

Оглавление

Введение	3
1. Литературный обзор.....	5
1.1. Конструкции спиртоловушек и их характеристики	5
1.2. Конструкции роторных распылительных абсорберов и их характеристики	10
1.3. Сопоставление характеристик абсорберов	20
1.4. Постановка задач и выводы	31
2. Техничко-экономическое обоснование.....	32
3. Проектирование роторного распылительного абсорбера для улавливания паров спирта	33
3.1. Определение производительности и диаметра роторного распылительного абсорбера (спиртоловушки).....	33
3.2. Определение основных размеров роторного распылительного абсорбера (спиртоловушки) диаметром 0,6м	35
3.3. Расчет диспергирующего устройства.....	36
3.4. Расчет параметров заборного устройства	38
3.5. Определение рациональных параметров системы «заборное устройство-сливная тарелка».....	39
3.6. Определение числа контактных элементов	40
4. Конструкторские и прочностные расчеты	42
4.1. Расчет оптимального диаметра трубопроводов.....	42
4.2. Расчет корпуса	42
4.3. Расчет кожуха	43
4.4. Расчет мощности	44
4.5. Расчет вала	45
4.6. Расчет шарикового подшипника	50
4.7 Расчет клиноременной передачи	51
Заключение	52
Список литератур	53
Приложения	56

					ВКА 00.00.000 ПЗ		
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата			
Разраб.	Азизов				Лит.	Лист	Листов
Провер.	Сорокопуд					3	
Реценз.	Сорокопуд				КемТИПП(у) МФ ПМ-121		
Н. Контр.	Сорокопуд						
Утверд.	Руднев						
Проект спиртоловушки диаметром 0,6м в линии производства спирта							

Введение

Производство алкогольных напитков человеком зародилось несколько тысячелетий назад в Древнем Египте и Шумере, однако бродильное производство именно с целью получения спирта началось значительно позже. Первые письменные упоминания пришли из Багдада IX века, в них врач городского госпиталя Рагез описал метод изготовления крепких спиртовых растворов, а чистый спирт впервые был получен в Италии в XIII веке. В XIX веке разработаны схемы получения спирта из картофеля и древесины, а в XX веке получили синтетический спирт из этилена. До конца XIX века практического применения чистый спирт не имел, однако ситуация резко изменилась в XX веке когда по достоинству были оценены свойства спирта, как прекрасного растворителя и пищевого консерватора. До 40-х годов XX века спирт был единственным сырьем для получения синтетического каучука. Постоянно растет потребность в спирте в алкогольной промышленности[34].

В настоящее время процесс производства этилового спирта переживает бурное развитие, особенно в связи с использованием этанола как компонента топлива. Процесс получения этанола из растительного сырья является наиболее экологичным и выгодным с точки зрения энергозатрат. Спиртовые предприятия активно сотрудничают с научно-исследовательскими лабораториями, перенимая и внедряя последние разработки в области новых ферментных препаратов, новых высокопродуктивных штаммов микроорганизмов[34], [42].

Основная задача, стоящая на сегодняшний момент перед спиртовой промышленностью - увеличение выхода спирта с единицы объема оборудования, снижение энергозатрат и расхода сырья, уменьшение времени процесса и повышение качества продукции[34],[42]. В этой связи повышение эффективности улавливания паров спирта уносимых диоксидом углерода при брожении представляется важной отдельной задачей.

Общие сведения о заводе

ОАО "Иткульский спиртзавод" Россия, 659418, Алтайский край, Зональный район, с. Соколово, ул. Кирова, 1.

Директор – Виктор Михайлович Сурков.

ОАО "Иткульский спиртзавод" – на сегодняшний день – один из динамично развивающихся игроков российского алкогольного рынка.

Он ведет свою историю с 1868 года, сначала основания Барнаульскими предпринимателями: купцом II гильдии Г.Т. Бадьиным и горным промышленником К.П. Платоновым, на берегу реки Иткуль винокуренного завода. Производство начиналось с выкурки 50-ти тысяч ведер сорокаградусного спирта в год.

Система менеджмента безопасности пищевой продукции предприятия сертифицирована на соответствие требованиям международного стандарта

					<i>ВКА 00.00.000 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
						3
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

ISO22000:2005. Орган по сертификации: ООО «Альфа Групп Плюс» (эксклюзивный представитель международного органа по сертификации систем менеджмента QSCert). Сертификат № F – 7385/14 выдан 12.09.2014 г.

ОАО «Иткульский спиртзавод» производит спирт 3-х марок: «Высшая очистка», «Экстра», «Люкс» из отборного зерна лучшего качества.

На основе собственных спиртов, выработанных по классической «дедовской» технологии с применением солода, выпускается более 20-ти наименований водочной продукции: «Вечерний Алтай», «Малиновый жар», «Сибирячка», «Запах снега», "По граммулке", «Соколовская», «Иткульская особая» и др.

Именно применение солода дает водке мягкий гармоничный вкус без послевкусия и горечи — так называемый характерный водочный вкус, чем всегда отличалась от других русская водка.

Особое место в ассортиментном ряду водочной продукции ОАО «Иткульский спиртзавод» занимает водка «Алтай» - результат совместного труда завода и французской фирмы "Перно-Рикар", одним из лидеров мирового производства алкогольной продукции Сегодня с напитком, произведенным вдали от шума и суеты промышленных центров, в с. Соколово, знакомы потребители 15 стран мира: Польши, Португалии, Италии, Франции, Испании и др.

Продукция, выпускаемая заводом, по праву получает высшие оценки международных и российских экспертов. Это подтверждают многочисленные медали, дипломы дегустационных конкурсов, выставок. Но самая высокая оценка – это признание потребителей, о чем говорит постоянный рост объемов реализации[35].

					<i>ВКА 00.00.000 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		4

1. ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР

1.1. Конструкции спиртоловушек и их характеристики

Спиртоловушки

Во время брожения охлажденного затора выделяется диоксид углерода, который [36] выносит спиртовой пар, потери при этом составляют 0,5...1,5% от получаемого спирта. Для улавливания паров спирта [36] из диоксида углерода применяют спиртоловушки с насадкой. Из бродильных аппаратов диоксид углерода направляется в спиртоловушку, где холодной водой из потока диоксида углерода абсорбируется спирт. Из колпачковых ловушек этот спирт отводится в виде водно-спиртового [40] раствора крепостью 1,5... 1,7 об.%. Спиртовой раствор из пленочно-конденсаторных ловушек имеет крепость 5...7 об. %[1],[36].

Колпачковая спиртоловушка (рис. 1.1) представляет собой колонну с колпачковыми тарелками. Вода поступает на верхнюю тарелку по патрубку 1 и через сливные стаканы 2 переливается на нижележащие тарелки. Газовая смесь поступает снизу через патрубок 3. Насыщенную спиртом воду удаляют через патрубок 4. Поток газа барботирует через слой жидкости на каждой тарелке, при этом происходит абсорбция спирта водой.

Водно-спиртовой раствор крепостью 1,5...1,7% отводится снизу. Ловушка может иметь тарелки различных типов: колпачковые, [40] ситчатые, клапанные. Обычно ловушка имеет 14...17 тарелок, расстояние между ними 170 мм[1].

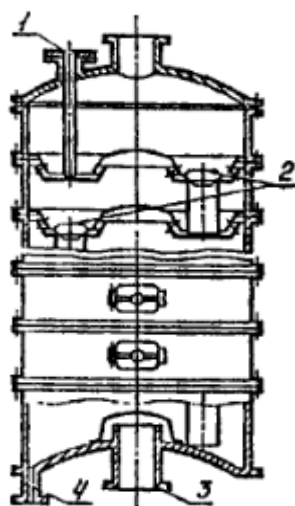


Рисунок 1.1 – Колпачковая спиртоловушка

Пленочно-конденсаторная спиртоловушка (рис. 1.2) представляет собой цилиндрический корпус диаметром 290 мм и высотой 5650 мм. В верхней час-

					<i>ВКА 00.00.000 ПЗ</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		5

ти[40] установлены три ситчатые тарелки 7; расстояние между тарелками 600 мм, живое сечение тарелки 10...12%. Нижняя часть ловушки сделана в виде кожухотрубного теплообменника 3 с латунными трубками 4 диаметром 28 мм[40].

Для равномерного распределения потока воды, поступающей с ситчатых тарелок, на торцах трубок по окружности сделано шесть вырезов 2 шириной 2 мм и высотой от кромки 5 мм. Данная ловушка позволяет уменьшить расход воды в 3...4 раза по сравнению с расходом воды в тарелочной ловушке и получить водноспиртовой раствор крепостью 5...7 %[1].

Для создания оптимальных условий работы ловушки необходимо поддерживать скорость движения газа по трубкам 6 м/с, по свободному сечению царги – 0,9 м/с.

В спиртоловушках с насадкой – керамическими кольцами размером 15x15x2 и 25x25x3 мм при высоте 2...3 мм обеспечивается пропигвоточное движение воды и газа.

При расчете тарелочных ловушек скорость газа в свободном сечении ловушки принимают равной 0,25...0,3 м/с, расход воды 160...200 л за 6 ч на 1000 дал суточной производительности завода.

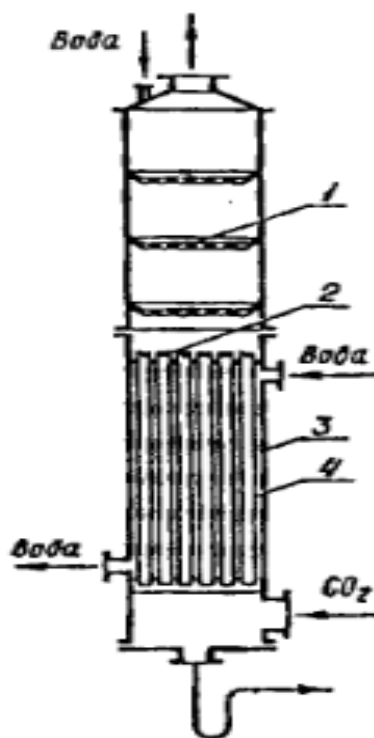


Рисунок 1.2 – Пленочно-конденсаторная спиртоловушка

Количество диоксида углерода, выделяющегося при брожении[40] (V_T , м³/ч),

					<i>ВКА 00.00.000 ПЗ</i>	Лист
						6
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$V_r = 10\Pi\rho K K_j / 24\rho_1, \quad (1.1)$$

где, Π – производительность спиртового завода, дал/сут; ρ – плотность спирта (ρ - 790 кг/м³); K – количество диоксида углерода, получаемого на 1 кг спирта (учитывая, что часть Диоксида углерода растворяется в жидкости бражки, принимаем $K \sim 0,94$ кг/кг); K_j – коэффициент, учитывающий увеличение объема диоксида углерода за счет испарения жидкости бражки[40] ($K_j = 1,1$); ρ_1 - плотность диоксида углерода при температуре 26°C ($\rho_1 = 1,81$ кг/м³),[1].

Диаметр спирталовушки D (м):

$$D = \sqrt{4V_r / 3600\pi w}, \quad (1.2)$$

где, w — допустимая скорость газа в свободном сечении ловушки (принимаем $w = 0,9$ м/с).

Число трубок в ловушке:

$$z = 4V_r / 3600\pi d^2 w, \quad (1.3)$$

где, d – внутренний диаметр трубки, м; w – скорость движения газа внутри трубки (принимаем $w = 9$ м/с).

При расчете живого сечения ситчатых тарелок принимаем: допустимую скорость газа 9 м/с, диаметр отверстий 4 мм; высоту трубок 3 м; расстояние первой ситчатой тарелки от трубной решетки 0,15 м; расстояние между тарелками и от верхней тарелки до крышки ловушки 0,6 м. В ловушке устанавливают три ситчатые тарелки[1], [40].

Конденсаторы

Пар, не сконденсировавшийся в подогревателе бражки или в дефлегматоре, поступает в конденсатор, где полностью конденсируется. Вместе с паром в конденсатор поступают и неконденсирующиеся газы. Чтобы уменьшить унос спиртового пара с несконденсировавшимися газами, их охлаждают в конденсаторе до 20...30 °С, при этом охлаждается и конденсируется спиртовой пар.

В качестве конденсаторов обычно используют вертикальные кожухотрубные теплообменники (рис. 1.3), однако возможно и в ряде случаев целесообразно применение горизонтальных многоходовых (по пару и воде) конденсаторов, что позволяет устанавливать их непосредственно над соответствующими дефлегматорами (рис. 1.4). В конденсаторах применяются трубы диаметром 25-38 мм, длиной 1,5-3 м. В установках, поставившихся из бывшей ГДР, ряд конденсаторов изготовлены горизонтальными с трубами из нержавеющей стали диаметром 25x1,5 мм. Диаметр кожуха конденсаторов 300-800 мм (см. приложения VIII и IX)[2].

						Лист
						7
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Тепловая нагрузка на конденсаторы эспираторной, спиртовой колонн и колонны окончательной очистки очень мала, ввиду того что в них поступает всего 0,5—2 % пара от общего его количества, выходящего из колонны. Конденсаторы в этом случае служат в основном резервной поверхностью теплопередачи на случай кратковременного увеличения нагрузки колонны по паровому потоку[2].

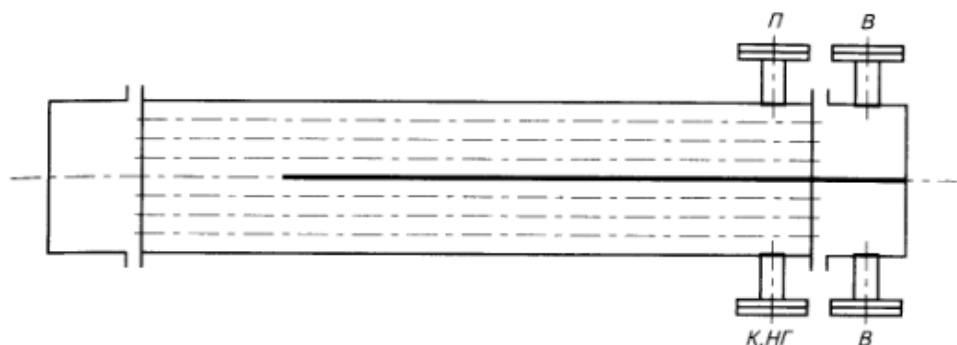


Рисунок 1.3 – Горизонтальный кожухотрубный конденсатор

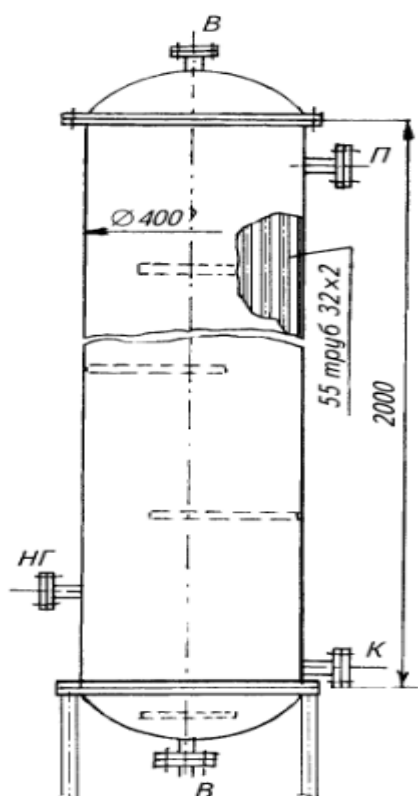


Рисунок 1.4 – Вертикальный кожухотрубный конденсатор:
 П – вход (выход) пара; НГ – выход (вход) неконденсирующихся газов;
 К – выход конденсата.

В брагоректификационных установках косвенного действия в подогревателе бражки конденсируется около 50 % пара, выходящего из бражной колонны, а остальное – в основном и дополнительном конденсаторах бражной ко-

						Лист
					ВКА 00.00.000 ПЗ	8
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

лонны. Площадь поверхности основного конденсатора бражной колонны составляет около 50 % от площади подогревателя бражки[2].

В конденсаторе сивушной колонны конденсируется примерно 1/5 ... 1/6 всего пара, выходящего из колонны. Для этих колонн тепловая нагрузка на конденсатор Q складывается из теплоты конденсации Q_k и теплоты охлаждения конденсата Q_0 .

$$Q = Q_k + Q_0 = Gr + GC(t_k - t_0), \quad (1.4)$$

где: G – количество пара, поступающего в конденсатор, кг/ч; r – теплота конденсации пара, кДж/кг (см. приложение IV); C – удельная теплоемкость конденсата, кДж/(кгК) (см приложение III); t_k и t_0 – температура соответственно конденсации и охлаждения конденсата, °С (или К)[2].

При расчете поверхности теплопередачи отдельно определяют поверхность конденсации $F_K = Q_k / \Delta t_k K_K$ и поверхность охлаждения $F_0 = Q_0 / \Delta t_0 K_0$.

Коэффициент теплопередачи в значительной мере зависит от скорости движения воды в трубах конденсатора, которая изменяется в широких пределах-от 0,01 до 0,5 м/с.

Ориентировочно можно принимать коэффициент теплопередачи для конденсационной части $K_0 = 230...580$ и для охлаждающей $K_k = 140...230$ Вт/(м² К) соответственно при скорости воды 0,01-0,5 м/с.

Площадь поверхности конденсатора, полученную расчетом, необходимо увеличить по крайней мере на 20 % во избежание увеличенных потерь спирта с не конденсирующимися газами в случае перегрузки по паровому потоку колонны, а следовательно, дефлегматора и конденсатора.

При проектировании и нормировании конденсаторов, изготовленных из меди, можно рекомендовать следующие ориентировочные площади поверхности теплопередачи конденсаторов в зависимости от суточной производительности установки M , дал/сут[2].

Для бражных колонн брагоректификационных установок косвенного действия общая площадь основного и дополнительного конденсаторов составляет $F=0,01M+10$ м², в том числе площадь поверхности дополнительного конденсатора $F= 0,005M$, м².

При площади поверхности конденсатора более 20 – 30 м² целесообразно расчетную поверхность конденсатора выполнять в виде двух кожухотрубных теплообменников: один из них делать горизонтальным многоходовым, другой – вертикальным одноходовым (площадь поверхности 5-30 м²) с последовательным включением их по пару и воде противотоком. При таком включении вода используется эффективнее, поскольку конечная температура ее повышается до 50...70 °С, а расход уменьшается в 2-3 раза[2].

					<i>ВКА 00.00.000 ПЗ</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		9

1.2. Конструкции роторных распылительных абсорберов и их характеристики

Одна из первых распылительных ректификационных колонн была разработана в 1925 г.[5] Она представляла собой вертикальный цилиндр с центральным валом, по высоте которого на равном расстоянии были размещены горизонтальные вращающиеся вместе с валом диски, а в промежутках между ними находились неподвижные конической формы тарелки с отверстием в центральной части (рис. 1.5),[40].

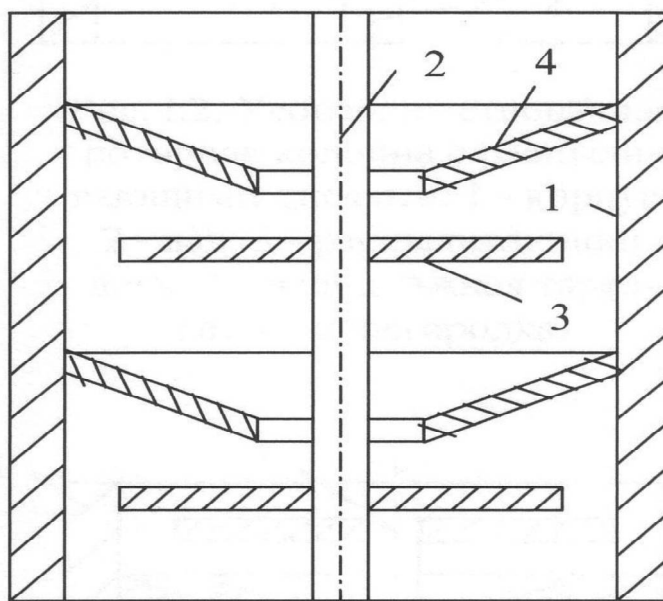


Рисунок 1.5 – Роторная колонна с распиливающими дисками: 1 - корпус; 2 - вал; 3 - распиливающий диск; 4 - неподвижная тарелка.

Каждая ступень работала следующим образом. Жидкость, попав на неподвижную тарелку, стекала на вращающийся диск. Под действием центробежных сил, возникающих при вращении диска, жидкость сбрасывалась на внутреннюю поверхность корпуса в виде струй и капель, отражалась от нее и поступала на следующую тарелку. Пары в колонне поднимались снизу вверх. Межфазовый контакт, таким образом, осуществлялся на поверхности движущихся струй и капель, сбрасываемых с диска на корпус и отраженных от него.

Эта конструкция позднее подвергалась ряду усовершенствований, направленных главным образом на снижение уноса и гидравлического сопротивления. Положительные результаты были достигнуты в результате применения наклонных дисков вместо горизонтальных[17,18]. На этой основе создана колонна диаметром 150 мм и высотой 10,7 м, показавшая эффективность около 500 теоретических тарелок[36].

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

Было отмечено, что варьирование скорости вращения ротора от 250 до 1500 об/мин не оказывает существенного влияния на разделительную способность колонны. Позднее конструкция этой колонны была изменена. На неподвижных тарелках были установлены вертикальные перегородки.

Это значительно уменьшило вращательное движение жидкости на тарелках, позволило повысить предельные нагрузки [23]. Установка вертикальных ребер способствовала улучшению перемешивания паров. В результате несколько увеличилась эффективность колонны (рис. 1.6).

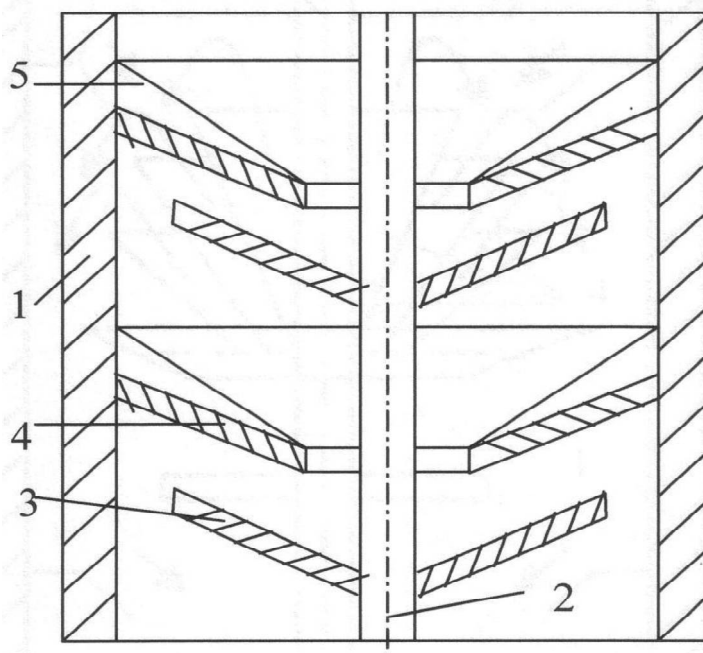


Рисунок 1.6 – Усовершенствованная роторная колонна с распиливающими дисками: 1 - корпус; 2 - вал; 3 - распиливающий диск; 4 - неподвижная тарелка; 5 - перегородка.

Отмечается, что эффективность указанной колонны с уменьшением давления значительно снижается [19]. Существенным недостатком колонн этого типа является низкий предел нагрузок по паровой фазе. Предельные нагрузки были повышены путем установки на неподвижных тарелках специальных патрубков для прохода паров (рис 1.7) [36].

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

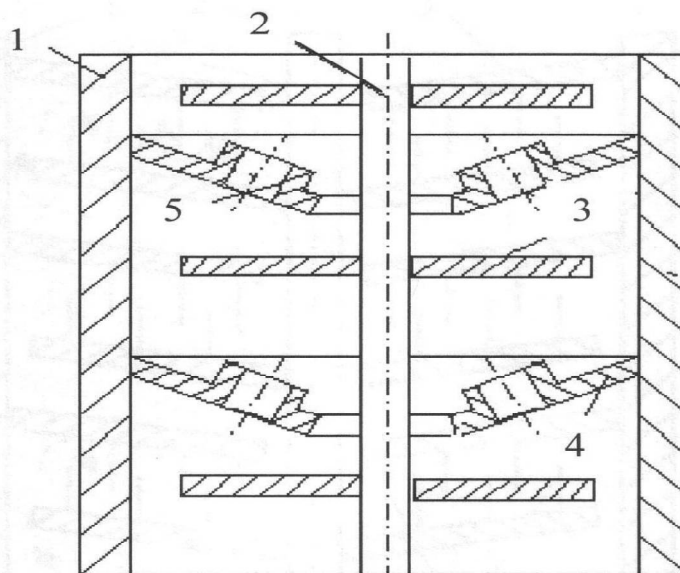


Рисунок 1.7 – Роторная колонна повышенной производительности:
 1 - корпус; 2 - вал; 3 - распыливающий диск; 4 - неподвижная тарелка; 5 - патрубок для прохода пара.

Применительно к процессам абсорбции оригинальный роторный аппарат был разработан Фельди (рис. 1.8). Каждая ступень аппарата состояла из тарелки с коническими бортами, на которую поступала [36] жидкость с вышерасположенной ступени и распылялась в объеме под действием вращающихся конусов, размещенных на валу.

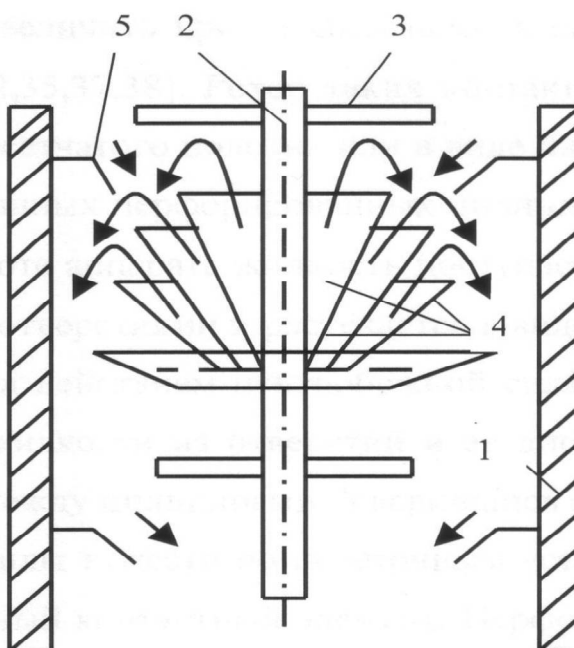


Рисунок 1.8 – Абсорбер Фельди: 1 - корпус; 2 - вал; 3 - диск;
 4- распиливающие конусы; 5 - неподвижная тарелка [36].

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

В этих аппаратах удавалось достигать высоких нагрузок по жидкости, что особенно важно для процессов абсорбции. Абсорбер этой конструкции диаметром 1,1 м и высотой 3,84 м с восемью вращающимися тарелками применялся для очистки водорода от сероводорода раствором моноэтанол-амина[6].

В.С. Николаев предложил аппарат в котором осуществлялась многократная деформация капель (рис. 1.9). Кроме того, им была отмечена положительная роль диспергирования жидкости при ее ударе о перегородки, что способствовало большему развитию поверхности межфазового контакта. На основе описанной конструкции был создан промышленный аппарат диаметром 0,84 м и высотой 2,56 м, успешно применённый для ректификации спиртов[7]. Аппарат обладает высокой эффективностью; его недостатком является сравнительно низкая пропускная способность.

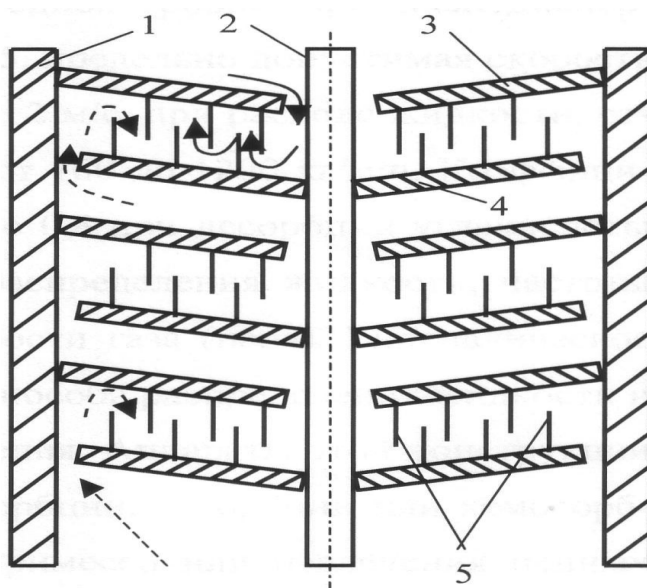


Рисунок 1.9 – Аппарат В. С. Николаева: 1 - корпус; 2 - вал; 3 - неподвижная тарелка; 4 - вращающаяся тарелка; 5 - перегородки.

Дальнейшие разработки конструкций РРА позволили в значительной мере увеличить производительность их при высокой разделяющей способности. Ротор таких контактных устройств выполнен в виде спирали из сетчатого полотна или в виде набора коаксиально расположенных отбортованных перфорированных цилиндров, жестко закрепленных на валу. При работе аппарата жидкость поступает во внутренний распределительный стакан с отверстиями и растекается в виде пленки по его внутренней поверхности.

Под действием центробежной силы происходит капельно-струйное истечение жидкости из отверстий и ее диспергирование между витками спирали или между цилиндрами. Ударившись о стенку аппарата, жидкость под действием силы тяжести по переточным устройствам направляется на нижерасположенный контактный элемент. Перфорация может быть выполнена в виде отвер-

стей[36] диаметром от 1 до 2 мм или в виде вертикальных или горизонтальных щелей. Частота вращения ротора варьировалась от 480 до 2000 об/мин. Техническая характеристика этих контактных устройств находится примерно на одном уровне. При числе диспергирующих цилиндров (витков спирали) 3-5, предельно допустимая скорость пара (газа) на полное сечение составляла до 2 м/с, при расходе жидкости, отнесенной к высоте контактного элемента, от 160 до 1200 кг/м'ч. Коэффициент полезного действия по Мэрфи от 0,5 до 0,8 при десорбции углекислоты из воды в воздух и зависит от способа распределения жидкости, частоты вращения ротора и незначительно от скорости газа (пара). Гидравлическое сопротивление практически не зависит от способа распределения жидкости и незначительно зависит от плотности орошения. Аппараты этой конструкции целесообразно применять в процессах абсорбции, десорбции или хемосорбции с целью очистки газов от вредных примесей или извлечения ценных компонентов при ограниченном числе контактных ступеней[20] .

Рассмотренная выше группа аппаратов, несмотря на свои достоинства, также имеет и ряд существенных недостатков. Это относительно высокое гидравлическое сопротивление, низкий предел нагрузок по жидкой фазе, большой брызгоунос, необходимость использования большого числа контактных ступеней аппарата для получения оптимальных характеристик процесса и исходя из этого относительно низкая эффективность работы аппарата[21] .

Следующая группа аппаратов имеет более высокий предел нагрузок по жидкой фазе, что осуществляется за счет использования многократной циркуляции жидкости на контактном элементе. С целью увеличения производительности Р.Ш. Сафин[8] предложил аппарат, в котором также использован принцип многократной деформации капель (рис. 1.10). В данном аппарате разбрызгивающий элемент представляет собой укрепленный на валу ротор, который состоит из конуса-питателя и концентрических колец, соединенных при помощи спиц. При вращении ротора из центрального кольцевого желоба жидкость подается конусом питателем на внутреннюю поверхность первого от центра кольца. Коническая отбортовка колец ротора способствует удержанию жидкости на кольцах при вращении. С первого от центра кольца жидкость разбрызгивается на второе и т.д., и, наконец[36], собирается в периферийном кольцевом желобе, откуда по перетокам вновь стекает в центральный кольцевой желоб, при переполнении которого жидкость сходит на нижележащую ступень[36].

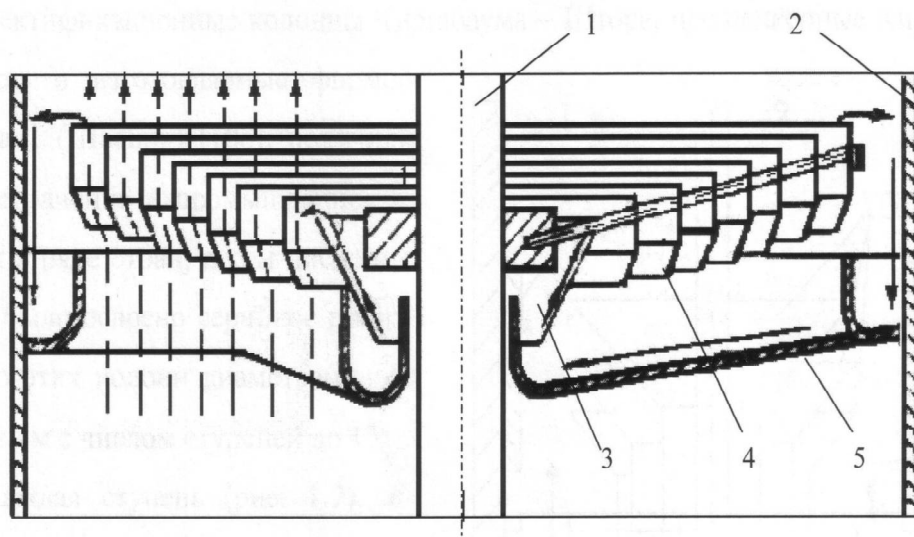


Рисунок 1.10 –Аппарат Сафина Р.Ш: 1-вал, 2-корпус, 3-питающий конус, 4-Концентрические кольца, 5-желоб для перетока жидкости.

В контактных устройствах этого аппарата осуществляется рециркуляция жидкости. Пар контактирует с жидкостью, проходя через кольцевые зазоры между кольцами ротора по всему живому сечению аппарата.

Такая конструкция контактных устройств позволила значительно увеличить предельно допустимую скорость пара по сечению колонны (1—1,5 м/с). Гидравлическое сопротивление орошаемого контактного устройства при этих скоростях пара составляет всего 0,25 – 2 мм вод. ст. Эффективность устройства 0,3—0,5 теоретической тарелки.

Новым этапом создания эффективных роторных распылительных аппаратов стало использование в них закрученных газожидкостных потоков. Отмечалась возможность высокой эффективности массообмена при распылении жидкостей в закрученный газовый поток. Эффективные конструкции распыливающих массообменных аппаратов были предложены В.А. Заднепряным . В аппарате конструкции В.А. Заднепряного (рис.1.11) жидкость распыляется перфорированным вращающимся цилиндром, без заборного устройства[22].

Капли жидкости взаимодействуют с закрученным газовым потоком, что интенсифицирует массообмен и способствует сепарации капель. Этот аппарат существенно эффективнее, чем аппараты рассмотренных выше конструкций, в которых жидкость, взаимодействует с газом, движущимся без закрутки. Перекрестный ток жидкости и газа предопределяет необходимость иметь большое количество ступеней распыления. Это является недостатком аппаратов типа Киршбаума-Штора[36].

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

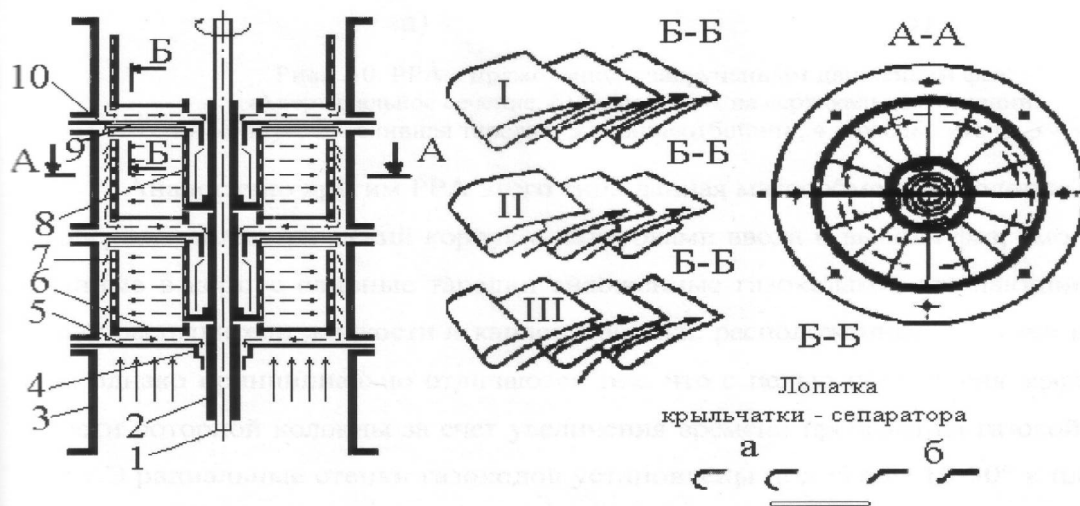


Рисунок 1.11 – РРА конструкции В.А. Заднепряного:
 1 - вал; 2 – втулка; 3- корпус; 4 - кольцевой желоб; 5 - тарелки;
 6 - полые переточные крылья; 7 - ситчатый цилиндр; 8 - распылитель;
 9 - крыльчатка сепаратора с радиальными лопатками;
 10 - наклонные радиальные лопатки[36].

Перспективными роторно-распылительными аппаратами (абсорберами) являются аппараты в которых в качестве диспергирующих устройств используются перфорированные цилиндры. Так как согласно кандидатской диссертации А.Ф. Сорокопуда «Роторные колонны, имеющие в качестве диспергирующего устройства вращающиеся перфорированные цилиндры по сравнению с колоннами, диспергирующие устройства которых выполнены в виде пакета усеченных конусов, обладают рядом преимуществ: компактность диспергирующего устройства, лучшее использование межтарельчатого пространства для контакта фаз за счет большей высоты диспергирующего устройства, возможность регулирования дисперсности распыла жидкости путем подбора диаметра отверстий перфорированной части.» В данной работе будут рассмотрены только такие аппараты.

Одним из первых таких аппаратов является КЭ, разработанный Ю. И. Макаровым (рис 1.12) работает следующим образом: находящаяся на тарелке-перегородке – 3 жидкость пакетом полых усеченных конусов – 4 подается через перфорированный цилиндр – 5. Избыток жидкости в количестве, подаваемому на орошение, перетекает с тарелки на тарелку по переточным трубкам – 1. Газовая фаза, поступающая снизу вверх, пройдя по межтарельчатому пространству, попадает на тарелку по вертикальному прямоугольному перфорированному газовому коробу – 6. Таким образом, в этой конструкции обеспечивается заметное увеличение времени пребывания газовой фазы в межтарельчатом объеме за счет закручивания газового потока[39].

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

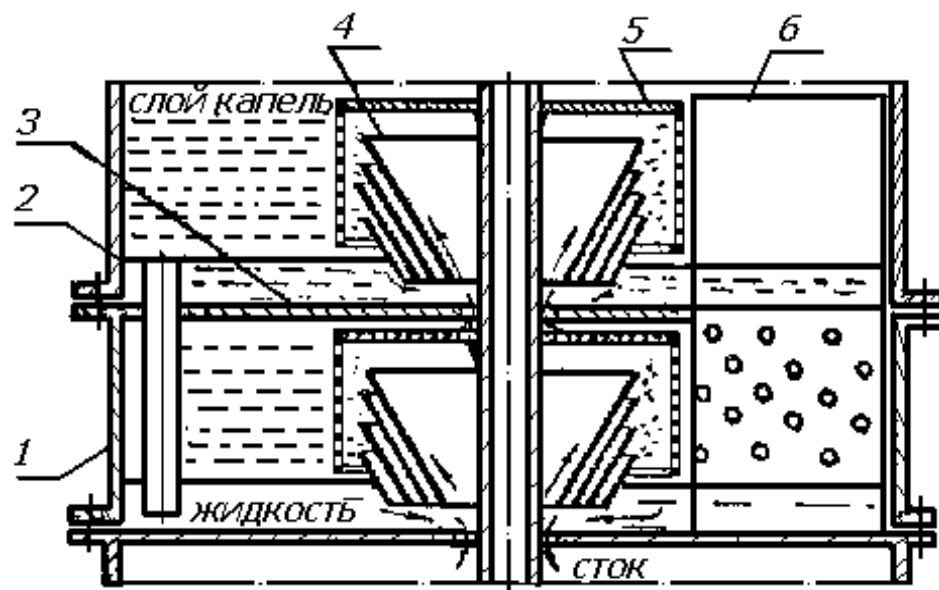


Рисунок 1.12 – Контактный элемент Макарова

К достоинствам этого РРА можно отнести расширение диапазона скоростей газовой фазы с точки зрения брызгоуноса. Существенным недостатком является высокое гидравлическое сопротивление, создаваемое, в первую очередь, газовым перфорированным коробом. Этот недостаток можно устранить, заменив перфорированный короб свободным пространством (свободным проходом).

Во-вторых, распылитель, выполненный в виде полых усеченных конусов, достаточно громоздок, что увеличивает энергозатраты на его работу[39].

Более совершенной является конструкция роторной массообменной колонны (рис 1.13), содержащей цилиндрический корпус с патрубками ввода и вывода фаз, со смонтированными в нем сливными тарелками, распылителями жидкости и каплеуловителем в виде пластин, расположенных у стенки корпуса, отличающаяся тем, что, с целью уменьшения брызгоуноса и повышения разделительной способности колонны, пластины установлены с перекрытием друг друга под углом, равным $1 - 30^\circ$ к направлению вектора абсолютной скорости потока диспергированной жидкости. Колонна содержит корпус 1, сливную тарелку 2, на сливной тарелке находится каплеуловитель 3 в виде вертикальных пластин и распылитель жидкости 4.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

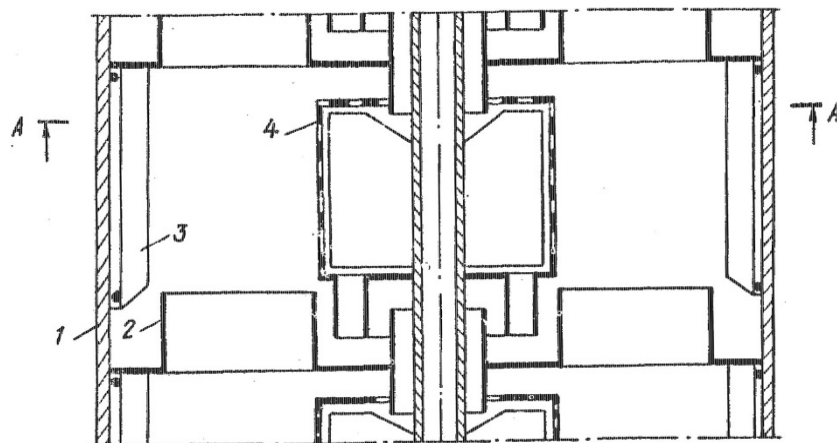


Рисунок 1.13 – Роторная массообменная колонна

Колонна работает следующим образом диспергированная из распылителя 4 жидкость в виде капель касательно ударяется о пластины каплеуловителя 3 и скользит по ним. Касательный удар о пластины приводит к тому, что большая часть энергии ударяющейся жидкости расходуется на перемешивание жидкости на поверхности удара, а не на дробление.

В результате этого на поверхности удара образуется интенсивно обновляющаяся и высоко развитая поверхность массообмена. Капли жидкости, образовавшиеся в результате касательного удара, более крупных размеров, что снижает брызгоунос. Взаимное перекрытие пластин исключает удар и дробление капель жидкости, диспергированной распылителем о корпус колонны.

На рисунке 1.14 представлен один из последних известных РРА, содержащий наиболее перспективные технические решения: высокопроизводительное заборное устройство в виде двух коаксиальных цилиндров с заборными лопатками между ними, пристенный каплеотбойник в виде вертикально установленных металлических пластин, сливную тарелку с центральным перетоком, в газоходах которой установлены направляющие лопатки для закручивания газа. Аппарат работает следующим образом. Поток газа, попадая в газоходы сливных тарелок – 2, приобретает направленное закрученное движение. В результате, повышается сепарация мелкодисперсных капель на корпусе аппарата и пристенных каплеотбойниках. При движении газа противотоком факелу диспергированной жидкости возрастает гидравлическое сопротивление контактного элемента. При проточке газ движется вслед за факелом диспергированной жидкости, гидравлическое сопротивление контактного элемента при этом существенно ниже, чем при противотоке. Время контакта капли жидкости в полете больше, что также [36] обеспечивает увеличение эффективности; немаловажную роль играют направляющие лопатки в газоходах, установленные под уг-

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

лом $10 - 30^\circ$ к плоскости тарелки, что увеличивает время пребывания газовой фазы на контактном элементе.

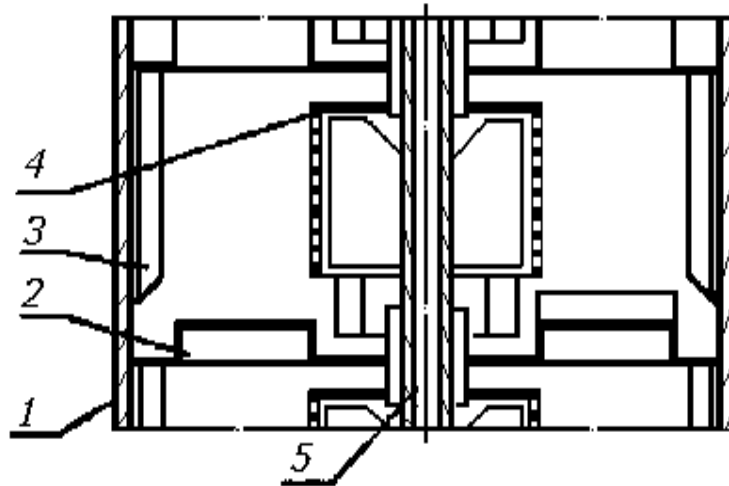


Рисунок 1.14 – Роторно-распылительный абсорбер

Принцип прямоточного движения газа (пара) и жидкости реализован в РРА [9] представленном на рисунке 1.15 и рассмотренном в работе[36].

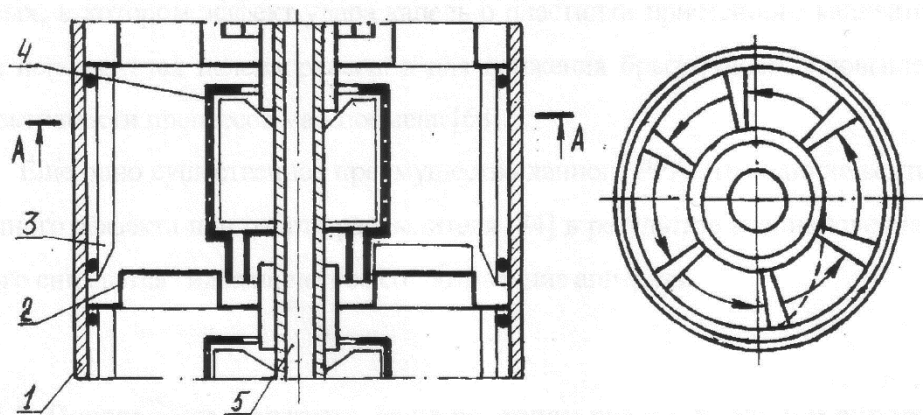


Рисунок.1.15 – РРА с прямоточным закрученным движение 1 - корпус; 2 - сливная тарелка; 3 - каплеотбойник; 4 - распылитель; 5 - вал.

Аналогично другим РРА этого типа данная массообменная колонна также содержит цилиндрический корпус с патрубками ввода и вывода фаз, вмонтированные в корпус сливные тарелки снабженные газоходами, вращающиеся на валу распылители жидкости и каплеотбойники, расположенные у стенки корпуса, однако принципиально отличаются тем, что с целью повышения эффективности роторной колонны за счет увеличения времени пребывания газовой фазы на контактном элементе радиальные стенки газоходов установлены под углом

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

10-30° к плоскости тарелки. Восходящий поток газа за счет направляющих пластин питающей тарелки-2 и тангенциального ввода газа приобретает вращательное движение на каждом контактном элементе. Это увеличивает время контакта газа и жидкости и способствует дополнительной турбулизации контактирующих фаз. Положительный эффект заключается как в непосредственном увеличении поверхности контакта фаз за счет турбулизованной пленки жидкости на поверхности пластин кап- леотбойника, так и за счет улучшения условий массообмена в результате интенсивной турбулизации пленки ударяющимися каплями[36].

Кроме того, роторный распылительный абсорбер (РРА) представленный на рисунке 1.15 является одним из первых, в котором эффект удара капель о пластинки пристенного каплеотбойника используется целенаправленно для снижения брызгоуноса и повышения эффективности процессов массообмена[10].

Еще одно существенное преимущество данного РРА это наличие вентиляционного эффекта при работе распылителя в результате возникновения которого снижается гидравлическое сопротивление аппарата[36].

1.3 Сопоставление характеристик абсорберов

Цель работы – определение основных характеристик нового контактного элемента РРА: коэффициента массоотдачи в газовой фазе, относительного брызгоуноса и гидравлических сопротивлений.

Экспериментальные исследования выполнены на контактном элементе, представленном на рисунке 1.16 [6]. Работа контактного элемента осуществляется следующим образом. Рабочая жидкость из питающей чаши сливной тарелки 5 заборным устройством распылителя 3 подается в диспергирующее устройство (перфорированный цилиндр) и под действием центробежной силы выбрасывается в свободное пространство контактного элемента в виде струй и капель. Размер капель и скорость их полета определяются свойствами рабочей жидкости, диаметром отверстий на поверхности диспергирующего устройства распылителя и угловой скоростью его вращения.

Достигнув пристенного каплеотбойника 8, капли ударяются о его пластины, скользят по ним, по корпусу 2 и далее стекают на сливную тарелку 5. Касательный удар капель о поверхность пластин уменьшает вероятность образования вторичных капель и снижает брызгоунос. При касательном ударе большая часть энергии ударяющихся капель расходуется не на дробление жидкой пленки, а на ее перемешивание. В результате образуется высокоразвитая и интенсивно обновляющаяся поверхность межфазового контакта.

					<i>ВКА 00.00.000 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		20

Из периферийной части тарелки 5 рабочая жидкость по переточным трубам 6 поступает в ее питающую чашу, откуда заборным устройством распылителя 3 вновь подается в диспергирующее устройство [37].

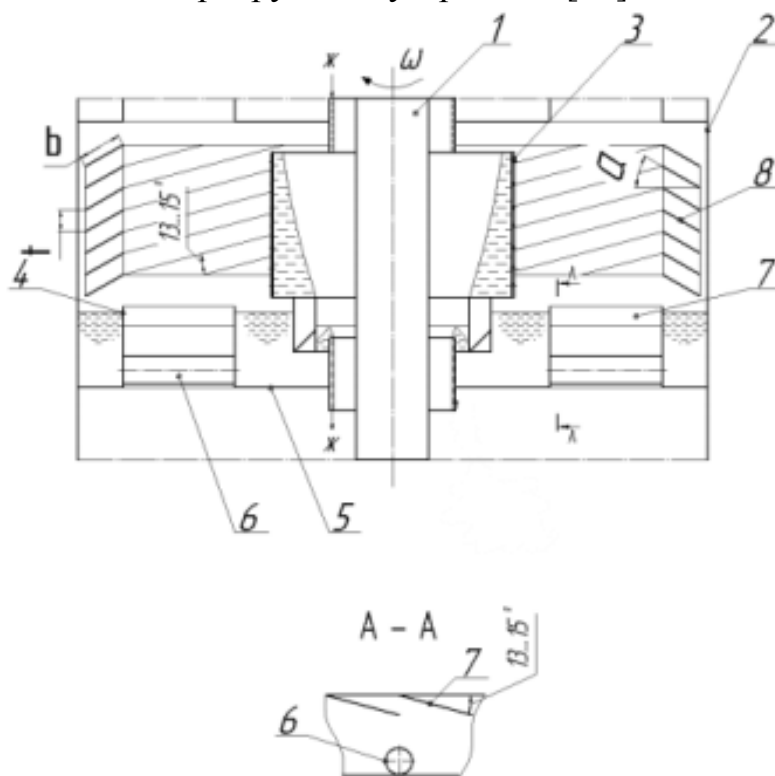


Рисунок 1.16 – Схема исследуемой конструкции КЭ: 1 - вал; 2 - корпус; 3 - диспергирующее устройство; 4 - газоходы; 5 - сливная тарелка; 6 - переточные трубы; 7 - направляющие лопатки; 8 - пристенный каплеотбойник

Избыток жидкости в объеме, равном количеству свежее поступившей, сливается на нижележащий контактный элемент по переливной трубе, расположенной в центре сливной тарелки 5 соосно валу 1.

Поднимающийся по аппарату газ (пар) на каждом КЭ движется вслед за факелом распыленной жидкости в условиях, близких к прямооту, что обеспечивается соответствующим углом установки как направляющих лопаток 7 внутри газоходов, так и пластинок пристенного каплеотбойника 8. В результате газ (пар) сохраняет вращательное движение и проходит с меньшим сопротивлением в каналах, образованных наклонно установленными под углом 13...15 пластинками пристенного каплеотбойника 8. Двигаясь вслед за факелом распыленной жидкости, газ (пар) поступает в зону пониженного давления, создаваемую летящими каплями. При организованных таким образом условиях движения газа (пара) снижаются затраты энергии на преодоление гидравлических сопротивлений контактного элемента.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
------	------	----------	---------	------

Вращательное движение потока газа (пара) увеличивает эффект сепарации капель в пространстве между пластинками каплеотбойника, что снижает брызгоунос. Одинаковый угол наклона направляющих лопаток 7 и пластинок каплеотбойника 8 по направлению движения газа (пара) не только снижает гидравлическое сопротивление, но и обеспечивает дополнительную турбулизацию и обновление поверхности межфазового контакта образованной пленкой жидкости на нижней стороне пластинок каплеотбойника. Благодаря этому повышается эффективность проводимых процессов и снижается брызгоунос на контактном элементе[37].

Закрученное движение газа (пара) сохраняется по всей высоте за счет тангенциального ввода и вывода газа (пара) из аппарата, за счет направляющих лопаток 7, установленных под углом 13... 15 к плоскости тарелки 5, в ее газоходах 4, за счет пластин каплеотбойника 8, установленных у корпуса 2 с углом подъема 13... 15° по направлению движения газа (пара) [36].

Все эксперименты на контактном элементе выполнены на системе воздух - вода при температуре (20±1) °С. Использовалась питьевая вода из водопроводной сети. Расход воды измерялся ротаметрами РС-5 с набором сменных поплавков. Производительность распылителя определялась по общепринятой методике - путем отбора 1/92 части факела распыленной жидкости. Это основано на многократно проверенном многими исследователями факте, что факел распыленно перфорированным цилиндром жидкости обладает круговой симметрией по плотности потока[36].

Исследования выполнены на контактном элементе диаметром 0,25 м, использовался распылитель диаметром 0,075 м, 10 рядами отверстий диаметром $1,5 \cdot 10^{-3}$ м, расположенных в шахматном порядке с окружным шагом $t_{окр} = 5 \cdot 10^{-3}$ м и осевым шагом $t_{ос} = 4,5 \cdot 10^{-3}$ м, всего 460 отверстий.

На контактном элементе помещались различные конструкции пристенного каплеотбойника характеристики которых приведены в таблице 1.1, обозначения - на рис. 1.16.

Таблица 1.1 – Характеристики ПК

ПК	b, мм	t, мм	α, град	$F_n, \times 10^{-3}, \text{ м}^2$
ПК-1	20	10	30	54,6
ПК-2	25	10	35-	71,5
ПК-3	30	10	30	79,2
ПК-4	30	20	30	66,5
ПК-5	25	10	15	60
ПК-6	25	10	30	70,5
ПК-7	20	10	20	62,4

Примечание. F_n - суммарная площадь пластин ПК[37].

Частота вращения распылителя подбиралась исходя из условия получения объемно-поверхностного диаметра $d_{32} = 1,1$ мм, поскольку в каплях диаметром менее 1 мм затухают конвективные токи, скорость капель $U_2 = \omega \cdot r$ (где, r - наружный радиус перфорированного цилиндра, м), находилась из выражения[37]:

$$d_{32} = d_0^{0,58} \cdot \rho^{0,28} \cdot \alpha^{0,34} / (84 \cdot U_2^{0,85} \cdot \mu^{0,34}), \quad (1.5)$$

где, d_0 - диаметр отверстия истечения, м; ρ - плотность распыляемой жидкости, кг/м³; α - поверхностное натяжение жидкости, Н/м; μ - коэффициент динамической вязкости жидкости, Па·с.

Необходимая частота вращения распылителя принимали 1500 об/мин.

Коэффициент массоотдачи в газовой фазе определялся по известной методике (Ю.Н. Скрынник, О.С. Чехов, 1990г.) при адиабатическом испарении воды в поток воздуха. Для обеспечения минимальной погрешности получаемых данных воздух в установку подавался с относительной влажностью не более 35%. Параметры воздуха на входе и выходе из установки определялись с помощью цифрового термогигрометра «Термит» с погрешностью $\pm 2,5$ %. Ошибка в определении коэффициента массоотдачи по данной методике не превышает 10...15 %.

Брызгоунос определялся сепарационным методом - путем улавливания на вышерасположенной тарелке уносимых потоком воздуха капель с исследуемого контактного элемента. Для этого над тарелкой устанавливался жалюзийный сепаратор, а газоходы были сверху ограждены отбойниками. Измерения выполнялись не менее чем в 3 повторениях, расхождение не превышает 12...15 %. При анализе полученных данных брызгоунос e представлялся относительной величиной: кг унесенной жидкости на кг прошедшего за одно и то же время газа через контактный элемент.

Гидравлическое сопротивление исследуемого контактного элемента сухого и орошаемого измерялось с использованием микроманометра ММН-240. Выполнялось не менее 5 замеров, ошибка в измерении не более 10...12%.

Исследования выполнены в диапазоне скоростей газа на контактном элементе: $U_B = 2,9...4,2$ м/с[37].

В РРА подобной конструкции массоотдача осуществляется главным образом при полете капель в свободном пространстве контактного элемента (β_1) и при ударе их о поверхность пленки жидкости на пластинах пристенного каплеотбойника и стенке контактного элемента (β_2) (А.А. Авруцкий, Г.П. Соломаха, 1979). При использовании одного и того же распылителя на контактном элементе условия полета капель в свободном пространстве не меняются, а следовательно, будут одинаковы значения β_1 и образованная при этом, поверхность

контакта фаз. Повышения значения суммарного коэффициента массоотдачи (β_{gf}) будут связаны с ростом β_2 .

Ввиду отсутствия сведений о поверхности контакта фаз в зоне удара на исследуемом контактном элементе рассматривалось суммарное значение β_{gf} (суммарный коэффициент массоотдачи в газовой фазе, отнесенный к площади поперечного сечения аппарата).

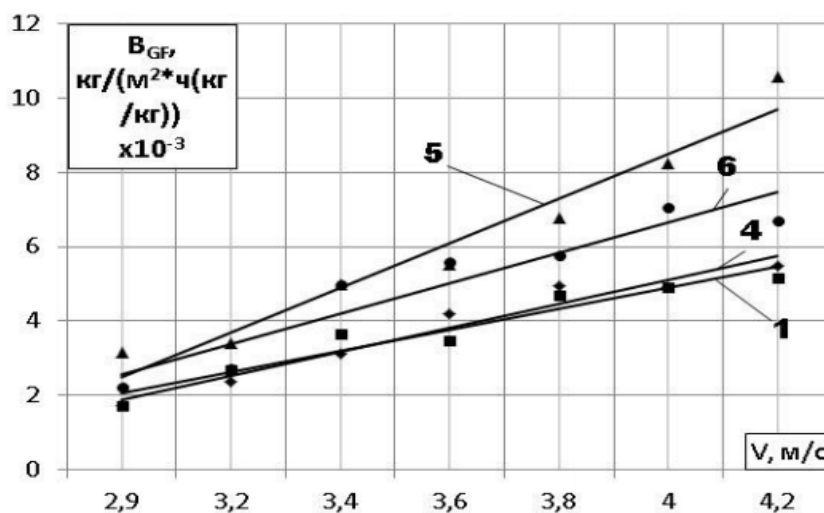


Рисунок 1.17 – Зависимость приведенного коэффициента массоотдачи от скорости газа: 1 - ПК-1; 4 - ПК-4; 5 - ПК-5; Щ-ПК-6

Анализ полученных данных показывает, что суммарный коэффициент массоотдачи β_{GF} возрастает с увеличением скорости газа. Значения β_{GF} для ПК-1, ПК-4, ПК-7 во всем диапазоне скоростей газа отличаются незначительно. Как следует из рисунка 1.17, ПК-5 и ПК-6 обеспечивают существенно большее значение β_{GF} . На наш взгляд, это можно объяснить конструктивными параметрами пристенного каплеотбойника (см. таблицу 1.1). При одинаковых $b = 25$ мм, $t = 20$ мм для ПК-5 и ПК-6 они отличаются углом α' и величиной F_n . Для ПК-5 $\alpha' = 15^\circ$, для ПК-6 $\alpha' = 30^\circ$. Значения суммарного коэффициента массоотдачи несколько выше для ПК-5, хотя F_n ниже, чем у ПК-6. Можно утверждать, что условия массоотдачи на ПК-5 более благоприятные, чем на ПК-6 и тем более на остальных исследованных вариантах.

Сравнение полученных результатов с данными работы [4], которые были получены на ПК с вертикально установленными пластинами, показывает следующее: максимальная скорость воздуха составляла 2,8 м/с, при этом в условиях увлажнения при рациональных параметрах $\beta_{GF} = 8,8 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч}(\text{кг}/\text{кг})) \cdot 10^3$. Дальнейшее увеличение скорости газа ограничивалось интенсивным брызгоуносом. В работе [3] при $U_B = 4,2$ м/с для ПК-5 – $\beta_{GF} = 9$, а для ПК-6 – $\beta_{GF} = 7 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч}(\text{кг}/\text{кг})) \cdot 10^3$.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
------	------	----------	---------	------

Анализ данных, представленных на рисунке 1.18, показывает высокое значение относительного брызгоуноса для ПК-5 и наименьшее для ПК-6, при $U_B = 4,2$ м/с и $e = 0,032$ кг/кг.

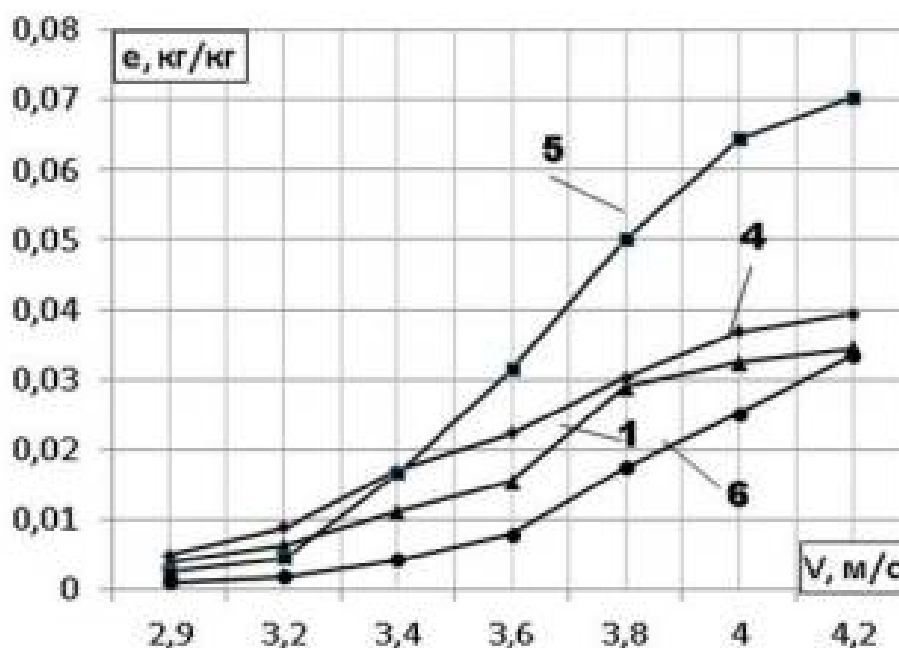


Рисунок 1.18 – Зависимость относительного брызгоуноса от скорости газа: 1 - ПК-1; 4 - ПК-4; 5 - ПК-5; 6 - ПК-6

В работе [9] исследован брызгоунос на контактном элементе с пристенным каплеотбойником, выполненными в виде вертикальных пластин различной геометрии, минимальный относительный брызгоунос для наиболее рациональных конструкций пристенного каплеотбойника при равных скоростях жидкости составлял $e = 0,048.. 0,05$ кг/кг при $U_B = 3,8$ м/с.

Высокие значения брызгоуноса для ПК-5 обусловлены геометрическими параметрами (см. таблицу 1.1) и в первую очередь малым углом наклона пластин. В этом случае образуется большее количество мелких капель, подверженных уносу в зоне удара о пластинки ПК-5.

Результаты, полученные на ПК-5, не превышают общеизвестную допустимую величину брызгоуноса, равную 0,1 кг/кг. Более того, на ПК-6 получены меньшие значения брызгоуноса при больших скоростях газа, что свидетельствует о перспективности исследуемой конструкции[37].

Представленные на рисунке 1.19 данные свидетельствуют об одинаковом характере зависимости потерь напора на неорошаемом (сухом) контактном элементе для всех испытанных пристенных каплеотбойниках. Причем ПК-5 обладает большим сопротивлением. ПК-1, ПК-4 и ПК-6 имеют близкие потери напора, но при $U_B = 3,8..4,2$ м/с наименьшие потери напора у ПК-1[37].

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
------	------	----------	---------	------

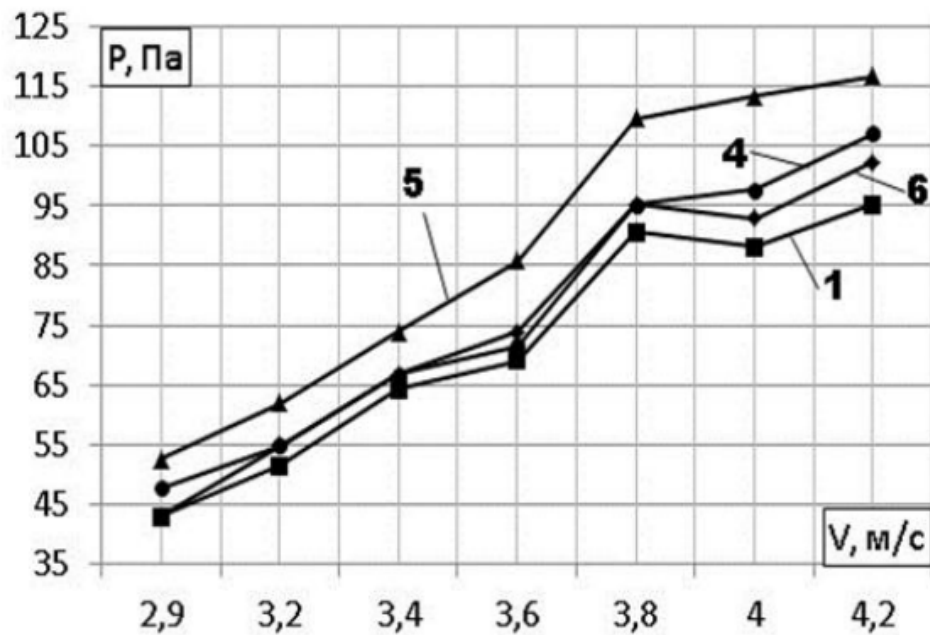


Рисунок 1.19. Зависимость гидравлических сопротивлений от скорости газа на сухом контактном элементе:
1 - ПК-1; 4 - ПК-4; 5 - ПК-5; 6-ПК-6

Из анализа рисунков 1.19 и 1.20 следует, что потери напора на орошаемом контактном элементе ниже, чем на сухом, для всех пристенных каплеотбойниках. Это можно объяснить наличием вентиляционного эффекта, создаваемого факелом распыляемой жидкости. Капли факела, диспергированные вращающимся диспергирующим устройством, обладая определенным запасом энергии, эжектируют близлежащие слои воздуха. Газ, подаваемый на контактный элемент, попадает в зону разрежения, создаваемую летящими каплями, и движется в условиях, близких к прямотоку. [37]

Из рисунка 1.20 следует, что потери напора на контактном элементе с ПК-4 и ПК-6 наименьшие, причем при $U_B \geq 3,4$ м/с они значительно ниже, чем при ПК-1 и ПК-5. На наш взгляд это свидетельствует, о том, что геометрические параметры ПК-4 и ПК-6 более благоприятные прохождения воздуха в условиях орошения контактного элемента[3].

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
------	------	----------	---------	------

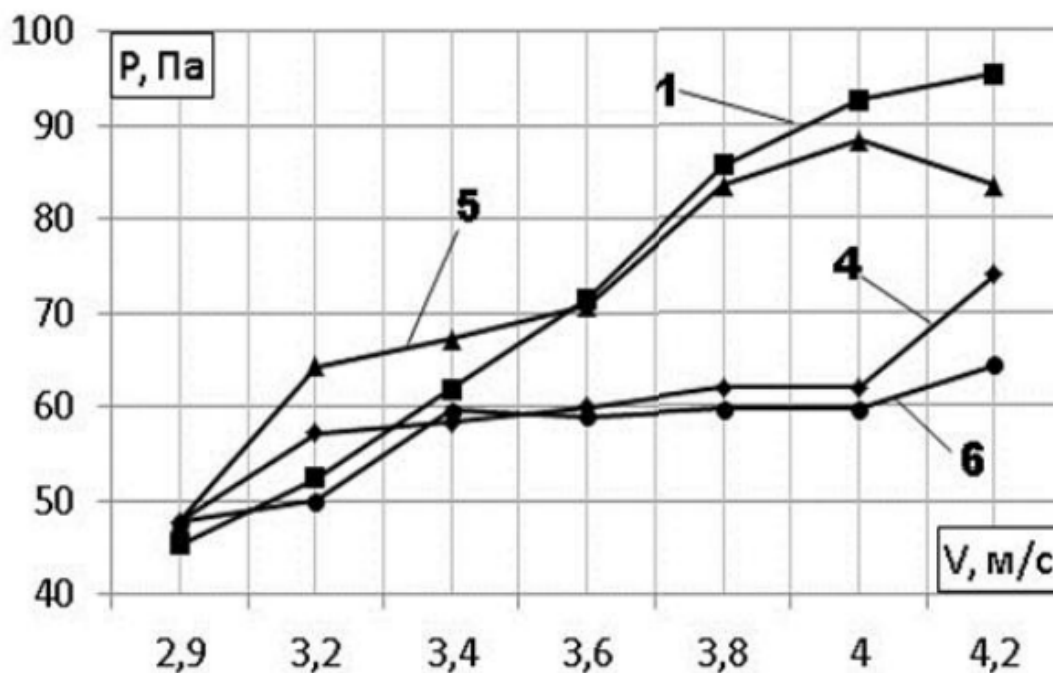


Рисунок 1.20 – Зависимость гидравлических сопротивлений от скорости газа на орошаемом КЭ: 1 - ПК-1; 4 - ПК-4; 5-ПК-5; 6-ПК-6

Гидравлическое сопротивление контактного элемента РРА с использованием пристенного каплеотбойника с вертикальными прямыми пластинками исследовано в [17], где показано, что при близких к реализованным в данной работе условиях потери напора на орошаемом контактном элементе при $U_B = 3,5 \dots 4,0$ м/с составляют 220...250 Па.

Проведенные исследования показывают, что контактный элемент [14] с ПК-6 ($b = 25$ мм, $t = 10$ мм, $\alpha = 30^\circ$) обеспечивают более благоприятные аэродинамические условия для прохода газа. В результате снижается гидравлическое сопротивление орошаемой ступени, уменьшается относительный брызгоунос.

Это позволяет принять рабочий диапазон скорости газа на контактном элементе [14] $U_B \leq 4,2$ м/с, что не является предельным значением. Значение коэффициента массоотдачи в газовой фазе в рекомендуемом диапазоне скоростей газа в испытанном контактном элементе не уступает полученным в предыдущих конструкциях контактного элемента РРА[37].

В целом следует считать, что контактный элемент РРА [7] является перспективной конструкцией, целесообразность промышленного использования которой вполне очевидна[37].

Как уже отмечалось ранее, основные преимущества РРА – низкое гидравлическое сопротивление, незначительный расход рабочей жидкости и электроэнергии на организацию работы и другие. Все это дает известные преимущест-

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
------	------	----------	---------	------

ва при аппаратурном оформлении таких процессов как абсорбционная очистка промышленных газов с низкой потенциальной энергией[36].

В частности при брожении ряда продуктов выделяются такие полезные вещества как пары этилового спирта, диоксид углерода и т. д. В тех случаях, когда их улавливание экономически целесообразно используют различные аппараты этих целей.

В спиртовом промышленности во время брожения выделяется диоксид углерода, который уносит пары этилового спирта. Потери при этом составляют 0,5 – 1,5 % от получаемого спирта[18]. Для улавливания ценных паров этилового спирта применяют различные спиртоловушки.

Применяемые конструкции спиртоловушек (колпачковая, пленочно-конденсаторная, с наполнителем, с насадкой) имеют высокую металлоемкость, большое гидравлическое сопротивление, большой расход орошающей жидкости (абсорбента). Среди применяемых конструкций предпочтение отдается аппаратам с низким гидравлическим сопротивлением, что позволяет снизить эксплуатационные расходы и уменьшить стоимость оборудования для очистки диоксида углерода от паров этилового спирта. Одним из перспективных видов оборудования для этих целей являются роторные распылительные аппараты. Их достоинства и недостатки подробно рассмотрены в главе 1.

На ОАО «Иткульский спиртзавод» в настоящее время используется 4 колпачковые спиртоловушки которые имеют достаточно высокое гидравлическое сопротивление, для преодоления которого на выходе спиртоловушек установлены вентиляторы, работающие по схеме аспирации. Данные ловушки нуждаются в реконструкции и вполне могут быть заменены одним РРА. Производительность одной ловушки по газу 550 м³/час, степень улавливания паров спирта составляет около 85%.

В работе [6] произведен расчет РРА производительностью по газу 2200 м³/час. Степень улавливания паров спирта разработанным роторным распылительным аппаратом составляет 98,8%, остальные характеристики приведены в таблице 1.2.

Технологическая схема брожения сусла представлена на рисунке 1.21. После ферментативно - тепловой обработки, сусло поступает в бродильные чаны - 3. Приготовленные в дрожжанках - 1 дрожжи поступают во сбражи«пели - 2, откуда подаются в головной бродильный аппарат - 3. Сбраживаемое сусло из головного бродильного аппарата - 3, последовательно по переточным трубам поступает в бродильные аппараты - 4. Из последнего бродильного аппарата зрелая бражка насосом - 8 подается на перегонку в ректификационную колонну. Насосами 5,6 сусло удаляется из бродильных аппаратов на случай дезинфекции. Из выделившегося при брожении диоксида углерода спирт улавливается в спиртоловушке - 7. Для повышения эффективности улавливания паров

спирта, снижения металлоемкости оборудования и уменьшения энергозатрат предлагается использовать разработанный РРА[36].

Основные характеристики РРА рассчитанные в соответствии с методикой изложенной в разделе 3.2 и применяемой спиртоловушки, приведены в таблице 1.2.

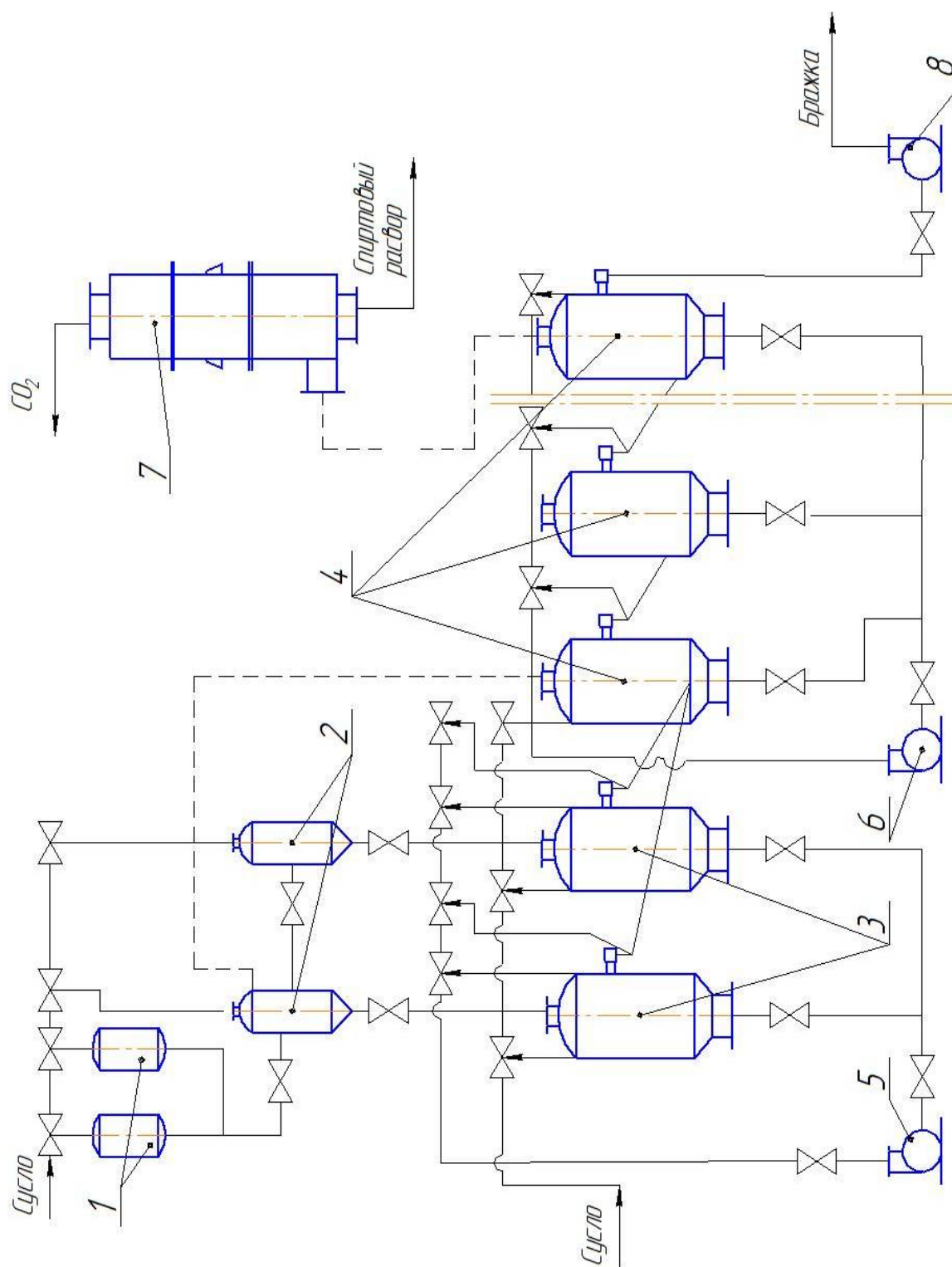
Таблица 1.2 – Характеристика спиртоловушек

Характеристика аппарата	Колпачковая спиртоловушка	РРА
1	2	3
Производительность по газу (пару), м ³ /час.	550	2200
Количество контактных ступеней аппарата.	15	12
Гидравлическое сопротивление аппарата, Па.	1800	560
Степень извлечения паров спирта, % масс.	96,5	98,8
Диаметр аппарата, м.	0,5	0,5
Высота аппарата, м.	3	2,6
Объем аппарата, м ³	0,59	0,51
Масса аппарата, кг.	450	420
Потребление эл. энергии, кВт/ч.	4	2,2

Как следует из данных таблицы 1.2, разработанный РРА имеет меньшие габаритные размеры и меньшую массу по сравнению с одной спиртоловушкой, а его производительность выше в 4 раза.

На основе вышеизложенного, можно рекомендовать РРА как эффективный аппарат для улавливания паров спирта, и использовать его в качестве спиртоловушки при производстве спирта.

Техническая документация на РРА диаметром 0,5 м была передана в технический отдел ООО ЛВЗ «ОША». Протокол передачи документации представлен в приложении- 5. Согласно протоколу, разработанный РРА, планируется использовать при реконструкции броидильного отделения в 2005-2006 г[36].



ису-
нок
1.21
–
Схе-
ма
тех-
ноло-
логи-
чес-
кой
ли-
нии
сбра-
жива-
ния
су-
сла.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ВКА 00.00.000 ПЗ

Лист

30

1.4. Постановка задач и вывода

Выполнять проверочные расчеты подтверждающие работоспособность предложенной конструкции.

Выполненные расчеты показали:

1. Экономически целесообразность применения РРА в качестве спирто-ловушки;
2. Проведенные технологические, конструктивные и энергетические расчеты подтверждали работоспособность предложенной конструкции абсорбера.

					<i>ВКА 00.00.000 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		31

2 ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ

Спирт широко применяется в пищевой промышленности, поэтому совершенствование оборудования линии производства этилового спирта является важной задачей. Однако, при производстве происходят потери спирта, уносимого углекислым газом, которые составляют от 0,5 до 1,5% от получаемого спирта[1].

Для улавливания паров этилового спирта, применяют различные спиртоловушки: колпачковая, пленочно-конденсаторная, с наполнителем, с насадкой, которые имеют высокую металлоемкость, большое гидравлическое сопротивление, большой расход орошающей жидкости (абсорбента). Одним из перспективных видов оборудования для этих целей являются РРА, конструкции которых рассмотрены в литературно-патентном обзоре. Они имеют широкий диапазон устойчивой работы, обеспечивают высокую эффективность проводимых массообменных процессов[10,11]. По сравнению с колпачковой спиртоловушкой РРА имеют:

1. 3 раза меньшее гидравлическое сопротивление ;
2. меньшее потребление энергии;
3. на 2,3% большая эффективность улавливания;
4. малая металлоёмкость аппарата.

Всё это даёт основание считать РРА перспективным видом оборудования для проведения таких процессов как: абсорбция, ректификация, дистилляция. Поэтому его разработка и исследования является экономически целесообразно.

					<i>ВКА 00.00.000 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		32

3 ПРОЕКТИРОВАНИЕ РРА ДЛЯ УЛАВЛИВАНИЯ ПАРОВ СПИРТА

3.1 Определение производительности и диаметра РРА (спиртоловушки)

Согласно информации выставленной на сайте ОАО «Иткульского спиртзавода» годовой выпуск спирта составляет 1 миллион дал в год; водочная продукция составляет 1 млн дал в год.

Таким образом количество спирта пошедшего на изготовление водки 1 млн дал 40%-ной водки составляет 415368 дал.

Итого при круглосуточном режиме работы завода в течении 305 суток в год общее количество вырабатываемого спирта составит: 1415368,63 дал в год.

Суточная производительность завода по спирту при этом будет: 4640,55 дал в сутки.

Количество выделившегося диоксида углерода:

$$V_{\Gamma} = 10 \Pi \rho K K_1 / 24 \rho, \text{ м}^3/\text{ч}, \quad (3.1)$$

где, V_{Γ} – количество выделившегося диоксида углерода при брожении;

Π – производительность спиртового завода, дал/сут;

ρ – плотность спирта ($\rho = 790 \text{ кг/м}^3$);

K – количество диоксида углерода получаемого на 1 кг спирта (учитывая, что часть диоксида углерода растворяется в жидкости бражки, принимаем $K = 0,94 \text{ кг/кг}$);

K_1 – коэффициент учитывающий увеличение объема диоксида углерода за счет испарения жидкости бражки ($K_1 = 1,1$);

ρ_1 – плотность диоксида углерода при температуре 26°C ($\rho = 1,81 \text{ кг/м}^3$).

$$V_{\Gamma} = 10 \cdot 4640,55 \cdot 790 \cdot 0,94 \cdot 1,1 / 24 \cdot 1,81 = 872624,23 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

В спиртовой промышленности во время брожения выделяется CO_2 который уносит пары этилового спирта. Потеря спирта при этом составляет от 0,5 до 1,5 % от выпуска.

Определяем содержание спирта в парах диоксида подаваемого в спиртоловушку.

Потеря спирта при брожении составляет:

$$\frac{1415368 \cdot (0,5 \dots 1,5)}{100} = 7077 \dots 21231 \text{ дал}.$$

Согласно литературному обзору допустимая скорость газа РРА может составлять 4 – 4,5 м/с на площади поперечного сечения аппарата.

					<i>ВКА 00.00.000 ПЗ</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		33

Отсюда необходимая площадь сечения абсорбера на вес суммарный выброс диоксида углерода составит:

$$S_a = \Pi_c/w_r, \text{ м}^2 \quad (3.2)$$

$$S_a = 242,4/4 = 60,6 \text{ м}^2$$

$$S_a = 242,4/4,5 = 53,9 \text{ м}^2$$

Отсюда можем в первом приближении определить диаметр абсорбера на вес суммарный выброс CO_2 .

$$S_a = \pi d^2 / 4 \quad (3.3)$$

Отсюда находим d – диаметр абсорбера:

$$d = \sqrt{4 \cdot S_a / \pi}$$

$$d = \sqrt{4 \cdot 60,6 / 3,14} = 8,8 \text{ м}$$

$$d = \sqrt{4 \cdot 53,9 / 3,14} = 8,3 \text{ м.}$$

Отсюда целесообразно выбрать меньший диаметр, поскольку РРА по таким диаметрам не изготавливается. Примем в первом приближении диаметр аппарата 1,5 м и определим сколько потребуется таких аппаратов для решения поставленной задачи: очистит паров спирта от диоксид углерода.

Рассчитываем площадь абсорбера по заданному диаметру:

$$N = S_a/S, \text{ шт.} \quad (3.4)$$

$$S = 3,14 \cdot 1,5^2 / 4 = 1,77 \text{ м}^2$$

$$N = 60,6 / 1,77 = 34,3 \text{ шт.}$$

Поскольку бродильное отделение содержит 13 бродильных чанов определим диаметр роторной спиртоловушки из условия что каждому чану необходима своя спиртоловушка.

$$D = \sqrt{4 \cdot \frac{4,6}{3,14}} = 2,4 \text{ м.}$$

Таким образом наиболее целесообразен техническим решением является оснащение каждого чана индивидуальной спиртоловушкой диаметром 2,4 м.

Для проработки технического решения выполним необходимые расчеты абсорбера диаметром 0,6 м с учетом возможности завода.

					<i>ВКА 00.00.000 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		34

3.2. Определение основных размеров РРА (спиртоловушки) диаметром 0,6м.

Согласно существующим рекомендациям [19] диаметр диспергирующего устройства абсорбера должен составить :

$$d_d = (0,3 \dots 0,25) \cdot d, \text{ м}, \quad (3.5)$$

где, d_d – диаметр диспергирующего устройства абсорбера, м;
 d – диаметр аппарата, м.

$$d_d = (0,3 \dots 0,25) \cdot 0,6 = 0,18 \dots 0,25 \text{ м}.$$

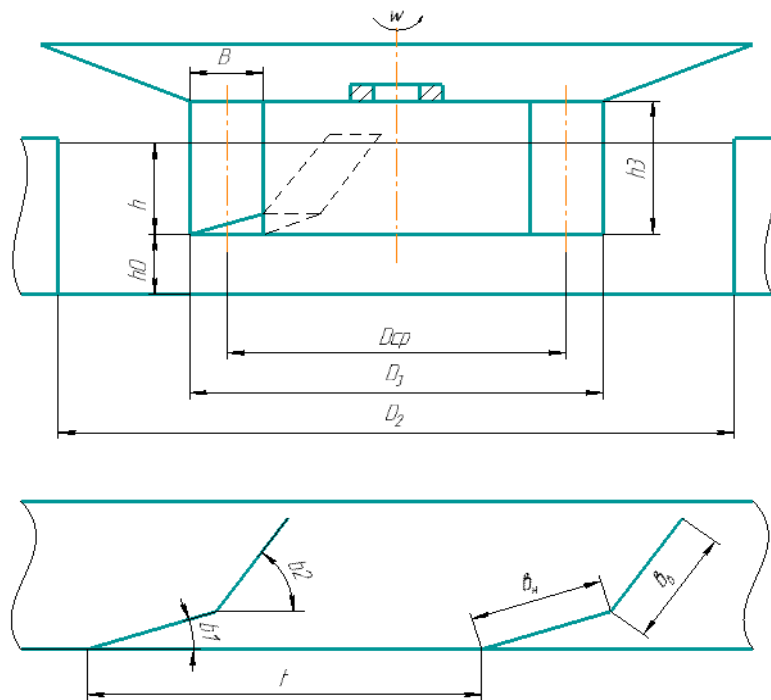


Рисунок 3.1 – Эскиз заборного устройства контактного элемента

Устанавливаем предельную нагрузку КЭ по жидкости[69] :

$$\frac{Q_p}{F} \leq 5 \cdot 10^{-2} \frac{\text{м}^3}{\text{м}^2 \text{с}}, \quad (3.6)$$

где, Q_p – производительность диспергирующего устройства;

F – площадь поперечного сечения роторного распылительного аппарата.

Отсюда определим Q_p :

$$Q_p = F \cdot 5 \cdot 10^{-2} \frac{\text{м}^3}{\text{с}}, \quad (3.7)$$

$$Q_p = 0.2826 \cdot 5 \cdot 10^{-2} = 1.4 \cdot 10^{-2} \frac{\text{м}^3}{\text{с}},$$

Рекомендуемый диапазон по удельной плотности орошения составляет [69]:

$$\frac{L_{\text{ж}}}{F} = (0.4 \dots 120) \cdot 10^{-5}, \frac{\text{м}^3}{\text{м}^2 \cdot \text{с}}, \quad (3.8)$$

Из данного выражения можно найти $L_{\text{ж}}$ – количество свежей жидкости подаваемой в аппарат.

$$L_{\text{ж}} = F \cdot (0.4 \dots 120) \cdot 10^{-5} \frac{\text{м}^3}{\text{с}}, \quad (3.9)$$

$$L_{\text{ж}} = 0.2826 \cdot (0.4 \dots 120) \cdot 10^{-5} = (0.11 \dots 33.9) \cdot 10^{-5} \frac{\text{м}^3}{\text{с}}.$$

$$L_{\text{ж}} = (396 \dots 122040) \cdot 10^{-5} \frac{\text{м}^3}{\text{ч}}.$$

Примем: $L_{\text{ж мин}} = 0,12 \frac{\text{м}^3}{\text{ч}} = 3,3 \cdot 10^{-5} \frac{\text{м}^3}{\text{с}}.$

При такой подаче кратность циркуляции абсорбента на одном контактном элементе в первом приближении составит:

$$r = \frac{Q_p}{L_{\text{ж мин}}}, \quad (3.10)$$

$$r = \frac{1,4 \cdot 10^{-2}}{3,3 \cdot 10^{-5}} = 0,424 \cdot 10^3 = 424;$$

Производительность абсорбера диаметром 0,6м при допустимой скорости подачи газа 4...4,5 м/с:

$$V = S_a \cdot \omega, \frac{\text{м}^3}{\text{с}}, \quad (3.11)$$

$$V = 0.2826 \cdot (4 \dots 4,5) = 1.13 \dots 1.27 \frac{\text{м}^3}{\text{с}}.$$

3.3 Расчет диспергирующего устройства

Производительность диспергирующего устройства распылителя определяется по формуле:

$$Q_p = \varphi \cdot K_0 \cdot f \cdot \omega \sqrt{R^2 - r^2}, \text{ м}^3/\text{с}, \quad (3.12)$$

где, φ – коэффициент пропускной способности отверстий перфорированной оболочки. Для данной толщины стенки (2 мм), принимаем $\varphi = 0,73$;

					<i>ВКА 00.00.000 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		36

K_0 – общее количество диспергирующих отверстий;
 f – площадь сечения одного отверстия, м²;
 ω – скорость вращения диспергирующего устройства ($\omega = \pi \cdot n/30$), с⁻¹;
 R – внутренний радиус диспергирующего устройства, м;
 r – средний радиус свободной поверхности жидкости внутри диспергирующего устройства, м.

Принимаем $R = 77$ мм, при толщине стенки 2 мм, $R_H = 79$ мм, r – принимаем на 7 мм меньше внутреннего радиуса R ; $r = R - 7 = 77 - 7 = 70$ мм, $f = 3,14$ мм² при диаметре отверстия 2 мм, при $n = 500 \dots 800$ об/мин: $\omega = 3,14 \cdot (500 \dots 800)/30 = (52,3 \dots 83,7)$ рад/мин.

$$K_0 = \frac{Q_p}{\varphi \cdot f \cdot \omega \sqrt{R^2 - r^2}}, \quad (3.13)$$

$$K_0 = \frac{1,4 \cdot 10^{-2}}{0,73 \cdot 3,14 \cdot 10^{-6} \cdot 52,3 \cdot \sqrt{0,077^2 - 0,07^2}} = 3640$$

Для того чтобы достичь максимально пропускной способности отверстий необходимо соблюдать условие: $\frac{t}{d_0} \geq 2,5$, отсюда расстояние между отверстиями должно быть не менее 5мм. Примем $t_{окр} = t_{ос} = 5,5$ мм, диаметр распылителя $d_{расп} = 156$ мм.

Расчитываем количество отверстий в одном ряду:

$$K_{окр} = \frac{\pi \cdot d_{расп}}{t_{окр}}, \quad (3.14)$$

$$K_{окр} = \frac{3,14 \cdot 156}{5,5} = 89,1$$

Принимаем число отверстий в одном ряду 89. Тогда число рядов отверстий составит:

$$\frac{K_0}{K_{окр}} = \frac{3640}{89} = 40,9$$

Примем 41 рядов отверстий.

					<i>ВКА 00.00.000 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
						37
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

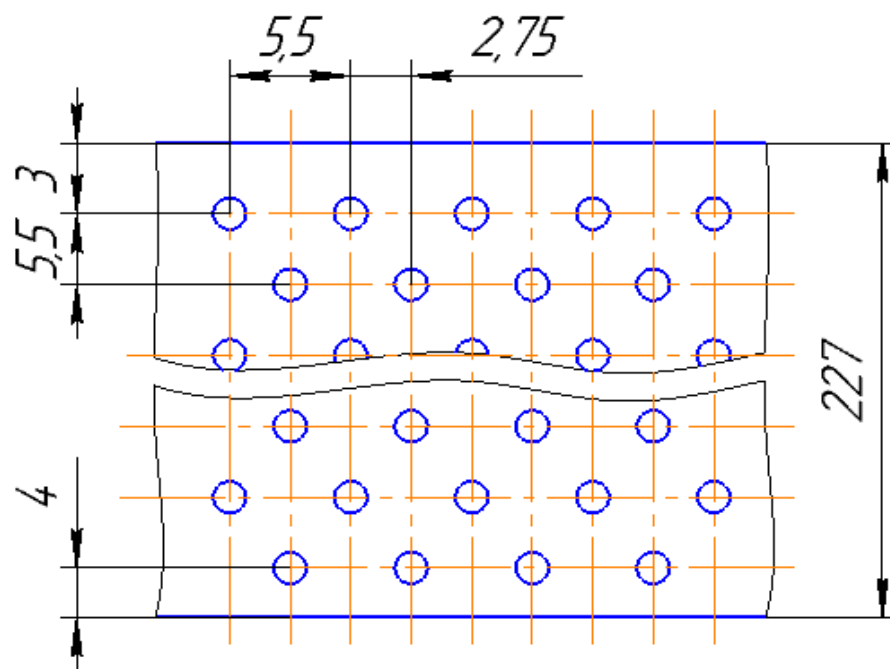


Рисунок 3.2 – Эскиз диспергирующего устройства

3.4 Расчет параметров заборного устройства

Производительность заборного устройства определяем по формуле:

$$Q_3 = 0,256 \cdot U_{cp}^{1,94} \cdot B^{1,41} \cdot h^{0,34} \cdot \mu^{-0,22}, \text{ м}^3/\text{с} \quad (3.15)$$

Для данной формулы (3.15) справедливо параметры в следующих пределах:

$$h = (25 \dots 38) \cdot 10^{-3}, \text{ м}; \quad B = (20 \dots 62) \cdot 10^{-3}, \text{ м}; \quad D_{cp} = (78 \dots 192) \cdot 10^{-3}, \text{ м}; \quad \sigma = (28,5 \dots 128,5) \cdot 10^{-3}, \frac{\text{Н}}{\text{м}}; \quad h_3 = 0,04 \text{ м}; \quad \rho_{ж} = (872 \dots 1507) \text{ кг}/\text{м}^3; \quad U_{cp} = (2,8 \dots 7,7) \text{ м}/\text{с}; \quad \mu_{ж} = (1,0 \dots 106,1) \text{ мПа} \cdot \text{с}; \quad d_3/D_3 = 0,5 \dots 0,79.$$

Для расчета принимаем наружный диаметр заборного устройства на 30 мм меньше диаметра диспергирующего устройства. Глубину погружения заборного устройства в жидкость принимаем 34 мм. В первом приближении параметры рабочей жидкости принимаем как параметры воды при температуре 20⁰С.

Таким образом вышеприведенное уравнение необходимо решить относительно В – ширины заборного устройства.

Для расчета примем производительность заборного устройства равную:

$$Q_3 = 1,1 \cdot Q_p \quad (3.16)$$

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

$$Q_3 = 1,1 \cdot 1,4 \cdot 10^{-3} = 0,0154 \text{ м}^3/\text{с}.$$

При $B = 20\text{мм}$:

$$Q_3 = 0,256 \cdot 2,72^{1,94} \cdot 0,02^{1,41} \cdot 0,034^{0,34} \cdot 0,001^{-0,22}$$

$$Q_3 = 0,0102 \text{ м}^3/\text{с}$$

При $B = 40 \text{ мм}$:

$$Q_3 = 0,256 \cdot 2,72^{1,94} \cdot 0,04^{1,41} \cdot 0,034^{0,34} \cdot 0,001^{-0,22}$$

$$Q_3 = 0,0183 \text{ м}^3/\text{с}$$

При $B = 35 \text{ мм}$:

$$Q_3 = 0,256 \cdot 2,72^{1,94} \cdot 0,035^{1,41} \cdot 0,034^{0,34} \cdot 0,001^{-0,22}$$

$$Q_3 = 0,0169 \text{ м}^3/\text{с}$$

Примем ширину заборного устройства $B = 35 \text{ мм}$.

Заборное устройство распылителя конструируем в соответствии с [9].

Согласно [4] принимаем: $\beta_1 = 9^\circ \dots 12^\circ$, $\beta_2 = 45^\circ$, $b_H/b_B = 2,13$, $b/t = 0,5$, $b = b_B + b_H$. Отсюда: $b_B = B/3,13$, $b_H = B - b_B$. Тогда $b_H = 11,2\text{мм}$, $b_B = 23,8\text{мм}$.

3.5 Определение рациональных параметров системы «заборное устройство-сливная тарелка»

Как отмечено в работе [6] рациональное соотношение размеров системы «заборное устройство-сливная тарелка» имеет важное значение для обеспечения наибольшей производительности при наименьших размерах тарелки и заборного устройства.

При $h \geq 0,025\text{м}$ и $D_2/D_3 = 1,5 \dots 1,7$ обеспечивается устойчивая циркуляция жидкости при наименьших энергозатратах. Таким образом принятая $h = 34\text{мм}$ удовлетворяет указанную условию. Определим D_2 :

$$D_2 = D_3 \cdot (1,5 \dots 1,7), \text{ мм}, \quad (3.17)$$

$$D_2 = 127 \cdot (1,5 \dots 1,7) = 191 \dots 216,$$

Примем $D_2 = 200\text{мм}$.

					<i>ВКА 00.00.000 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		39

Важным параметром определяющим устойчивость работы заборного устройства на сливной тарелке является h_0 , которая определяется по формуле[3].

$$\frac{Q_3}{\omega \cdot \pi \cdot (D_2^2 - D_3^2) \cdot (h + h_0)} \leq 0.02 \quad (3.18)$$

$$\frac{0,0169}{52,3 \cdot 3,14 \cdot (200^2 - 127^2) \cdot (0,034 - h_0)} = 0,02$$

$$h_0 = 0,034\text{мм}$$

Вводя 10% запас, принимаем $h_0=38\text{мм}$.

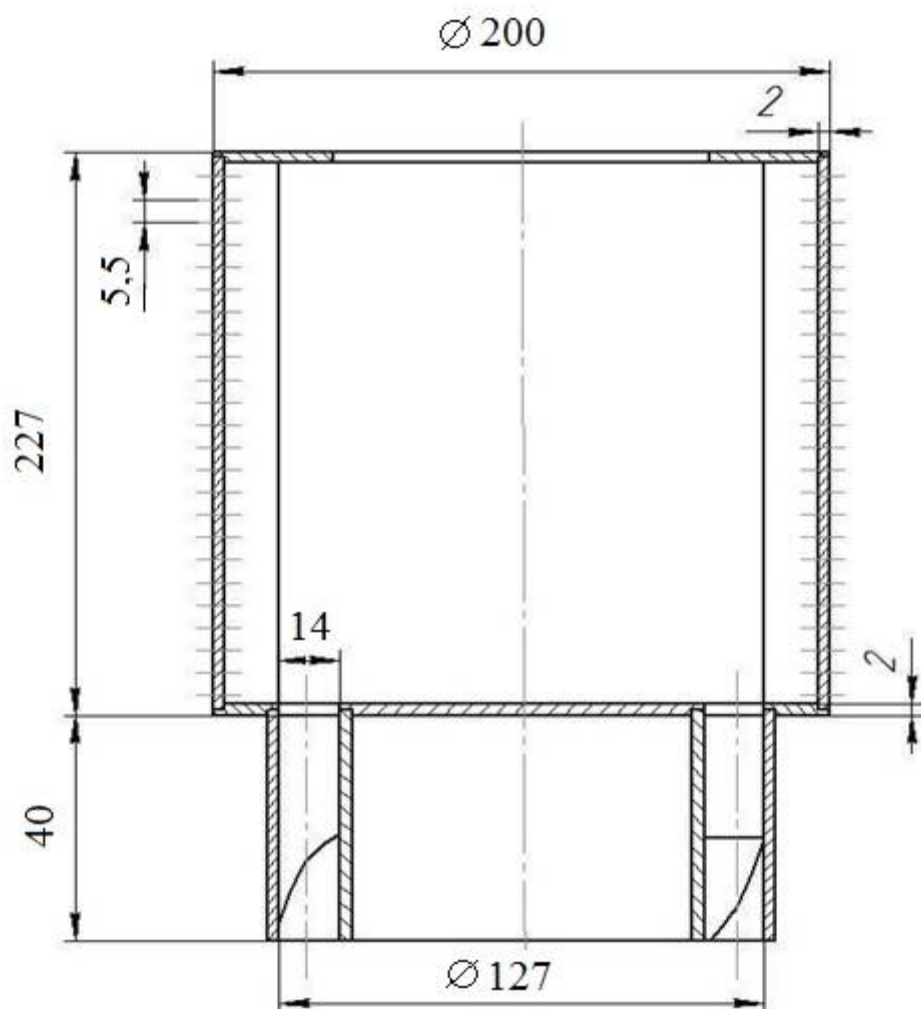


Рисунок 3.3 – Условная схема распылителя

3.6 Определение числа контактных элементов

					<i>ВКА 00.00.000 ПЗ</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		40

Согласно данным работы [6] для эффективного осуществления процесса улавливания паров диоксида углерода необходимо 12 теоретических тарелок. Принимая КПД КЭ РРА $\eta = 0,95$ получим число действительных тарелок 14.

Согласно [22], КПД колонны можно определить по выражению:

$$\eta_k = \frac{n}{n_d}, \quad (3.19)$$

где, η_k – КПД колонны, n_d – действительное число тарелок, n – теоретическое число тарелок.

Задав КПД колонны $\eta = 0,988$ при теоретической числе тарелок равным 12 число действительных тарелок составит:

$$n_d = \frac{12}{0,988} = 12,15$$

Приняв КПД контактной ступени 0,9 получим:

$$n = \frac{12,15}{0,9} = 13,5,$$

Окончательно для дальнейших расчетов принимаем число действительных тарелок равное 14.

					<i>ВКА 00.00.000 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		41

4 КОНСТРУКТИВНЫЕ И ПРОЧНОСТНЫЕ РАСЧЕТЫ

4.1 Расчет оптимального диаметра трубопроводов

Внутренний диаметр трубопровода круглого сечения для ввода и вывода газа рассчитываем по формуле [14]

$$d = \sqrt{\frac{4Q}{\pi\omega}},$$

(4.1)

где: Q – объемный расход газа, м³/с; ω – скорость потока газа, м/с.

Для проектируемого аппарата задана производительность по газу

Q=1,13 м³/с. Скорость потока газа примем равной ω= 20 м/с. Тогда:

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot 1,13}{3,14 \cdot 20}} = 0,268 \text{ м},$$

Для изготовления трубопровода примем трубу с диаметром 325 мм и толщиной стенки 2мм, по ГОСТ 10704-91.

Для подачи питающей жидкости диаметр трубопровода при Q=3,3·10⁻⁵ м³/с и ω= 0,5 м/с будет равен

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot 8,5 \cdot 10^{-5}}{3,14 \cdot 0,5}} = 0,0147 \text{ м},$$

Выбираем трубу из нержавеющей стали с наружным диаметром 15мм и толщиной стенки 2 мм, по ГОСТ 10704-91.

4.2 Расчёт корпуса

Толщина стенки цилиндрического аппарата, находящегося под избыточным давлением определяем по формуле

$$\delta = \frac{PD}{2\varphi[\sigma] - P} + c, \quad (4.2)$$

где: P- внутреннее давление аппарата МПа, P=0,112МПа;

D – внутренний диаметр аппарата, D= D_{кв} =0,6 м;

φ - коэффициент прочности сварного шва, φ = 0,7 ... 1,0;

[σ] - допускаемое напряжение на растяжение для материала аппарата, [σ]=160 МПа;

c-прибавка на коррозию, c=0,002м.

					<i>ВКА 00.00.000 ПЗ</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		42

$$\delta = \frac{0,112 \cdot 10^6 \cdot 0,6}{2 \cdot 0,8 \cdot 160 \cdot 10^6 - 0,112 \cdot 10^6} + 0,002 = 0,0023 \text{ м} = 2,3 \text{ мм.}$$

Принимаем толщину стенки аппарата согласно ближайшего большего стандартного размера листового проката по ГОСТ 19904-90 $S=0,025 \text{ м}=2,5 \text{ мм}$.

Допускаемое внутреннее давление, будет равно

$$[p] = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi \cdot (\delta - c)}{D \cdot (\delta - c)}, \quad (4.3)$$

$$[p] = \frac{2 \cdot 160 \cdot 10^6 \cdot 0,8(0,0025 - 0,002)}{0,6 + (0,0025 - 0,002)} = 0,227 \cdot 10^6 \text{ Па}.$$

Определим толщину плоского днища аппарата согласно формуле:

$$\delta_D = K \cdot D \sqrt{P / (\varphi [\sigma])} + C \quad (4.4)$$

где : К-коэффициент показывающий тип закрепления днища, $K=0,38 \dots 0,53$;

D-диаметр аппарата, м.

$$\delta_D = 0,38 \cdot 0,32 \sqrt{0,112 / (0,112 \cdot 160 \cdot 10^6)} + 0,002 = 0,002 \text{ м.}$$

Принимаем толщину плоского днища аппарата согласно ближайшего большего стандартного размера листового проката по ГОСТ 19904-90 $S=0,008 \text{ м}=8 \text{ мм}$.

4.3 Расчет кожуха

Толщина стенки цилиндрического кожуха аппарата, находящегося под избыточным давлением определяем по формуле (4.1). $P=0,152 \text{ МПа}$; $D_p=0,64 \text{ м}$; $\varphi = 0,7 \dots 1,0$; $[\sigma]=160 \text{ МПа}$; $c=0,002 \text{ м}$.

$$\delta = \frac{0,152 \cdot 10^6 \cdot 0,64}{2 \cdot 0,8 \cdot 160 \cdot 10^6 - 0,152 \cdot 10^6} + 0,002 = 0,0024 \text{ м} = 2,4 \text{ мм.}$$

Принимаем толщину стенки аппарата согласно ближайшего большего стандартного размера листового проката по ГОСТ 19904-90 $S=0,0025 \text{ м}=2,5 \text{ мм}$.

Допускаемое внутреннее давление, будет равно:

					<i>ВКА 00.00.000 ПЗ</i>	Лист
						43
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$[p] = \frac{2 \cdot 160 \cdot 10^6 \cdot 0,8(0,0025 - 0,002)}{0,64 + (0,0025 - 0,002)} = 0,2 \cdot 10^6 \text{ Па} = 0,2 \text{ Мпа} .$$

4.4 Расчёт мощности

Затраты энергии, связанные с вращением ротора определяются затратами на работу распылителя в целом и потерями в элементах привода.

Затраты энергии на работу распылителя состоят из затрат в заборном и диспергирующем устройствах. При этом энергетическая характеристика заборного устройства в виде удельных затрат может быть определена [6, с.82] из формулы

$$N_{y\partial} = 130 \cdot h^{-0,23} \cdot B^{-0,24} \cdot U_{cp}^{1,2} \cdot \mu^{0,25} \cdot (\rho_{p-p} / \rho_e), \quad (4.5)$$

где: В-ширина лопаток заборного устройства;

h-глубина погружения заборного устройства, примем h=0,034м;

U_{cp} - скорость по среднему диаметру, согласно формуле (4.15) $U_{cp}=2,8\text{м/с}$;

μ – динамическая вязкость (5% спиртового р-ра $\mu=0,0021 \text{ Па}\cdot\text{с}$);

ρ_{p-p} -плотность спиртового раствора $\rho_{p-p} = 990 \text{ кг/м}^3$;

ρ_e - плотность воды $\rho_e = 998 \text{ кг/м}^3$.

$$N_{y\partial} = 130 \cdot 0,034^{-0,23} \cdot 0,035^{-0,24} \cdot 2,8^{1,2} \cdot 0,0021^{0,25} (990/998) = 1856,54 \text{ Вт}.$$

Затраты механической энергии на вращение заборного устройства распылителя находится из формулы

$$N_z = N_{y\partial} \cdot Q_3, \text{ Вт}, \quad (4.6)$$

где: Q_3 - производительность ЗУ, $Q_3=15 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}$.

$$N_z = 1856,4 \cdot 15 \cdot 10^{-3} = 27,85 \text{ Вт}.$$

Затраты энергии диспергирующем устройством находятся из формул

$$N_\partial = \frac{N_{np} \cdot G}{\Delta S} \text{ Вт}, \quad (4.7)$$

$$N_{np} = 9,2 \cdot 10^{-13} (\omega^2 \cdot R)^{3,1} \text{ Вт}, \quad (4.8)$$

где: G-массовая производительность ДУ, G=15 кг/с.;

ΔS -площадь перфорированной поверхности, $\Delta S=0,00021 \text{ м}^2$.

					<i>ВКА 00.00.000 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
						44
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

$$N_{np} = 9,2 \cdot 10^{-13} (52,3^2 \cdot 0,077)^{3,1} = 1,47 \cdot 10^{-5} \text{ Вт},$$

$$N_{\delta} = \frac{1,47 \cdot 10^{-5} \cdot 15}{0,00021} = 1,1 \text{ Вт}.$$

Найдём потери энергии в элементах привода

$$\eta_0 = \eta_{np} \cdot \eta_n^3 \cdot \eta_y^2 \cdot \eta_p, \quad (4.9)$$

где: η_{np} - КПД привода;

η_n - КПД подшипников;

η_y - КПД уплотнений.

η_p - КПД клиноременной передачи

$$\eta_0 = 0,97 \cdot 0,98^3 \cdot 0,99^2 \cdot 0,96 = 0,86.$$

Полная мощность с учётом потерь в элементах привода [6]

$$N_{II} = \frac{N_{\text{вых}}}{\eta_0}, \text{ Вт}, \quad (4.10)$$

где: $N_{\text{вых}}$ – мощность на валу ротора, Вт; $N_{\text{вых}} = (N_z \cdot N_{\delta}) \cdot Z$;

Z-число контактных элементов, Z=14.

$$N_{\text{вых}} = (27,85 \cdot 1,1) \cdot 14 = 429 \text{ Вт},$$

$$N_{II} = \frac{429}{0,86} = 499 \text{ Вт} = 0,5 \text{ кВт}.$$

Выбираем электродвигатель 90L6 с частотой вращения $n=925$ об/мин и мощностью $N=1,5$ кВт.

4.5 Расчёт вала

Зная частоту вращения диспергирующего устройства, найдём минимальный диаметр вала.

Минимальный диаметр вала d_{\min} , м определяется из условий его работы на кручение по формуле:

$$d_{\min} = 0,052 \cdot \sqrt[3]{\frac{N}{\omega}}, \quad (4.11)$$

					<i>ВКА 00.00.000 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		45

где: ω – частота вращения ротора, 84 с^{-1} ;
 N – передаваемая валом мощность, кВт.

$$d_{\min} = 0.052 \cdot \sqrt[3]{\frac{3}{52.3}} = 0.02 \text{ м.}$$

Из конструктивных соображений принимаем диаметр вала под ведомый шкив $d=25 \text{ мм}$.

Ориентировочно диаметр вала под подшипник d_n , мм, определяем по формуле

$$d = 1,2^n \cdot d_{\min}, \quad (4.11)$$

где: n -порядковый номер ступени.

$$d_1 = 1,2^1 \cdot 0,02 = 0,024 \text{ м.}$$

Принимаем диаметр вала под подшипник 30 мм, выбираем подшипник шариковый радиально-упорный однорядный серии 46106 ГОСТ 831-75 для которого $d=30 \text{ мм}$, $D = 62 \text{ мм}$, $B = 16 \text{ мм}$.

Вторая ступень вала буде найдена из формулы (4.11)

$$d_2 = 1,2^2 \cdot 0,02 = 0,029 \text{ м.}$$

Принимаем диаметр вала равный 34 мм

Рассчитаем вал на критическое число оборотов. Для этой цели будем использовать среду программы, разработанной на кафедре МАПП. Вносимые параметры и результаты расчёта сведем в таблицу 4.2

Таблица 4.1 Результаты расчёта

Средний объёмно-поверхностный диаметр, мм	1.1	Динамическая вязкость, Па·с	0,0011
1	2	3	4

Продолжение таблицы 4.1

1	2	3	4
Диаметр распыливающего отверстия, мм	2	Диаметр распылителя, мм	200
Плотность жидкости, кг/м ³	990	Рабочее число оборотов, $n_{\text{раб}}$ об/мин	500
Поверхностное натяжение, н/м	0,072	Критическое число оборотов, $n_{\text{крит}}$ об/мин	1547

В результате расчётов программа показала что критическое число оборотов больше рабочего в 3 раза, что удовлетворяет условию $n_{\text{раб}} < n_{\text{крит}}$.

Так же проведём расчёт вала на прочность, используя программу АРМ WinMachine 2006 (v.9.0) . Результаты представлены в таблицах 4.3...4.7

На рисунке 4.8 изображена расчётная схема вала с действующими на него силами



Рисунок 4.8 Расчётная схема вала

Таблица 4.3 Радиальные силы

Расстояние от левого конца вала, мм	Модуль, Н	Угол, град
50.00	200.00	0.00

Таблица 4.4 Моменты изгиба

Расстояние от левого конца вала, мм	Модуль, Нхм	Угол, град
187.00	30.00	0.00

Таблица 4.5 Осевые силы

Расстояние от левого конца вала, мм	Значение, Н
32.00	-300.00
1823.00	300.00

Таблица 4.6 Моменты кручения

Расстояние от левого конца вала, мм	Значение, Нхм
50.00	200.00
5779.00	-200.00

Таблица 4.7 Реакции в опорах

N	Расстояние от левого конца вала, мм	Реакция верт., Н	Реакция гориз., Н	Модуль, Н	Угол, град
0	155.00	-233.84	0.00	233.84	-90.00
1	5851.00	33.84	0.00	33.84	90.00

На рисунке 4.1 изображен график момента изгиба в вертикальной плоскости.

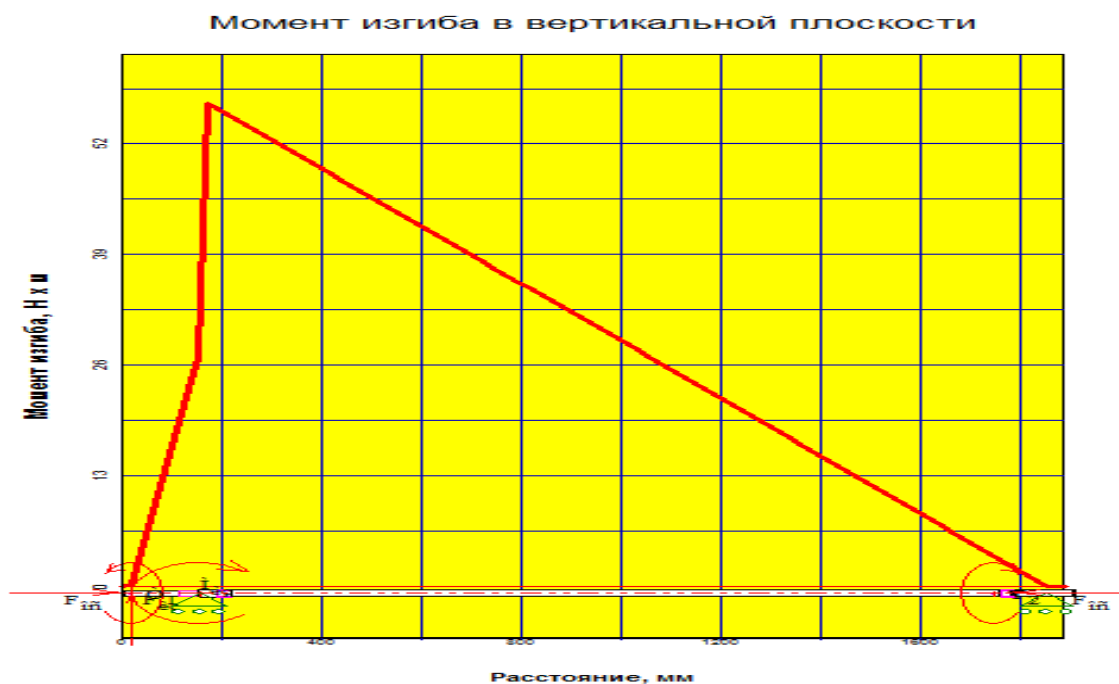


Рисунок 4.1 График момента изгиба в вертикальной плоскости

На рисунке 4.2 изображён график изменения поперечной силы в вертикальной плоскости.

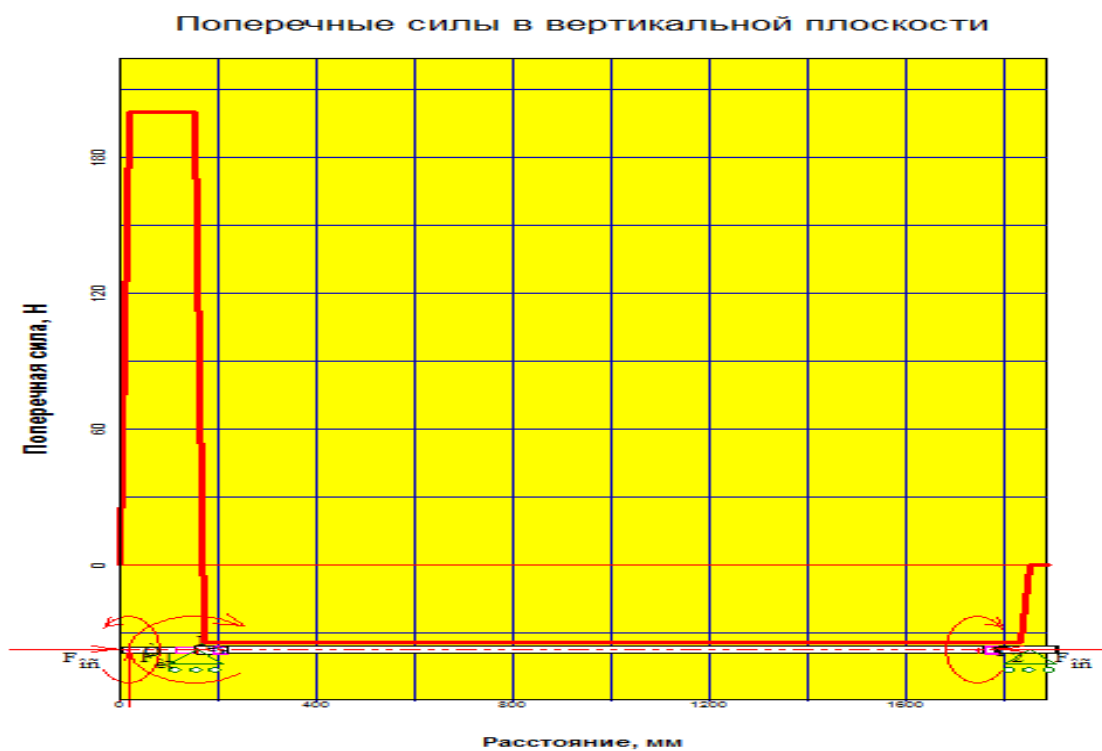


Рисунок 4.10 График изменения поперечной силы в вертикальной плоскости

Более подробная информация по результатам расчетов в приложении.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
------	------	----------	---------	------

4.6 Расчет шарикового подшипника

Расчет вала произведем на ЭВМ при помощи программы АРМ WinMachine 9.0. Результаты представлены в таблицах 4.8... 4.11.

Таблица 4.8 Геометрия

Внешний диаметр	60.000	мм
Внутренний диаметр	30.000	мм
Диаметр тела качения	11.110	мм
Число тел качения	11.000	
Число рядов тел качения	1.000	

Таблица 4.9 Точность

Радиальные биения внешн. кольца	0.015	мм
Радиальные биения внутр. кольца	0.010	мм

Таблица 4.10 Условия работы

Осевая сила	125.000	Н
Скорость вращения	500.000	об/мин
Кoeff. динамичности	1.000	
Тип нагрузки	Постоянная	

Таблица 4.11 Результаты расчета

Средняя долговечность	967444920	час
Максимальное контактное напряжение	610.868	Н/кв.мм
Выделение тепла	729.140	Дж/час
Осевые биения	4.048	мкм
Момент трения	0.002	Н х м
Потери мощности	0.203	Вт

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

4.7 Расчет клиноременной передачи

Расчет ременной передачи произведем на ЭВМ при помощи программы АРМ WinMachine 9.0. Результаты представлены в таблицах 4.12, 4.13, 4.14.

Заданные параметры:

Передача: Клиноременная

Тип расчета: Проектировочный

Таблица 4.12 Основные данные

Тип натяжного устройства	Не выбран
Мощность передачи, кВт	1.5
Частота вращения ведущего вала, об./мин.	925
Передаточное число	1.85
Коэффициент динамичности нагрузки	1.000
Максимально допустимое кол-во ремней	6

Таблица 4.13 Дополнительные данные

Межосевое расстояние	350
Число ремней	6

Таблица 4.14 - Результаты расчёта ремённых передач

Описание	Символ	Параметры	Единицы
Обозначение	S	Z	-
Число ремней	Z	3	-
Диаметр ведущего шкива	d ₁	80.000	мм
Диаметр ведомого шкива	d ₂	140.000	мм
Длина ремня	l	1060.000	мм
Межосевое расстояние	a	355.948	мм
Передаточное число	u	1.777	-
Сила предварительного натяжения	F	290.372	Н
Сила, действующая на вал	Q	418.051	Н

Более подробная информация по результатам расчетов в приложении.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

Заключение

В данном дипломном проекте представлен анализ существующих конструкций спиртоловушек и роторных распылительных колон, на основе которого видно, что РРА является перспективным аппаратом для улавливания паров спирта, спроектирована конструкция промышленного аппарата диаметром 0,6м. Проведены необходимые расчеты, включая расчеты на ЭВМ.

Графическая часть проекта представлена на 6 листах А1.

					<i>ВКА 00.00.000 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		52

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кретов И.Т., Антипов С.Т. Технологическое оборудование предприятий пищевой промышленности: учебник. – Воронеж: Изд. гос. универ., 1997. –624 с.
2. Цыганков П.С., Цыганков С.П., Руководство по ректификации спирта. – М.: Пищепромиздат, 2002. – 400 с.
3. Сорокопуд А.Ф. Разработка конструкции и методика расчета роторной распылительной колонны с уменьшенным брызгоуносом: Дисс... канд. техн. наук. – М.:МИХМ. – 1987. – 233с.
4. Сорокопуд А.Ф. Разработка и совершенствование роторных распылительных аппаратов с целью интенсификации процессов в гетерогенных газожидкостных системах. Дисс. на соис. учен. степ. д.т.н. Кемерово: КемТИПП. 1998. – 289 с.
5. Федоров Е.А. Гидродинамика, тепло- и Массообмен в роторных распылительных аппаратах. Дисс.... канд. техн. наук. – Кемерово: КемТИПП. 1997
6. Козымаев В.С. Исследование массообменных характеристик контактного элемента с целью создания высокоэффективного роторного распылительного аппарата; Дисс... канд. техн. наук. – Кемерово, 2004, - 122 с.
7. Коган В.Б. Оборудование для разделения смесей под вакуумом. «Машиностроение» , 1976. – 376с.
8. Сафин Р. Ш, Николаев А.М., Жаворонков Н.М., Материалы межвузовской конференции по машинам и аппаратам диффузионных процессов.-Казань, 1961г,- 117с.
9. Патент №2342968. Роторный массообменный аппарат/ Сорокопуд А.Ф., Тузовский Е. С.; опубл. 10.01.2009, Бюл. №1.
10. Патент №1223943 Сорокопуд А.Ф. Роторная массообменная колонна: (СССР) // Б.И.- 1986.-№14.
11. Олевский В.М., Ручинский В.Р. Ректификация термически нестойких веществ.- М.: Химия, 1972. - 200 с.
12. Помозова В.А, Пермякова Л.В, Технологические расчёты производства спирта и ликёроводочных изделия- Кемерово:КемТИПП, 2003.-89с.
13. Халамов С.В, Практикум по расчёту и конструированию МАПП.Л, 1991г- 256с.
14. Сорокопуд С.В Разработка и исследование роторного распылительного скруббера для улавливания пылей пищевых продуктов: Диссертация- Кемерово:КемТИПП, 2003.-113с.
15. Остиков, Абрамов РИКМАПП;
16. Huffman I., Ptgram E., Huffman I.J. Chem.Phys.1936.№4- 623р.
17. Huffman I., Urej H.//ind.End.Chem.-1937.-№5.-Р.29

					<i>ВКА 00.00.000 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		53

18. Neimann F. Rotationskolonnen und andere Bauarten fur die Rek- tifikation bei Druken von 20 bis 1 Torr // Chem. Eng. Techn. - 1961. - Bd. 33. - '7. - S. 485 – 491
19. Мамин В.Н. Эффективные теплообменные роторные аппараты хими- ческой и пищевой промышленности. -Краснодар, 1994. -132с
20. Коган В.Б., Харисов М.А. Оборудование для разделения смесей под вакуу- мом. - Л.: Машиностроение, 1976. - 376 с
21. Заднепряный В.А. Новый контактный аппарат для осуществления процес- сов массообмена в системе газ (пар) - жидкость и исследование его работы : Дис... канд. техн. наук: 175/ Киев, технол. ин-т пищ. пром-сти. -К., 1967.-186 с.
22. Кафаров В. В. Основы массопередачи.- М.: «Высшая школа», 1962.-284с
23. Сорокопуд А.Ф., Даниленко М.И. Совершенствование мокрого пылеулав- ливания в технологии сыпучих пищевых продуктов //Хранение и переработка сельхозсырья, №4, 1997. – 3 с.
24. Федоров Е.А.Гидродинамика, тепло- и массообмен в роторных распыли- тельных аппаратах, Кемерово, КемТИПП 1997. – 136 с.
25. Исследование процесса ректификации в колонне с вращающимися тарелка- ми различных конструкций и отработка основных узлов аппарата. Отчет о НИР заключит.) /Украина. Научно-исследовательский и конструкторский институт химического машиностроения (УКРНИИХИММАШ); Руководитель И.С. Ни- китин. – Харьков, 1966.- 185 с
26. Ranz W.E., Marshall W.R. // Chem. Eng. Progr.-1952.- vol.48.- p.141-146.
27. Сорокопуд А. Ф. Исследование работы роторного ректификатора // Холод и пищевые производства: Тезисы докл. междунар. науч. - техн. конф. - С.- Петербург: Академия холода и пищевых технологий, 1996. - С. 204-205.
28. Отчет по теме № В-02-63. Исследование процесса ректификации в колоннах с вращающимися тарелками разной конструкции и отработка основных узлов аппарата: Отчет о НИР (заключительный) / Украинский научно- исследовате- лский и конструкторский институт химического машиностроения (УкрНИИ- ХИММАШ); Руководитель: И.С. Никитин. – Харьков,-1966,-185с.
29. Петров Ю. А. Исследование основных гидравлических и массообменных характеристик роторного ректификационного аппарата: Дис канд. техн. на- ук. - Л., 1977. - 169 с.
30. Сорокопуд А. Ф. Исследование удельной поверхности контакта фаз в ро- торном распылительном аппарате // Обучение в условиях реформ (опыт, про- блемы, научные исследования): Тез. докл. Российской науч.-практ. конф. - Ке- мерово, 1997. - Ч. 1. - С. 133.
31. Ульянов В. М., Муштаев В. И., Плановский А. Н. // Теоретические ос- новы химической технологии. - 1977. - Т. 11. - №5. - С. 716-723.

					<i>ВКА 00.00.000 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		54

32. Авруцкий М.М., Соломаха Г.П. Анализ стадий массообмена в ротационном тарельчатом аппарате // Теоретические основы химической технологии. - 1972. - т. 4. - №3. - с. 335-342
33. Даниленко М.И. Разработка и исследование роторного газопромывателя с целью интенсификации процесса пылеочистки: Дисс.на соис. Учен. Степ. к. т. н. – Кемерово: КемТИПП., 1996.-192с.
34. Электронный ресурс:
<http://diplomba.ru/work/128195>
35. Электронный ресурс:
<http://www.itkul.ru/ru/company/info/>
36. Электронный ресурс:
<http://dlib.rsl.ru/rsl01002000000/rsl01002740000/rsl01002740>.
37. Электронный ресурс:
<http://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-raboty-novogo->
38. Электронный ресурс:
<http://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-raboty-novogo->
39. Электронный ресурс:
<http://dlib.rsl.ru/rsl01000000000/rsl01000317000/rsl01000317>
40. Электронный ресурс:
<http://inethub.olvi.net.ua/ftp/library/share/homelib/spec132>
41. Электронный ресурс:
<http://dlib.rsl.ru/rsl01002000000/rsl01002346000/rsl01002346>
<http://dlib.rsl.ru/rsl01002000000/rsl01002326000/rsl01002326>.
42. Электронный ресурс:
<http://diplomba.ru/work/128195#1>
43. Электронный ресурс:
<http://dlib.rsl.ru/rsl01002000000/rsl01002294000/rsl01002294>
44. Электронный ресурс:
<http://diplomba.ru/work/128195#1>
45. Электронный ресурс:
<http://dlib.rsl.ru/rsl01002000000/rsl01002313000/rsl01002313>
46. Электронный ресурс:
<http://dlib.rsl.ru/rsl01004000000/rsl01004588000/rsl01004588>
47. Электронный ресурс:
<http://himi.oglib.ru/bgl/9762/244.html>
48. Электронный ресурс:
<http://www.dslib.net/piwe-proizvodstvo/issledovanie-osnovnyh>