

66
В-26

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ

Уральский государственный лесотехнический университет

Кафедра химической технологии древесины

М.И. Ведерникова
В.С. Таланкин
В.П. Орлов

ПРОЕКТИРОВАНИЕ СУШИЛЬНОЙ РАСПЫЛИТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

Часть I. Расчет распылительной сушилки и вспомогательного оборудования

Методические указания (для курсового и дипломного проектирования)
для студентов очной и заочной форм обучения

направлений 655000 – Химическая технология органических
веществ и топлива;

656600 – Защита окружающей среды
специальностей 260300, 330200, 5508,
специализаций 260301, 260303, 260304,

по дисциплине – Процессы и аппараты химической технологии

Екатеринбург
2005

Печатается по рекомендации методической комиссии ИЭФ.
Протокол № 1 от 28 октября 2004 г.

Рецензент – д-р техн. наук., проф. А.Я. Агеев



Подписано в печать 01.06.2005

Плоская печать Формат 60x84 1/16

Заказ 155 Печ.л. 2,56

Поз. 70

Тираж 100 экз.

Цена 8 руб 60 коп

Редакционно-издательский отдел УГЛТУ
Отдел оперативной полиграфии УГЛТУ

РАСЧЕТ И ВЫБОР РАСПЫЛИТЕЛЬНОЙ СУШИЛКИ

Распылительные сушилки предназначены для сушки растворов и суспензий с целью получения готового продукта в виде порошка или гранул. Распылительные сушилки широко применяются в различных отраслях промышленности (таблица 1).

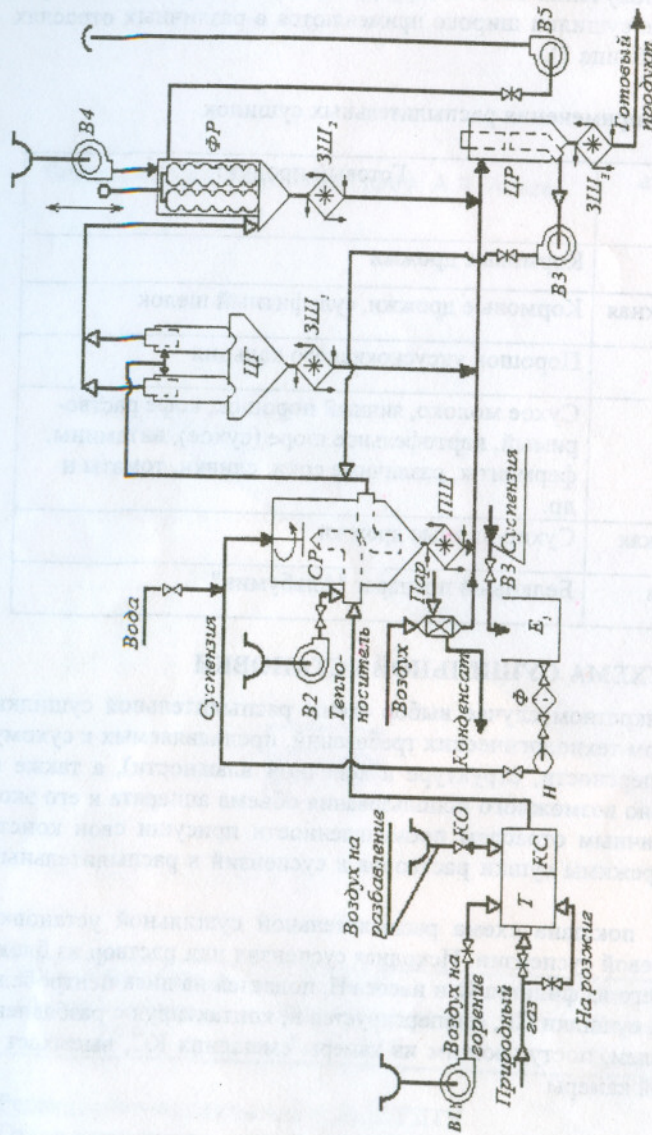
Таблица 1 – Область применения распылительных сушилок

Промышленность	Готовый продукт
Гидролизная	Кормовые дрожжи
Целлюлозно-бумажная	Кормовые дрожжи, сульфитный щелок
Лесохимическая	Порошок уксуснокислого кальция
Пищевая	Сухое молоко, яичный порошок, кофе растворимый, картофельное пюре (сухое), витамины, ферменты, различные соки, сливки, томаты и др.
Микробиологическая	Сухие пивные дрожжи
Фармацевтическая	Белковый препарат "Альбумин"

СХЕМА СУШИЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

В каждом конкретном случае выбор схемы распылительной сушилки проводится с учетом технологических требований, предъявляемых к сухому продукту (по дисперсности, структуре и конечной влажности), а также с учетом максимально возможного использования объема аппарата и его экономичности. Различным отраслям промышленности присущи свои конструкции, схемы и режимы сушки растворов и суспензий в распылительных сушилках [1 – 3].

На рисунке 1 показана схема распылительной сушильной установки для сушки дрожжевой суспензии. Исходная суспензия или раствор из блока питания, состоящего из фильтра Ф и насоса Н, подается на диск центробежного распылителя сушилки СР, диспергируется и, контактируя с разбавленным теплоносителем, поступающим из камеры смешения КС, высыхает в объеме сушильной камеры.



Т – топка; КС – камера смешения; СПА – сушилка распылительная; ЦГ – циклон распылительная; ФР – фильтр рукавный; ЦР – циклон разгрузитель; Е – емкость; Ф – фильтр; В – вентилятор; Н – насос; ПШ – питатель шлюзовый; ЗШ – затвор шлюзовый; КО – клапан обратный.

Рисунок 1 – Схема сушильной распылительной установки

Основная часть готового продукта выводится из нижней конусной части сушилки шлюзовым питателем ПШ, далее с помощью пневмотранспорта, отделяясь от воздуха в циклоне-разгрузителе ЦР, подается на упаковку. Оработанный теплоноситель, содержащий мелкую фракцию готового продукта (15...20 %), подается в групповой циклон ЦГ первой ступени очистки, затем поступает во вторую ступень пылеочистки – рукавный фильтр ФР, откуда очищенный теплоноситель выбрасывается в атмосферу.

ПРИНЦИП СУШКИ РАСПЫЛЕНИЕМ

Раствор или суспензия непрерывно подается в распыленном виде в сушильную камеру, через которую проходит теплоноситель. Теплоноситель с одной стороны подводит тепло к капелькам раствора, с другой стороны является влагопоглощающим агентом, так как пары влаги, испаряющиеся из раствора при сушке, переходят в него. Капли раствора, соприкасаясь с теплоносителем, высушиваются за секунды.

С помощью распыляющего механизма раствор распыливается в сушильной камере до мельчайших частиц размером 60...70 мкм. При этом, например, при диспергировании 1 л раствора поверхность его увеличивается от нескольких десятков до нескольких сотен квадратных метров. Огромная поверхность соприкосновения частиц (капелек) раствора с горячим быстро перемешивающимся теплоносителем обеспечивают интенсивный теплообмен. Практически принято считать, что испарение влаги в этих условиях протекает мгновенно и основная часть влаги испаряется в небольшой зоне вокруг распыляющего устройства. Оставшаяся часть влаги испаряется во всем пространстве сушильной камеры.

Выбор температурного режима сушки определяется термочувствительностью высушиваемого раствора. Например, для сушки дрожжевой суспензии температура теплоносителя на входе в сушилку составляет 300...500 °С. Опыт эксплуатации распылительных сушилок [см. 1] показал, что повышение температуры теплоносителя t_1 от 300 до 500 °С (на 200 °С) увеличивают расход теплоты Q и топлива B на 68...70 %, но при этом увеличивается производительность сушилки по испаряемой влаге W в 2 раза. Удельный расход теплоты при этом уменьшается на 15 %, а тепловой КПД установки увеличивается на 12,2 %. Однако при применении теплоносителя с температурой выше 400 °С и относительной влажностью оработанного теплоносителя ϕ_2 более 30 % качество товарного продукта снижается. На заводах эксплуатируются сушилки при $t_1 = 300...400$ °С. Зона высоких температур (150 °С и выше) в сушильной камере находится только над направляющим теплоносителем аппаратом, не распространяясь дальше чем на 0,8...1,2 м от его поверхности.

Температура теплоносителя на выходе t_2 из сушилки составляет 75...90 °С. При температуре ниже 75 °С резко уменьшается интенсивность

сушки и трудно получить продукт с низкой конечной влажностью ω_{02} . При температуре t_2 больше 90°C уменьшаются размеры сушильной камеры. Такой режим может быть экономичным, если теплоноситель далее поступает в скруббер. Оптимальная температура t_2 устанавливается экспериментально. Следует учитывать, что при работе сушилки по принципу параллельного тока температура высушенных частиц θ_2 определяется в основном температурой отходящего теплоносителя t_2 . Это тем ближе к действительности, чем меньше конечная влажность ω_{02} .

Температура теплоносителя за сушилкой t_2 чрезвычайно чувствительна к изменению производительности распылителя G_1 , к количеству теплоносителя L_1 и его температуре t_1 на входе в сушилку из-за мгновенной сушки (продолжительность сушки исчисляется секундами). Поэтому поддержание режима сушки ведется по температуре теплоносителя t_2 .

Опытным путем установлено, что скорость сушки в распылительной сушилке возрастает:

- с уменьшением размеров частиц распыленной жидкости;
- с увеличением температуры теплоносителя на входе в сушильную камеру;
- с увеличением скорости движения теплоносителя относительно высушиваемого материала;
- с улучшением перемешивания распыленной жидкости с теплоносителем. Качество перемешивания зависит от конструкции направляющего аппарата подачи теплоносителя в сушильную камеру, циркуляции последнего в камере и от формы факела распыла.

Специфические условия сушки продуктов в распыленном состоянии обуславливают ряд характерных достоинств этого способа сушки:

- высокое качество высушиваемого продукта, температура которого в процессе сушки не превышает температуры мокрого термометра ($t_m = \theta_2 = 60 \dots 70^\circ\text{C}$). При этом можно регулировать качественные и количественные показатели: размер частиц продукта, насыпную плотность сухого порошка, конечную влажность и температуру;
- отсутствие необходимости дополнительного измельчения готового продукта, высокая его растворимость;
- высокая начальная влажность продукта (растворов) ($\omega_{01} = 90,9 \dots 93,75\%$ или $\omega_{a1} = 1000 \dots 1500\%$) и достаточно низкая конечная влажность ($\omega_{02} = 0,99 \dots 4,76\%$ или $\omega_{a2} = 1 \dots 5\%$). На сушку могут подаваться и "липкие" аморфные продукты, например отвары в виде пульпы или пасты;
- высокая производительность установок, что способствует повышению технико-экономических показателей.

Недостатки, присущие сушке в распыленном состоянии:

- значительные удельные габариты установок, работающих при мягких режимах ($t_1 = 100 \dots 150^\circ\text{C}$);
- сложность и высокая стоимость оборудования для распыления продуктов и улавливания пыли;
- сравнительно высокие энергетические затраты (теплоты и электроэнергии).

Экспериментальные значения размеров частиц готового продукта (кормовых дрожжей) приведены в книге [1]. По данным гранулометрического состава средний размер частиц дрожжей, высушенных в распылительных сушилках с центробежным распылителем, составляет в мкм:

- на выходе из под конуса сушильной камеры 80...108
- на входе в циклон 46...55
- готового продукта (на упаковке) 66...70.

Смесь порошка дрожжей с воздухом является взрывоопасной смесью.

По данным обследований работы пылеулавливающих устройств распылительных сушилок с центробежным распыливанием, концентрация дрожжей в газоходах составляет в г/м^3 :

- на участке сушильная камера – циклон 2...5
- на участке циклон – рукавный фильтр 0,02...0,13
- в пневмопроводе перед циклоном разгрузителем 200...300
- после циклона разгрузителя 1...2.

КОНСТРУКЦИИ РАСПЫЛИТЕЛЬНЫХ СУШИЛОК

Существующие в настоящее время различные типы распылительных сушилок классифицируются по принципу движения теплоносителя и частиц раствора в сушильной камере (параллельный ток, противоток и смешанный ток).

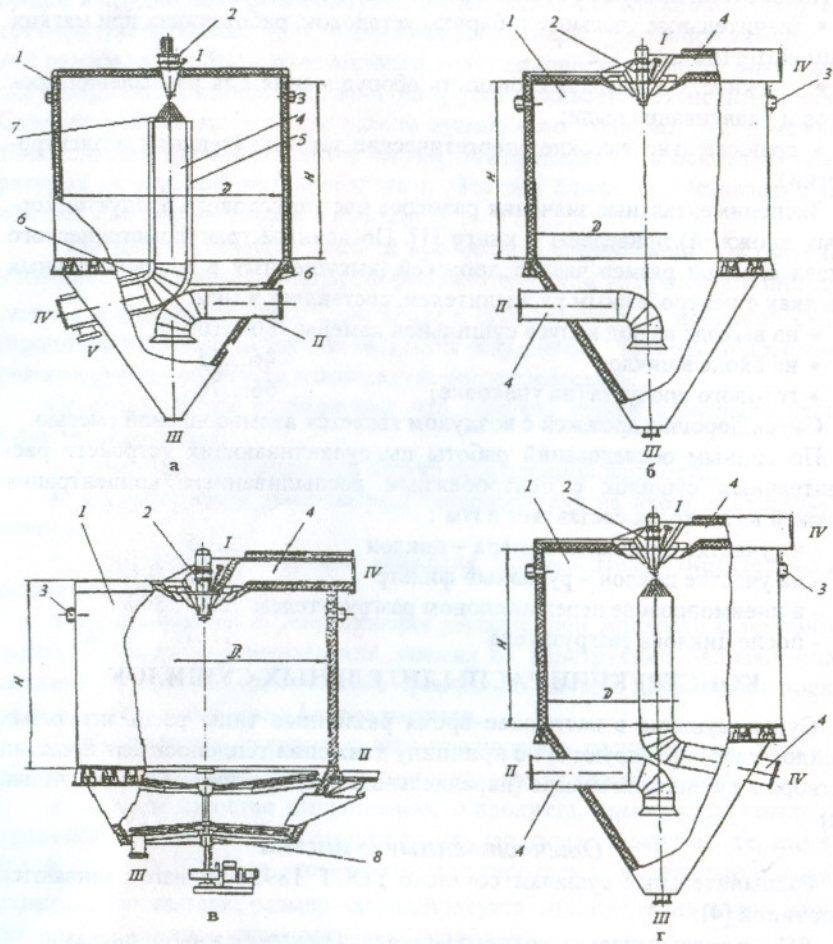
Отечественные сушилки

Распылительные сушилки согласно ГОСТ 18906-80 изготавливаются двух типов [4]:

- РЦ** – с распылением исходного материала центробежными дисками;
- РФ** – с распылением исходного материала пневматическими или механическими форсунками.

В зависимости от конструктивных признаков стандартом установлены следующие исполнения распылительных сушилок [4; 5]:

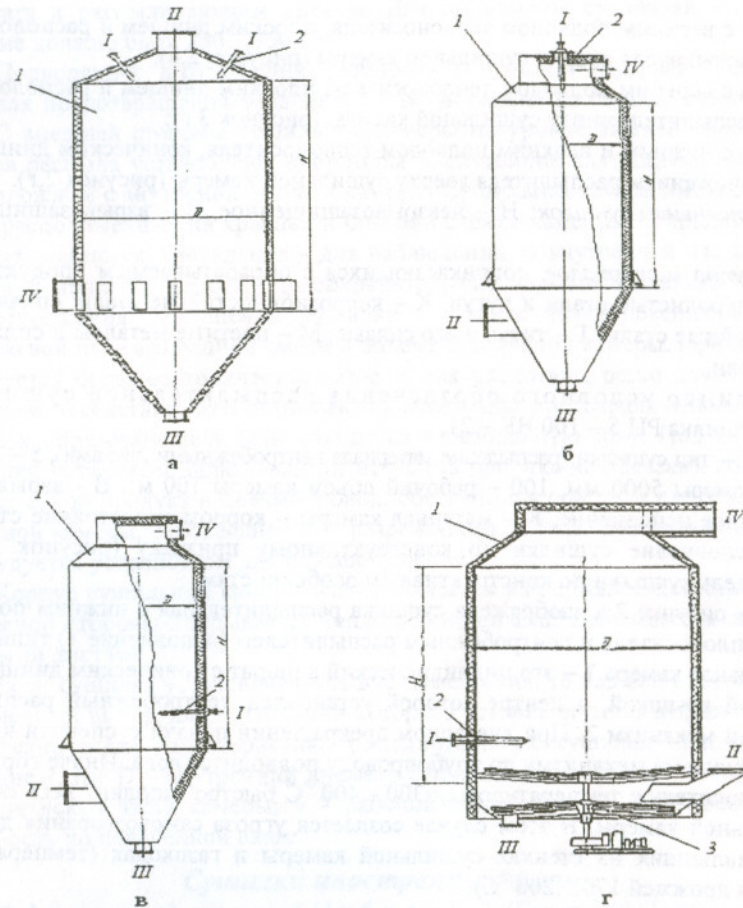
- 1 – с нижним подводом теплоносителя, коническим днищем и расположением распылителя сверху сушильной камеры (рисунки 2,а и 3,а);
- 2 – с верхним подводом теплоносителя, коническим днищем и расположением распылителя сверху сушильной камеры (рисунки 2,б и 3,б);
- 3 – с верхним подводом теплоносителя, коническим днищем и расположением распылителя внизу сушильной камеры (рисунок 3,в);



а - с нижним подводом теплоносителя (исполнение 1); б - с верхним подводом теплоносителя (исполнение 2); в - с верхним подводом и скребковым механизмом выгрузки (исполнение 4); г - с нижним и верхним подводом теплоносителя (исполнение 1);

1 - камера сушильная; 2 - центробежный распылитель; 3 - вибратор; 4 - газоподвод; 5 - рубашка охлаждающая; 6 - козырьки; 7 - направляющий аппарат; 8 - скребковый механизм; I - вход суспензии; II - выход теплоносителя; III - выход продукта; IV - вход теплоносителя; V - вход холодного воздуха.

Рисунок 2 - Распылительная сушилка с центробежным распылителем



а - с нижним подводом теплоносителя (исполнение 1); б - с верхним подводом теплоносителя (исполнение 2); в - с верхним подводом теплоносителя и с форсункой, расположенной внизу сушильной камеры (исполнение 3); г - с верхним подводом теплоносителя, с нижним расположением форсунки и скребковым механизмом выгрузки (исполнение 5);

1 - камера сушильная; 2 - форсунка; 3 - скребковый механизм; I - вход раствора; II - выход теплоносителя; III - выход продукта; IV - вход теплоносителя.

Рисунок 3 - Форсуночная распылительная сушилка

4 – с верхним подводом теплоносителя, плоским днищем и расположением распылителя сверху сушильной камеры (рисунок 2,в);

5 – с верхним подводом теплоносителя, плоским днищем и расположением распылителя внизу сушильной камеры (рисунок 3,г);

6 – с нижним и верхним подводом теплоносителя, коническим днищем и расположением распылителя сверху сушильной камеры (рисунок 2,г).

Исполнение сушилок: Н – невзрывозащищенное, В – взрывозащищенное.

Группа материалов, соприкасающихся с обрабатываемым продуктом: У – углеродистые стали и чугун, К – коррозионностойкие стали, сплавы и двухслойные стали, Т – титан и его сплавы, М – цветные металлы и сплавы, Э – эмали.

Пример условного обозначения распылительной сушилки Сушилка РЦ 5 – 100 ВК – 21,

где РЦ – тип сушилки (распыление материала центробежными дисками), 5 – диаметр камеры 5000 мм, 100 – рабочий объем камеры 100 м³, В – взрывозащищенное исполнение, К – материал камеры – коррозионностойкие стали, 2 – исполнение сушилки по конструктивному признаку (рисунок 2,б), 1 – модель сушилки по конструктивным особенностям.

На рисунке 2,а изображена сушилка распылительная с нижним подводом теплоносителя и центробежным распылителем (исполнение 1) типа РЦ. Сушильная камера 1 – это цилиндрический аппарат с коническим днищем и плоской крышкой, в центре которой установлен центробежный распыляющий механизм 2. При внезапном прекращении подачи суспензии к распыливающему механизму по трубопроводу подводится вода. Иначе горячий теплоноситель с температурой $t_1=300...400$ °С быстро заполнит весь объем сушильной камеры. В этом случае создается угроза самовозгорания дрожжей, налипших на стенках сушильной камеры и газоходах (температура тления дрожжей 170...200 °С).

Внутри сушильной камеры по ее оси расположен газоподвод 4, помещенный в охлаждающую “рубашку” 5, температура которой не должна превышать 80...100 °С при сушке дрожжевой суспензии во избежание прилипания дрожжей к рубашке и их самовозгорания. В рубашку подается холодный воздух. Заканчивается газоподвод направляющим аппаратом 7.

С помощью направляющего аппарата создаются спиралеобразное направление движения теплоносителя и значительные скорости последнего (50...60 м/с), что улучшает перемешивание теплоносителя с каплями дрожжевой суспензии и увеличивает продолжительность контакта. Направляющий аппарат должен быть правильно отрегулирован.

На качество перемешивания распыленной суспензии с теплоносителем влияет также расстояние между верхней площадкой конуса направляющего

аппарата и распыливающим диском. Для дрожжевой суспензии это расстояние должно быть 250...350 мм.

Подводящий и отводящий газопроводы 4 имеют козырьки 6, служащие для предотвращения оседания сухих дрожжей на стенках газопроводов. С внешней стороны сушильной камеры на уровне нижней плоскости факела распыла установлены вибраторы 3, служащие для удаления налипших дрожжей с внутренних стенок камеры. Сушильная камера имеет двериллаза, расположенные на крышке и боковой стенке камеры. На крышке также располагаются: светильник – для наблюдения за внутренней частью сушилки в процессе работы; предохранительные взрывные клапаны – для предотвращения разрушения сушилки в случае возникновения взрыва дрожжевой пылевоздушной смеси в объеме сушильной камеры. При взрыве образуется большое количество газов и, как следствие, резко повышается давление вследствие чего разрываются мембраны предохранительных клапанов и образовавшиеся газы отводятся в безопасную зону. Под конусом сушилки установлен шлюзовый питатель (на рисунке не показан), который подает сухой продукт в пневмопровод, обеспечивая при этом плотность сушильной камеры, работающей под разрежением 500 Па. Сушильная камера оборудуется устройством для пожаротушения.

Корпус сушильной камеры изготавливается из нержавеющей стали, а с наружной стороны покрывается теплоизоляцией и облицовывается алюминиевыми листами.

Если сушилка устанавливается вне помещения, то над ней оборудуется утепленный шатер, для вентиляции которого устанавливается дефлектор.

Техническая характеристика распылительных сушилок приведена в таблице 2, где D – внутренний диаметр сушильной камеры; H – высота цилиндрической части камеры; V – рабочий объем камеры; W – производительность по испаренной влаге.

Сушилки иностранных фирм

Сушилка фирмы “Нубилоса” (Германия). Теплоноситель вводится тангенциально в центр камеры со скоростью 6...12 м/с и отводится также из центра вместе с высушенным продуктом (рисунок 3,б). Форсунки устанавливаются сверху сушильной камеры, их количество достигнет 32 шт. в зависимости от производительности камеры.

Сушилка фирмы “Лурги” (Германия) может работать как с прямоточным, так и с противоточным движением теплоносителя и распыленного материала (рисунки 3,а и 3,б). Форсунки устанавливаются на 2 мм ниже верхней части цилиндра для создания зоны сепарации при работе по принципу противотока.

Таблица 2 – Техническая характеристика распылительных сушилок

Типоразмер	Исполнение	D, мм	H, мм	V, м ³	W, кг/ч	Масса сушильной камеры, не более для исполнений			
						1	2,3	4,5	6
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
РЦ 1,0-1,2*	2,3	1000	1500	1,2	2...10	—	380	—	—
РФ 1,0-1,6	2	1000	2000	1,6	4...20	—	550	—	—
РЦ 1,2-0,9	2	1200	800	0,9	2...10	—	205	—	—
РФ 1,8-10		1800	4000	10	20...200	—	1300	—	—
РЦ 2,5-10	2	2500	2000	10	20...200	—	2500	—	—
РЦ 2,5-15			3000	15	30...300	—	3000	—	—
РФ 2,5-20	2,3	2500	4000	20	40...400	—	3400	—	—
РФ 2,5-25			5000	25	60...600	—	3500	—	—
РЦ 3,2-11	2,4	3200	1400	14	25...250	—	2800	2300	—
РЦ 3,2-16			2000	16	32...320	—	4000	3500	—
РЦ 3,2-24			3000	24	48...480	—	5000	4500	—
РЦ 3,2-30			4000	30	60...600	—	6000	5500	—
РФ 3,2-50	2,3	4000	6000	50	100...1000	—	4000	—	—
РФ 3,2-65			8000	65	130...1300	—	5000	—	—
РЦ 4-40	2,4	4000	3000	40	80...800	—	7000	6000	—
РЦ 4-50			4000	50	100...1000	—	8000	7000	—
РЦ 4-60			5000	60	120...1200	—	9500	8500	—
РФ 4-75	2,3, 4,5	4000	6000	75	150...1500	—	8000	7500	—
РФ 4-100			8000	100	200...2000	—	9000	8500	—
РФ 4-125			10000	125	250...2500	—	14500	13500	—
РЦ 5-80	2,4	5000	4000	80	160...1600	—	10000	9000	—
РЦ 5-100			5000	100	200...2000	—	14000	12500	—
РЦ 5-120			6000	120	240...2400	—	10000	14500	—
РФ 5-140	2,3, 4,5	5000	7000	140	280...2800	—	12000	11000	—
РФ 5-200			10000	200	400...4000	—	13500	12000	—
РФ 5-235			12000	235	470...4700	—	36000	14500	—
РЦ 6,5-135	1,2, 4	6500	4000	165	270...2700	20000	17000	16000	—
РЦ 6,5-170			5000	170	340...3400	21500	18000	17000	—
РЦ 6,5-200			6000	200	400...4000	23000	19000	18000	—
РФ 6,5-330	1,2, 3,4, 5	6500	10000	330	660...6600	—	19500	18000	—
РФ 6,5-600			12000	400	800...8000	—	21000	19500	—
РФ 6,5-600			18000	600	1200...12000	—	27000	25500	—

Окончание таблицы 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
РЦ 8-300	1,2, 4	8000	6000	300	600...6000	25500	26000	24500	—
РЦ 8-350			7000	350	700...7000	27000	28500	27000	—
РЦ 8-400			8000	400	800...8000	28000	36000	28500	—
РФ 8-600	1,2, 3,4, 5		12000	600	1200...12000	—	31000	30000	—
РФ 8-800			10000	800	1600...16000	—	35000	34000	—
РФ 8-1100			22000	1100	2200...22000	35000	58000	57000	—
РЦ 10-550	1,2, 4	10000	7000	550	1100...11000	37000	40000	38500	—
РЦ 10-785			10000	785	1570...15700	45000	50000	48500	—
РЦ 12,5-1100	1,2, 4	12500	9000	1100	2200...22000	64000	70000	67000	—
РЦ 12,5-6500			12000	1500	3000...30000	68000	80000	77000	—
РЦ 15-2650	6	1500	15000	2650	50000	—	—	—	150000

* Распылительная сушилка РЦ 1,0 - 1,2 изготавливается с двумя распылителями: центробежным распыливающим механизмом и пневматической форсункой.

Примечания:

1 Производительность сушилки указана при влагосъеме с 1 м³ рабочего объема сушильной камеры от 2 кг/(ч·м³) и при температуре теплоносителя на выходе из сушилки 70 °С до 20 кг/(ч·м³) при температуре на входе 600 °С и на выходе 150 °С.

2 Расчетная масса сушильных камер определена при толщине стенки камеры 3 мм и плотности стали 7850 кг/м³ с учетом массы каркаса без изоляции.

3 Рабочий объем соответствует объему цилиндрической части камеры

Сушилка фирмы "ЦАН" (Германия) с верхним подводом теплоносителя к основанию факела распыла (рисунок 2,б). Для закручивания потока теплоносителя устанавливаются лопатки (направляющий аппарат). Средняя скорость теплоносителя по вертикали на выходе из направляющего цилиндра составляет 5...8 м/с. Расстояние от оси до потолка 0,9 м. При диаметре камеры D_к = 9 м отношение H/D_к = 0,75.

Сушилка фирмы "Ниро-Атомайзер" (Дания) с нижним подводом теплоносителя через направляющий аппарат (рисунок 2,а).

Сушилка фирмы "Спешим" (Франция) с верхним локальным подводом теплоносителя к форсункам и нижним боковым выводом теплоносителя (рисунок 3,б).

Сушилка фирмы "Нема" (Германия) с размещением дисков внизу камеры и комбинированным подводом теплоносителя снизу и сверху к основанию факела и по периферии. По своей конструкции и технологическим данным не отвечает современным требованиям сушильной техники.

В таблице 3 приводятся показатели работы промышленных распылительных сушилок.

КОНСТРУКЦИИ РАСПЫЛИТЕЛЕЙ

Требования, предъявляемые к распылителям сушилок:

- создание требуемой формы факела распыляемого раствора (угол факела, распределение капель раствора в пространстве);
- обеспечение требуемого качества распыления (по размеру и однородности);
- надежность работы распылителя (предотвращение засорения выходного отверстия);
- минимальные энергозатраты;
- обеспечение максимальной производительности единичного распылителя;
- возможность плавной регулировки производительности без существенного изменения дисперсности распыла, что важно при автоматизации сушильных установок.

При сушке используются три метода распыливания жидкости: механическими форсунками, пневматическими форсунками и центробежно-дисковыми распылителями [2].

Центробежные механические форсунки

Распыление проводится при давлении 3...20 МПа. Качество распыления в основном определяется турбулентностью струи. Турбулентность струи увеличивается, если ей придается вращательное движение. На этом принципе работают большинство механических форсунок.

На рисунке 4 показана форсунка для тонкого диспергирования растворов, дрожжевой суспензии под давлением от 3 до 15 МПа. Форсунка состоит из головки 2, корпуса 3 и насадки 1, выполненной из антиэрозионного материала. Диаметр выходного отверстия может быть 0,8; 1,0; 1,2; 1,5 мм. Для закручивания потока в корпусе нарезаны спиральные канавки. Изменяя давление подачи раствора, можно регулировать угол раскрытия факела.

Форсуночный блок (рисунок 5) состоит из трех форсунок 2, ввинченных в специальный корпус 1.

На рисунке 6 показаны форсунки различных конструкций, применяемые для грубого распыла растворов, загрязненных посторонними примесями.

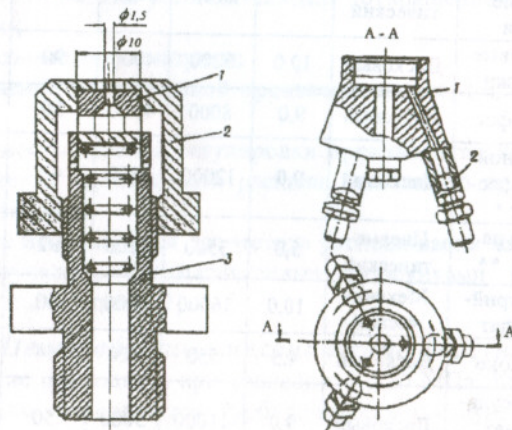
Таблица 3 – Показатели промышленных распылительных сушилок

Конструкция сушилки	Материал	Способ распыления	Характеристика сушилки					$t_1, ^\circ\text{C}$
			$D, \text{ м}$	$G_1, \text{ кг/ч}$	$W, \text{ кг/ч}$	$\omega_{01}, \%$	$A, \frac{\text{кг}}{\text{м}^2 \cdot \text{ч}}$	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Отечественная сушилка	Краситель	Дисковый	5,8	68	55	80	0,4	120
	Краситель	Дисковый	4,5	440	370	84	4,2	135
	Молоко	Механический	2,9	100	50	50	2,78	140
	Кровь	Механический	2,9	—	80	84	3,7	150
	Дубильный экстракт	Дисковый	4,5	750	300	40	4,2	150
	Неорганические соли	Пневматический	5,5	2700	2000	74	8,0	400
	Кормовые дрожжи	Дисковый	10,0	5200	4000	90	7,5	350
	Аммофос	Дисковый	9,0	8000	4000	50	8,0	650
	Двойной суперфосфат *	Дисковый	9,0	12000	4800	40	9,0	550
	Пульпа SiO_2 **	Пневматический	5,0	3500	3200	92	12,0	950
"Спешим" (Франция)	Динарий-фосфат	Механический	10,0	16000	8000	50	5,5	500
"ЦАН" (Германия)	Молоко	Дисковый	4,5	550	300	54	4,0	150
	Бензосульфат натрия	Дисковый	9,0	11000	5000	50	11,0	500
"НЕМО" (Германия)	Кровь	Дисковый	2,9	90	80	89	2,5	140
	Кровь	Дисковый	4,7	430	360	84	4,2	140
	Крупяные отвары	Дисковый	4,5	550	360	55	4,1	140
"Лурги" (Германия)	Молоко	Дисковый	5,0	—	—	57	3,0	140
	Сульфанол	Механический	8,0	14000	5600	40	8,0	300

Окончание таблицы 3

1	2	3	4	5	6	7	8	9
"Кестнер" (Франция)	Сульфано́л	Механический	4,0	3100	2500	82	10,0	500
	Сульфано́л	Механический	5,7	8400	4200	50	7,5	300
"Геринг" (Германия)	Кровь	Механический	6,0	1100	800	75	3,7	135
"Нубилоза" (Германия)	$CaCl_2$	Пневматический	5,5	1400	1100	79	9,0	310
"Ниро-Атомайзер" (Дания)	Кормовые дрожжи	Дисковый	7,5	2300	1800	80	4,5	300

* $H_k = 9$ м; $\omega_{O_2} = 0,5...1,0$ %; $t_2 = 115$ °С.
 ** $H_k = 12$ м; $\omega_{O_2} \approx 0$ %; $t_2 \approx 120$ °С; 12 форсунок



1 – насадка; 2 – головка; 3 – корпус.

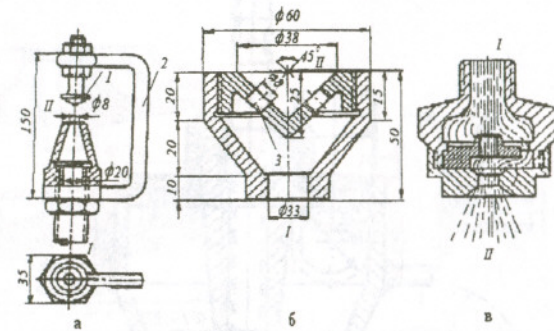
1 – корпус; 2 – форсунка.

Рисунок 4 – Механическая форсунка Рисунок 5 – Форсуночный блок

Форсунка ВТИ* ударного действия (рисунок 6,а) нечувствительна к загрязненным растворам, распыление происходит вне ее корпуса за счет удара струи раствора о специальный разбрызгиватель (коническая насадка) 1

* ВТИ – Всесоюзный теплотехнический институт

расположенный напротив отверстия. Во избежание быстрого износа дуги 2, на которой укреплена коническая насадка, в форсунке ВТИ (рисунок 6,б) разбрызгивание струи на капли производится при соударении двух струй, выходящих из отверстий (каналов) 3, сделанных в корпусе форсунки.



а, б – форсунки ВТИ; в – форсунка грубого распыла; 1 – коническая насадка; 2 - дуга; 3 – отверстия; I – вход раствора; II – выход капель раствора.

Рисунок 6 – Механические форсунки грубого распыла

Механическая форсунка (рисунок 6,в) применяется для распыления больших количеств растворов с грубым диспергированием.

Пневматические форсунки

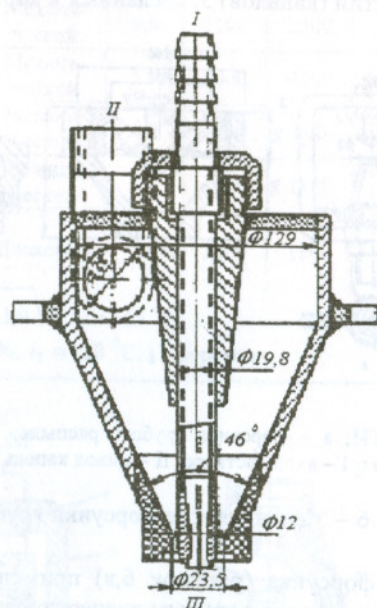
К форсункам подаются два потока: распыливающий (сжатый газ) и распыляемый (жидкость). При этом диспергирование является следствием динамического взаимодействия потоков.

Форсунки бывают *высоконапорные* (при давлении 0,3...0,6 МПа с относительным расходом распыливающего газа 0,3...1,0 кг/кг жидкости) и *низконапорные* (при давлении менее 0,01 МПа с относительным расходом газа 4...10 кг/кг жидкости).

В качестве распыливающего газа применяется воздух или водяной пар, причем конструктивные различия форсунок не существенны. Желательно применять для распыла перегретый пар, так как насыщенный пар при адиабатических условиях истечения из форсунки будет частично конденсироваться. Влажный пар для распыления применять нельзя.

В распылительных сушилках используются высоконапорные пневматические форсунки внешнего смещения (рисунок 7) с центральной подачей раствора I и тангенциальной подачей сжатого воздуха или пара II. Производительность форсунки 550 кг/ч, с увеличением производительности резко

возрастает неоднородность распыла. Максимальный диаметр факела распыла 2,2 м.



I – вход раствора; II - вход пара или сжатого воздуха; III – выход капель раствора.

Рисунок 7 – Пневматическая форсунка

При использовании для распыления жидкостей пара температура теплоносителя на входе в сушилку должна быть выше 300°C , а на выходе – $135...140^{\circ}\text{C}$, чтобы получить достаточно эффективный процесс испарения влаги из жидкости.

Другие конструкции пневматических форсунок описаны в книге [2].

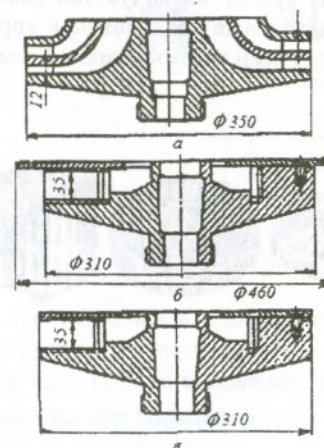
Центробежно-дисковые распылители

Основные узлы распылителя: диск распыливающий; привод диска и система автоматического управления.

Распыливающие диски. Наиболее широко применяются в промышленности центробежные диски с лопатками или соплами.

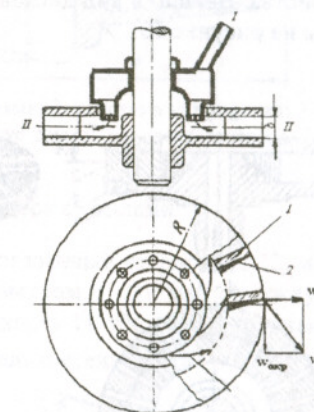
В центробежном методе распыла раствору сообщаются большие скорости без давления на него. Через специальную распределительную коробку или трубу с отверстиями раствор под небольшим избыточным давлением подается на диск, где он получает вращательное движение. Под действием

центробежной силы раствор в виде пленки с непрерывно возрастающей скоростью перемещаются к лопаткам (рисунки 8 и 9) или соплам и далее по ним – к периферии диска, откуда сбрасывается. При этом происходит распыление раствора.



а – двухъярусный диск с короткими лопатками; б – одноярусный диск с покрывным козырьком; в - одноярусный диск.

Рисунок 8 – Диски с лопатками

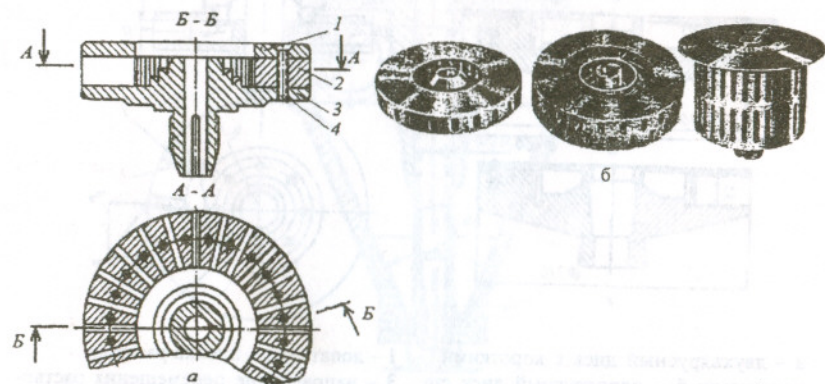


1 – лопатка; 2 – пленка раствора; 3 – направление перемещения раствора по гладкому диску; I - подача раствора; II – распыление раствора.

Рисунок 9 – Схема движения раствора по диску с радиальными лопатками

Диски с лопатками. Схема движения раствора по диску с радиальными лопатками показана на рисунке 9. Каждая частица раствора приобретает два вектора скорости: один направлен радиально w_r , другой – по касательной к окружности $w_{окр}$. Если раствор перемещается по канавкам (диски с соплами), его скольжением можно пренебречь, и тангенциальная скорость будет равна окружной скорости диска $w_{окр} = \pi d_{\delta} n_{\delta}$, где d_{δ} и n_{δ} - диаметр, м и частота вращения диска, с^{-1} , соответственно. Радиальная скорость при движении раствора без трения также будет равна окружной скорости диска ($w_r = w_{окр}$). Тогда абсолютная максимально возможная скорость раствора w при отрыве от диска равна: $w = (2\pi d_{\delta} n_{\delta})^{0.5}$.

При малых окружных скоростях диска (менее 50 м/с) получается неоднородный распыл. Рабочая окружная скорость дисков находится в пределах $w_{окр} = 90...150$ м/с. Для дисков диаметром от 250 до 320 мм количество лопаток составляет для одноярусного от 24 до 48 мм, а высота лопаток – от 20 до 40 мм. Диски с лопатками применяются для сушки термочувствительных высоковлажных растворов, имеющих незначительные эрозионные и коррозионные свойства. Внешний вид дисков с лопатками фирмы Ниро - Атомайзер показаны на рисунке 10.



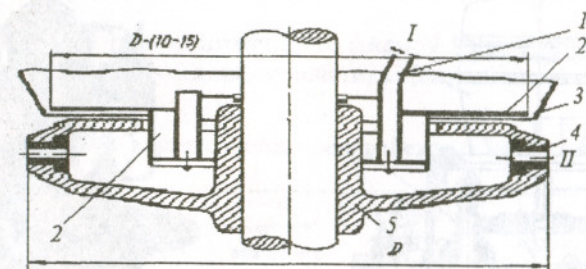
а – диск с лопатками; 1 – крышка; 2 – лопатки; 3 – корпус; 4 – винт;
б – внешний вид дисков.

Рисунок 10 – Диски фирмы Ниро – Атомайзер

Диски с соплами. Применяются для уменьшения самовентиляции диска и упрощения проблемы подбора материала для его изготовления.

На рисунке 11 показан диск с соплами диаметром 6...8 мм в количестве 16 шт. Сопла являются сменными и выполняются из специальных сплавов. Скорость перемещения раствора по диску высокая, поэтому износ его небольшой.

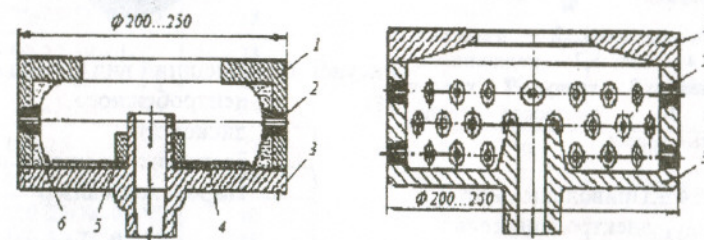
Диск, изображенный на рисунке 12, применяется для распыла суспензий, вызывающих эрозию и коррозию, и имеет сменные сопла 2 и днище 4. Сопла на 10...20 мм отстоят от внутренней стенки. Вращающийся диск действует как центрифуга: твердые частицы сепарируются, оседают на стенке и создают защитный слой 6. Производительность такого диска 10...15 т/ч.



1 – распределитель жидкости с отверстиями; 2 – система уплотнений; 3 – рубашка корпуса; 4 – сменные сопла; 5 – корпус диска; I – вход раствора; II – выход раствора.

Рисунок 11 – Диск с соплами

Трехъярусный сопловой диск, показанный на рисунке 13, имеет в каждом ярусе по 16 сменных сопел диаметром 8...10 мм, окружную скорость диска $w_{окр} = 120$ м/с и производительность 11 т/ч. Многоярусные диски используются для больших производительностей.



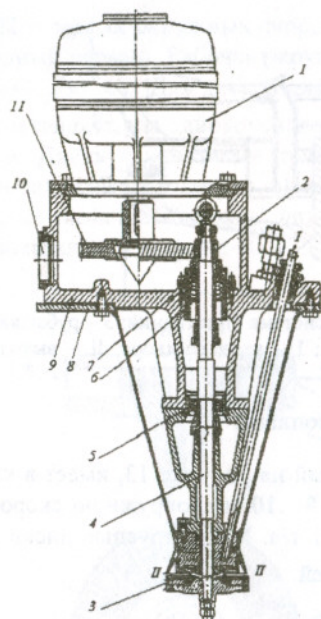
1 – корпус; 2 – сменные сопла из специальных материалов; 3 – дно диска; 4 – сменное днище; 5 – гайка; 6 – твердый осадок.

1 – крышка; 2 – сопла; 3 – корпус.

Рисунок 13 – Трехъярусный сопловый диск

Рисунок 12 – Сопловый диск для распыления эрозионных и коррозионных материалов

Привод диска. Для получения большой частоты вращения диска ($50...170$ с⁻¹) применяются электродвигатели с повышающим редуктором (рисунки 14 и 15).



1 – электродвигатель; 2 – шестерня;
3 – диск; 4 – вал; 5,7 – подшипники;
6 – уплотнения; 8 – корпус;
9 – корпус редуктора; 10 – смотровое стекло;
11 – зубчатые колеса.

Рисунок 14 – Привод диска от электродвигателя через редуктор

Раствор под небольшим давлением насосом подается на распределитель, обеспечивающий равномерное распределение раствора на диске. Распыливающий диск 3 насаживается на конец быстроходного вала 4, приводимого во вращение от электродвигателя 1 и повышающего редуктора 9. Зубчатая передача редуктора в процессе работы обильно смазывается маслом. Для контроля уровня масла в редукторе имеется смотровое стекло 10. Циркуляция масла обычно осуществляется насосом. Охлаждение масла проводится в выносном холодильнике. Для предотвращения перегрева масла в шариковых подшипниках в распылителе предусматривается воздушное или водяное охлаждение. Привод снабжается автоматическим отключением в случае перегрузки или перегрева подшипников выше 70 °С. Все наружные части распылителя изготавливаются из нержавеющей стали и изолируются.

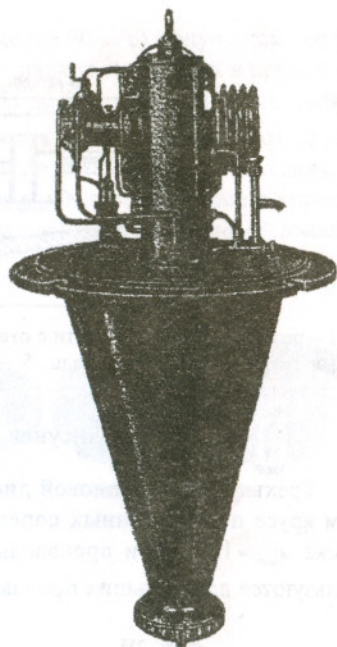


Рисунок 15 – Внешний вид привода центробежного дискового распылителя фирмы Ниро – Атомайзер

Для привода используются вертикальные фланцевые электродвигатели с числом оборотов 50 с⁻¹.

Внешний вид привода, изготовленного фирмой Ниро-Атомайзер показан на рисунке 15. Техническая характеристика центробежных распылителей приведена в таблице 4.

Таблица 4 – Техническая характеристика центробежных распылителей

Типоразмер	Производительность, т/ч	Частота вращения диска, с ⁻¹	Мощность электродвигателя, кВт	Габаритные размеры, мм
ЦЭЛ 22-25-5К-01-У3	3	167	22	700x700x2062
ЦЭС 22-27-7К-02-У3	4			
ЦЭЛ 30-25-5К-02-У3	4,5	134	30	700x700x2102
ЦЭС 30-22-7К-01-У3	5			
ЦЭЛ 55-27-5К-01-У3	12	134	55	930x700x2625
ЦЭЛ 55-28-6К-01-У3	11			
ЦЭС 55-25-7К-02-У3	14			
ЦЭЛ 75-27-5К-01-У3	18	134	75	930x700x2700
ЦЭЛ 75-28-6К-02-У3	17			
ЦЭС 75-25-7К-01-У3	18			
ЦЭЛ 90-27-5К-01-У3	23	134	90	930x700x2740
ЦЭЛ 90-28-6К-01-У3	21			
ЦЭС 90-25-7К-01-У3	24			
ЦЭС 110-25-7К-01-У3	27	134	110	900x802x3205
ЦЭС 132-25-6К-02-У3	32		132	900x802x3215
ЦЭС 160-25-7К-01-У3	40	134	160	900x802x3214
ЦЭС 160-30-7К-01-У3	28			
ЦЭС 200-25-7К-01-У3	50	134	200	900x802x3265
ЦЭС 200-25-6К-02-У3				
ЦЭС 200-30-7К-01-У3	40			

Обозначения центробежных распылителей:

Ц – центробежный; Э – электроприводной; Л – лопастной; С – сопловой тип диска; 55 – установленная мощность привода кВт; 27 – диаметр распыливающего диска, см; 5 – рабочие элементы диска незащищенные (6 – рабочие элементы диска с защитой из карбида кремния С-2, а 7 – рабочие элементы диска с защитой из боросилицированного графита БСТ – 60); К – группа материалов основных деталей, соприкасающихся с обрабатываемым продуктом (коррозионно-стойкие); 01 – порядковый номер модели поставки с комплектом автоматики (02 – порядковый номер поставки без комплекта автоматики); У3 – вид климатического исполнения (зоны с умеренным климатом) по ГОСТ 15150-69.

Преимущества и недостатки распылителей сведены в таблицу 5.

Таблица 5 – Преимущества и недостатки распылителей

Тип распылителя, применение	Преимущества	Недостатки
Механическая форсунка (распыл истинных и коллоидных растворов)	Проста, компактна, работает бесшумно, экономична, расход энергии на распыливание небольшой (2...4 кВт на 1000 кг раствора)	Распыл грубый и неоднородный. Затруднено регулирование расхода при заданном качестве дробления и распыливание высоковязких жидкостей. Отверстие форсунки быстро засоряется и разрабатывается
Пневматическая форсунка (распыл растворов любой вязкости)	Надежность в эксплуатации, малая зависимость качества распыла от производительности, возможность распыливания высоковязких жидкостей	Повышен расход электроэнергии (50...60 кВт на 1000 кг раствора). Для подачи воздуха на распыл необходим компрессор
Центробежно-дисковые распылители (распыл высоковязких растворов, грубых суспензий и паст)	Возможно распыливать высоковязкие жидкости, регулировать производительность в широком диапазоне без существенного изменения дисперсности	Сложная конструкция распылителя, велики энергозатраты

Выбор типа распыливающего устройства и его конструкция определяются свойствами распыливаемой жидкости (истинные растворы, грубые суспензии или вязкие массы и пр.), необходимостью получения однородного факела распыла определенной дисперсности, требуемой производительностью, степенью сложности конструкции и обслуживания, а также экономическими соображениями.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ СУШИЛКИ

Цель расчета – определение количества испаряемой влаги, материальных потоков (материальный баланс), количества тепла (пара, топлива), затрачиваемого на проведение процесса сушки (тепловой баланс) и расхода теплоносителя.

Материальный баланс

Взаимосвязь между абсолютной ω_a и относительной ω_o влажностью материала:

$$\omega_a = \frac{100\omega_o}{100 - \omega_o}; \quad \omega_o = \frac{100\omega_a}{100 + \omega_a}$$

Материальный баланс:

$$\text{- по потоку } \bar{G}_1 = \bar{G}_2 + W; \quad (1)$$

$$\text{- по испаряемой влаге } \frac{\bar{G}_1 \omega_{o1}}{100} = \frac{\bar{G}_2 \omega_{o2}}{100} + W; \quad (2)$$

$$\text{- по абсолютно сухому материалу } \bar{G}_a = \frac{\bar{G}_1(100 - \omega_{o1})}{100} = \frac{\bar{G}_2(100 - \omega_{o2})}{100}$$

Совместное решение уравнений (1 и 2) материального баланса:

$$\frac{\bar{G}_1}{100 - \omega_{o2}} = \frac{\bar{G}_2}{100 - \omega_{o1}} = \frac{W}{\omega_{o1} - \omega_{o2}}$$

Построение рабочей линии процесса сушки на I - x диаграмме

Цель построения рабочей линии процесса сушки на I - x диаграмме – графическое определение температуры материала на выходе из сушилки θ_2 и сравнения параметров теплоносителя на выходе из сушилки, рассчитанных аналитически и определенных по I - x диаграмме графически [6].

Температура частицы в процессе сушки непрерывно изменяется и зависит не только от параметров теплоносителя, но и от влажности, молекулярной структуры высушиваемого раствора, от размера частиц. Однако изменение температуры мокрого термометра незначительно по сравнению с изменением температуры теплоносителя.

При испарении влаги с поверхности капелек раствора размером 50...200 мкм температура высушиваемого материала θ_2 принимается приблизительно равной температуре мокрого термометра $\theta_2 = t_{m1}$ (период постоянной скорости сушки) при параметрах теплоносителя на входе в сушилку (x_1, t_1, I_1). Чем выше влажность высушиваемого материала, тем ближе температура материала θ_2 к температуре мокрого термометра t_{m1} .

Расчет топок для сушильных установок приведен в руководстве [7].

При сушке смесью топочных газов и воздуха с достаточной для практики точностью можно пользоваться I - x диаграммой, составленной для влажного воздуха.

Аналитическое определение параметров теплоносителя

Влагосодержание смеси топочных газов и воздуха на входе в сушилку (точка В) x_1 кг/кг:

$$x_1 = x'' = d'' / l''_{c,2} = \frac{x_{m,2} + x_0 n}{1 + n}, \quad (3)$$

где $l''_{c,2}$ и d'' - количество сухой смеси и паров воды соответственно в смеси топочных газов и воздуха на 1 кг топлива, кг/кг [7];

n – количество воздуха, подаваемого в камеру смешения на разбавление 1 кг топочных газов до t_1 , кг воздуха/кг топочных газов:

$$n = L_{см} / L_{m,2}$$

где $L_{m,2}$ – количество топочных газов, получаемых при сжигании 1 кг топлива, кг газа/кг топлива:

$$L_{m,2} = l'_{c,2} + d'$$

где $l'_{c,2}$ и d' – масса сухого воздуха и водяного пара соответственно получаемого при сжигании 1 кг топлива с избытком воздуха, кг/кг.

Теплосодержание смеси топочных газов и воздуха на входе в сушилку (точке В) I_1 , кДж/кг:

$$I_1 = 1,01t_1 + (2493 + 1,97t_1)x_1 \quad \text{или} \quad I_1 = \frac{I_{m,2} + I_{m,2}}{1+n} \quad (4)$$

Теплосодержание продуктов сгорания, а равно и воздуха при влажосодержании $x = 0,02...0,4$ кг/кг, определяется по показаниям мокрого термометра I , кДж/кг: $I = 10^{0,0231x + 1,302}$.

Температура мокрого термометра t_w , °С при испарении влаги в диапазоне $t_w = 30...80$ °С определяется из уравнения:

$$t_w = 43,51gI - 56,6 \quad (5)$$

Линия \overline{AB} – изменение параметров смеси (линия смешения), зависит от соотношения количества топочных газов и холодного воздуха (рисунок 16).

Графическое определение параметров теплоносителя

Обозначения (см. рисунок 16):

- точка А характеризуется параметрами подмешиваемого холодного воздуха (x_0, t_0, I_0);
- точка К – параметрами топочных газов ($I_{m,2}, x_{m,2}$);
- точка В – параметрами смеси топочных газов и воздуха (x_1, I_1, t_1);
- точка С – параметрами отработанного теплоносителя (x_2, t_2, I_2).

Последовательность построений на I–x диаграмме

1 Строим точку А по координатам x_0 и t_0 .

2 Строим точку К по координатам $x_{m,2}$ и $t_{m,2}$ [7, формула 20].

3 Соединяем точки А и К, линия \overline{AK} – рабочая линия процесса горения топлива.

Наклон линии АК зависит от теплотворной способности топлива. Для одного и того же топлива наклон линии АК зависит от его влажности.

Теплосодержание топочных газов $I_{m,2}$ не зависит от влажности топлива и при одном и том же коэффициенте избытка воздуха α будет неизменным.

4 Находим точку В по пересечению линии температур $t_1 = const$ (задана) с рабочей линией процесса горения \overline{AK} , определяем значения x_1 и I_1 и сравниваем с расчетными значениями x_1 и I_1 (формулы 3 и 4).

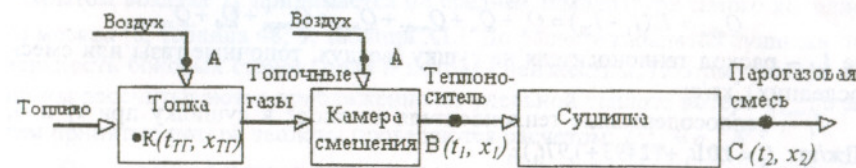
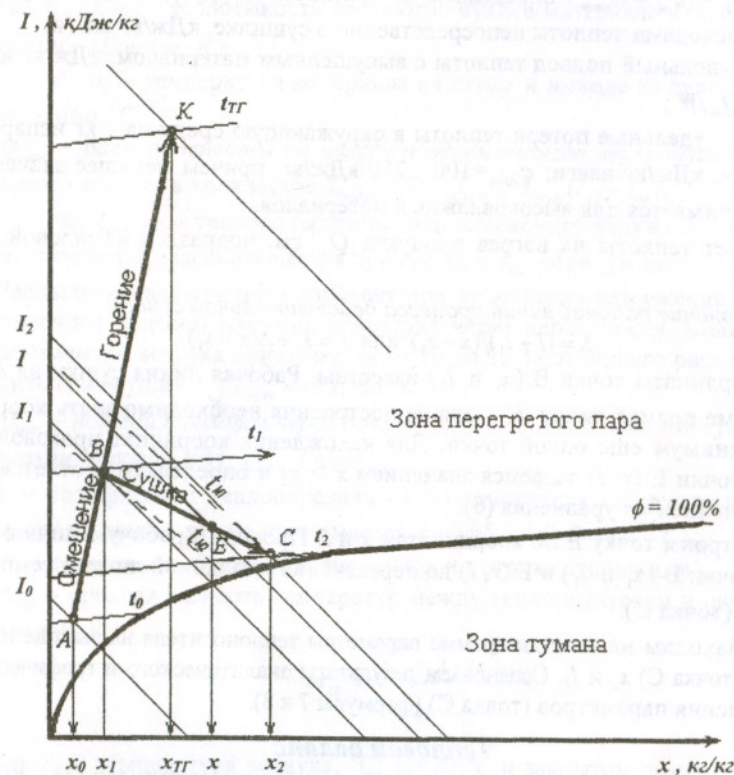


Рисунок 16 – Построение рабочей линии процесса сушки

5 Определяем температуру частиц материала на выходе из сушилки θ_2 по t_{m1} для точки В. В первом приближении процесс сушки принимается теоретическим, т. е. $I_1 = I_2$, температура t_{m1} находится по пересечению линии

теплосодержания I_1 и относительной влажности воздуха при насыщении $\varphi = 100\%$ и сравниваем с расчетным значением t_{m1} (формула 5).

Из уравнения внутреннего теплового баланса сушилки $\Delta = 4,19\theta_1 - (q_m + q_{ном})$ определяем Δ - разность между удельными приходами и расходами теплоты непосредственно в сушилке, кДж/кг влаги, где q_m - удельный подвод теплоты с высушенным материалом, кДж/кг влаги: $q_m = Q_m/W$;

$q_{ном}$ - удельные потери теплоты в окружающую среду на 1 кг испаренной влаги, кДж/кг влаги; $q_{ном} = 100 \dots 250$ кДж/кг, причем меньшее значение $q_{ном}$ принимается для высоковлажных материалов.

Расчет теплоты на нагрев продукта Q_m см. подраздел «Тепловой баланс».

Уравнение рабочей линии процесса действительной сушки:

$$\Delta = (I - I_1)/(x - x_1) \text{ или } I = I_1 + \Delta(x - x_1) \quad (6)$$

Координаты точки В (x_1 и I_1) известны. Рабочая линия сушки на $I - x$ диаграмме прямая линия \overline{BC} , для ее построения необходимо знать координаты минимум еще одной точки. Для нахождения координат произвольно взятой точки Е (x, I) задаемся значением $x > x_1$ и определяем соответствующее значение I из уравнения (6).

6 Строим точку Е по координатам x и I . Проводим рабочую линию \overline{BC} через точки В (x_1 и I_1) и Е (x, I) до пересечения с заданной линией температуры t_2 (точка С).

7 Находим на $I - x$ диаграмме параметры теплоносителя на выходе из сушилки (точка С) x_2 и I_2 . Сравниваем результаты аналитического и графического определения параметров (точка С) (формулы 7 и 8).

Тепловой баланс

Расход теплоты на проведение процесса сушки материала $Q_{общ}$, кВт:

$$Q_{общ} = L_1(I_1 - I_{21}) = Q_u + Q_m + Q_{подс} + Q_{ном} + Q_{расп} + Q_\theta + Q_{лим},$$

где L_1 - расход теплоносителя на сушку (воздух, топочные газы или смесь последних), кг/с;

I_1 - теплосодержание теплоносителя на входе в сушилку при x_1 и t_1 , кДж/кг: $I_1 = 1,01t_1 + (2493 + 1,97t_1)x_1$;

I_{21} - теплосодержание теплоносителя на выходе из сушилки при t_2 и x_1 , кДж/кг: $I_{21} = 1,01t_2 + (2493 + 1,97t_2)x_1$;

Q_u - расход теплоты на испарение влаги, кВт:

$$Q_u = W(2493 + 1,97t_2 - 4,19\theta_1);$$

Q_m - расход теплоты на нагревание высушенного материала влажностью ω_{02} , кВт: $Q_m = G_2 C_{m2}(\theta_2 - \theta_1)$,

где C_{m2} - теплоемкость материала с влажностью ω_{02} , кДж/(кг·К):

$$C_{m2} = C_m \frac{100 - \omega_{02}}{100} + C_{H_2O} \frac{\omega_{02}}{100},$$

где C_m , C_{H_2O} - теплоемкость абсолютно сухого материала и воды, соответственно, кДж/(кг·К);

θ_1 , θ_2 - температура материала на входе и выходе из сушилки, соответственно, °С;

$Q_{подс}$ - расход теплоты на нагрев подсосываемого через неплотности наружного воздуха в количестве $L_{подс}$, кВт: $Q_{подс} = L_{подс}(I_{n2} - I_{n1})$,

где I_{n1} , I_{n2} - теплосодержание подсосываемого наружного воздуха, кДж/кг: причем I_{n1} рассчитывается при t_0 и x_0 , а I_{n2} - при t_2 и x_0 .

Распылительная сушилка работает при небольшом разрежении, поэтому возможны подсосы наружного воздуха через неплотности. Количество подсосываемого воздуха принимается от 10 до 15 % от общего расхода теплоносителя на сушку L_1 : $L_{подс} = (0,1 \dots 0,15)L_1$;

$Q_{ном}$ - потери теплоты через боковые стенки, пол и потолок сушилки в окружающую среду, кВт: $Q_{ном} = kF\Delta t_{cp}$,

где k - коэффициент теплопередачи от теплоносителя к окружающей сушилку среде, приближенно принимается $k = 0,65 \dots 1,0$ Вт/(м²·К);

F - поверхность боковых стенок, пола и потолка сушилки, м²;

Δt_{cp} - средняя разность температур между теплоносителем и окружающей средой, К:

$$\Delta t_{cp} = \frac{(t_1 - t_B) - (t_2 - t_B)}{\ln \frac{t_1 - t_B}{t_2 - t_B}},$$

где t_B - температура воздуха, °С; $t_B = 20$ °С в закрытом помещении; на открытом воздухе t_B принимается по средней температуре самого холодного месяца [8, таблица 48; 9, таблица XL]. До расчета габаритов сушилки поверхность боковых стенок, пола и потолка неизвестны. Поэтому потери теплоты рассчитываются приближенно по удельной теплоте потерь $q_{ном}$, а затем принятые потери теплоты проверяются расчетом: $Q_{ном} = q_{ном}W$;

$Q_{расп}$ - расход теплоты на нагревание распыливающего агента, кВт:

а) при распыливании пневматическими форсунками суспензий и растворов воздухом: $Q_{расп} = lG_1(I_{p2} - I_{p0})$,

где l - удельный расход воздуха на распыление одного кг суспензии или раствора, кг/кг. Для пневматических форсунок при давлении воздуха $P = 0,3 \dots 0,6$ МПа $l = 0,3 \dots 1,0$ кг/кг раствора, при давлении менее 0,01 МПа $l = 4 \dots 10$ кг/кг раствора;

I_{p2}, I_{p0} – теплосодержание воздуха, подаваемого на распыление материала, кДж/кг; причем I_{p2} определяется при t_2 и x_0 , а I_{p0} – при t_0 и x_0 ;

б) при распыливании пневматическими форсунками суспензий и растворов паром: $Q_{расп} = dG_1(i_{n1} - i_{n2})$,

где d – удельный расход пара на распыление одного кг суспензии или раствора, кг/кг. Для пневматических форсунок при давлении пара $P=0,4$ МПа $d=0,45 \dots 0,5$ кг/кг раствора;

i_{n1}, i_{n2} – теплосодержание пара, подаваемого на распыление суспензии или раствора, причем i_{n1} находится при начальных параметрах пара, по давлению пара P [8, таблица 35; 9, таблица LVII], а i_{n2} – на выходе из сушилки при t_2 [8, таблица 34; 9, таблица LVI].

При распыливании растворов механическими форсунками и центробежными распылителями $l=0, d=0$ и $Q_{расп}=0$.

Q_0 – расход теплоты на дегидратацию, кВт:

$$Q_0 = \Delta q G_1 \frac{100 - \omega_{01}}{100} = \Delta q G_2 \frac{100 - \omega_{02}}{100},$$

где Δq – удельная теплота дегидратации (концентрирования) раствора в кДж на один кг абсолютно сухого материала: $\Delta q = \Delta H_H - \Delta H_K$;

где ΔH_H и ΔH_K – интегральные теплоты растворения; принимаются по справочным данным при соответствующих концентрациях соли: ΔH_H при $(100 - \omega_{01})$ и ΔH_K при $(100 - \omega_{02})$ [10].

$Q_{ХИМ}$ – теплота химических превращений, кВт [см. 10]. При сушке растворов без изменения химического состава и структуры молекул высушиваемого материала $Q_{ХИМ}=0$.

Расход теплоносителя L_1 , кг/с:

$$L_1 = \frac{Q_u + Q_M + Q_{подс} + Q_{ном} + Q_{расп} + Q_0 + Q_{ХИМ}}{I_1 - I_{21}}$$

Количество парогазовой смеси (теплоносителя), выходящего из сушилки, кг/с:

сухих газов: $L_2 = L_1 + L_{подс} + lG_1 = (1,1 \dots 1,15)L_1 + lG_1$ при $L_{подс} = (0,1 \dots 0,15)L_1$;

паров воды: $W_{общ} = L_1 x_1 + (0,1 \dots 0,15)L_1 x_0 + dG_1 + W$,

где $L_1 x_1$ – содержание паров воды в теплоносителе на входе в сушилку;

$(0,1 \dots 0,15)L_1 x_0$ – содержание паров воды в подсосываемом воздухе;

dG_1 – расход водяного пара на распыливание суспензии или раствора пневматической форсункой, кг/с.

Влагосодержание теплоносителя на выходе из сушилки x_2 , кг/кг:

$$x_2 = W_{общ} / L_2. \quad (7)$$

Теплосодержание теплоносителя на выходе из сушилки I_2 , кДж/кг:

$$I_2 = 1,01t_2 + (2493 + 1,97t_2)x_2. \quad (8)$$

Объемный расход теплоносителя V_1 , м³/с:

вход в сушилку: $V_1 = L_1(1 + x_1) / \rho_{t_1}$;

выход из сушилки: $V_2 = L_2(1 + x_2) / \rho_{t_2}$.

ГИДРОДИНАМИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ СУШИЛКИ

Цель расчета – определить оптимальный рабочий объем сушильной камеры V_k и основные размеры сушилки (диаметр D и высоту рабочей части аппарата H) для заданной производительности.

Объем сушильной камеры

В распылительных сушилках очень трудно определить продолжительность пребывания частиц во взвешенном состоянии. Поэтому нельзя достаточно достоверно рассчитать поверхность теплообмена. Расчет сушилок при современном уровне знаний о динамике движения частиц проводится с использованием объемного коэффициента теплоотдачи по интенсивности тепломассообмена в сушильной камере:

Рабочий объем сушильной камеры V_k , м³:

$$V_k = \frac{Q}{k_1 k_2 \Delta t_{cp} \alpha_v}, \quad (9)$$

где Q – количество теплоты, передаваемой от теплоносителя к высушиваемому материалу, кВт: $Q = Q_H + Q_M + Q_D$;

k_1 – коэффициент, учитывающий уменьшение движущей силы за счет перемешивания газа в камере сушилки; $k_1 = 0,8 \dots 0,9$;

k_2 – коэффициент, учитывающий равномерность распределения теплоносителя и частиц материала по объему сушильной камеры; $k_2 = 0,7 \dots 0,8$;

Δt_{cp} – средняя разность температур между теплоносителем и частицей, К;

$$\Delta t_{cp} = \frac{t_1 - t_2}{\ln \frac{t_1 - t_{m1}}{t_2 - t_{m2}}};$$

α_v – объемный коэффициент теплоотдачи, Вт/(м³·К).

На основании обработки данных работы промышленных сушилок при распылении жидкости механическими и пневматическими форсунками и параллельном движении теплоносителей академиком М.В. Лыковым получено критериальное уравнение для расчета α_v :

$$Nu = 1,58 \cdot 10^{-3} \frac{G_1}{\rho_m F_k} \cdot \frac{d_{cp}}{(w_{ам} \pm w_z)^{0,8}}, \quad (10)$$

где d_{cp} – средний объемно-поверхностный диаметр частиц сухого материала, м (формула 14);

F_k – площадь поперечного сечения, м²; $F_k = V_1 / w_z = 0,785 D_{cm}^2$;

w_{sum} – скорость витания сухих частиц при температуре газов t_{cp} в сушильной камере, м/с [9, формула 3.56];

w_z – скорость движения теплоносителя, м/с; принимается $w_z = 0,06 \dots 0,25$ м/с.

Формула (10) получена при следующих интервалах определяющих параметров:

$G_1 = 10 \dots 900$ кг/ч; $d_{cp} = (48 \dots 168) 10^{-6}$ м; $w_z = 0,06 \dots 0,25$ м/с; $F_k = 4 \dots 29$ м²; $\omega_{01} = 44,3 \dots 87$ %; $t_1 = 117 \dots 600$ °С; $V_k = 9,45 \dots 217$ м³.

Объемный коэффициент теплоотдачи α_v , Вт/(м³·К):

– для проточного движения теплоносителя и высушиваемого материала:

$$\alpha_v = 1,58 \cdot 10^{-3} \frac{\lambda_r G_1}{\rho_m F_k d_{cp}^{1,6} (w_{sum} + w_z)^{0,8}}; \quad (11)$$

– для противоточного движения теплоносителя и высушиваемого материала:

$$\alpha_v = 1,58 \cdot 10^{-3} \frac{\lambda_r G_1}{\rho_m F_k d_{cp}^{1,6} (w_{sum} - w_z)^{0,8}}. \quad (12)$$

Объемный коэффициент теплоотдачи при распылении центробежным распылителем (формула А.А. Долинского) α_v , Вт/(м³·К):

$$\alpha_v = 160 \frac{\lambda_{t_{cp}} G_1}{\rho_m F_k w_{окр}} \left(\frac{1}{d_{cp}} \right)^{1,8} \left(\frac{1}{w_z} \right)^{0,4} \left(\frac{g \rho_m}{\rho_{t_{cp}}} \right)^{0,2}, \quad (13)$$

где $\lambda_{t_{cp}}$ и $\rho_{t_{cp}}$ – теплопроводность и плотность теплоносителя при средней температуре $t_{cp} = 0,5(t_1 + t_2)$;

$\lambda_{t_{cp}}$ – Вт/(м³·К) [8, таблица 24]; $\rho_{t_{cp}}$ – кг/м³ [8, таблица 57];

$w_{окр}$ – окружная скорость распыливаемого материала, м/с:

$$w_{окр} = \pi d_o n_o,$$

где d_o и n_o – диаметр и частота вращения диска, м и с⁻¹, соответственно;

ρ_m – плотность распыливаемого материала при θ_1 , кг/м³;

g – ускорение силы тяжести, м/с².

d_{cp} – средний диаметр капель, м.

Формула (13) получена при следующих интервалах изменения определяющих параметров: $V_1 = G_1 / \rho_m = (1 \dots 16) \cdot 10^{-3}$ м³/ч; $t_1 = 100 \dots 300$ °С; $\omega_{01} = 68 \dots 95$ %; $n_o = 300 \dots 400$ с⁻¹; $V_{t_1} = 70 \dots 360$ м³/ч.

При различных методах распыления получен ряд эмпирических формул для расчета среднего диаметра капель. В формулах учитываются как физические характеристики жидкости, так и параметры распыления. Для технических расчетов применяются более простые эмпирические соотношения.

Средний объемно-поверхностный диаметр капли раствора (суспензии) по формуле Фрасера-Домбровского d_{cp} , м:

$$d_{cp} = 0,34 \left(\frac{G_1 \mu_m}{d_o} \right)^{0,2} \left(\frac{1}{n_o} \right)^{0,6} \left(\frac{1}{\rho_m} \right)^{0,5} \left(\frac{\sigma_m}{\Pi} \right)^{0,1}, \quad (14)$$

где μ_m , ρ_m , σ_m – динамическая вязкость, плотность и поверхностное натяжение распыливаемого материала при температуре θ_1 ;

μ_m – Па·с [10; 11, таблица В.6 приложение В];

ρ_m – кг/м³ [11, таблица Б.1 приложение Б];

σ_m – Н/м принимается по воде [8, таблица 14];

n_o – число оборотов распыливающего диска, с⁻¹ (см. таблицу 4);

Π – смоченный периметр диска, м.

Смоченный периметр. Для дисков с лопатками смоченным периметром Π является произведение высоты лопатки h на их количество z : $\Pi = hz$.

Для дисков диаметром $d_o = 250 \dots 300$ мм количество лопаток составляет для однорядного от 24 до 48 шт., высота лопаток от 20 до 40 мм. Длина лопатки обуславливается диаметром диска и способом подвода раствора. Ширина щели выхода жидкости принимается 6...10 мм.

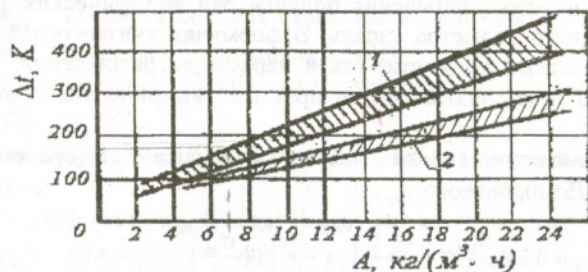
Для сопловых дисков: $\Pi = 2\pi r z$, где z – число каналов, шт.: $z = 16$ шт., для регулируемого диска $z = 16 \cdot 3 = 48$ шт., r – радиус канала м, $r = 6 \dots 8$ мм. Приближенный смоченный периметр принимается равным $\Pi = 0,15 \dots 0,20$ м.

Приведенные выше формулы (9 – 14) получены при исследовании процесса сушки распылением на модельных установках. При расчете промышленных сушилок рекомендуется сопоставить полученные расчеты объема сушилок по объемным коэффициентам теплоотдачи с расчетом объема сушилки по напряжению рабочего объема сушилки по испаряемой влаге. Согласно ГОСТ 18906-80 [4] рабочий объем сушильной камеры V_k , м³:

$$V_k = W/A,$$

где A – влагосъем с 1 м³ рабочего объема камеры, кг/(м³·ч). Значение A определяется по графику (рисунок 17) как функция разности температур Δt , °С: $\Delta t = 0,5(t_1 - t_2) - t_m$.

График применим при $t_1 = 130 \dots 600 \text{ }^\circ\text{C}$, $t_2 = 70 \dots 150 \text{ }^\circ\text{C}$ и $t_{м1} = 40 \dots 60 \text{ }^\circ\text{C}$. Заштрихованная область значений A соответствует номинальным режимам работы сушилок.



1 — для сушилок типа РЦ; 2 — для сушилок типа РФ.

Рисунок 17 — Зависимость разности температур от удельного влагосъема сушильной камеры

Размеры сушильной камеры

Расчет диаметра сушильной камеры D_k проводится по уравнению расхода: $V_{i,sp} = 0,785 D_k^2 w'_2$,

где $V_{i,sp}$ — средний объемный расход теплоносителя, $\text{м}^3/\text{с}$: $V_{i,sp} = 0,5(V_1 + V_2)$;

w'_2 — скорость теплоносителя в сушильной камере, $\text{м}/\text{с}$; принимается равной $w'_2 = 0,2 \dots 0,5 \text{ м}/\text{с}$.

Высота сушильной камеры H_k определяется из отношения высоты к диаметру камеры:

- для форсуночной камеры $H_k / D_k = 1,5 \dots 2,5$. Меньшее отношение берется при сушке растворов с низкой начальной влажностью. Для получения крупных частиц (гранул) отношение H_k / D_k может быть до 5 и более;

- для камер с дисковым распылом $H_k / D_k = 0,8 \dots 1,0$; так как факел распыла расположен в горизонтальной плоскости. Расстояние от верхнего перекрытия до уровня диска обычно составляет $1,0 \dots 1,5 \text{ м}$.

Рабочей высотой сушильной камеры является расстояние от среза форсунки до места вывода теплоносителя (для параллельноточных) или до места ввода теплоносителя (для противоточных).

Разрежение сушилки $500 \dots 850 \text{ Па}$, а за сушилкой не более 1300 Па .

РАСЧЕТ И ВЫБОР ВСПОМОГАТЕЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

К вспомогательному оборудованию относятся аппараты и машины, входящие в следующие блоки сушильной установки: блок питания, пневмотранспортная установка, блок подготовки теплоносителя, системы пылеочистки и вентиляторы.

БЛОК ПИТАНИЯ

В состав блока питания сушилки исходным продуктом входят: фильтр, емкости и насосы.

Фильтр (фильтрующая сетка) предназначается для предупреждения попадания посторонних химических примесей и предотвращения засорения отверстий и каналов распылителей.

Емкости. Питательная емкость устанавливается на крышке сушилки и принимается объемом $V = 0,25 \text{ м}^3$. Емкость-хранилище рассчитывается на сменную производительность и выбирается по ГОСТ 9931-79 [8, таблицы 79 — 81].

Геометрический объем емкости $V_2, \text{ м}^3$: $V_2 = G_1 \tau / (0,8 \rho_m)$,

где τ — продолжительность, на которую рассчитывается емкость, с; $0,8$ — коэффициент заполнения емкости.

Насосы. При центробежном распыливании исходного продукта питательная емкость и дозировочный насос отсутствуют. Раствор (суспензия) непосредственно из емкости-хранилища насосом подается на распылитель (см. рисунок 1). При распыливании механической форсункой устанавливается и питательная емкость и дозировочный насос. Дозировочный насос выбирается по объемной производительности исходного раствора и по давлению на входе в механическую форсунку ($3 \dots 20 \text{ МПа}$).

Пример. Раствор в распылительную сушилку подается шестью механическими форсунками, производительность сушилки по раствору $V_p = 0,5 \text{ м}^3/\text{ч}$, давление нагнетания $P = 5 \text{ МПа}$.

Выбираем электронасосный агрегат, состоящий из шести (6НД) дозировочных насосов, объединенных общим приводным валом типа 6НД 0,5 Э-000-К13А, $V = 0,6 \text{ м}^3/\text{ч}$; $P = 10 \text{ МПа}$; $N = 0,25 \text{ кВт}$ [12, таблица 45].

Подача раствора в пневматическую форсунку осуществляется за счет разрежения ($0,04 \dots 0,045 \text{ МПа}$), создаваемого самой форсункой. Высота всасывания составляет 100 мм . На крышке сушилки устанавливается питающая емкость, в которой для равномерной подачи раствора в форсунку поддерживается постоянный уровень раствора. Насос не нужен, раствор из питающей емкости подсасывается в форсунку за счет разрежения. Расчет и выбор насосов приведен в руководствах [13, 14].

ПНЕВОТРАНСПОРТНАЯ УСТАНОВКА

На некоторых заводах готовый продукт на упаковку подается механическим путем системой шнеков и элеваторов, но в основном для транспортировки используется пневмотранспорт.

Основное количество (80...85%) готового продукта поступает в пневмопровод из сушилки, а более мелкие частицы из системы пылеочистки.

Пневмотранспортная установка (см. рисунок 1) комплектуется загрузочным устройством (шлюзовым питателем ПШ), пневмопроводами, по которым перемещается готовый продукт; разделителем – устройством для разделения теплоносителя от готового продукта (циклон-разгрузитель ЦР); устройствами для очистки воздуха (циклоны, фильтры и др.), герметизирующим запорным устройством (затвор шлюзовый ЗШЗ); вентилятором ВЗ и калорифером. Расчет и выбор этих аппаратов приведены в литературе [12;15]. Разрежение в пневмотранспортной установке 4800...6000 Па.

БЛОК ПОДГОТОВКИ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ

Блок подготовки теплоносителя в соответствии с рисунком 1 включает: топку с камерой смешения, подогреватель и насос, если топливо – мазут, и вентиляторы.

Топка состоит из камеры горения, горелки и камеры смешения и предназначается для сжигания топлива (мазута или природного газа) в присутствии воздуха (окислителя). Воздух в камеру горения подается вентилятором [13 и 14]. При сжигании природного газа или мазута с коэффициентом избытка воздуха в топке близким к единице ($\alpha_T=1$) температура горения воздуха равна ($t_{m,z}=1900...2000$ °С). Вести процесс горения при столь высоких температурах нецелесообразно, так как в этом случае будет быстро разрушаться кирпичная кладка топки. С уменьшением коэффициента избытка топлива α_T увеличивается температура топочных газов ($t_{T,r}$). С ростом коэффициента α_T температура топочных газов в камере горения будет, наоборот, понижаться. Понижать температуру $t_{T,r}$ меньше 1000°С не рекомендуется, так как происходит значительный химический и механический недожог (неполное сгорание), что приводит к загрязнению высушиваемого продукта сажей и недопустимо по условиям безопасности процесса сушки. Недогоревшая часть природного газа может собираться в плохо вентилируемых зонах камеры смешения топки и газоходов, что может привести к загоранию или взрыву.

В топках дрожжевых распылительных установок сжигают мазут или природный газ с коэффициентом избытка воздуха в камере горения $\alpha_T=2,0...2,2$ при температуре 1100...1200°С, что обеспечивает полное сгорание топлива.

Схема установки для сжигания газообразного топлива приведена в руководстве [14, рисунок 6], а для сжигания жидкого топлива – [14, рисунок 5].

Для предотвращения сернистой коррозии газоходов температура стенок труб должна быть выше температуры точки росы t_p . Температура точки росы для топочных газов при сжигании мазута, содержащего 0,1...0,2 % мас. серы равна $t_p \approx 65$ °С, а для мазута, содержащего 3,0...3,5 % мас. серы – $t_p \approx 140...150$ °С. Топки работают под давлением 5...10 кПа или под разрежением – 50...100 Па.

Горелки и форсунок. Для сжигания газа применяются горелки, а мазута – форсунки разных типов, различающихся как по принципу работы, так и по конструктивному оформлению [2; 7; 16; 17].

Камера смешения. Топочные газы разбавляются холодным воздухом или отработанными топочными газами до температуры $t_1=150...600$ °С. Воздух может подсасываться через обратный клапан в камеру смешения (см. рисунок 1) или подаваться вентилятором [18, рисунок 6].

Подогреватель мазута. Мазут перед подачей в топку подогревается до 100...110 °С для снижения его вязкости. В основном используются подогреватели змеевикового типа [17].

Расчет и выбор указанных аппаратов приведены в следующей литературе:

- газовая и жидкостная горелки [14];
- мазутопроводы и насос подачи жидкого топлива в топку [14];
- расчет процесса горения топлива [7]; примеры расчетов горения природного газа и мазута [17];
- подогреватель мазута [18];
- вентилятор подачи воздуха на горение топлива [14;18].

СИСТЕМЫ ПЫЛЕУЛАВЛИВАНИЯ

В зависимости от физико-химических свойств сухого продукта, его дисперсности, а также скорости теплоносителя и аэродинамических условий в сушильной камере унос мелких частиц может составлять значительную величину (до 30 г/м³ теплоносителя).

Для очистки теплоносителя от пыли применяются циклоны, скрубберы, рукавные фильтры и электрофильтры.

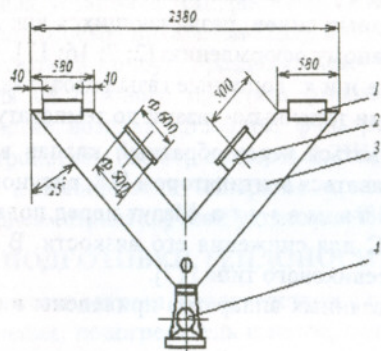
На схеме (см. рисунок 1) первая ступень очистки представлена групповым циклоном, вторая – рукавным фильтром.

Циклоны предназначены для очистки газов при концентрации пыли до 2,5 кг/м³, размером частиц более 15 мкм, при температуре газа до 400 °С. Степень очистки в циклонах составляет 70...90 %.

В настоящее время эксплуатация групповых циклонов с общими сборными бункерами в дрожжевом производстве запрещена из-за концентрации пыли, находящейся в интервале значений нижнего предела взрываемости. Эти бункера являются потенциальным очагом возникновения взрыва дрож-

жевой пыли [1]. Вместо бункеров пыли используются индивидуальные течки и удлиненные выхлопные патрубки циклонов для ликвидации горизонтальных площадок в сборнике очищенного газа.

На рисунке 18 показана конструкция объединенной течки к групповым циклонам НИИОГАЗ. Каждый циклон заканчивается сразу шлюзовым затвором (без установки бункера) [1].



1 – пылевывпускное отверстие циклона; 2 – люк смотровой; 3 – течка; 4 – затвор шлюзовый.

Рисунок 18 – Конструкция объединенной течки к групповым циклонам НИИОГАЗ

Расчет и выбор циклонов типа НИИОГАЗ приведен в руководстве [15].

Рукавные тканевые фильтры применяются для очистки газов от тонкой дисперсной пыли размером более 2 мкм, начальной запыленностью газа более 200 мг/м³, при температуре газа до 240 °С. По данным многочисленных испытаний остаточная концентрация пыли после тканевых фильтров составляет 5...50 мг/м³.

Приближенный расчет поверхности фильтрования F_p рукавного фильтра с посекционной регенерацией:

$$F_p = \frac{V + V_p}{q_\phi},$$

где V – объемный расход запыленного газа с учетом подсоса, м³/с:

$$V = V_i + (0,1...0,2)V_i,$$

где V_i – объемный расход запыленного газа после первой ступени очистки, м³/с;

V_p – объемный расход воздуха или газа обратной продувки (регенерации), м³/с; принимается 0,025...0,03 м³/(м²·с);

q_ϕ – удельная нагрузка фильтрующей ткани или скорость фильтрования, м³/(м²·с); принимается:

Ткань	q_ϕ , м ³ /(м ² ·с)	t , °С
Хлопчатобумажная	0,003...0,008	80
Синтетическая (нитрон, лавсан, капрон и т.д.)	0,01...0,02	120...130
Шерстяная	0,005...0,03	90...110
Стеклоткань	0,005...0,01	150...350

Наиболее распространенные в промышленности рукавные фильтры:

- с механическим встряхиванием и обратной продувкой (фильтры Г4 - БФМ, ФРУ, ФРВ, ФРН, РФГ и УРФМ);
- с обратной посекционной продувкой (фильтры ФР, ФРДО - 650, ФРО).

Привод системы встряхивания и переключения клапанов продувки всех фильтров осуществляется от электродвигателей за исключением фильтров УРФМ, ФР, ФРДО и ФРО комплектуемых пневмопроводами.

Техническая характеристика рукавных фильтров приведена в таблице 6.

ВЕНТИЛЯТОРЫ

В сушильной установке устанавливаются следующие вентиляторы (см. рисунок 1):

- В1 – подачи воздуха в топку;
- В2 – подачи воздуха на охлаждение стенок газохода, подводящего теплоноситель в сушилку, внутри сушильной камеры;
- В3 – обслуживания пневмотранспортной установки;
- В4 – секционной регенерации ткани в рукавном фильтре;
- В5 – просасывания теплоносителя через систему камера смешения – газоходы – сушилка – пылеуловители, создания вакуума (давления) и отвода испаренной влаги.

Может устанавливаться вентилятор для подачи воздуха на разбавление топочных газов до температуры t_1 . В основном устанавливаются центробежные вентиляторы, применяемые для разветвленных сетей воздухопроводов со значительными потерями давления, а также для перемещения воздуха с примесями в виде пыли и топочных газов. Расчет и выбор вентиляторов см. [13;14].

Примеры расчета и выбора вентиляторов приведены в литературе [14; 18].

Таблица 6 – Техническая характеристика рукавных фильтров

Наименование	Марка фильтра									
	Г4-1БФМ*	Г4-2БФМ*	ФРУ	ФРВ-20*	ФРН-30*	ФЛ	УРФМ	ФР	ФРП	
Площадь фильтрующей поверхности, м ²	30;45	60;	2,5...50	20	300	112;168	2300;	518;	С обратной посекционной продувкой	2400;6000;
	60;90	90	1...4	2	2	224;280	1610	5000		20000
Количество секций, шт.	2;3;4;6	4;6	1...4	2	2	4;6;8;10	20;14	6;8	С механическим встряхиванием и обратной продувкой	504;648;2160
	36;54	72;	14;28;	32	48	56;84;	840;	432;		12;12;10
Количество рукавов, шт.	72;108	108	42;56	130	130	112;140	588	4032	С механическим встряхиванием и обратной продувкой	200;300;300
	135	135	125	130	130	220	230	127		8000;10000;
Диаметр рукава, мм	135	135	900;	1630	1630	3100	4063	3000	С механическим встряхиванием и обратной продувкой	10000
	2090	2090	1000;	60	80	—	2	6		6
Высота рукава, мм	2090	2090	1500;	750	750	900	1000...	1000	С механическим встряхиванием и обратной продувкой	1200
	750;750	750	2000;	60	80	—	1500	6		6
Разрежение в аппарате, кПа	20	20	2500	750	750	900	120;105	4...8	С механическим встряхиванием и обратной продувкой	4...8;4...8;
	450;750;	750	2	750	750	900	2	20...40		500...600
Гидравлическое сопротивление фильтра, Па	—	—	—	—	—	—	—	—	С механическим встряхиванием и обратной продувкой	—
	—	—	—	—	—	—	—	—		—
Регенерация: расход воздуха, м ³ /ч	—	—	—	—	—	—	—	—	С механическим встряхиванием и обратной продувкой	—
	—	—	—	—	—	—	—	—		—
давление воздуха, кПа	—	—	—	—	—	—	—	—	С механическим встряхиванием и обратной продувкой	—
	—	—	—	—	—	—	—	—		—
Мощность электродвигателя механизма встряхивания, кВт	1,2	1,4	1,4	1,2	1,2	—	—	—	С механическим встряхиванием и обратной продувкой	—
	—	—	—	—	—	—	—	—		—

* Фильтры Г4 – БФМ, ФРВ – 20, ФРН – 30 эксплуатируются только под разрежением, так как обратная продувка происходит при соединении соответствующих клапанов секций с атмосферой за счет разрежения в бункерах фильтра

ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ РАСПЫЛИТЕЛЬНОЙ СУШИЛКИ

Технологические показатели работы сушилки

Производительность, кг/с

по раствору (суспензии) G_1

по испаренной влаге W

по продукту G_2

Влагосъем с 1 м³ рабочего объема сушильной камеры

(напряжение по влаге), кг/(м³·ч) $A = W / V_k$

Удельный объемный расход теплоносителя, м³/(м³·ч) $\vartheta = V_{12} / V_k$

Энергетические показатели работы сушилки

Тепловой КПД процесса сушки $\eta_1 = Q_u / Q_{общ}$

Термический КПД сушилки $\eta_2 = (I_1 - I_2) / I_1$

Коэффициент теплового напряжения $B_i = (t_1 - t_2) / t_1$

Удельный расход топлива на 1 кг испаряемой влаги,

кг топлива/кг влаги $d_B = B / W$

Удельный расход топлива на 1 кг продукта, кг/кг $d_G = B / G_2$

Удельный расход теплоты на 1 кг испаряемой влаги,

кДж тепла/кг влаги $d_Q = Q_{общ} / W$

Удельный расход электроэнергии на 1 кг испаряемой влаги,

(кВт·ч)/кг или кДж/кг $d_N = \sum N_i / W$,

где $\sum N_i$ – сумма мощностей всех электродвигателей, указанных на рисунке 1 (центробежного распылителя, насоса подачи суспензии на распылитель, затворов питателей, вентилятора пневмотранспортной установки, насоса подачи мазута в форсунку топки, вентилятора подачи воздуха на горение в топку, вентилятора подачи воздуха на регенерацию тканевых фильтров, вентилятора транспортировки теплоносителя).

Список использованных источников

- 1 Калинин О.К. Сушка кормовых дрожжей в распылительных сушилках. М.: Лесная пром-сть, 1975. 107 с.
- 2 Лыков М.В., Леончик Б.Н. Распылительные сушилки. Основы теории и расчета. М.: Машиностроение, 1966. 331 с.
- 3 Гинзбург А.С. Расчет и проектирование сушильных установок пищевой промышленности. М.: АГРОПРОМИЗДАТ, 1985. 336 с.

4 ГОСТ 18906 – 80. Сушилки распылительные. Типы. Основные параметры и размеры. Введ. 27.03.80. М., 1985, 10 с.

5 Сушильные аппараты и установки. Каталог. М.: ЦИНТИХИМНЕФТЕМАШ, 1988. 72 с.

6 Ведерникова М.И., Орлов В.П. и др. Проектирование сушильных установок для сушки измельченной древесины. Ч. I. Технологические и гидравлические расчеты сушилок. Екатеринбург: УГЛТА, 2001. 40 с.

7 Орлов В.П., Кожевников Н.П. Расчет топок для сушильных установок. Екатеринбург: УЛТИ, 1992. 16 с.

8 Процессы и аппараты химической технологии. Справочные материалы. Екатеринбург: УРО РАН, 2002. 122 с.

9 Павлов К.Ф., Романков П.Г., Носков А.А. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии. Л.: Химия, 1987. 575 с.

10 Справочник химика / Под ред. Б.Н. Никольского. Т. III, 2-е изд. Л.: Химия, 1966. 1008 с.

11 Ведерникова М.И., Старцева Л.Г., Терентьев В.Б. Проектирование выпарной установки. Ч. II. Расчет и выбор вспомогательного оборудования. Екатеринбург: УГЛТУ, 2002. 48 с.

12 Ведерникова М.И., Таланкин В.С., Юрьев Ю.Л. Оборудование для переработки растительного сырья. Конструкция основных и вспомогательных аппаратов (машин). Екатеринбург: УГЛТУ, 2004. 172 с.

13 Ведерникова М.И. Гидравлические расчеты. Ч. I. Расчет и выбор насосов и вентиляторов. Екатеринбург: УГЛТА, 2000. 40 с.

14 Старцева Л.Г., Ведерникова М.И. Гидравлические расчеты. Ч. II. Примеры расчетов и выбора насосов и вентиляторов. Екатеринбург: УГЛТА, 2000. 44 с.

15 Ведерникова М.И., Старцева Л.Г. и др. Проектирование сушильных установок для сушки измельченной древесины. Ч. II. Вспомогательное оборудование. Екатеринбург: УГЛТА, 2001. 44 с.

16 Лыков М.В. Сушка в химической промышленности. М.: Химия, 1970. 429 с.

17 Ведерникова М.И., Орлов В.П., Терентьев В.Б., Старцева Л.Г. и др. Проектирование сушильных установок для сушки измельченной древесины. Ч. III. Примеры расчетов сушилок. Екатеринбург: УГЛТА, 2001. 41 с.

18 Ведерникова М.И., Таланкин В.С., Щеголев А.А. Проектирование сушильной распылительной установки. Ч. II. Примеры расчета аппаратов. Екатеринбург: УГЛТУ, 2005. 52 с.

СОДЕРЖАНИЕ

Расчет и выбор распылительной сушилки	3
Схема сушильной установки	3
Принцип сушки распылением	5
Конструкции распылительных сушилок	7
Отечественные сушилки.....	7
Сушилки иностранных фирм.....	11
Конструкции распылителей	14
Центробежные механические форсунки	14
Пневматические форсунки	17
Центробежно-дисковые распылители	18
Технологический расчет сушилки	24
Материальный баланс	24
Построение рабочей линии процесса сушки на $I - x$ диаграмме ...	25
Тепловой баланс	28
Гидродинамический расчет сушилки	31
Объем сушильной камеры	31
Размеры сушильной камеры	34
Расчет и выбор вспомогательного оборудования	35
Блок питания	35
Пневмотранспортная установка	36
Блок подготовки теплоносителя	36
Системы пылеулавливания	37
Вентиляторы	39
Технико-экономические показатели распылительной сушилки	41
Список использованных источников	41