304$  мм используются решетки с посадочными местами (отверстиями) на 36, 48, 61 и 91 формующую конфузorno-диффузorno-матрицу.

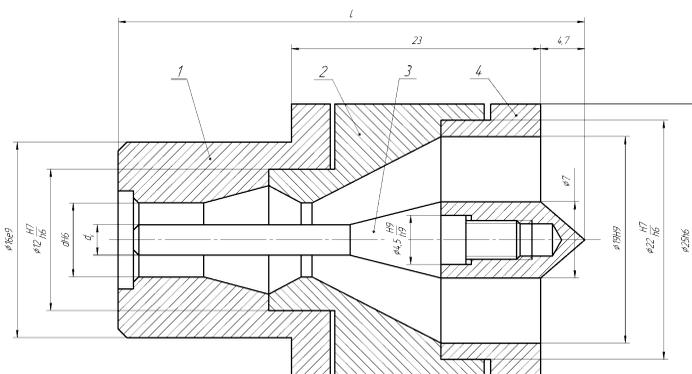
Собранный в соответствии с чертежом пресс-инструмент подсоединяют к формующему прессу ШС-34, подключают к соответствующим штуцерам шланги системы охлаждения. Температуру устанавливают в пределах заданной. В бункер пресса подают высушенную до влажности от 0,3 до 0,8 % пороховую таблетку, которая спрессовывается витками винта пресса и поступает в пресс-инструмент, заполняя весь его объем. Установленная решетка с формующими матрицами диффузorno-конфузorno-конструкции создает сопротивление движущейся массе, повышая давление в пресс-инструменте. Под действием возрастающего давления пластичная масса проходит через рассека-тель, попадает в формующие матрицы, в которых с помощью втулки и иглы формируется шнур требуемых размеров поперечного сечения  $d_n$  и  $d_k$ , а длина трубки обеспечивается при резке. При остановке работы содержимое пресс-инструмента вытесняется негорючей массой.

На рисунке 5.12 изображена матрица пресс-инструмента.



- 1 – кольцо; 2 – горшок; 3 – горловина; 4 – диффузор; 5 – болт специальный; 6 – рым-болт; 7 – шайба; 8 – гайка; 9 – фланец;  
 10, 17 – диск промежуточный; 11 – винт; 12 – штуцер; 13 – втулка;  
 14 – матрица; 15 – матричная решетка; 16 – шестигранник прижимной;  
 18 – накладка; 19 – болт; 20 – рубашка

Рисунок 5.11 – Пресс-инструмент конусный  $\varnothing 304$



Длина сегм. задается технологич. ценз

- 1 – матрица-конфузор; 2 – матрица-диффузор; 3 – игла;  
4 – иглодержатель

Рисунок 5.12 – Матрица пресс-инструмента конусного Ø 304

## 5.6 Пресс – инструмент Ø 800

Пресс-инструмент Ø 800 предназначен для получения топливного шнура баллистического состава для последующего разрезания на шашки-заготовки, применяемые в ракетных зарядах.

В конструкцию пресс-инструмента (рисунок 5.13) входят: кольцо срезное 1, кольцевой выступ которого срезается при превышении рабочим давлением массы значения  $500 \text{ кг/см}^2$  (50 МПа) и ликвидируется аварийная ситуация; горшок 2, предназначенный для размещения в нем срезного кольца и для крепления пресс-инструмента к формующему прессу при помощи хомута; переходник 3, в котором крепится иглодержатель с иглой 4, вставка внутренняя 5, специальные маркированные болты 6, 10, гайки специальные 7, 11, шайбы специальные 8, 12, диффузор 9 расширяющийся; технологическая вставка 13 с переменной длиной; конфузор 14; формующая втулка 18, 24, состоящая из двух стаканов; кондуктор текстолитовый 23, центрующий иглу во втулке.

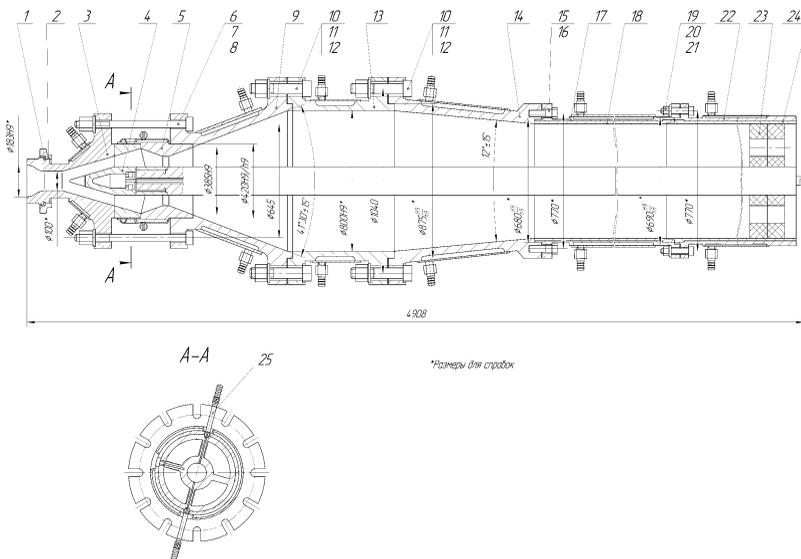
К соединительным поверхностям всех деталей предъявляются повышенные требования по чистоте и плоскостности, исключающие появление в соединениях пленок под действием высоких давлений.

Все детали пресс-инструмента имеют рубашки охлаждения, игла охлаждается через спицы иглодержателя. Для подвода и отвода горячей воды каждая деталь имеет два штуцера.

После сборки пресс-инструмента и подготовки к работе его подсоединяют к формирующему прессу, подключают охлаждение всех деталей от системы охлаждения с помощью армированных прорезиненных шлангов с накидными гайками. Температура охлаждающей горячей воды от 60 до 90 °С.

Производят заполнение пресс-инструмента негорючей массой. После выхода негорючей массы из формирующей втулки пресс-инструмента пресс останавливают, пресс-инструмент отсоединяют. Негорючую массу вырабатывают из пресса, прочищают его и горловину пресс-инструмента и вновь подсоединяют пресс-инструмент к прессу. Затем подают топливную таблетку в бункер пресса и начинают вытеснение негорючей массы из пресс-инструмента. Под действием противодавления, создаваемого негорючей массой, происходит спрессовывание топливной массы и формирование шнура с наружным диаметром, равным внутреннему диаметру втулки, и канала шнура с диаметром, равным диаметру иглы. Первые порции шнура с включениями негорючей массы вырезаются в сметки, после чего шнур режется на шашки заданной длины. Процесс формования непрерывный в течение 15 суток. В конце цикла формования топливную массу из пресса и пресс-инструмента вытесняют также негорючей массой. Управление прессованием дистанционное, в обвалованном здании, так как загрузка составляет до 7 тонн.

На рисунках 5.14, 5.15 изображены: диффузор, конфузор пресс-инструмента Ø 800 соответственно.



1 – кольцо срезное; 2 – горшок; 3 – переходник; 4 – игла с иглодержателем в сборе; 5 – вставка внутренняя; 6, 10 – болт специальный; 7, 11 – гайка; 8, 12, 16, 21 – шайба; 9 – диффузор; 13 – вставка; 14 – конфузор; 15, 19 – болт; 17, 22 – стакан; 18, 24 – втулка; 20 – гайка; 23 – кондуктор; 25 – штуцер

Рисунок 5.13 – Пресс-инструмент Ø 800

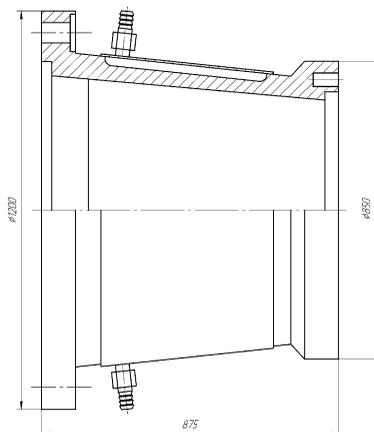
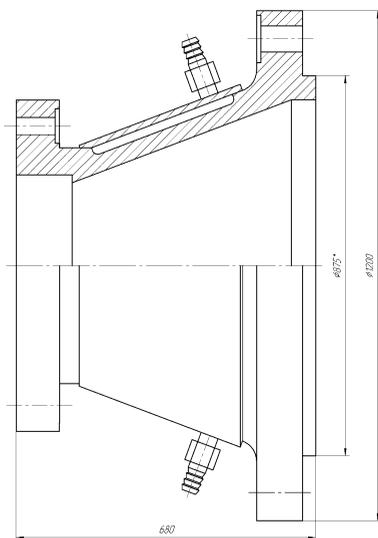


Рисунок 5.14 – Диффузор пресс-инструмента Ø 800



*\*Размер для справки*

Рисунок 5.15 – Конфузор пресс-инструмента  $\varnothing 800$

## ЛИТЕРАТУРА

1. Соколов, Е.Я. Струйные аппараты / Е.Я. Соколов, Н.М. Зингер. – М.: Энергия, 1970. – 286 с.
2. Щервуд, Т. Массопередача / Т. Щервуд, Р. Пигфорд, И. Уилки. – М.: Химия, 1982. – 620 с.
3. Соколов, В.И. Современные промышленные центрифуги / В.И. Соколов, . – М.: Машгиз., 1961. – 450 с.
4. Романков, П.Г. Жидкостные сепараторы / П.Г. Романков, С.А. Плюшкин. – Л.: Машгиз., 1976. – 280 с.
5. Гельперин, Н.И. Основы техники кристаллизации расплавов / Н.И. Гельперин, Г.А. Носков. – М.: Химия, 1975. – 380 с.
6. Осин, А.И. Оборудование производств энергонасыщенных материалов: Учебное пособие / А.И. Осин, А.С. Пивоваров, Н.Н. Волкова; Алт. гос. техн. ун-т, БТИ. – Бийск: Изд-во Алт. гос. техн. ун-та, 2010.– 94 с.
7. Бажин, В.Е. Оборудование заводов: Учебное пособие / В.Е. Бажин; Алт. гос. техн. ун-т, БТИ. – Бийск: Изд-во Алт. гос. техн. ун-та, 1997.– 84 с.
8. Жужиков, В.А. Фильтрование / В.А. Жужиков. – М.: Химия, 1978.– 430 с.
9. Берестовой, А.М. Жидкостная экстракция / А.М. Берестовой, И.Н. Белоглазов. – Л.: Химия, 1982. – 200 с.

*Учебное издание*

**Ленский** Максим Александрович  
**Ожогин** Андрей Викторович  
**Балахнина** Анастасия Владимировна  
**Легаев** Александр Иванович  
**Волкова** Наталья Николаевна

## **ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ПОЛИМЕРОВ И КОМПОЗИТОВ**

Учебное пособие для студентов специальности 18.05.01 «Химическая технология энергонасыщенных материалов и изделий» специализации «Автоматизированное производство химических предприятий», «Химическая технология полимерных композиций, порохов и твердых ракетных топлив»

Издано в авторской редакции

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова»,  
656038, г. Барнаул, пр-т Ленина, 46

[В начало](#)