

В. П. Грязнов

В. П. ГРЯЗНОВ

**ПРАКТИЧЕСКОЕ
РУКОВОДСТВО
ПО РЕКТИФИКАЦИИ
СПИРТА**

Издательство
«Пищевая промышленность»
Москва • 1968

Практическое руководство по ректификации спирта. Грязнов В. П., 1968 г.

В данном руководстве кратко изложены основы перегонки и ректификации спирта, даны характеристики действующих в промышленности брагоректификационных аппаратов косвенного и двухпоточного действия и освещено современное состояние процесса ректификации спирта при переработке на спирт дефектного сырья.

Особое внимание обращено на трудности, которые могут встретиться на практике при получении высококачественного спирта и даны практические рекомендации по усовершенствованию технологических схем и режимов работы аппаратов.

Приведены расчеты колонн и теплообменных аппаратов, позволяющие решать вопросы замены вышедшего из строя оборудования в ремонтный период заводов. Изложены правила монтажа, испытания, пуска, наладки и остановки аппаратов, вопросы автоматизации аппаратов.

Книга предназначена для аппаратчиков спиртовых заводов.

Таблиц 47, иллюстраций 30, библиография 48 наименований.

ВВЕДЕНИЕ

При получении пищевого этилового спирта брожением перегонка и ректификация являются завершающими этапами технологической схемы спиртового производства. Перегонка необходима для выделения спирта из бражки, а ректификация — для очистки спирта от примесей и доведения его до кондиций пищевого продукта. На практике оба эти процесса чаще всего технологически совмещены и осуществляются на непрерывно действующих брагоректификационных аппаратах.

Парк брагоректификационного оборудования спиртовой промышленности в основном представлен аппаратами косвенного действия, которые комплектуются из бражной, элюрационной и ректификационной колонн. Аппараты производительностью более 3000 дал/сутки оборудуются сивушными колоннами. Каждая колонна снабжена дефлегматором и конденсатором, а также контактными тарелками, на которых осуществляется контакт флегмы, стекающей вниз по колонне, с парами, поднимающимися вверх по колонне.

Бражные колонны оборудуются тарелками двойной выварки или ситчатыми тарелками (аппараты производительностью 3000 дал/сутки и более), а элюрационная, ректификационная и сивушная колонны — многоколпачковыми тарелками.

Дефлегматоры и конденсаторы служат для конденсации поступающих из колонн паров и питания их флегмой. Принцип работы аппаратов косвенного действия основан на последовательном перетоке спиртовой жидкости от колонны к колонне. Так, подогретая бражка поступает на верхнюю тарелку бражной колонны, где полностью истощается от спирта. Барда выводится с нижней части бражной колонны. В нижнюю часть бражной, элюрационной, ректификационной и сивушной колонн через барбогер подается пар. Пары спирта конденсируются и дистиллят из бражной колонны поступает в элюрационную колонну, где происходит выделение из него

альдегидов, эфиров в эфиро-альдегидную фракцию (ЭАФ), которая выводится из системы аппарата. Элюрат поступает на питательную тарелку ректификационной колонны, где полностью истощается от спирта. Пары спирта поступают в укрепляющую часть ректификационной колонны, в которой спирт концентрируется до заданной крепости и отводится из аппарата как готовый продукт с верхних тарелок ректификационной колонны.

По своей сущности перегонка и ректификация спирта при производстве высококачественного пищевого спирта являются наиболее сложными процессами и представляют собой техническую проблему, рациональное решение которой еще не найдено.

Несмотря на высокую оснащенность предприятий спиртовой и ликеро-водочной промышленности аппаратами непрерывного действия, проблема получения спирта высшей очистки при переработке на спирт некондиционных видов сырья окончательно не решена. Трудности получения спирта высшей очистки объясняются рядом причин, основной из которых является то, что при переработке некондиционных видов сырья, особенно острodefектного, происходит накопление таких примесей и в таком количестве, на отделение которых существующие брагоректификационные и ректификационные аппараты не рассчитаны.

Если технологический и температурный режимы работы аппаратов при переработке сырья нормального качества обеспечивают получение стандартного спирта высшей очистки, то при переработке дефектного сырья они не являются оптимальными и их необходимо изменить.

Перед работниками спиртовой промышленности стоит задача — получать высококачественный пищевой спирт при переработке всех видов сырья разного качества. Эта задача выполнима при условии эксплуатации аппаратов на оптимальных технологических и температурных режимах, необходимой модернизации существующих брагоректификационных и ректификационных аппаратов, а также путем внедрения в промышленность более эффективных аппаратов, обеспечивающих необходимую очистку спирта от примесей.

При модернизации существующих аппаратов должны предусматриваться интенсификация процесса элюрации

спирта, усиление теплообмена в дефлегматорах, установление дополнительных точек вывода примесей из зон их концентрирования, усовершенствование отдельных узлов аппарата (узла сепарации углекислоты, промывки сивушного масла, системы воздушников и пр.), автоматизация работы аппаратов, а также внедрение организационно-технических мероприятий в аппаратном отделении в целом.

Как правило, модернизация действующих аппаратов, установка и наладка их работы осуществляются силами заводов. Поэтому начальник аппаратного отделения и аппаратчики должны знать процессы перегонки, элюрации и ректификации спирта, а также иметь необходимые навыки по монтажу, пуску и наладке брагоректификационных аппаратов. За последние годы технический персонал, обслуживающий брагоректификационные и ректификационные аппараты, значительно обновился молодыми специалистами, которые имеют среднетехническое образование и незначительный опыт работы на аппаратах.

ХАРАКТЕРИСТИКА БРАГОРЕКТИФИКАЦИОННЫХ И РЕКТИФИКАЦИОННЫХ АППАРАТОВ СПИРТОВОЙ И ЛИКЕРО-ВОДОЧНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

ОСНОВНЫЕ ВИДЫ СЫРЬЯ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ЭТИЛОВОГО СПИРТА

Основным сырьем для производства пищевого спирта в СССР в настоящее время является зерно, картофель, сахарная свекла и меласса. В табл. 1 приводится ассортимент сырья, перерабатываемого на спирт, за последние 8 лет.

Таблица 1

Сырье	Выработка спирта по годам. %							
	1959	1960	1961	1962	1963	1964	1965	1966
Зерно	40,5	40,0	27,8	26,8	27,1	37,3	16,7	15,4
Картофель	6,0	6,7	7,6	3,5	6,1	15,0	20,3	14,2
Меласса	50,7	51,0	57,5	42,3	41,8	43,6	52,4	45,1
Сахаросодержащее сырье	2,8	2,3	7,1	27,4	25,0	4,1	10,6	25,3

За последние годы значительно увеличилась выработка спирта из мелассы. Если в 1950 г. удельный вес паточного спирта составлял 28,1%, то в 1965 г. он увеличился до 52,4%. Большое количество спирта из мелассы вырабатывается в УССР, где удельный вес мелассного спирта достигает в последние годы 90—92%.

Одновременно резко снизился удельный вес спирта, вырабатываемого из картофеля.

Для достижения нормальных технологических показателей, а также производительности завода по спирту сахарная свекла, как правило, перерабатывается в смеси с крахмалистым сырьем или с мелассой. В противном случае затор будет иметь низкую концентрацию и производительная мощность спиртового завода не будет достигнута.

В настоящее время разработаны нормалы, которые положены в основу проектирования и изготовления ректификационных установок. Для спиртовой и ликеро-водочной промышленности нормалы предусматривают выпуск медных ректификационных колонн, а также одноходовых и многоходовых кожухотрубных медных теплообменников.

Характеристика колонн, применяемых в спиртовой промышленности, приведена в табл. 2.

Таблица 2

Колонные аппараты	Внутренний диаметр, мм	Расстояние между тарелками, мм
Колонны с колпачковыми тарелками с капсульными колпачками	600	170
	700	
	800	
	900	
	1000	
	1200	
	1400	
одноколпачковые	1500	240
	2000	
	900	
Колонны с сетчатыми тарелками	1000	280
	1200	
	1400	
	1500	
Колонны с сетчатыми тарелками	1500	340
	2000	
Колонны с сетчатыми тарелками	1500	550
	2000	

В табл. 3 приведены основная характеристика и размеры одноходовых, а в табл. 4 — многоходовых медных теплообменников, применяющихся для брагоректификационных аппаратов.

Таблица 3

Показатели	Поверхность теплообмена, м ²			
	5	10	20	30
Диаметр кожуха, мм	400	400	500	700
Количество трубок	36	55	85	163
Расчетная поверхность теплообмена, м ²	5	11,05	21,3	32,7
Длина трубок, мм	1500	2000	2500	2000

Примечание. Диаметр трубок во всех теплообменниках 32 мм, шаг 46 мм.

Таблица 4

Показатели	Поверхность теплообмена, м ²						
	15*	20	25*	30	35	40	70

Шестиходовые теплообменники

Диаметр трубок, мм	32	32	—	32	—	32	—
Шаг, мм	46	46	—	46	—	46	—
Диаметр кожуха, мм	500	500	—	600	—	700	—
Количество трубок	64	64	—	108	—	133	—
Расчетная поверхность теплообмена, м ²	16,05	19,3	—	32,6	—	41,7	—
Длина трубок, мм	2500	3000	—	3000	—	3000	—

Десятиходовые теплообменники

Диаметр трубок, мм	85	—	85	—	55	—	55
Шаг, мм	100	—	100	—	75	—	75
Диаметр кожуха, мм	600	—	700	—	800	—	1000
Количество трубок	20	—	32	—	64	—	112
Расчетная поверхность теплообмена, м ²	16,0	—	25,6	—	38,6	—	67,7
Длина трубок, мм	3000	—	3000	—	3500	—	3500

* Выпускаются также теплообменники с комбинированным охлаждением (водой и бражкой) при соотношении поверхностей 1:3.

Многие спиртовые заводы оснащены брагоперегонными аппаратами, с которых спирт-сырец поступает на ликеро-водочные заводы, где подвергается ректификации, а спиртовые заводы, выпускающие ректифицированный спирт, оснащены в основном непрерывно действующими брагоректификационными аппаратами, на которых спирт-ректификат получается непосредственно из

Таблица 5

Показатели	Аппараты производительностью, дал б/с в сутки				
	800	1000	2000	3000	6000
Бражная колонна					
диаметр, мм	1000	1200	1500	1500	2000
число тарелок, шт.	22	22	22	25	25
тип тарелок	Двойной выварки			Ситчатые	
расстояние между тарелками, мм	280	280	280	500	500
высота, мм	7400	7400	7600	14225	14225
поверхность брагоподогревателей*, м ²	25/10	33/15	50/25	75/25	120/40
поверхность конденсатора, м ²	8	10	10	15	25
Эньюрационная колонна					
диаметр, мм	650	700	900	1250	2000
число тарелок**, шт.	25/10	25/15	25/15	25/15	25/15
тип тарелок	Многоколпачковые				
расстояние между тарелками, мм	170	170	170	170	170
высота, мм	8000	8000	8065	8065	8065
поверхность дефлегматора, м ²	10	18	20	40	50
поверхность конденсатора, м ²	5	5	5	10	10
Ректификационная колонна					
диаметр, мм	750	900	1200	1600	2000
число тарелок, шт.	50/16	50/16	50/16	50/16	50/16
тип тарелок	Многоколпачковые				
расстояние между тарелками, мм	170	170	170	170	170
высота, мм	12425	12425	12425	12425	12425
поверхность дефлегматора, м ²	30	36	70	100	120
поверхность конденсатора, м ²	5	5	10	10	20
Сивушная колонна					
диаметр, мм	—	—	—	750	900
число тарелок, шт.	—	—	—	40/16	40/16
тип тарелок	—	—	—	Многоколпачковые	
расстояние между тарелками, мм	—	—	—	170	170
высота, мм	—	—	—	11900	11900
поверхность дефлегматора, м ²	—	—	—	25	40
поверхность конденсатора, м ²	—	—	—	15	20

* В числителе указана поверхность бражной секции, в знаменателе — водяной.

** В числителе указано число тарелок в укрепляющей части колонны; в знаменателе — истощающей.

Таблица 6

Показатели	Аппараты производительностью, дал б/с в сутки					
	800	1000	1400	2000	3000	6000
Бражная колонна						
диаметр колонны, мм	900	1000	1200	1400	1500	2000
число тарелок, шт.	23	23	23	23	25	25
поверхность подогревателя бражки, м ²	40	50	65	85	120	160
в том числе						
бражной секции, м ²	25	35	50	70	90	120
водяной секции, м ²	15	15	15	15	30	40
Эпюрационная колонна						
диаметр колонны, мм	600	700	800	1000	1200	2000
число тарелок, шт.	39	39	39	39	39	39
в том числе						
в выварной части	20	20	20	20	20	20
в концентрационной части	19	19	19	19	19	19
поверхность дефлегматора, м ²	15	15	18	35	52	70
Ректификационная колонна						
диаметр колонны, мм	700	800	1000	1200	1600	2000
число тарелок, шт.	66	66	66	66	66	70
в том числе						
в выварной части	16	16	16	16	16	16
в укрепляющей части	50	50	50	50	50	54
поверхность дефлегматора, м ²	34	50	68	85	105	145
Сивушная колонна						
диаметр колонны, мм	—	—	—	—	700	900
число тарелок, шт.	—	—	—	—	57	57
в том числе						
в выварной части	—	—	—	—	16	16
в концентрационной части	—	—	—	—	41	41
поверхность дефлегматора, м ²	—	—	—	—	20	35

бражки. Это трех- и четырехколонные брагоректификационные аппараты косвенного действия, пятиколонные полупрямого действия и двухпоточные брагоректификационные аппараты.

В ликеро-водочной промышленности наряду с периодически действующими аппаратами установлены также непрерывно действующие двух- и трехколонные ректификационные аппараты.

Основная характеристика брагоректификационных аппаратов косвенного действия фирмы Grimpa (ГДР) и завода «Комсомолец» приведена в табл. 5 и 6; двухпоточных брагоректификационных аппаратов — в табл. 8. Все брагоректификационные и ректификационные аппа-

раты, установленные на предприятиях спиртовой и ликеро-водочной промышленности, изготовлены из красной меди.

Брагоректификационные аппараты, установленные в 1964 г., дополнены колоннами для окончательной очистки спирта, характеристика которых дается в табл. 7.

Таблица 7

Показатели	Аппараты производительностью дал б/с в сутки			
	1000	2000	3000	6000
Диаметр колонны, мм	600	700	900	1200
Число тарелок*, шт.	10/10	10/10	10/10	10/10
Тип тарелок	Многоколпачковые	Многоколпачковые	Многоколпачковые	Многоколпачковые
Расстояние между тарелками, мм	170	170	170	170
Поверхность дефлегматора, м ²	15	18	20	40
Поверхность конденсатора, м ²	6	10	10	20

* В числителе обозначено число тарелок в укрепляющей, в знаменателе — истощающей части колонны окончательной очистки спирта.

Таблица 8

Показатели	Аппараты производительностью дал б/с в сутки			
	1000	2000	3000	6000
Бражная колонна				
Эпюрирующая часть				
диаметр эпюрирующей колонны, мм	1200	1400	1400	2000
число тарелок, шт.	9	9	9	6
тип тарелок	Двойной выварки	Двойной выварки	Двойной выварки	Ситчатые
расстояние между тарелками, м ²	280	280	280	500
поверхность дефлегматора, м ²	20	35	50	80

Показатели	Аппараты производительностью <i>дал</i> б/с в сутки			
	1000	2000	3000	6000
поверхность конденсатора, m^2	5	10	10	10
Выварная часть диаметр выварной части, mm	1200	1500	1500	2000
число тарелок, шт.	22	22	22	22
тип тарелок	Двойной выварки	Двойной выварки	Ситчатые	Ситчатые
расстояние между тарелками, mm	280	280	500	500
Эпюрационная колонна диаметр, mm	700	900	1200	1500
число тарелок*, шт.	25/7	25/7	25/7	25/7
тип тарелок	Много- колпач- ковые	Много- колпач- ковые	Много- колпач- ковые	Много- колпач- ковые
расстояние между тарелками, mm	170	170	170	170
поверхность дефлегмато- ра, m^2	15	20	40	50
поверхность конденсатора, m^2	5	10	10	10
Ректификационная колонна № 1 диаметр, mm	1000	1200	1600	2000
число тарелок*, шт.	50/16	50/16	50/16	50/16
тип тарелок	Много- колпач- ковые	Много- колпач- ковые	Много- колпач- ковые	Много- колпач- ковые
расстояние между тарелками, mm	170	170	170	170
поверхность дефлегмато- ра**, m^2	35/20	50/35	75/35	120/50
поверхность конденсатора, m^2	5	10	10	25
Ректификационная колонна № 2 диаметр, mm	500	600	850	1200
число тарелок*	50/16	50/16	50/16	50/16
тип тарелок	Много- колпач- ковые	Много- колпач- ковые	Много- колпач- ковые	Много- колпач- ковые
расстояние между тарелками, mm	170	170	170	170

Показатели	Аппараты производительностью, <i>дал</i> б/с в сутки			
	1000	2000	3000	6000
поверхность дефлегмато- ра, m^2	15	25	35	50
поверхность конденсатора, m^2	5	10	10	15

* В числителе указано число тарелок в укрепляющей части колонны, в знаменателе — истощающей.

** В числителе указана поверхность бражной части брагоподогревателей, в знаменателе — водяной секции.

КОНТАКТНЫЕ УСТРОЙСТВА КОЛОНН, ПРИМЕНЯЕМЫХ В СПИРТОВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Конструкция контактных устройств (тарелок) аппаратов в спиртовой промышленности зависит от назначения и производительности колонн.

В бражных колоннах брагоректификационных аппаратов применяются тарелки двух типов: двойной выварки и ситчатые (последние получили наибольшее распространение при перегонке мелассных бражек). В эпюрационных, ректификационных, сивушных и в колоннах окончательной очистки применяются многоколпачковые тарелки с капсульными колпачками. Живое сечение их составляет 11—13% от сечения колонны.

ТАРЕЛКИ ДВОЙНОЙ ВЫВАРКИ

Схема тарелки представлена на рис. 1. Тарелка двойной выварки представляет собой диск с горловиной по центру, которая накрыта колпаком. К корпусу колонны припаивается воротник, который создает вторую линию барботажа. Пар, поднимающийся в колонне снизу вверх, проходит через тарелку, как это указано стрелками, с двух сторон: в центре под колпак и по пе-

риферии корпуса колонны под воротник. Такая двусторонняя выварка увеличивает производительность аппарата, обеспечивает эффективную выварку бражки от спирта.

Как показала практика спиртовых заводов, при переработке кожурного сырья тарелка двойной выварки обеспечивает наименьшую засоряемость колонн шелухой. Применяются эти тарелки в бражных колоннах аппаратов производительностью 3000 дал спирта в сутки.

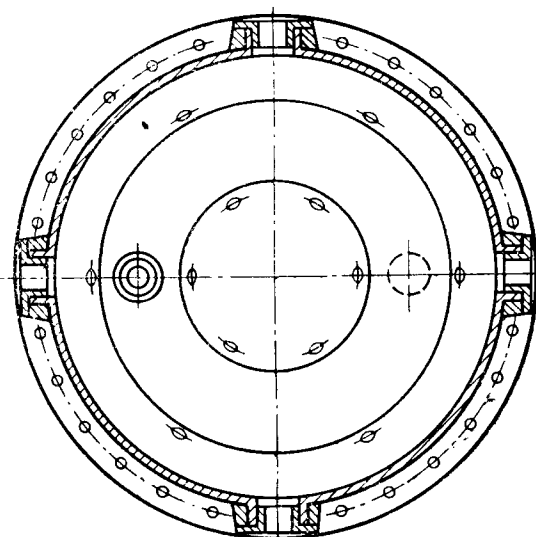
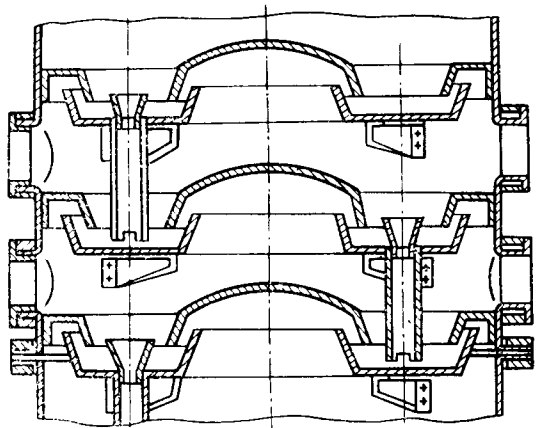


Рис. 1. Схема тарелки двойной выварки

В табл. 9 приведены данные, характеризующие изменения площади барботажа тарелок двойной выварки при увеличении диаметра колонн (при расчетах ширина

слоя бражки на тарелках, скорость пара в паровпускных щелях принимались постоянными для всех аппаратов при расстоянии между тарелками 280 мм).

Таблица 9

Производительность аппарата, дал/сутки	Диаметр бражных колонн, мм	Отношение площади барботажа тарелки в % к площади свободного сечения колонны	Уменьшение площади барботажа тарелки по отношению к площади свободного сечения колонны аппарата производительностью 1000 дал/сутки
1000	1000	19,2	—
2000	1200	17,2	10,4
3000	1500	13,5	29,6

Из приведенной таблицы видно, что с увеличением диаметра бражных колонн площадь барботажа тарелки двойной выварки уменьшается не пропорционально производительности аппарата.

СИТЧАТЫЕ ТАРЕЛКИ

В бражных колоннах аппаратов производительностью более 2000 дал спирта в сутки, перерабатывающих паточную бражку, устанавливаются ситчатые тарелки (рис. 2).

Ситчатая тарелка представляет собой металлический перфорированный диск, который крепится к корпусу колонны. Живое сечение отверстий составляет ~ 10% площади тарелки. Диаметр отверстий 10 мм. Отверстия располагаются по вершинам равносторонних треугольников. При уменьшении живого сечения отверстий требуется высокое давление; в этом случае эффективность тарелки снижается из-за сокращения продолжительности контакта между жидкостью и поднимающимися парами.

Особенностью работы ситчатой тарелки в отличие от тарелки двойной выварки является то, что скорость пара в живом сечении должна быть достаточной, чтобы удерживать жидкость на тарелке. Чем толще слой жидкости, тем больше должна быть скорость. Однако чрезмерная скорость пара приводит к механическому уносу жидкости с одной тарелки на другую. Если та-

релки расположены близко одна к другой, скорость пара должна быть низкой и тогда она может оказаться недостаточной для предотвращения слива жидкости через отверстия на тарелке. Поэтому устанавливают минимальное расстояние между тарелками. Скорость пара повышается с увеличением расстояния между тарелками. Нормальная скорость прохождения пара через отверстия составляет от 6 до 12 м/сек.

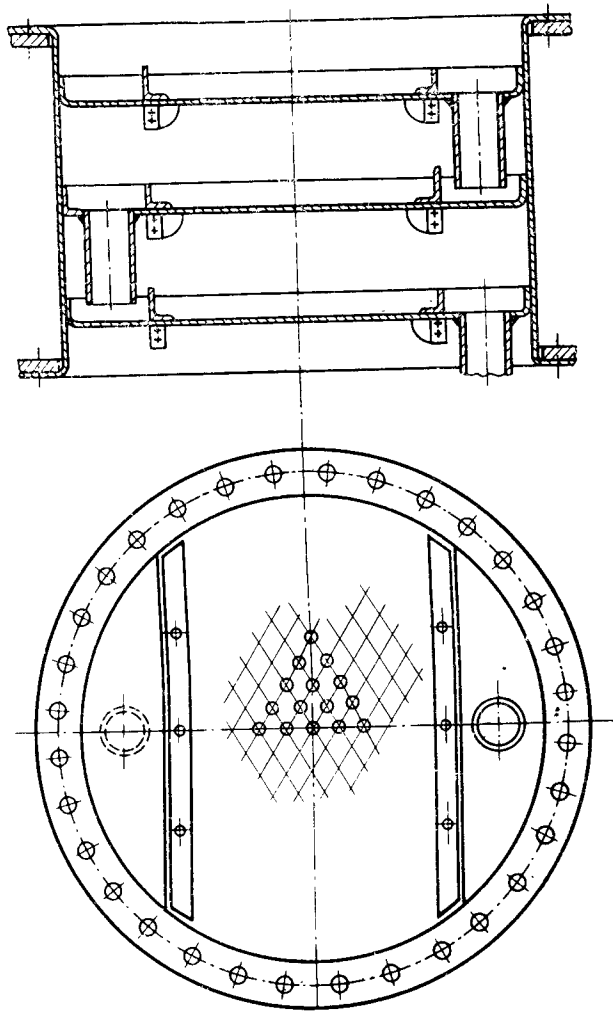


Рис. 2. Схема ситчатой тарелки

Для поддержания постоянного уровня бражки на тарелке имеется сливная перегородка высотой 29—30 мм. В этом случае площадь сегментов составляет около 10% от общей площади сечения колонны. Для передачи бражки с тарелки на тарелку предусмотрены цилиндрические сливные трубки, которые устанавливаются так,

что жидкость, выходя из одной сливной трубки, проходит вдоль всей тарелки, прежде чем поступит в следующую сливную трубку. Одинарные сливные трубки устанавливают обычно в колоннах диаметром до 1 м. Минимальный диаметр трубки 60 мм, максимальный 150 мм. При переработке кожурного сырья лучшими являются сливные трубки овального типа размером (по малой и большой оси) 150 × 450 мм. Сливные трубки размещаются в диаметрально противоположном направлении.

В бражных колоннах фирмы «Badger» верхний край сливной трубки выступает на достаточную высоту над тарелкой для образования жидкого слоя глубиной 29—30 мм. Нижний конец трубки устанавливается над углублением, которое служит в качестве затвора для выхода жидкости. Углубление предотвращает проникновение пара в сливную трубку, заставляя его проходить через паровпускные щели и циркулировать от тарелки к тарелке. Чтобы жидкость выходила свободно, поперечное сечение углубления должно быть в 2 раза больше поперечного сечения трубки.

Поперечное сечение сливной трубки равно $\frac{\pi d^2}{4}$, поперечное сечение углубления $\frac{\pi D^2}{4}$, $2\pi \frac{d^2}{4} = \pi \frac{D^2}{4}$ или $\frac{D}{d} = \sqrt{2} = 1,41$, т. е. диаметр углубления должен быть в 1,41 раза больше диаметра соответствующей сливной трубки.

Точно так же имеется определенное пространство под выходным отверстием сливной трубки внутри этого углубления. Высота этого пространства по диаметру сливной трубки должна соответствовать

$$\pi dh = \frac{\pi d^2}{4}; \quad h = \frac{d}{4},$$

т. е. высота пространства должна быть равна $1/4$ диаметра сливной трубки, чтобы не затруднялся слив жидкости.

МНОГОКОЛПАЧКОВЫЕ ТАРЕЛКИ

Колпачковые тарелки (рис. 3) применяются там, где жидкость не содержит взвешенных частиц и, следовательно, нет опасности засорения паровпускных щелей

колпачка. Так как жидкость не может стекать с колпачковых тарелок через отверстия, работа колонны не зависит от минимальной скорости пара. Обычно используют капсульные колпачки. В этом случае пар выходит через щели в жидкость; часть колпачковой тарелки отделена сливным порогом.

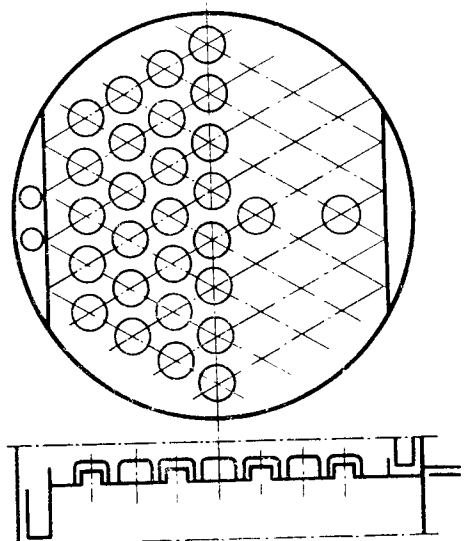


Рис. 3. Схема многоколпачковой тарелки

Эффективность контакта между объемами жидкости и пара на колпачковой тарелке во многом зависит от характера движения жидкости по тарелке.

При движении жидкости по тарелке образуются различные потоки a_1 , b_1 и c_1 (рис. 4). Потоки a_1 , a_2 и a_3 имеют одинаковое гидравлическое сопротивление. Между тем, потоки a_1 , b_1 и c_1 по своему характеру не подобны и имеют разное гидрав-

лическое сопротивление. Движущая сила в каждом отдельном потоке равна по величине градиенту уровня жидкости на тарелке, а так как сопротивление прохождению

жидкости разное, то и количества жидкости, проходящие в единицу времени, будут разными.

Потоки a при своем перемещении испытывают значительно большее сопротивление, вызываемое двусторонним барботажем, более узким сечением прохода, лобовым противодействием колпачков и увеличенной длиной пути. Боковые потоки b_1 и c_1 испытывают наименьшие сопротивления, проходя по более широкому проходу; по нему перемещаются

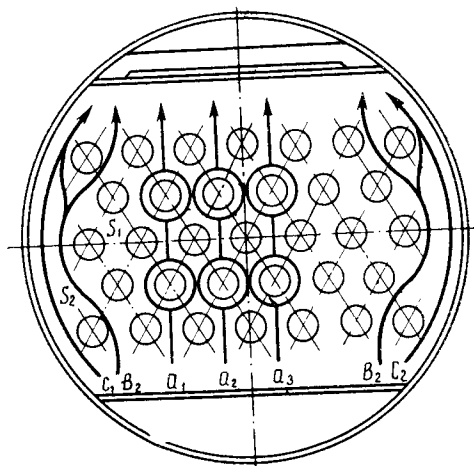


Рис. 4. Направление потоков жидкости на тарелке с капсульными колпачками и диаметральной переливом

относительно большие количества жидкости, которые недостаточно контактируют с паром. Это снижает эффективность колпачковой тарелки. Поэтому применение тарелок с капсульными колпачками для колонн диаметром более 2 м ввиду вышперечисленных недостатков нецелесообразно.

ЭФФЕКТИВНОСТЬ КОНТАКТНЫХ УСТРОЙСТВ

Практически требуется большее количество тарелок, чем это определено теоретическими расчетами, так как на тарелках не устанавливается полного равновесия между жидкостью и паром. Пар, входящий в слой жидкости, не конденсируется полностью и, следовательно, разбавляет пар в следующем паровом пространстве. Эффективность тарелки снижается за счет уноса капель жидкости от тарелки к тарелке.

На практике колонны обычно работают со скоростью пара выше оптимальных величин.

Эффективность тарелки, определяемая к. п. д. и по Мерфи, выражается отношением фактической и теоретической концентрации спирта в паровой фазе:

$$\eta = \frac{y \text{ над тарелкой (фактически)} - y \text{ под тарелкой (фактически)}}{y \text{ под тарелкой (теоретически)} - y \text{ под тарелкой (фактически)}}$$

К. п. д. тарелок по высоте колонны не одинаков. Поэтому для определения числа реальных тарелок найденное расчетным путем число теоретических тарелок делят на средний к. п. д. данного типа тарелок. В. Н. Стабников рекомендует следующие средние значения к. п. д. тарелок (табл. 10).

Таблица 10

Тип аппарата	Тип тарелок	Средний к.п.д.
Брагоректификационный бражная колонна ректификационная (укрепляющая часть)	Двойной выварки	0,5
	Многоколпачковые	0,3

СТАНДАРТ НА СПИРТ ЭТИЛОВЫЙ РЕКТИФИКОВАННЫЙ

ВНИИФС совместно с УкрНИИСПом разработал новый стандарт на спирт этиловый ректификованный пищевой, введенный в действие в 1967 г.

Необходимость введения нового стандарта объясняется повышенными требованиями к степени очистки спирта от примесей, изменившимся в настоящее время составом сырья и возросшим уровнем техники и технологии ректификации пищевого спирта.

Новым стандартом (табл. 11) предусматривается выработка ректификованного спирта трех сортов: спирт 1 сорта, спирт высшей очистки и спирт «Экстра». Для повышения качества ликеро-водочных изделий по новому стандарту предъявляются повышенные требования к степени очистки ректификованных спиртов.

Таблица 11

Показатели	Спирт ректификованный		
	1 сорта	высшей очистки	„Экстра“
Содержание этилового спирта (крепость) в % об., не менее	96,0	96,2	96,5
Проба на чистоту с серной кислотой	Выд.	Выд.	Выд.
Проба на окисляемость в мин при 20°C, не менее	10	15	20
Содержание альдегидов в пересчете на уксусный, в 1 л безводного спирта в мг, не более	10	4	2
Содержание сивушного масла в пересчете на смесь изоамилового и изобутилового спиртов (3:1) в 1 л безводного спирта в мг, не более	15	4	3
Содержание эфиров в пересчете на уксусно-этиловый эфир в 1 л безводного спирта в мг, не более	50	30	25
Проба на метиловый спирт с фуксинсернистой кислотой	Выд.	Выд.	Выд.
Содержание свободных кислот (без CO ₂) в 1 л безводного спирта в мг, не более	20	15	12
Содержание фурфурола		Не допускается	

В новом стандарте предусмотрено приготовление 95%-ного пищевого спирта из спирта высшей очистки

путем смешения его с умягченной водой, фильтрации и выдержки.

СОСТАВ ПРИМЕСЕЙ СПИРТА ИЗ ПИЩЕВОГО СЫРЬЯ

Повышенные требования к качеству ликеро-водочных изделий определяют необходимость решения основной проблемы — как получить высококачественный спирт на существующих брагоректификационных и ректификационных аппаратах при переработке смешанного и дефектного сырья. Используемые аппараты в ряде случаев работают неэффективно. Для получения высококачественного спирта необходимо реконструировать действующие или создавать новые высокоэффективные аппараты с учетом состава примесей, образующихся при переработке на спирт некондиционного сырья. Необходимо знать качественный и количественный состав примесей спирта, полученного из дефектного крахмалистого сырья, сахарной свеклы, а также из некондиционной мелассы, определить их поведение в процессе ректификации и установить возможность их вывода из аппарата.

Существующие методы анализа дают возможность определять количество примесей по группам (альдегиды, эфиры, высшие спирты), но не дают представления о качественном составе примесей каждой группы.

В настоящее время широко применяются для анализа пищевых продуктов спектрофотометрический и газохроматографический методы анализа. Газохроматографическим методом определяют состав примесей, которые обуславливают вкусовые качества пищевого спирта.

Принцип хроматографического разделения показан на рис. 5. Например, образец, состоящий из трех компонентов А, В и С, в виде паров продувается с помощью инертного газа через слой измельченного и обработанного сорбента, находящегося в колонке (рис. 5, а).

Так как компоненты смеси введенного вещества имеют различную испаряемость и растворимость, их скорость движения в колонке различна: чем больше растворимость молекул, тем меньшая скорость движения по колонке. Вначале (рис. 5, б) вперед уйдет компонент В как менее растворимый, за ним компонент С и, наконец, А как более растворимый и поэтому движущийся

медленнее остальных. Через некоторый промежуток времени различие в скоростях движения приведет к полному разделению компонентов (рис. 5, в).

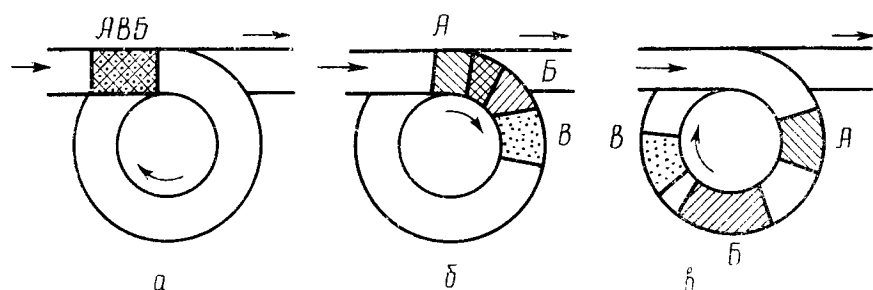


Рис. 5. Принцип разделения смеси на chromatографической колонке

Разделенные компоненты фиксируются на диаграмме потенциометра с помощью детектора в виде пика, время выхода которых с момента ввода пробы в газовый хроматограф определяет ее качественную характеристику, а площадь пика — количество компонента в смеси.

КАЧЕСТВЕННЫЙ И КОЛИЧЕСТВЕННЫЙ СОСТАВ ПРИМЕСЕЙ СПИРТА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ВИДА И СТЕПЕНИ ДЕФЕКТНОСТИ ПЕРЕРАБАТЫВАЕМОГО СЫРЬЯ

Вкусовые достоинства спирта определяются видом и качеством сырья, поступившего на переработку, а также технологией подработки, разваривания, осахаривания, брожения и ректификации. В настоящее время нет возможности оценить качественно и количественно процессы, происходящие на каждом из этих этапов. Можно

Таблица 12

Бражка	Состав примесей, % об.							
	ацетальдегид	этилацетат	метанол	n-пропанол	изобутанол	изоамилол	диацетил	уксусная кислота
Из зерна	0,002	0,009	0,01	0,01	0,014	0,023	Следы	0,004
Из мелассы	0,007	0,0006	Следы	0,005	0,0035	0,008	0,024	Следы

только на основании анализов определить состав примесей в бражках, поступающих на перегонку, состав спирта-сырца или бражного дистиллята при переработке различных видов сырья.

Методом газожидкостной хроматографии (ГЖХ) был определен состав летучих примесей в мелассных и зерновых бражках. Сводные данные по составу примесей различных образцов бражек приведены в табл. 12.

Как в мелассной, так и в зерновой бражке обнаруживают и неидентифицированные примеси.

Состав примесей мелассного и зернового спирта определяется газохроматографическим анализом спирта-сырца, бражного дистиллята, эюрата, ЭАФ, неаэтеризованного спирта и ректификата. Состав примесей в продуктах ректификации мелассного спирта приведен в табл. 13.

Газохроматографическим анализом обнаруживается диацетил во всех спиртопродуктах ректификации мелассного спирта. Это дает основание сделать вывод, что наряду с другими примесями, содержащимися в мелассном спирте, диацетил придает ему специфический аромат и вкус. Диацетил при эюрации концентрируется больше всего в ЭАФ, однако, полностью из эюрата он не вываривается, благодаря чему при ректификации он размазывается в ректификационной колонне.

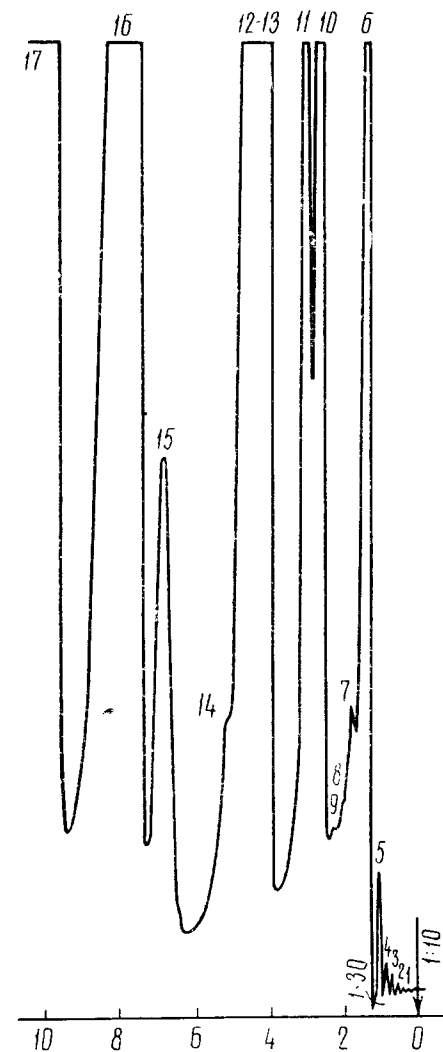


Рис. 6. Хроматограмма зернокартофельной ЭАФ:

1, 2, 3 — неидентифицированы; 4 — диэтиловый эфир; 5 — неидентифицирован; 6 — ацетальдегид; 7, 8, 9 — неидентифицированы; 10 — метилацетат; 11 — ацетон; 12, 13 — масляный альдегид + этилацетат; 14 — метилпропионат; 15 — этилпропионат; 16 — метанол; 17 — этанол

Исследуемая фракция	Состав примесей, % об.							
	<i>n</i> -пропанол	изобутанол	активный амилол	изоамилол	ацетальдегид	этилацетат	метилацетат	диэтил
Дистиллят из дефлегматора бражной колонны	0,033	0,078	0,104	0,099	0,046	0,03	—	0,105
Дистиллят из конденсатора бражной колонны	0,0138	0,0306	0,023	0,0184	0,118	0,0325	—	0,105
Эпюрат	0,019	0,041	0,082	0,082	0,0004	0,00065	—	0,0013
Эфиرو-альдегидная фракция	0,005	—	—	—	0,088	0,35	0,002	3,04
Ректификат I сорта	0,0057	—	—	—	—	0,0009	—	0,0006
Ректификат высшей очистки	Следы	—	—	—	—	0,0005	—	0,0006
Непастеризат	Следы	—	Следы	Следы	0,014	0,0088	—	0,0026

В УкрНИИСПе установлено, что отличительной особенностью меласного спирта от зернокартофельного является наличие в первом эфирных масляной и валериановой кислот. Из высших спиртов в меласном спирте содержится активный амиловый спирт. На рис. 6 приведена хроматограмма ЭАФ по легколетучим примесям, из которой видно, что в ЭАФ обнаружено шестнадцать примесей. Газохроматографическим анализом обнаруживается наличие хвостовой примеси — пропилового спирта.

В зерновом спирте-ректификате этим же методом определены в незначительных количествах пропионовый и масляный альдегиды.

При анализе эфиرو-альдегидной фракции зернового спирта газохроматографическим методом в ней обнаруживается, так же как и в ЭАФ, из меласного спирта пропанол и изобутанол.

В зерновом ректификате, как и в ректифицированном спирте из мелассы, обнаружены пропиловый и изобутиловый спирты вместо изоамилового.

В спирте-сырце из картофеля содержится диэтиловый эфир, ацетальдегид, метилацетат, ацетон, масляный альдегид, этилацетат, метилпропионат, этилпропионат, метанол, этанол, *n*-пропанол — *n*-бутанол и амиловый. В спирте-сырце из кукурузы — те же примеси, за исключением одной, неидентифицированной.

В табл. 14 приведен качественный и количественный состав легколетучих примесей в спирте-сырце, полученном из различных видов сырья.

Таблица 14

Спирт-сырец	Состав примесей, % об.			
	ацетальдегид	метилацетат	этилацетат · масляный альдегид	метанол
Из картофеля	0,0011	0,0017	0,033	0,170
Из свеклы	0,006	0,0027	0,03	0,258
Из кукурузы	0,0065	0,0107	0,0555	0,084
Из мелассы	0,018	0,0022	0,126	0,0240
Из зерна, картофеля и мелассы	0,0058	0,0056	0,0234	0,166

В меласном спирте в отличие от зернового содержатся азотистые соединения.

А. П. Ситников, изучая свойства ректифицированного спирта, пришел к выводу, что трудность его очистки обуславливается в основном наличием летучих азотистых оснований. Влияние их на органолептические свойства меласного спирта отмечалось также П. М. Чагиным.

А. С. Егоров и другие установили, что азотистые соединения присутствуют и в бражке и в продуктах ректификации. Однако качественный состав этих примесей они не определили, а лишь установили, что они относятся к хвостовым примесям.

И. Г. Положенцева и В. П. Грязнов методом ГЖХ установили, что в продуктах и полупродуктах ректификации меласного спирта (в отличие от зерно-картофельного спирта) содержатся триметиламин, триэтиламин и этиламин. Для сравнения по группе аминов были проанализированы продукты и полупродукты зернокартофельного спирта, в которых азотистых соединений обнаружено не было. Полученные данные дают основание утверждать, что азотистые соединения содержатся в меласном спирте и действительно перегоняются в процессе ректификации в ректифицированный спирт и вместе с другими примесями придают ему специфический запах и вкус.

Установлено, что в спиртах, полученных из дефектного сырья, содержатся эфиры уксусной кислоты и двух неизвестных кислот.

При переработке дефектного сырья на спирт в него переходят ацетальдегид, формальдегид, масляный, пропионовый альдегиды, акролеин и кротоновый альдегид. Поэтому для получения высококачественного спирта при переработке дефектного сырья в процессе ректификации должно быть обеспечено отделение вышеуказанных примесей.

ИЗМЕНЕНИЕ СОСТАВА ВЫСШИХ СПИРТОВ ПРИ ПЕРЕРАБОТКЕ ДЕФЕКТНОГО СЫРЬЯ

Соотношение высших спиртов в спирте-сырце, полученном из сырья нормального качества, приведено в табл. 15 (по данным Д. Н. Климовского, В. Н. Стабникова).

Таблица 15

Спирт-сырец	Содержание высших спиртов, % об.			
	пропиловый	изобутиловый	изоамиловый	гексилловый
Из зерна	3,7	14,8	80,5	1,0
Из картофеля	6,9	24,3	68,8	—

В табл. 16 приведены данные газохроматографического анализа спирта-сырца, полученного из дефектной кукурузы, свеклы, ржи и пшеницы.

Таблица 16

Спирт-сырец	Содержание примесей, % об.				
	ацетальдегид	мети-лацетат	этил-ацетат	метанол	n-пропанол
Из кукурузы	0,0035	0,014	0,07	0,03	0,025
Из свеклы	0,0035	0,005	0,02	0,13	0,026
Из ржи	0,002	0,001	0,023	0,009	0,3
Из пшеницы	0,003	0,008	0,014	0,06	0,06

Спирт-сырец	Содержание примесей, % об.				
	изобу-танол	X ₁	изоамилол	X ₂	n-бутанол
Из кукурузы	0,023	0,0017	0,083	Нет	Нет
Из свеклы	0,034	0,0015	0,064	Нет	Нет
Из ржи	0,1	Нет	0,076	Следы	0,012
Из пшеницы	0,028	Следы	0,05	Следы	Следы

Примечание. X₁ и X₂ — неидентифицированные примеси.

На основании данных табл. 16 подсчитано соотношение высших спиртов в спирте-сырце, полученном из вышеуказанных дефектных культур (табл. 17).

Соотношение высших спиртов в спирте-сырце, полученном из сырья нормального качества (табл. 15), для основных компонентов (n-пропиловый, изобутиловый и изоамиловый спирты) колеблется в пределах

Таблица 18

Спирт-сырец	Содержание высших спиртов, % об.			
	пропиловый	изобутиловый	изоамиловый	n-бутиловый
Из кукурузы	19,1	17,5	63,4	—
Из свеклы	21,0	27,4	51,6	—
Из ржи	38,0	50,7	10,0	1,3
Из пшеницы	43,5	20,3	36,2	—

5,3:19,6:74,7. Для сырых спиртов, полученных из дефектного сырья (табл. 17), это соотношение составляет 30,4:29:40,3.

Соотношение высших спиртов в спирте-сырце, полученном из дефектного сырья, изменяется в сторону большего содержания в них n-пропилового и изобутилового спиртов по сравнению со спиртом-сырцом, полученным из сырья нормального качества. Это и является одной из причин, ухудшающих органолептические свойства спирта из пищевого сырья, так как при накоплении пропилового и изобутилового спиртов в колонне последние перегоняются в зону отбора спирта-ректификата и придают ему горький вкус.

СВОЙСТВА ВОДНО-СПИРТОВЫХ РАСТВОРОВ

Конструкция брагоректификационных и ректификационных аппаратов непрерывного действия основана на практическом применении законов тепло- и массообмена между жидкостью и паром с учетом физико-химических свойств примесей, подлежащих выделению из спирта при ректификации.

Ниже приведены основные физико-химические показатели водно-спиртовых растворов: теплоемкость (табл. 18), теплопроводность (табл. 19), динамическая вязкость (табл. 20).

Объем водно-спиртовых паров при определенных значениях температуры и давления определяют по формуле:

$$V = \frac{P \cdot 22,4 (273 + t) p_0}{\mu_{\text{ср}} \cdot 273 \cdot p_1}, \quad (1)$$

Содержание спирта, % вес.	Теплоемкость при температуре, °C					
	60	70	80	90	100	110
5	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02
10	1,03	1,03	1,03	1,03	1,04	1,04
20	1,03	1,03	1,03	1,03	1,03	1,03
30	1,06	1,07	1,08	1,09	1,10	1,11
40	1,02	1,04	1,05	1,06	1,07	1,08
50	0,98	1,01	1,03	1,05	1,07	1,09
60	0,94	0,98	1,01	1,04	1,07	1,10
70	0,90	0,94	0,98	1,02	1,06	1,10
80	0,82	0,87	0,92	0,97	1,02	1,07
90	0,75	0,80	0,85	0,90	0,95	1,00
100	0,68	0,71	0,74	0,78	0,82	0,86

Таблица 19

Содержание спирта, % вес.	Теплопроводность при температуре, °C				
	0	20	40	60	80
0	0,474	0,515	0,545	0,567	0,580
25	0,373	0,391	0,409	0,428	0,447
38	0,328	0,338	0,348	0,358	0,368
50	0,228	0,294	0,299	0,305	0,310
65	0,240	0,244	0,247	0,250	0,253
80	0,193	0,194	0,194	0,195	0,195
94	0,160	0,158	0,155	0,153	0,150
98	0,151	0,147	0,143	0,138	0,133
100	0,146	0,141	0,137	0,133	0,128

Таблица 20

Содержание спирта, % вес.	Вязкость в <i>снз</i> при температуре, °C								
	0	10	20	25	30	40	50	60	70
10	3,215	2,162	1,548	1,328	1,153	0,896	0,725	0,602	0,509
20	5,275	3,235	2,168	1,808	1,539	1,144	0,896	0,728	0,606
30	6,900	4,095	2,670	2,203	1,894	1,353	1,038	0,826	0,677
40	7,150	4,355	2,867	2,374	1,941	1,455	1,116	0,887	0,724
45	7,010	4,310	2,867	2,387	2,007	1,478	1,138	0,902	0,736
50	6,625	4,174	2,832	2,368	2,001	1,475	1,136	0,904	0,739
60	5,715	3,787	2,642	2,232	1,906	1,426	1,109	0,887	0,727
70	4,720	3,268	2,369	2,025	1,744	1,328	1,044	0,841	0,696
80	3,648	2,663	1,998	1,738	1,519	1,181	0,950	0,778	0,648
90	2,691	2,048	1,601	1,422	1,270	1,022	0,835	0,695	0,589
100	1,776	1,480	1,221	1,101	0,997	0,824	0,695	0,590	0,506

где P — количество водно-спиртовых паров, кг/ч;
 t — температура пара, °K;
 p_1 — давление пара, ат;
 $\rho_{\text{ср}}$ — средний молекулярный вес водно-спиртового пара;
 p_0 — атмосферное давление, ат.

Коэффициент теплопередачи (K) показывает, какое количество тепла передается от более нагретой среды к менее нагретой через разделяющую их поверхность площадью 1 м² при разности температур в 1° за 1 ч. Он определяется по формуле:

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}} \text{ ккал } (m^2 \cdot ч \cdot C), \quad (2)$$

где α_1 — коэффициент теплоотдачи от более нагретой среды к наружной стенке, ккал/(м² · ч · °C);
 α_2 — коэффициент теплоотдачи от внутренней стенки к охлаждающей среде, ккал/(м² · ч · °C);
 δ — толщина стенки, м;
 λ — теплопроводность стенки, ккал/(м · ч · °C).

Данный коэффициент характеризует процесс теплообмена.

Коэффициент α_1 определяется по формуле:

$$\alpha_1 = 0,72 \sqrt{\frac{\lambda^3 \gamma^2 r \cdot 3600}{\mu d_n (t_1 - t_{\text{ст}})}}. \quad (3)$$

где λ — коэффициент теплопроводности металла трубки, ккал/(м² · ч · °C);

γ — плотность продукта, кг/м³;
 r — скрытая теплота парообразования, ккал/кг;
 μ — вязкость пленки конденсата, кг · сек/м²;
 d_n — наружный диаметр трубки, м;
 t_1 — температура конденсации пара, °C;
 $t_{\text{ст}}$ — температура внутренней поверхности трубки, °C.

Коэффициент α_2 определяется по формуле:

$$\alpha_2 = \frac{Nu \lambda}{d_{\text{вн}}}. \quad (4)$$

Nu — критерий Нуссельта: он характеризует теплообмен от внутренней стенки к охлаждающей среде и зависит от режима движения жидкости по трубкам (Re), свойства сконденсированной пленки, стекаю-

щей по трубкам (Pr), от наличия свободной конвекции (Gr).

Nu — определяется по формулам:

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

для турбулентного режима движения жидкости по трубкам ($Re > 10000$);

$$Nu = 0,74 (Re Pr)^{0,2} (Gr Pr)^{0,1},$$

для ламинарного движения жидкости ($Re < 2300$).

Коэффициентом испарения $k_{\text{и}}$ называется отношение содержания компонента в парах к содержанию его в жидкости; определяется по формуле:

$$k_{\text{и}} = \frac{\alpha}{\beta},$$

где α — содержание компонента в парах, % вес;
 β — то же в жидкости.

Коэффициентом ректификации k^1 называется отношение коэффициента испарения примеси к коэффициенту испарения этилового спирта.

Обозначим содержание компонента (примеси) в парах через α %, а в жидкости через β %. Если при этом содержание этилового спирта в парах A %, а в жидкой фазе — a %, то получим:

$$k_{\text{пр}} = \frac{\alpha}{\beta}; \quad k_{\text{сн}} = \frac{A}{a};$$

$$k^1 = \frac{k_{\text{пр}}}{k_{\text{сн}}} = \frac{\alpha}{\beta}; \quad \frac{A}{a} = \frac{\alpha a}{\beta A}.$$

Коэффициент ректификации показывает, увеличивается или уменьшается содержание примеси в парах по отношению к этиловому спирту.

ЗАКОНЫ ФАЗОВОГО РАВНОВЕСИЯ МЕЖДУ ЖИДКОСТЬЮ И ПАРОМ

Зависимость между составом паровой и жидкой фаз, находящихся в равновесии, для водно-спиртовых растворов установлена Коноваловым и Вревским.

Первый закон Коновалова устанавливает зависимость содержания спирта в парах от концентрации его в жидкости и объясняет явление укрепления спирта на тарелках ректификационной колонны, на которых происходит многократный обмен между парами и жидкостью.

Однако укрепление спирта при кипении раствора под атмосферным давлением идет до определенного предела, выше которого содержание спирта в жидкости и в паре одинаково.

Второй закон Коновалова — «В экстремумах давлений пара составы жидкой и паровой фаз совпадают» — это означает, что дальнейшее укрепление спирта невозможно при температуре кипения раствора под атмосферным давлением, равной 78,15°С. Этой температуре соответствует концентрация спирта в нераздельно кипящей смеси, равная 95,57% вес. При изменении давления, а следовательно, и температуры кипения раствора состав жидкости и пара определяется законами Вревского.

Первый закон Вревского устанавливает, что при повышении температуры кипения (давления) раствора двух компонентов возрастает относительное содержание в парах того компонента, испарение которого требует большей затраты энергии. Так, с повышением температуры испарения (или давления в системе) раствора этиловый спирт-вода крепостью более 21% мол. в парах возрастает относительное содержание воды. В растворах крепостью менее 21% мол. при повышении давления наблюдается обогащение паров спиртом. И, наоборот, при понижении давления в водно-спиртовых растворах крепостью до 21% мол. увеличивается содержание воды в парах, а при более высоких концентрациях спирта в жидкости увеличивается содержание спирта в парах.

Согласно второму закону Вревского для растворов с минимальной точкой кипения (этиловый спирт-вода) при повышении температуры (давления) в нераздельно кипящей смеси возрастает относительное содержание того компонента, испарение которого требует большей затраты энергии. И, наоборот, при повышении температуры растворов с максимальной точкой кипения в нераздельно кипящей смеси нарастает относительное содержание того компонента, испарение которого требует меньшей затраты энергии.

Зависимость температуры кипения и состава нераздельно кипящей смеси этиловый спирт-вода от давления приведена ниже.

В условиях вакуума состав смеси приближается к составу чистого спирта. При повышении давления увели-

чивается процентное содержание воды в смеси с постоянной температурой кипения.

Практическое значение законов Коновалова и Вревского для перегонки весьма велико, так как ими устанавливается состав паровой фазы в зависимости от жидкой фазы, состав азеотропных смесей, у которых состав фаз одинаков, а также указывается на изменение предела укрепления паров нижекипящим компонентом и изменение состава азеотропных смесей в зависимости от изменения давления.

Давление, мм рт. ст.	Точка кипения, °С	% мол.
100	34,2	99,6
150	42,0	96,2
200	47,8	93,8
400	62,8	91,4
760	78,1	90,0
1100	87,8	89,3
1450	95,3	89,0

СОСТАВ РАВНОВЕСНЫХ ФАЗ В СИСТЕМЕ ПАР—ЖИДКОСТЬ ДЛЯ БИНАРНЫХ ВОДНО-СПИРТОВЫХ РАСТВОРОВ

Для определения числа тарелок в колоннах аппарата и др. расчетов необходимо знать зависимость состава пара от жидкости для спирта и воды при температуре кипения.

У системы жидкость — пар смеси спирта и воды три переменных величины: давление, температура и концентрация. Согласно правилу фаз определение двух переменных достаточно для установления третьей величины.

Ввиду того что в любом аппарате для перегонки давление относительно постоянно, температура и концентрация являются взаимозависимыми и взаимопределяемыми величинами.

Пар, выделяющийся из кипящей смеси спирта и воды, содержит больший процент спирта, чем в первоначальной (исходной) жидкости. Для каждой концентрации спирта в жидкости состав пара может быть определен расчетным путем или по кривой равновесия. Данные равновесного состояния системы пар—жидкость бинарной смеси этиловый спирт—вода, полученные В. Н. Стабниковым и О. Г. Муравской, приведены в приложении 3.

СОСТАВ РАВНОВЕСНЫХ ФАЗ В СИСТЕМЕ ЖИДКОСТЬ—ПАР ДЛЯ МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ ВОДНО-СПИРТОВЫХ РАСТВОРОВ

Для расчета и конструирования брагоректификационных аппаратов, кроме данных по укреплению спирта, необходимо иметь экспериментальные данные по летучести примесей.

Относительная летучесть примесей определена в трехкомпонентных смесях. Однако на практике при ректификации спирта имеют дело с многокомпонентными смесями, состоящими из большего числа примесей.

Ниже приводится состав основных примесей зернокартофельных бражек.

Примеси	Содержание примеси, % об.
Уксусный альдегид	0,003
Уксусноэтиловый эфир	0,003
Метанол	0,02
<i>n</i> -Пропанол	0,004
Изобутанол	0,008
Изоамилол	0,008

Значения коэффициентов испарения и ректификации примесей для трех- и многокомпонентных систем приведены в табл. 21.

Для расчета процесса элюации необходимо знать значения коэффициентов испарения и ректификации примесей в трех- и многокомпонентных смесях при содержании их в спиртовой жидкости в количествах, соответствующих концентрации примесей в бражном дистилляте.

Примеси	Содержание примеси в бражном дистилляте, % об.
Ацетальдегид	0,003
Этилацетат	0,003
Метанол	0,05
<i>n</i> -Пропанол	0,02
Изоамилол	0,10
Изобутанол	0,05

Для этого были определены значения коэффициентов испарения примесей в крепких водно-спиртовых растворах по равновесным ступеням. Анализ трех- и многокомпонентных смесей производился методом ГЖХ.

Значения коэффициентов испарения примесей в трех- и в многокомпонентных системах, а также их распределение по равновесным ступеням приведены в табл. 22.

Таблица 21

Содержание этилового спирта, % об.	Высшие спирты						Метанол		Эфиры		Альдегиды	
	Изоамилол		Изобутанол		<i>n</i> -пропанол		в тройной системе	в многокомпонентной системе	в тройной системе	в многокомпонентной системе	в тройной системе	в многокомпонентной системе
	в тройной системе	в многокомпонентной системе	в тройной системе	в многокомпонентной системе	в тройной системе	в многокомпонентной системе						
5,0	21,8	23,1	22,5	21,1	11,05	11,08	6,08	6,30	94,8	83,6	35,4	36,7
8,0	16,8	17,8	14,8	15,1	8,48	8,50	4,19	4,63	81,9	75,0	28,7	24,4
10,0	14,1	16,8	11,8	12,1	6,56	6,07	3,55	3,45	72,5	54,7	24,2	19,2
5,0	2,81	2,83	2,82	2,62	1,89	1,37	0,280	0,659	12,0	10,43	4,42	3,32
8,0	2,48	2,75	2,27	2,82	1,27	1,30	0,635	0,710	12,50	11,50	4,38	3,72
10,0	2,37	2,73	2,00	2,08	1,10	1,03	0,615	0,530	12,30	9,36	4,17	3,28

Коэффициенты испарения

Коэффициенты ректификации

Ступени концен-трации спирта	Примеси	Содержание спирта				Относительная ошибка опыта, %	Содержание примесей, % об.			Коэффициент испарения этанола	Коэффициент испарения примесей	Коэффициент ректификации примесей
		в растворе, % об.	в кубе, % об.	в паре, % вес	равновесная крепость, % вес*		в растворе	в жидкости	в паре			
I	Ацетальдегид					0,003	0,0029	0,039	13,42	7,62		
	Этилацетат					0,003	0,0025	0,023	9,20	5,21		
	Метанол					0,05	0,0475	0,091	1,92	1,09		
	n-Пропанол	50,0	42,59	75,16	75,27	0,146	0,02	0,017	1,765	1,76	0,996	
	Изоамилол					0,10	0,076	0,082	1,08	0,61		
	Изобутанол					0,05	0,05	0,0485	0,97	0,55		
II	Ацетальдегид					0,041	0,036	0,285	7,92	7,12		
	Этилацетат					0,029	0,0184	0,0822	4,47	4,02		
	Метанол	81,44	75,40	83,83	83,92	0,107	0,090	0,157	1,110	1,24	1,58	
	n-Пропанол					0,0292	0,022	0,0198	0,807	0,807	0,725	
	Изоамилол					0,082	0,08	0,0416	0,52	0,52	0,467	
	Изобутанол					0,0495	0,048	0,0144	0,30	0,27		
III	Ацетальдегид					0,288	0,256	0,830	3,24	3,10		
	Этилацетат					0,082	0,0666	0,214	3,11	2,98		
	Метанол	88,57	83,43	87,49	87,41	0,092	0,157	0,231	1,51	1,44		
	n-Пропанол					0,0195	0,0197	0,0128	0,65	0,62		
	Изоамилол					0,042	0,042	0,016	0,372	0,356		
	Изобутанол					0,0149	0,0143	0,0054	0,38	0,36		

Продолжение табл. 22

Ступени концен-трации спирта	Примеси	Содержание спирта				Относительная ошибка опыта, %	Содержание примесей, % об.			Коэффициент испарения этанола	Коэффициент испарения примесей	Коэффициент ректификации примесей
		в растворе, % об.	в кубе, % вес	в паре, % вес	равновесная крепость, % вес*		в растворе	в жидкости	в паре			
IV	Ацетальдегид					0,840	0,765	2,0	2,62	2,56		
	Этилацетат					0,217	0,194	0,423	2,18	2,13		
	Метанол					0,230	0,219	0,355	1,62	1,58		
	n-Пропанол	91,40	87,03	89,47	89,52	0,056	0,0128	0,0065	1,022	0,55	0,54	
	Изоамилол					0,0155	0,015	0,0048	0,325	0,318		
	Изобутанол					0,0055	0,0053	0,0024	0,453	0,44		
V	Ацетальдегид					2,0	1,760	4,170	2,37	2,34		
	Этилацетат					0,428	0,414	0,780	1,88	1,85		
	Метанол	92,88	88,49	90,18	90,35	0,186	0,347	0,610	1,76	1,73		
	n-Пропанол					0,065	0,062	0,033	0,53	0,52		
	Изоамилол					0,005	0,00425	0,0013	0,275	0,27		
	Изобутанол					0,00245	0,00234	0,00154	0,66	0,65		

ФИЗИЧЕСКАЯ СУЩНОСТЬ ПРОЦЕССОВ ПЕРЕГОНКИ И РЕКТИФИКАЦИИ СПИРТА

При перегонке и ректификации спирта поднимающиеся вверх пары непрерывно контактируют с потоком стекающей жидкости. Пар, приходящий в контакт с флегмой, конденсируется. При конденсации происходит обогащение жидкой фазы нижекипящим компонентом. За счет выделяющегося тепла конденсации происходит испарение жидкости на тарелке. Выделяющийся пар будет содержать уже больший процент нижекипящего компонента, чем тот пар, который первоначально сконденсировался. Так как значения молевой теплоты испарения для многих перегоняемых бинарных смесей близки (в том числе и для этилового спирта и воды), то количество молей выделяющегося пара равно количеству молей сконденсировавшегося пара. Таким образом, количество молей пара и жидкости по всей высоте колонны остается постоянным. Движущей силой процесса ректификации является разность температур между стекающей вниз по колонне флегмой и поднимающимися вверх парами.

Вследствие разницы концентраций соприкасающихся фаз их состав изменяется в направлении достижения равновесия. Однако в условиях противоточного движения взаимодействующих потоков равновесное состояние между ними не достигается. Последнее обстоятельство является непременным условием обмена. Таким образом, движущей силой, с этой точки зрения, является разность концентраций.

Объединяя эти два понятия, можно сказать, что ректификация по физической сущности является сложным комплексом диффузионных и тепловых процессов при непрерывном противоточном взаимодействии потоков жидкости и пара.

Ниже рассматриваются основные положения теории перегонки и ректификации спирта на примере материального баланса тарелки.

МАТЕРИАЛЬНЫЙ БАЛАНС ТАРЕЛКИ

Любой пар, поднимающийся с тарелки, расположенной над тарелкой питания (допустим n -я тарелка), выходит из системы как погон или же после конден-

сации и возврата поступает на ту же тарелку в виде перетока (флегмы) сверху, т. е. количество молей пара (G), поднимающегося с тарелки выше точки питания, равно количеству молей, выходящих из системы (D или погон), плюс количество молей, возвращающихся или спускающихся (L или переток) с тарелки, расположенной выше n -й, т. е.

$$G = L_{n+1} + D,$$

где $n + 1$ — тарелка, первая над n -й.

Подобное уравнение можно вывести для баланса по спирту на тарелке, где y представляет собой молярный процент спирта в паре, а x — молярный процент спирта в жидкости

$$G_n y_n = L_{n+1} x_{n+1} + D x_D.$$

Деля это уравнение на G и решая относительно y_n , получаем

$$y_n = \frac{L_{n+1}}{G_n} x_{n+1} + \frac{D}{G_n} x_D.$$

Подставляя в него значение G , получаем уравнение

$$y_n = \frac{L_{n+1}}{L_{n+1} + D} x_{n+1} + \frac{D}{L_{n+1} + D} x_D.$$

Обозначим отношение $\frac{L}{D}$ через V — флегмовое

число, которое показывает, в каком отношении пар, поступивший из колонны в дефлегматор, делится на флегму (жидкостный поток в колонне) и дистиллят.

Произведя соответствующие преобразования, получим уравнение:

$$y_n = \frac{V}{V+1} x_{n+1} + \frac{x_D}{V+1} \quad (5)$$

По этому уравнению подсчитывают материальный баланс тарелки, исходя из того, что молярная теплота парообразования остается той же от тарелки к тарелке и что нет потери тепла от излучения. Показатель L_{n+1} является постоянным, так как количество перетока (флегмы) от тарелки к тарелке не изменяется во время непрерывного процесса. D и x_D представляют количество спирта в единицу времени и концентрацию спирта

в погоне. Суммируя все вышеизложенное, преобразуем уравнение (5) в уравнение общего вида:

$$y_n = A x_{n+1} + B.$$

Подобный материальный баланс может быть выведен для тарелки, расположенной ниже точки питания (допустим m -ая тарелка). Количество молей жидкости, спускающихся с верхней тарелки (L или переток), равно количеству молей, поднимающихся с тарелки в виде пара (G), плюс количество молей, идущих к следующей нижней тарелке, как отходы (R).

Для m -ой тарелки это можно выразить уравнением:

$$L_{m+1} = G_m + R; \text{ или } G_m = L_{m+1} - R.$$

Баланс по спирту для m -ой тарелки будет выражен уравнением:

$$G_m y_m = L_{m+1} x_{m+1} - R x_R.$$

Деля это уравнение на G_m , получаем

$$y_m = \frac{L_{m+1}}{G_m} x_{m+1} - \frac{R}{G_m} x_R.$$

После соответствующей подстановки значения G_m получим уравнение

$$y_m = \frac{L_{m+1}}{L_{m+1} - R} x_{m+1} - \frac{R}{L_{m+1} - R} x_R.$$

Так как $L_{m+1} = M + L_{n+1}$, а $R = M - D$ (M — питание колонны), то деля соответствующие подстановки и принимая $\frac{L}{D} = V$; $\frac{M}{D} = U$, окончательно получим

$$y_m = \frac{V+U}{V+1} x_{m+1} - \frac{U-1}{V+1} x_R. \quad (6)$$

Скорость питания колонны спиртовой жидкостью и возврат флегмы из секции над тарелкой питания поддерживаются на постоянном уровне во время непрерывного процесса (показатель L_m является постоянным). Количество отходов R и количество спирта в отходах x_R поддерживаются также постоянными. В общем виде уравнение (6) может быть записано следующим образом:

$$y_m = c x_{m+1} - D.$$

Оба уравнения (5) и (6) представляют прямые линии и графически могут быть представлены в диаграмме равновесия. Две линии пересекаются в точке, которая показывает изменение содержания спирта от укрепляющей до истощающей секции колонны.

Уравнения (5) и (6) показывают взаимозависимость флегмового числа от угла наклона рабочих линий укрепляющей и истощающей частей колонны. Так, например, по мере увеличения флегмового числа показатель $\frac{V}{V+1}$ приближается к 1, и требуется меньше тарелок для получения погона необходимой крепости. При работе колонны, когда $D=0$, требуется наименьшее число тарелок; однако питание и погон равняются нулю (рис. 7).

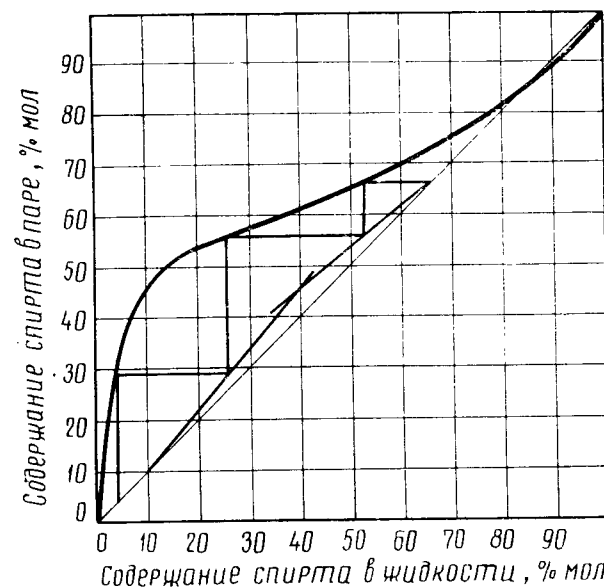


Рис. 7. Наименьшее число тарелок при наибольшем флегмовом числе

Минимальное значение флегмового числа наблюдается при пересечении рабочих линий с кривой равновесия. Колонна, работающая с минимальным количеством флегмы, будет иметь бесконечное число тарелок (рис. 8). Флегмовое число 3 является минимальным для достижения концентрации спирта 96,45% об.

При расчете колонны берется промежуточное (между минимальным и максимальным) флегмовое число, чтобы достигнуть экономически выгодного соответствия между числом тарелок и расходом пара.

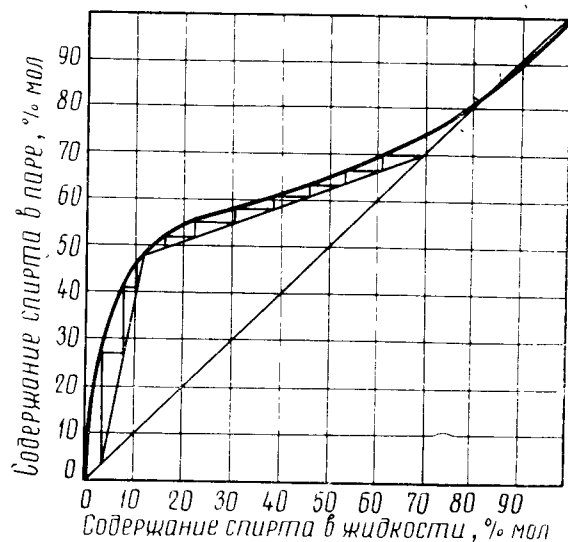


Рис. 8. Бесконечное число тарелок при минимальном флегмовом числе

ВЛИЯНИЕ ОТКРЫТОГО ОБОГРЕВА НА ПОЛОЖЕНИЕ РАБОЧЕЙ ЛИНИИ ИСТОЩАЮЩЕЙ ЧАСТИ КОЛОННЫ

Уравнение (6) рабочей линии истощающей части колонны справедливо при ее обогреве глухим паром.

В спиртовой промышленности колонны в основном обогревают открытым паром из барботера.

При выводе уравнения для рабочей линии истощающей секции необходимо принимать во внимание пар, поступающий непосредственно в колонну. Если обозначить через P количество молей пара, поступающих в колонну, то материальный баланс на тарелке ниже точки питания можно выразить уравнением:

$$L_{m+1} + P = G_m + R' \text{ или } G_m = L_{m+1} + P - R'$$

Баланс по спирту выражается уравнением:

$$G_m y_m = L_{m+1} x_{m+1} + P x_0 - R' x_R$$

Деля уравнение на G_m , получим:

$$y_m = \frac{L_{m+1}}{G_m} x_{m+1} - \frac{R'}{G_m} x_R$$

Подставляя значение G_m , получаем уравнение:

$$y_m = \frac{L_{m+1}}{L_{m+1} + P - R'} x_{m+1} - \frac{R'}{L_{m+1} + P - R'} x_R$$

Величина R' есть сумма пара P и остатка R для колонны с глухим обогревом, т. е.

$$R' = P + R = M + (P - D) = M + L$$

Произведя соответствующую подстановку и решая уравнение относительно y_m , получим

$$y_m = \frac{V+U}{V+1} x_{m+1} - \frac{V+U}{V+1} x_0' = \frac{V+U}{V+1} (x_{m+1} - x_0')$$

Данное уравнение является уравнением прямой линии с тем же углом наклона, что и для рабочей линии при обогреве глухим паром, но с иными начальными координатами. Рабочая линия при обогреве открытым паром пересекает ось абсцисс на расстоянии от начала координат x_0 .

Выражение $\frac{V+U}{V+1}$ в этом уравнении представляет собой отношение жидкостного потока L к паровому G . Следовательно, оно может быть приведено к виду

$$y = \frac{L}{G} (x - x_0) \quad (7)$$

Уравнение (7) применимо для любой истощающей колонны при обогреве ее открытым паром.

ГРАФИЧЕСКОЕ И АНАЛИТИЧЕСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЧИСЛА ТАРЕЛОК В ИСТОЩАЮЩЕЙ И УКРЕПЛЯЮЩЕЙ ЧАСТЯХ КОЛОННЫ

Необходимое число тарелок в колонне можно определить графическим и аналитическим методами. Примем, что ректификационная колонна обогревается открытым паром и получает питание при температуре кипения. Пар, выходящий из колонны, конденсируется, часть конденсата ($4/5$) возвращается в виде флегмы, а остальная поступает на холодильник и выводится как готовый продукт (укрепляющим действием дефлегматора пренебрегаем).

Предполагаются следующие производственные условия:

1) концентрация спирта в питании (M) соответствует 42,7% об. (35,63% вес., 17,45% мол);

2) содержание спирта в парах, поступающих с верхней тарелки колонны, имеет ту же концентрацию, что

и погон (D), т. е. 96,2% об. (94,13% вес., 86,254% мол.);

3) потери спирта с лютерной водой (R) не должны превышать 0,015% об. (0,004% мол.);

4) колонна работает при флегмовом числе, равном 4. Расход пара P равен 20 кг на 1 дал б/с.

При питании колонны в 100 молей материальный баланс выражается следующим образом:

$$P + 100 = D + R.$$

Составляется материальный баланс по спирту:

$$P \cdot 0 + \frac{17,45}{100} 100 = \frac{86,25}{100} D + \frac{0,004}{100} R.$$

Величина $\frac{0,004}{100} R$ незначительная, поэтому ею пренебрегают.

Количество дистиллята D , исходя из материального баланса, равно $D = \frac{17,45}{0,863} = 20,21$ моля.

При флегмовом числе 4 флегма, а следовательно, и переток с тарелки на тарелку (L_{n+1}) равняется $4D = 4 \times 20,21 = 80,84$ моля.

Подставляя полученные величины в уравнение рабочей линии укрепляющей части колонны, определяем требуемое число тарелок

$$y_n = \frac{80,84}{80,84 + 20,21} 86,25 + \frac{20,21}{80,84 + 20,21} 86,25,$$

$$y_n = 0,8 \cdot 86,25 + 0,0005 \cdot 86,25 = 69,0 + 0,043 = 69,043 \approx 69,0.$$

Эта линия в диаграмме равновесия с углом наклона 0,8 пересекает линию $x = y$ при $x_D = 86,25$; на оси y отсекается отрезок, равный 17,3.

Угол наклона этой рабочей линии можно также определить непосредственно из выражения:

$$\frac{V}{V+1} = \frac{4}{4+1} = 0,80.$$

Концентрация спирта в парах $y_n = 86,3\%$ мол. и в погоне x_D одинакова.

На графике (рис. 9) на оси x найдем точку, соответствующую x_D , из которой восстанавливаем перпендикуляр до пересечения с диагональю $x=y$. Вторую точку находим, откладывая значение 17,3 на оси y . Соеди-

няя обе точки прямой линией, находим положение рабочей линии укрепляющей части колонны.

Для определения положения рабочей линии выварной части колонны пользуются уравнением (7).

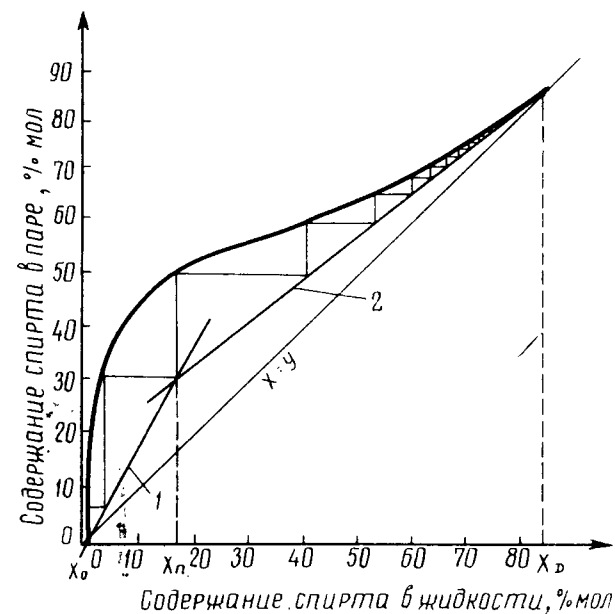


Рис. 9. Графическое определение числа тарелок:

1 — рабочая линия выварной части колонны; 2 — рабочая линия укрепляющей части колонны

При питании колонны в 100 молей жидкостной поток складывается из потоков питания и флегмы.

Поток флегмы (L_{n+1}) определяется величиной, равной $\frac{4}{5}$ общего парового потока по сечению колонны.

При среднем молекулярном весе питания крепостью 35,63% вес. (17,45% мол.), равном $\mu = 23$, количество питания в кг составит $100 \times 23 = 2300$ кг.

Спирта в питании содержится $\frac{35,63 \cdot 2300}{100} = 820$ кг, или $\frac{820}{0,79 \cdot 10} = 104$ дал б/с.

При принятом расходе пара паровой поток G составит: $G = \frac{104 \cdot 20}{18} = 115$ кмоль.

Жидкостной поток L определится величиной $L = 100 + \frac{4}{5} L = 100 + \frac{4}{5} \cdot 115 = 192$ кмоль, отношение $\frac{L}{G} = 1,67$.

Рабочая линия выварной части колонны будет иметь вид:

$$y = 1,67 (17,8 - 0,004).$$

Первая точка рабочей линии выварной части колонны $x_R = 0,004\%$ (на оси абсцисс); из нее проводится прямая под углом, равным тангенсу угла наклона 1,67. Пересечение рабочих линий укрепляющей и выварной части колонны должно соответствовать концентрации спирта на питательной тарелке.

Для определения числа тарелок в колонне в площадь между рабочими линиями и кривой равновесия вписывают отрезки, каждый из которых теоретически эквивалентен одной тарелке. Каждый отрезок от рабочей линии до кривой равновесия отражает состав жидкости от одной тарелки к другой.

Графическое определение числа тарелок в интервале концентрации спирта от 0,2 до 0,004% мол. требует больших масштабов построения и недостаточно точно, поэтому принято пользоваться аналитическим методом, применяя формулу Сореля:

$$n = \frac{\lg \left[1 + \frac{x_n}{x_R} \left(\frac{Gk}{L} - 1 \right) \right]}{\lg \frac{Gk}{L}} - 1, \quad (8)$$

где n — число теоретических тарелок, необходимых для изменения концентрации спирта от x_n до x_R ;

k — коэффициент испарения спирта на участке изменения концентрации спирта от 0,004% до 0,2% мол.

Число тарелок в колонне может быть определено аналитическим методом от «тарелки к тарелке». Так как концентрация спирта в дистилляте является величиной заданной, то известна и концентрация спирта в парах над первой тарелкой. По таблице равновесного состава жидкости и пара (приложение 3) находим концентрацию x_1 в кипящей на первой тарелке жидкости соответственно известной концентрации x_D . Затем берем сечение между первой и второй тарелками. Вычисляем концентрацию спирта в парах, попадающих в это се-

чение, т. е. в парах, поднимающихся со второй тарелки на первую, по уравнению (5):

$$y_2 = \frac{V}{V+1} x_1 + \frac{x_D}{V+1},$$

где x_1 — концентрация спирта в жидкости на первой тарелке, равная концентрации спирта в флегме, стекающей с первой тарелки на вторую.

Вычислив y_2 , находим по таблице (приложение 3) концентрацию спирта x_2 в кипящей жидкости на второй тарелке. Затем вычисляем y_3 по уравнению (5) при известном x_2 . По таблице равновесных составов находим концентрацию спирта на третьей тарелке и т. д. Число тарелок для истощающей части колонны определяется так же, как и для укрепляющей части. Расчеты продолжают до тех пор, пока вычисленная концентрация спирта в жидкости не будет соответствовать концентрации спирта в питании для укрепляющей части колонны или концентрации спирта в остатке для выварной части колонны.

ДЕФЛЕГМАЦИЯ И КОНДЕНСАЦИЯ

Процесс ректификации спирта возможен при условии противотока жидкости и пара в колонне. Если колонна не питается флегмой, то пар, поднимающийся снизу, при отсутствии теплопотерь в окружающую среду не сможет конденсироваться, т. е. на тарелках не будет жидкости и многократный тепло- и массообмен между жидкостью и паром, являющийся основой для процесса ректификации, окажется невозможным. Для питания колонны флегмой служит дефлегматор, в котором осуществляется конденсация спиртовых паров, поступающих из колонны.

Брагоректификационные и ректификационные аппараты в спиртовой и ликеро-водочной промышленности работают под атмосферным давлением (температура конденсации спиртовых паров равна температуре кипения флегмы). Колонна с атмосферой непосредственно через дефлегматор не может быть сообщена, так как при этом наблюдаются большие потери спирта через воздушник. После дефлегматора необходимо устанавли-

вать конденсатор, предназначенный для конденсации части спиртовых паров, поступающих из дефлегматора, и охлаждения сконденсировавшейся спиртовой жидкости до минимальной температуры.

Конденсатор соединяется через систему воздушников со спиртовой ловушкой для улавливания несконденсировавшихся паров спирта и вывода инертных газов в атмосферу.

ДЕФЛЕГМАТОР

Процесс дефлегмации может осуществляться однократно или постепенно. При однократной дефлегмации сконденсировавшаяся жидкость должна сразу же выводиться из теплообменника.

При постепенной дефлегмации образующаяся жидкость все время находится в контакте с паром, т. е. между ними происходит постоянный тепло- и массообмен.

Постепенная дефлегмация имеет преимущество перед однократной, так как при этом увеличивается продолжительность контакта между жидкостью и паром.

В аппаратах спиртовой и ликеро-водочной промышленности наибольшее распространение получили горизонтальные дефлегматоры, которые по сравнению с дефлегматорами вертикального типа обеспечивают более интенсивный тепло- и массообмен между стекающей вниз флегмой и паром.

Горизонтальный дефлегматор представляет собой многоходовой трубчатый теплообменник, в межтрубное пространство которого поступают спиртовые пары, а по трубкам пропускается охлаждающая вода. Для турбулизации парового потока в межтрубном пространстве установлены 3—4 перегородки, занимающие около 65—70% свободного сечения корпуса дефлегматора (рис. 10).

Трубки закрепляются в трубных решетках, которые припаиваются к корпусу дефлегматора.

Трубки в дефлегматорах могут располагаться по вершинам равностороннего треугольника либо по вершинам квадрата, если смотреть в поперечное сечение дефлегматора.

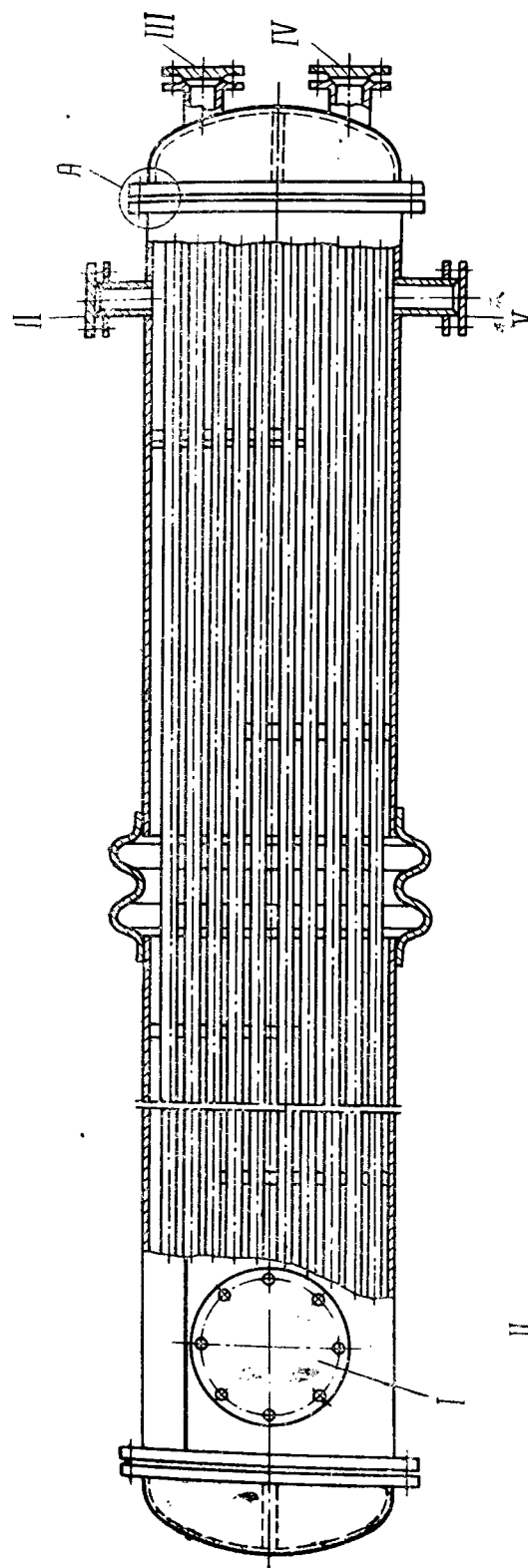


Рис. 10. Дефлегматор:

I — вход спиртовых паров; II — выход спиртовых паров; III — вход воды; IV — вход воды; V — выход флегмы

КОНДЕНСАТОР

Пары спирта, выходящие из дефлегматора, конденсируются в конденсаторе, который выполняет две функции: конденсирует пар в жидкость, а затем охлаждает конденсат до минимальной температуры. Хотя во второй стадии поглощается незначительная часть всего тепла, в этом случае требуется большая поверхность теплообмена конденсатора из-за медленной теплоотдачи

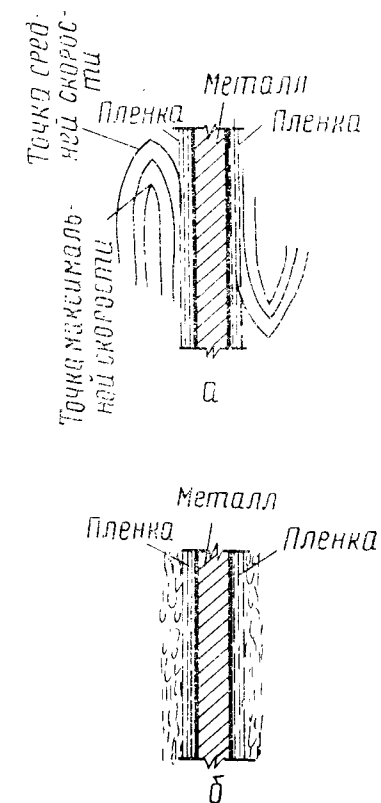


Рис. 11. Схема тепловых потоков в конденсаторе:

а — вязкий поток, толстые пленки, низкий коэффициент теплопередачи; б — вращательный поток, тонкие пленки, высокий коэффициент теплопередачи

Коэффициент теплопередачи можно увеличить повышением скорости движения охлаждающей воды по трубам или турбулизацией парового потока, для чего в межтрубном пространстве конденсатора устанавливаются перегородки, частично перекрывающие одна другую.

БРАГОРЕКТИФИКАЦИОННЫЙ АППАРАТ КОСВЕННОГО ДЕЙСТВИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬЮ 3000 дал СПИРТА В СУТКИ

Качество ликеро-водочных изделий в значительной степени определяется качеством ректификованного спирта. Брагоректификационные и ректификационные аппараты, действующие в промышленности, предназначаются для получения ректификованного спирта высокого качества при переработке всех видов сырья, в том числе и дефектного. Степень очистки спирта от примесей, подлежащих выделению, определяется как конструкцией аппарата, так и технологическим и температурным режимом его работы. Схема брагоректификационного аппарата косвенного действия производительностью 3000 дал спирта в сутки представлена на рис. 12.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ СХЕМА

Бражка, поступающая из бродильного отделения спиртового завода, насосом подается в бражный подогреватель, откуда бражка поступает в сепаратор для отделения углекислоты и части головных продуктов. Газы и пары направляются далее в конденсатор, где конденсируются спирт и головные продукты, а газы удаляются через воздушник. Освобожденная от газа бражка поступает на верхнюю тарелку бражной колонны. Барда отводится из колонны через бардяной регулятор. Пары из бражной колонны проходят через ловушку, освобождаются от увлеченных частиц жидкости и шелухи и поступают в бражной подогреватель. Из подогревателя бражки несконденсировавшиеся пары поступают в дополнительный вертикальный конденсатор.

Бражная колонна обогревается открытым паром, подача которого регулируется паровым регулятором. Конденсат спиртовых паров из брагоподогревателей направляется в общую магистраль, по которой он поступает в элюрационную колонну. Элюрационная колонна имеет горизонтальный дефлегматор и вертикально установленный конденсатор, которые охлаждаются водой. Из конденсатора отбираются головные продукты, которые поступают в холодильник и далее через ротаметр на фонарь.

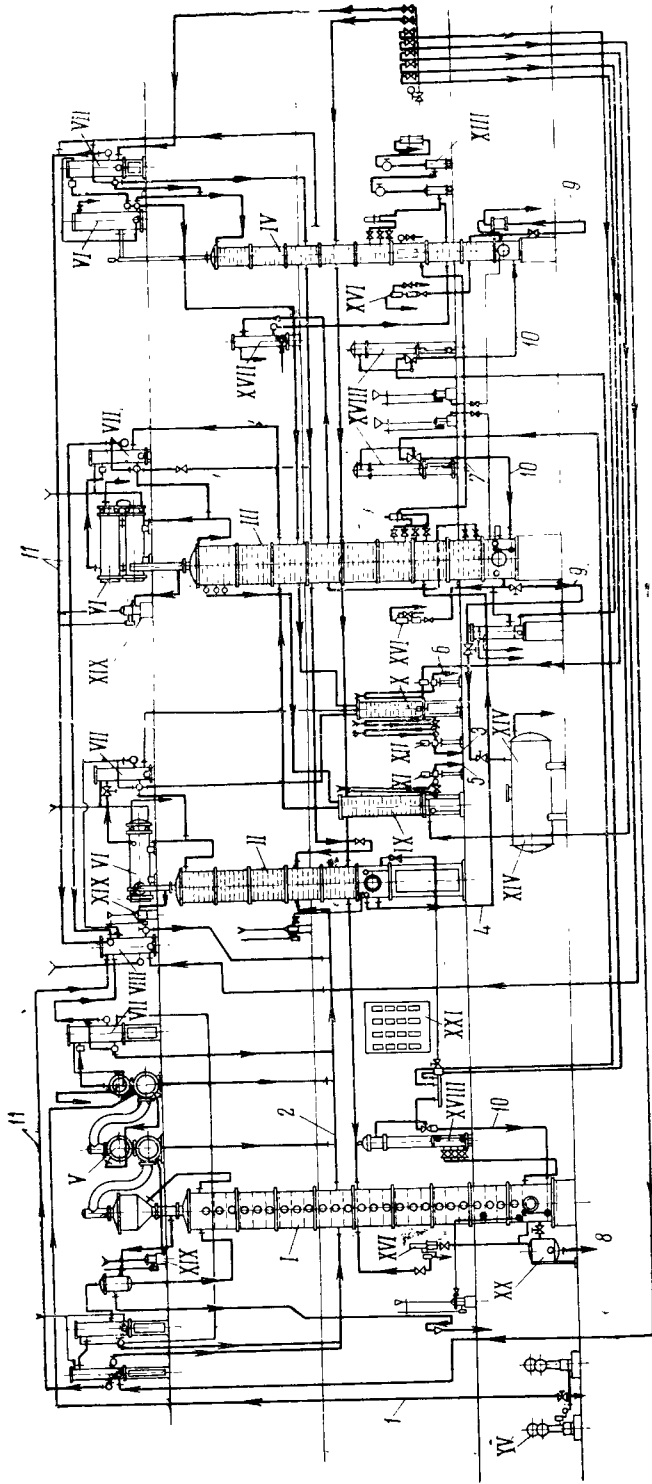


Рис. 12. Схема ректификационного аппарата косвенного действия производительностью 3000 дал спирта в сутки.

I — бражная колонна; II — элюрационная колонна; III — ректификационная колонна; IV — сивушная колонна; V — брагодогреватель; VI — дефлегматор; VII — конденсатор; VIII — спирголовушка; IX — спиртоловушка; X — холодильник спирта; XI — спиртопробный фонарь; XII — эфиропробный фонарь; XIII — сивухопромыватель; XIV — бак лютерной воды; XV — бражной насос; XVI — пробный холодильник для определения потерь спирта в барде и лютере; XVII — холодильник паров сивушного масла; XVIII — парорегулятор; XIX — вакуум-прерыватель; XX — бардорегулятор; XXI — щит контрольно-измерительных приборов; колонну; 3 — отбор бражной trubопровод; 2 — бражной дистиллят и головные погонны в элюрационную колонну; 5 — отбор спирта-ректификата; 6 — отбор сивушного спирта; 4 — элюрат в ректификационную колонну; 8 — выход барды; 9 — выход лютерной воды; 10 — вход пара в сивушную колонну; 7 — сивушная фракция в сивушную колонну; 11 — воздушники на спирголовушку

Элюрат из элюрационной колонны самотеком поступает на 16-ю тарелку выварной части ректификационной колонны. Ректификационная колонна имеет двухсекционный горизонтальный дефлегматор и вертикальный трубчатый конденсатор.

Ректификат отбирается в жидком виде со второй, четвертой и шестой верхних тарелок. Ректификат поступает в холодильник и затем на фонарь. Непастеризованный спирт отбирается из конденсатора, направляется частично обратно на верхнюю тарелку ректификационной колонны, а частично на верхнюю тарелку элюрационной колонны. Сивушное масло отбирается из парового пространства с пятой, седьмой, девятой и одиннадцатой нижних тарелок выварной части колонны и направляется в холодильник и далее в сивушную колонну или на промывку.

Сивушный спирт отбирается из жидкой фазы 17, 18, 19 и 20 нижних тарелок укрепляющей части колонны и через фонарь направляется в сивушную колонну.

В нижнюю паровую камеру сивушной колонны через барботер вводится греющий пар, подача которого регулируется паровым регулятором. Лютерная вода выводится из колонны через гидрозатвор.

Из укрепляющей части колонны пары поступают в дефлегматор и конденсатор. Из дефлегматора флегма частично возвращается в колонну, а частично выводится на холодильник через ротаметр и эпруветку в сливное отделение. Из конденсатора флегма возвращается частично на верхнюю тарелку сивушной колонны, а частично в элюрационную колонну.

Сивушное масло отбирается в жидкости из аккумуляторной части колонны и с трех вышележащих тарелок. Смесь сивушных масел направляется на промывку от этилового спирта в маслопромыватель. В маслопромывателе подается лютерная вода. В маслопромывателях сивушное масло выделяется и вытесняется водой в фонарь, из которого масло поступает в декантаторы для дополнительной промывки. Промывная вода из маслопромывателя и декантатора возвращается в сивушную колонну на четвертую нижнюю тарелку через подогреватель. Из декантатора сивушное масло поступает в сборник.

Все колонны снабжаются вакуум-прерывателями. Холодная вода насосом подается в водонапорный бак, устанавливаемый в чердачном помещении, из которого вода по системе водопроводов через общий коллектор направляется на холодильники, конденсаторы и дефлегматоры. Из дефлегматоров вода температурой 60—70°С поступит в сборник горячей воды, из которого ее расходуют на производственные нужды.

Пары, не сконденсированные в конденсаторах, и инертные газы поступают в спиртоловушку.

МАТЕРИАЛЬНЫЙ, ТЕПЛОВОЙ И КОНСТРУКТИВНЫЙ РАСЧЕТ АППАРАТА

Исходные данные:

Производительность аппарата	3000 дал спирта в сутки
Крепость поступающей на переработку бражки 7% вес.	
Начальная температура бражки	28°С
Температура бражки, поступающей в колонну 70°С	
Теплоемкость бражки	0,95 ккал/(кг × °С)

Таблица 23

Спиртопродукты	Крепость, % вес	Температура кипения, °С	Теплоемкость, ккал/кг·°С	Количество абсолютного алкоголя			Общее количество, кг/ч
				% вес к общему количеству	л/ч	кг/ч	
Спирт-ректификат с ректификационной колонны	94,0	78,3	0,65	95	1188	937,5	998
Эфирно-альдегидная фракция . .	93,12	—	—	2,5	31,2	24,6	26,4
Концевые сорта	93,1	78,3	0,67	1,2	15	11,84	12,75
Сивушное масло	84	—	—	0,3	3,75	2,96	3,53
Непастеризованный спирт . .	94,2	78,3	0,65	2	25	19,75	21
Потери	—	—	—	1,0	12,5	9,87	9,87

Теплоемкость барды 0,97% ккал/(кг × °С)

Потери спирта при брагоректификации . . . 1%

Давление греющего пара на коллекторе . . . 3,0 ат

Состав и выход продуктов приведен в табл. 23.

БРАЖНАЯ КОЛОННА

Температура кипения бражки при концентрации в ней спирта $x_m = 7,0\%$ вес. равна 93,4°С. Для доведения бражки до кипения (на 100 кг) потребуется тепла $100(93,4 - 70) 0,95 = 3220$ ккал (0,95 — теплоемкость бражки в ккал/(кг·°С)). По графику (рис. 13) определяем крепость спирта на верхней тарелке бражной колонны, которая равна 10% вес. Количество алкоголя, поступающего в аппарат с бражкой, составит $\frac{3000 \cdot 0,79 \cdot 10}{24} = 987$ кг/ч.

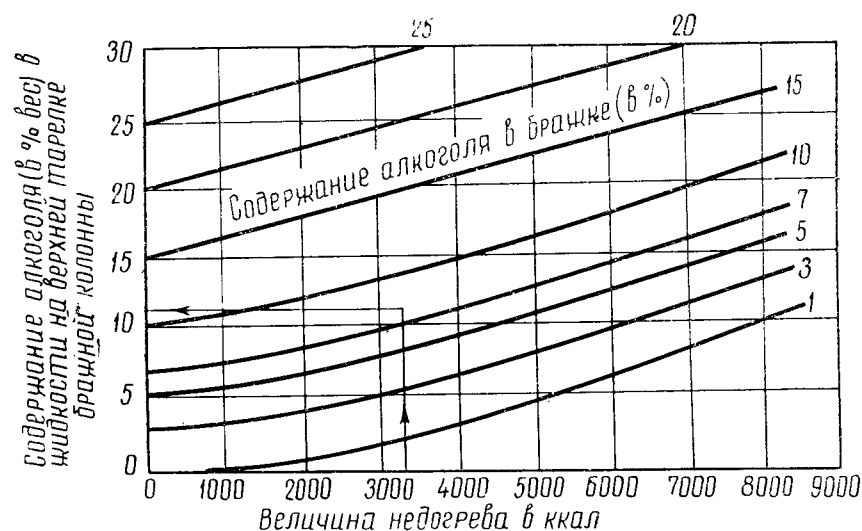


Рис. 13. График для нахождения крепости кипящей бражки на питательной тарелке

Количество бражки, поступающей на перегонку, равно:

$$B = \frac{987,0 \cdot 100}{7} = 14100 \text{ кг/ч.}$$

Количество водно-спиртового пара, поступающего в брагоподогреватели, при крепости бражки на питающей тарелке 10% вес. (в парах 52,2% вес.) будет соответствовать $\frac{987,0 \cdot 100}{52,2} = 1890$ кг/ч.

Примем, что бражная колонна работает с коэффициентом избытка пара 1,1. Тогда все количество пара, поступающего из бражной колонны, составит $1890 \cdot 1,1 = 2080$ кг/ч. Действительная концентрация спирта в парах будет равна $\frac{1890}{2080} \cdot 52,2 = 47,5\%$ вес.

Материальный баланс

Приход, кг/ч	Расход, кг/ч
1. Бражка — 14100	1. Пары в брагоподогревателе бражной колонны — 2080
2. Греющий пар — P	2. Барда (без конденсата пара) — $14100 - 2080 = 12020$
	3. Конденсат пара P

Тепловой баланс

Приход, ккал/ч	Расход, ккал/ч
1. Тепло с бражкой — $14100 \cdot 0,95 \cdot 70 = 937000$	1. Тепло с водно-спиртовыми парами в брагоподогревателе — $2080 \cdot 469 = 974000$
2. С греющим паром — $650,3P$	2. С бардой (без конденсата пара) — $12020 \cdot 0,97 \cdot 103 = 1200000$
	3. С конденсатом пара — $103P$

Из теплового баланса находим, что $937000 + 650,3P = 974000 + 1200000 + 103P$; $1237000 = 547,3P$; $P = 2260$ кг/ч.

Расход пара с учетом теплопотерь (5%) $P = 2370$ кг/ч.

Количество барды с конденсатом пара составит $12020 + 2370 = 14390$ кг/ч.

Определение числа тарелок в бражной колонне

В уравнение рабочей линии при обогреве бражной колонны открытым паром (7) величина L определится суммой количества бражки B и конденсата пара L'' , пошедшего на догрев бражки до температуры кипения. Количество киломолей в бражке, поступающей на аппарат в 1 ч,

$$L' = \frac{987,0}{46} + \frac{(14100 - 987,0)}{18} = 20,4 + 728 = 748,4 \text{ кмоль},$$

где 46 и 18 — соответственно молекулярные веса спирта и воды.

Количество киломолей пара, пошедшего на догрев бражки до кипения,

$$L'' = \frac{2220 \cdot 14100}{(650,3 - 93,4) 18 \cdot 100} = 31,2 \text{ кмоль}.$$

Общее количество киломолей в жидкостном потоке составит:

$$L = L' + L'' = 748,4 + 31,2 = 779,6 \text{ кмоль}.$$

Величина парового потока G_1 , поднимающегося по колонне, равна:

$$G = \frac{2370 \cdot 650,3}{640,0 \cdot 18} = 133,6 \text{ кмоль},$$

где 640,0 — теплосодержание пара, поступающего в бражную колонну при $P = 1,15$ ат, ккал/кг. Подставляя значение G и L в уравнение (7) рабочей линии, получим:

$$y = \frac{779,6}{133,6} (x - 0,004); \quad y = 5,83 (x - 0,004),$$

где 0,004 — содержание спирта в отходящей барде, % мол. При $x = x_{\text{пит}} = 2,86\%$ мол; $y = 5,83 (2,86 - 0,004) = 16,7\%$ мол.

Число теоретических тарелок, определенных графическим путем (рис. 14), составляет $n' = 4,15$.

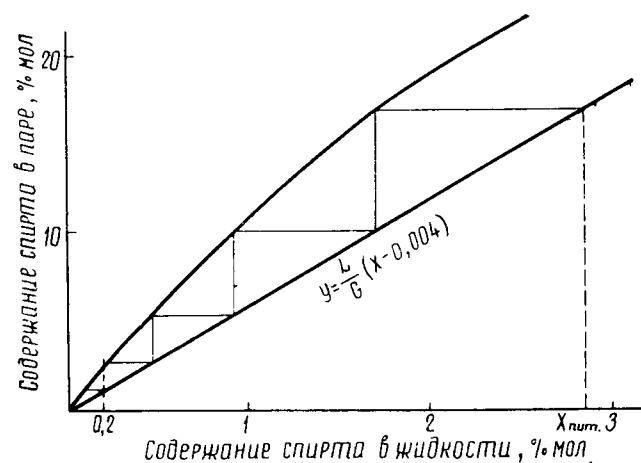


Рис. 14. Графики для определения числа теоретических тарелок в бражной колонне в интервале концентрации 0,2—2,86% мол.

Для части колонны, работающей в интервале концентрации 0,004—0,2% мол., число теоретических тарелок

лок n'' определяется аналитическим способом по формуле Сореля (8):

$$n'' = \frac{\lg \left[1 - \frac{0,2}{0,004} \left(\frac{13 \cdot 133,6}{779,6} - 1 \right) \right]}{\lg \frac{13 \cdot 133,6}{779,6}} - 1 = 4,15,$$

Коэффициент испарения этилового спирта k в интервале концентраций 0,004—0,2% мол. принимается равным 13. Общее число теоретических тарелок составит:

$$n_{т.т} = n' + n'' = 4,15 + 4,15 = 8,3.$$

При к. п. д. тарелки $\sim 0,5$ число реальных тарелок составит

$$n = \frac{8,3}{0,5} = 17 \text{ шт}^*.$$

Для аппаратов производительностью по спирту 3000 дал/сутки устанавливают ситчатые тарелки в количестве 25 шт.

Диаметр бражной колонны определяют из уравнения:

$$F = \frac{P i_1}{\omega \gamma i_2 \cdot 3600}, \quad (9)$$

где P — расход пара в бражной колонне, кг/ч;
 ω — скорость пара в свободном сечении колонны, м/сек;

γ — плотность пара, кг/м³;

i_1 и i_2 — теплосодержание греющего пара соответственно при давлении 3,0 ат и рабочем давлении в колонне 1,15 ат, ккал/кг.

Скорость паров в свободном сечении колонны определяют по формуле В. Н. Стабникова:

$$\omega = \frac{0,305 H}{60 + 0,05 H} = 0,012 z \text{ м/сек}, \quad (10)$$

где H — расстояние между тарелками, мм;
 z — глубина барботажа, мм.

$$\omega = \frac{0,305 \cdot 500}{60 + 0,05 \cdot 500} = 0,012 \cdot 40 = 1,32 \text{ м/сек}.$$

Из условия перегонки пенящейся бражки скорость паров в свободном сечении колонны принимаем равной 0,7 м/сек. При рабочем давлении в колонне 1,15 ат плотность водяного пара $\gamma = 0,66$ кг/м³.

Площадь сечения колонны

$$F = \frac{2370 \cdot 650,3}{0,66 \cdot 0,7 \cdot 640 \cdot 3600} = 1,46 \text{ м}^2,$$

диаметр:

$$D = \sqrt{\frac{F}{0,785}} = \sqrt{\frac{1,46 \cdot 10^6}{0,785}} = 1370 \text{ мм}.$$

Диаметр бражной колонны принимается равным 1500 мм.

Диаметр трубопровода определяют, исходя из скорости движения паров (ω м/сек) и пропускной способности (V м³/ч) по формуле

$$d = \sqrt{\frac{4V}{\pi \omega \cdot 3600}} \text{ м}. \quad (11)$$

Объем спиртовых паров (V) определяют по формуле (1):

$$V = \frac{2080 \cdot 22,4 (273 + 93,5) 1,0}{1,03 \frac{100}{\frac{47,5}{46} + \frac{52,5}{18}} 273} = 2400 \text{ м}^3.$$

Диаметр паропровода, соответствующий этому расходу, будет равен:

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot 2400}{3,14 \cdot 8 \cdot 3600}} = 0,325 \text{ м или } 325 \text{ мм}.$$

Принимаем диаметр паропровода равным 350 мм.

В табл. 24 приводятся диаметры основных трубопроводов.

Диаметр барботера принимается равным диаметру паропровода ($d = 150$ мм). Площадь сечения паровпускных отверстий принимается равной 1,25 площади сечения барботера

$$F = 1,25 \frac{\pi d^2}{4} = 1,25 \frac{3,14 \cdot 150^2}{4} = 22\,000 \text{ мм}^2.$$

* В практике число тарелок в бражной колонне равно 22—25.

Таблица 24

Трубопровод	Плотность продукта, кг/м ³	Пропускная способность		Скорость движения продукта, м/сек		Диаметр трубопровода, мм	
		кг/ч	м ³ /ч	допускаемая	принятая	расчетный	принятый
Для подвода бражки в колонну	1000	14100	14,1	0,5—1,0	0,5	100	100
Для отвода барды	1020	14390	14,1	0,2—0,8	0,4	112	125
Для отвода спиртовых паров из колонны	—	2080	2400	4—10	8	325	350
Для подвода греющего пара (3 ат)	1,622	2370	1460	20—40	25	144	150

Примем диаметр отверстий барботера $d_1 = 8$ мм. Тогда общее число отверстий

$$n = \frac{22000}{\frac{3,14 \cdot 8^2}{4}} = 436 \text{ шт.}$$

При диаметре колонны 1500 мм можно принять, что отверстиями занято 1400 мм длины барботера. Шаг между отверстиями примем равным 20 мм, тогда число отверстий в одном продольном ряду

$$n_1 = \frac{1400}{20} + 1 = 71 \text{ шт.}$$

Число продольных рядов в барботере составит:

$$n_2 = \frac{n}{n_1} = \frac{436}{71} = 6 \text{ рядов.}$$

Располагая отверстия барботера по нижней полуокружности, определим шаг между продольными рядами по формуле:

$$t = \frac{\pi d}{2(n_2 - 1)} = \frac{3,14 \cdot 150}{2(6 - 1)} = 47 \text{ мм.}$$

Принимаем $t = 50$ мм.

Бражные подогреватели. Тепловая нагрузка на бражную и водяную секции подогревателя бражки составит:

$$q = G(I - i) = 2080(469 - 89,7) = 790000 \text{ ккал/ч,}$$

где I — теплосодержание спиртовых паров, ккал/кг;
 i — теплосодержание конденсата паров, ккал/кг.
 Количество тепла, отводимого бражкой,

$$Q_1 = B c_{бр} (t_k - t_n),$$

где B — количество бражки, поступающее в аппарат, кг/ч;

t_k, t_n — конечная и начальная температура бражки, °С;

$c_{бр}$ — теплоемкость бражки, ккал/(кг·°С).

$$Q_1 = 14100(70 - 28) 0,95 = 560000 \text{ ккал/ч.}$$

Количество тепла, отводимое охлаждающей водой, будет равно $Q_2 = q - Q_1 = 790000 - 560000 = 230000$ ккал/ч.

Температура отходящей воды из водяной секции подогревателя бражки принята равной $t_k = 70$ °С. Начальная температура воды $t_n = 15$ °С.

Расход охлаждающей воды

$$W = \frac{Q_2}{(t_k - t_n) c_v} = \frac{230000}{(70 - 15) 1,0} = 4200 \text{ кг/ч, или } 4,2 \text{ м}^3/\text{ч.}$$

Скорость движения бражки по трубкам диаметром 80/85 мм определим из условия четырех параллельно работающих труб:

$$\omega = \frac{B}{0,785 d_{вн}^2 \gamma_{бр} \cdot 3600 n},$$

где $d_{вн}$ — внутренний диаметр труб, м;

$\gamma_{бр}$ — плотность бражки, кг/м³;

n — число параллельно работающих труб.

$$\omega = \frac{14100}{0,785 \cdot 0,08^2 \cdot 1000 \cdot 3600 \cdot 4} = 0,195 \text{ м/сек.}$$

Коэффициент теплопередачи бражной секции подогревателя бражки определим по формуле

$$k = B \sqrt[3]{\omega^2}, \quad (12)$$

где B — коэффициент пропорциональности, равный для медных труб 700;

ω — скорость движения бражки по трубам, м/сек.

$$k = 700 \sqrt[3]{0,195^2} = 236 \text{ ккал/(м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{°С).}$$

Среднюю разность температур в бражных барабанах определяют следующим образом:

$$t_{\text{ср.конд}} = \frac{93,5 + 83}{2} = 88^\circ\text{C}$$

$$\overrightarrow{t_{\text{ср.конд}} = 88^\circ\text{C}}_{\text{пар}}$$

$$\Delta t_{\text{ср}} = \frac{(88 - 28) - (88 - 70)}{2,3 \lg \frac{88 - 28}{88 - 70}} = 35^\circ\text{C}$$

$$\overleftarrow{t_{\text{к}} = 70^\circ\text{C}; t_{\text{н}} = 28^\circ\text{C}}_{\text{бражка}}$$

Поверхность бражной секции подогревателя бражки определяем по формуле

$$F = \frac{Q_1}{k \Delta t_{\text{ср}}} = \frac{560\,000}{236 \cdot 35} = 68 \text{ м}^2.$$

Принимаем поверхность, равную 75 м^2 (3 барабана по 25 м^2 каждый). Количество медных труб в каждом барабане при длине одной трубы $l = 3,0 \text{ м}$ составит:

$$n = \frac{F}{\pi d_{\text{ср}} l} = \frac{25}{\pi \cdot 0,0825 \cdot 3,0} = 32 \text{ шт.}$$

$$\text{Число ходов } Z = \frac{32}{4} = 8.$$

Принимаем к установке восьмиходовой теплообменник. Средняя разность температур в водяной секции подогревателя бражки между рабочими средами:

$$\overrightarrow{t_{\text{ср.конд}} = 88^\circ\text{C}}_{\text{пар}}$$

$$\Delta t_{\text{ср}} = \frac{(88 - 20) - (88 - 70)}{2,3 \lg \frac{88 - 20}{88 - 70}} = 37,5^\circ\text{C}$$

$$\overleftarrow{t_{\text{к}} = 70^\circ\text{C}; t_{\text{н}} = 20^\circ\text{C}^*}_{\text{вода}}$$

Коэффициент теплопередачи определяют по формуле (2), коэффициент теплоотдачи от конденсирующегося

* Принято, что температура воды на выходе из конденсатора равна 20°C .

спирто-водного пара к стенке — по формуле (3). Средняя температура пленки конденсата $t_{\text{пл}}$ равна:

$$t_{\text{пл}} = \frac{t_{\text{ст}} + t_{\text{ср.конд}}}{2} = \frac{84 + 88}{2} = 86^\circ\text{C}.$$

Принимаем температуру стенки $t_{\text{ст}} = 84^\circ\text{C}$. Значения λ и μ взяты при средней температуре пленки. Остальные значения взяты при температуре конденсации пара:

$$\lambda = 0,290 \text{ ккал}/(\text{м} \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C});$$

$$\mu = 6,15 \cdot 10^{-5} \text{ кг/сек}/\text{м}^2;$$

$$r = 380 \text{ ккал}/\text{кг};$$

$$\gamma = 850 \text{ кг}/\text{м}^3.$$

$$\Delta t = t_{\text{ср.конд}} - t_{\text{ст}} = 88 - 84 = 4^\circ\text{C},$$

$$d_{\text{н}} = 0,035 \text{ м},$$

$$\alpha_1 = 0,72 \sqrt{\frac{380 \cdot 850^2 \cdot 0,290^3 \cdot 3600}{6,15 \cdot 10^{-5} \cdot 4,0 \cdot 0,035}} = 5250 \text{ ккал}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C}).$$

Для нахождения значения α_2 определим режим движения воды по трубам.

Средняя температуры воды равна:

$$t_{\text{в.ср}} = t_{\text{ср.конд}} - \Delta t_{\text{ср}} = 88 - 37,5 = 50,5^\circ\text{C}.$$

Физико-химические константы при данной средней температуре воды будут следующие:

$$\text{кинематическая вязкость } \nu = 0,557 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{сек},$$

$$\text{теплопроводность } \lambda = 0,557 \text{ ккал}/(\text{м} \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C}),$$

$$\text{критерий Прандтля } Pr = 3,55.$$

Скорость воды в трубках водяной секции подогревателя бражки определим из условия двенадцати параллельно работающих труб:

$$\omega = \frac{W}{0,785 d_{\text{вн}}^2 \cdot 3600 n},$$

где W — расход воды, $\text{м}^3/\text{ч}$;

n — число параллельно работающих труб;

$$\omega = \frac{4,2}{0,785 \cdot 0,032^2 \cdot 3600 \cdot 12} = 0,13 \text{ м}/\text{сек}.$$

Критерий Рейнольдса:

$$Re = \frac{\omega d_{вн}}{\nu},$$

где $d_{вн}$ — внутренний диаметр трубок, м;
 ν — кинематическая вязкость, $m^2/сек.$

$$Re = \frac{0,13 \cdot 0,032}{0,557 \cdot 10^{-6}} = 7460.$$

Следовательно, имеем переходный режим движения воды в трубах. Критерий Нуссельта для данного режима находим по формуле:

$$Nu = f \cdot 0,023 Re^{0,8} Pr^{0,4},$$

где f — поправочный коэффициент, равный $f = 1,6 \cdot 10^5 Re^{-1,8} = 1,6 \cdot 10^5 \cdot 7460^{-1,8} = 0,934$.

$$Nu = 0,934 \cdot 0,023 \cdot 7460^{0,8} \cdot 3,55^{0,4} = 39,$$

$$Nu = \frac{\alpha_2 d_{вн}}{\lambda},$$

откуда

$$\alpha_2 = \frac{39 \cdot 0,557}{0,032} = 680 \text{ ккал}/(m^2 \cdot ч \cdot ^\circ C).$$

При коэффициенте теплопроводности меди $\lambda_m = 330 \text{ ккал}/(m \cdot ч \cdot ^\circ C)$ коэффициент теплопередачи составит:

$$k = \frac{1}{\frac{1}{5250} + \frac{0,0015}{330} + \frac{1}{680}} = 600 \text{ ккал}/(m^2 \cdot ч \cdot ^\circ C).$$

С учетом возможных отложений солей жесткости коэффициент теплопередачи принимаем в 2 раза меньше расчетного, т. е. $k = 300 \text{ ккал}/(m^2 \cdot ч \cdot ^\circ C)$. С учетом вышележащей поверхности водяной секции подогревателя бражки составит:

$$F = \frac{230\,000}{37,5 \cdot 300} = 20,4 \text{ м}^2.$$

При длине одной трубы $l = 3 \text{ м}$ количество труб равно:

$$n = \frac{F}{\pi d_n l} = \frac{20,4}{\pi \cdot 0,035 \cdot 3} = 62 \text{ шт.}$$

При двенадцати параллельно работающих трубах число ходов составит:

$$Z = \frac{62}{12} = 5,2 \text{ хода.}$$

Принимаем шестиходовой теплообменник.

Число труб $n = 6 \times 12 = 72 \text{ шт.}$

Поверхность теплообменника равна:

$$F = \pi d_n l n = \pi \cdot 0,035 \cdot 3 \cdot 0,72 = 23,8 \text{ м}^2.$$

Условная поверхность теплообменника принимается равной

$$F_{всл} = 25 \text{ м}^2.$$

Суммарная поверхность подогревателя бражки

$$F_{общ} = 75 + 25 = 100 \text{ м}^2.$$

Поверхность конденсатора, как это будет показано ниже, составляет 10—20% от поверхности дефлегматора. К установке принимаем конденсатор бражной колонны поверхностью $F = 15 \text{ м}^2$.

ЭПЮРАЦИОННАЯ КОЛОННА

Расчет эдюрационной колонны основан на материальном и тепловом балансах колонны.

Исходные данные: температура погона из брагоподогревателей бражной колонны равна $87^\circ C$; расход пара принимается равным 6 кг на 1 дал безводного алкоголя, поступающего в эдюрационную колонну; давление греющего пара 3,0 ат, входящего в колонну 1,15 ат.

Материальный баланс

Приход, кг/ч	Расход, кг/ч
1. Погон из брагоподогревателей бражной колонны—2080. в том числе спирта 987 воды 1093	1. Эфирно-альдегидная фракция — 26,4. в том числе спирта 24,6 воды 1,8
2. Нестандартный спирт из конденсатора ректификационной колонны — 21, в том числе спирта 19,75 воды 1,25	2. Эдюрат в ректификационную колонну: спирта 987+19,75—24,6=982,15, воды 1093+765+1,25—1,8= =1857,45
3. Греющий пар 987+19,75 0,79·10 · 6 = 765	3. Крепость эдюрата 982,15 2839,60 (общий расход) = 34,7% вес.

Тепловой баланс

Приход, ккал/ч	Расход, ккал/ч
1. С погоном из брагоподогревателей бражной колонны $2080 \cdot 87 \cdot 0,97 = 175000$	1. С эфино-альдегидной фракцией $26,4 \cdot 284 = 7500$
2. С непастеризованным спиртом $21,30 \cdot 0,65 = 410$	2. С элюратом $2839,6 \cdot 87 \cdot 1,05 = 260000$
3. С греющим паром $765 \cdot 650,3 = 500000$	3. С парами в дефлегматор Q_n
С жидкой флегмой $Q_{ж}$	

Из теплового баланса имеем, что $Q_{ж} + 175000 + 500000 + 410 = Q_n + 7500 + 260000$.

Тепловая нагрузка на дефлегматор и конденсатор элюрационной колонны будет равна:

$$q = Q_n - Q_{ж} = 407910 \text{ ккал/ч.}$$

Число тарелок определяется по изменению концентрации спирта графическим или аналитическим методом.

Определение числа теоретических тарелок в концентрационной части колонны производится графическим способом, аналогично описанному выше. При этом принимается, что флегмовое число V равно бесконечности, рабочая линия совпадает с диагональю диаграммы $x=y$.

Определение числа тарелок в выварной части элюрационной колонны производится аналитически по формуле Сореля (8). При этом исходят из условий выделения той примеси, которая имеет наименьший коэффициент летучести.

Для построения рабочей линии выварной части элюрационной колонны определим величину парового и жидкостного потоков. Величина парового потока определяется величиной:

$$G = \frac{765 \cdot 650,3}{18 \cdot 640} = 43,2 \text{ кмоль.}$$

Величина жидкостного потока будет складываться из потока бражного дистиллята при температуре кипения (L') и потока флегмы (L'').

Количество киломолей, поступающих с погоном из бражной колонны, составляет:

$$L' = \frac{2080}{25,3} = 82 \text{ кмоль.}$$

Величину потока флегмы принимаем равной величине парового потока, что справедливо при значении флегмо-

вого числа, равном бесконечности ($L'' = G = 43,2 \text{ кмоль}$).
Общая величина жидкостного потока будет равна:

$$L = L' + L'' = 82 + 43,2 = 125,2 \text{ кмоль.}$$

Уравнение рабочей линии выварной части элюрационной колонны примет вид:

$$y = \frac{125,2}{43,2} (x - x_3) = 2,9 (x - x_3),$$

где x_3 — концентрация спирта в элюрате, % мол. Построение рабочей линии при концентрации спирта в питании $x_{пит} = 47,5\%$ вес. = $26,14\%$ мол. и угле наклона, тангенс которого равен 2,9, показано на рис. 15. Из графика следует, что концентрация спирта на питательной и нижележащих тарелках составляет $38,3\%$ мол. $\approx 60\%$ вес. При концентрации спирта 60% вес. наименьшим коэффициентом испарения из головных примесей обладает уксусный альдегид. По данным ВНИИФСа, в зерно-картофельном сырье нормального качества содержится максимум $0,04\%$ об. альдегида. Содержание альдегида в элюрате должно быть не более $0,0005\%$ об.

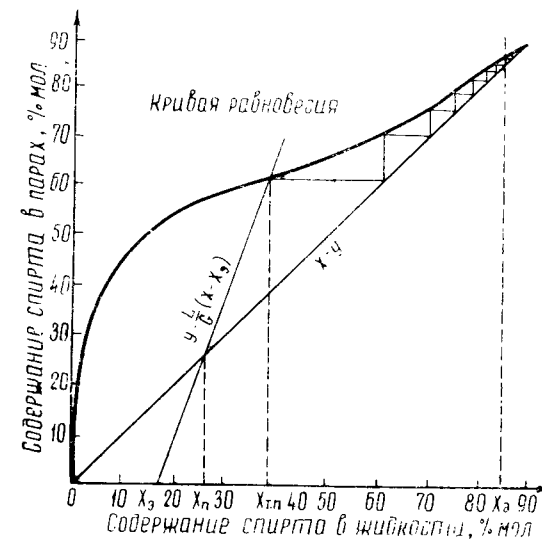


Рис. 15. График для определения числа теоретических тарелок в концентрационной части элюрационной колонны

Коэффициент испарения уксусного альдегида равен, по данным Сореля, $k = 4,0$. Подставляя полученные данные в формулу (8), получим:

5*

$$n = \frac{\lg \left[1 + \frac{0,04}{0,0005} \left(\frac{4,0 \cdot 43,2}{125,2} - 1 \right) \right]}{\lg \frac{4,0 \cdot 43,2}{125,2}} - 1 = 9,5 \text{ т. т.}$$

Принимая к. п. д. тарелок в выварной части эюрациионной колонны 0,55, получаем действительное число тарелок в выварной части эюрациионной колонны, которое равно:

$$n_{\text{в}} = \frac{9,5}{0,55} = 17 \text{ шт.}^*$$

Одна тарелка приходится на кубовую часть. Следовательно, в выварной части колонны необходимо иметь 16 тарелок. Определение числа тарелок в концентрационной части колонны при изменении концентрации спирта от 38,3% мол. до 84,1% мол. показано на рис. 15, из которого следует, что для изменения концентрации спирта в указанных интервалах требуется 7,5 т. т. Принимая к. п. д. тарелок в концентрационной части колонны 0,5, число реальных тарелок составит:

$$n_{\text{к}} = \frac{7,5}{0,5} = 15 \text{ шт.}$$

Общее число тарелок в эюрациионной колонне составит:

$$n = n_{\text{в}} + n_{\text{к}} = 16 + 15 = 31 \text{ шт.}$$

Диаметр эюрациионной колонны. Скорость пара в свободном сечении колонны определяется по уравнению Киршбаума:

$$\omega = A \gamma_{\text{п}}^{-m}, \quad (13)$$

где A и m — коэффициенты, определяемые расстоянием между тарелками;
 γ — плотность спиртовых паров крепостью 95,5% об., кг/м³.

Расстояние между тарелками принимаем 170 мм.

При таком расстоянии между тарелками коэффициенты A и m — будут следующие — $A = 0,7$, $m = 0,515$;
 $\omega = 0,7 \cdot 1,48^{-0,515} = 0,58 \text{ м/сек.}$

* Если учитывать область изменения концентрации спирта на нижних тарелках выварной части колонны от $x_{\text{п}}$ до $x_{\text{э}}$, то их число, определяемое графическим способом, увеличится на 3 т. т.

Количество спиртовых паров, поступающих в дефлегматор эюрациионной колонны, составит:

$$G = \frac{q}{r} = \frac{407\,910}{227,4} = 1800 \text{ кг/ч,}$$

где q — тепловая нагрузка на дефлегматор и конденсатор колонны, ккал/ч;

r — теплота парообразования спиртового погона крепостью 93,12% вес., ккал/кг.

Объем спиртовых паров в верхней части эюрациионной колонны составит:

$$V = \frac{G}{\gamma_{\text{п}}} = \frac{1800}{1,48} = 1220 \text{ м}^3 \text{ ч.}$$

Свободное сечение колонны равно:

$$F = \frac{1220}{0,58 \cdot 3600} = 0,582 \text{ м}^2.$$

Диаметр

$$D = \sqrt{\frac{0,582 \cdot 4}{\pi}} = 0,865 \text{ м, или } 865 \text{ мм.}$$

Таблица 25

Трубопроводы	Удельный вес продукта, кг/м ³	Пропускная способность		Скорость движения продукта, м/сек		Диаметр трубопровода, мм	
		кг/ч	м ³ /ч	допускаемая	принятая	расчетный	принятый
Для подвода погона из бражной колонны	920	2080	2,26	0,1—0,2	0,2	63,2	65
Для подвода флегмы	805	1750	2,17	0,1—0,2	0,2	62,0	65
Для подвода греющего пара (избыточное давление 2 ат)	622	765	470	20—40	20	91,5	100
Для отвода эюрата	943	2839,6	3,01	0,1—0,2	0,2	73,0	75
Для отвода спирто-водных паров в дефлегматор (1,02 ат)*	1,48	1750	1180	10—20	15	167	200

* Плотность спирто-водных паров определена по Н. Б. Варгафику.

Принимаем диаметр элюационной колонны $D = 900$ мм. Диаметры основных трубопроводов приведены в табл. 25.

Площадь паровыпускных отверстий барботера составляет:

$$F = 1,25 \frac{3,14 \cdot 90^2}{4} = 6350 \text{ мм}^2.$$

Диаметр отверстий барботера принимаем 8 мм, их количество составит:

$$n = \frac{6350}{\frac{3,14 \cdot 8^2}{4}} = 126 \text{ шт.}$$

При диаметре колонны 900 мм отверстиями занято 800 мм, шаг между отверстиями принимаем 25 мм:

$$n_1 = \frac{800}{25} + 1 = 33 \text{ шт.},$$

$$n_2 = \frac{126}{33} = 4 \text{ ряда},$$

$$t = \frac{3,14 \cdot 90}{2(4-1)} = 47 \text{ мм.}$$

Дефлегматор. Количество тепла, которое должно отводиться из дефлегматора и конденсатора по тепловому балансу элюационной колонны, соответствует 407910 ккал/ч. Примем, что тепловая нагрузка между дефлегматором и конденсатором распределяется в отношении 4:1.

Тепловая нагрузка на дефлегматор равна:

$$q_d = \frac{4}{5} 407910 = 327000 \text{ ккал/ч.}$$

Начальную температуру охлаждающей воды примем равной $t_{в.н} = 15^\circ \text{C}$, на выходе из дефлегматора $t_{в.к} = 70^\circ \text{C}$.

Расход охлаждающей воды составит:

$$W = \frac{407910}{(70-15) \cdot 1,0} = 7450 \text{ кг/ч, или } 7,45 \text{ м}^3 \text{ ч.}$$

Температура воды на выходе из конденсатора определяется по уравнению:

$$t'_в = t_{в.н} + \frac{q_k}{W} = 15 + \frac{407910 - 327000}{7450} = 26^\circ \text{C.}$$

Средняя разность температур в дефлегматоре равна:

$$\Delta t_{\text{ср}} = \frac{(78,3 - 26) - (78,3 - 70)}{2,3 \lg \frac{78,3 - 26}{78,3 - 70}} = 24^\circ \text{C.}$$

Коэффициент теплопередачи принимаем 400 ккал/(м²·ч·°C). Необходимая поверхность теплообмена дефлегматора будет равна:

$$F_d = \frac{327000}{24 \cdot 400} = 34 \text{ м}^2.$$

Принимаем к установке дефлегматор с поверхностью теплообмена 40 м².

Конденсатор. Принимаем конденсатор с вертикальной трубчатой поверхностью. Трубы медные диаметром 32/36 мм. Тепловая нагрузка конденсатора q_k складывается из теплоты конденсации Q_k и теплоты охлаждения $Q_{ох}$. Количество водно-спиртовых паров, поступающих в конденсатор G , найдем из соотношения:

$$q_k = Q_k + Q_{ох} = Gr + Gc(t_n - t_k),$$

где r — теплота конденсации паров при концентрации спирта 93,12% вес., ккал/кг;

c — теплоемкость спирто-водной смеси при той же концентрации, ккал/(кг·°C).

$$G = \frac{q_k}{r + c(t_n - t_k)} = \frac{80910}{228 + 0,7(78,3 - 30)} = 310 \text{ кг/ч},$$

$$Q_k = Gr = 310 \cdot 228 = 7050 \text{ ккал/ч},$$

$$Q_{ох} = 310 \cdot 0,7(78,3 - 30) = 10410 \text{ ккал/ч.}$$

Температура воды, выходящей из зоны охлаждения, равна:

$$t'_в = t_{в.н} + \frac{Q_{ох}}{W} = 15 + \frac{10410}{7450} = 16,4^\circ \text{C.}$$

Скорость движения воды в трубах принимаем $\omega = 0,035$ м/сек.

а) Конденсационная часть конденсатора

Средняя разность температур между рабочими средами

$$\overrightarrow{t_k = 78,3} \text{ пар}$$

$$\Delta t_{cp} = \frac{61,9 - 52,3}{2,3 \lg \frac{61,9}{52,3}} = 56,5 \text{ C}$$

$$\overleftarrow{t_{в'} = 26^\circ\text{C}; t_{в''} = 16,4^\circ\text{C}} \text{ вода}$$

Коэффициент теплопередачи определим по формуле (2). Для определения α_1 температуру стенки со стороны конденсирующегося пара примем равной 73°C . Разность между температурой конденсации и температурой стенки составит:

$$\Delta t_1 = t_k - t_{ст} = 78,3 - 73 \cong 5,3^\circ\text{C}.$$

Средняя температура пленки конденсата равна:

$$t_{пл} = \frac{t_k + t_{ст}}{2} = \frac{78,3 + 73}{2} \cong 75,6^\circ\text{C}.$$

Высоту трубок конденсационной части конденсатора примем $H = 1,2 \text{ м}$. Значение α_1 определим по номограмме Ройтера (рис. 16) при $H\Delta t_1 = 1,2 \cdot 5,3 = 6,36 \text{ м}^\circ\text{C}$; $\alpha_1 = 2550 \text{ ккал}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C})$. Для определения α_2 установим режим движения воды по трубам.

Средняя температура воды равна:

$$t_{в,ср} = \frac{t_{в''} + t_{в'}}{2} = \frac{16,4 + 26}{2} = 21,2^\circ\text{C}.$$

Кинематическая вязкость воды при данной температуре составляет $\nu = 0,98 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{сек}$.

Критерий Рейнольдса:

$$Re = \frac{\omega d}{\nu} = \frac{0,035 \cdot 0,032}{0,98 \cdot 10^{-6}} = 1143,$$

т. е. режим движения воды в трубах ламинарный.

Средняя температура пограничного слоя воды равна:

$$t_{ср,п.с} = \frac{t_{ст} + t_{в,ср}}{2} = \frac{73 + 21,2}{2} = 47,1^\circ\text{C}.$$

Физико-химические константы воды при $t_{п.с} = 47,1^\circ\text{C}$: кинематическая вязкость $\nu = 0,576 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{сек}$; теплопроводность $\lambda = 0,554 \text{ ккал}/(\text{м} \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C})$; число Прандтля $Pr = 3,78$; критерий Рейнольдса:

$$Re = \frac{\omega d}{\nu} = \frac{0,035 \cdot 0,032}{0,576 \cdot 10^{-6}} = 1920.$$

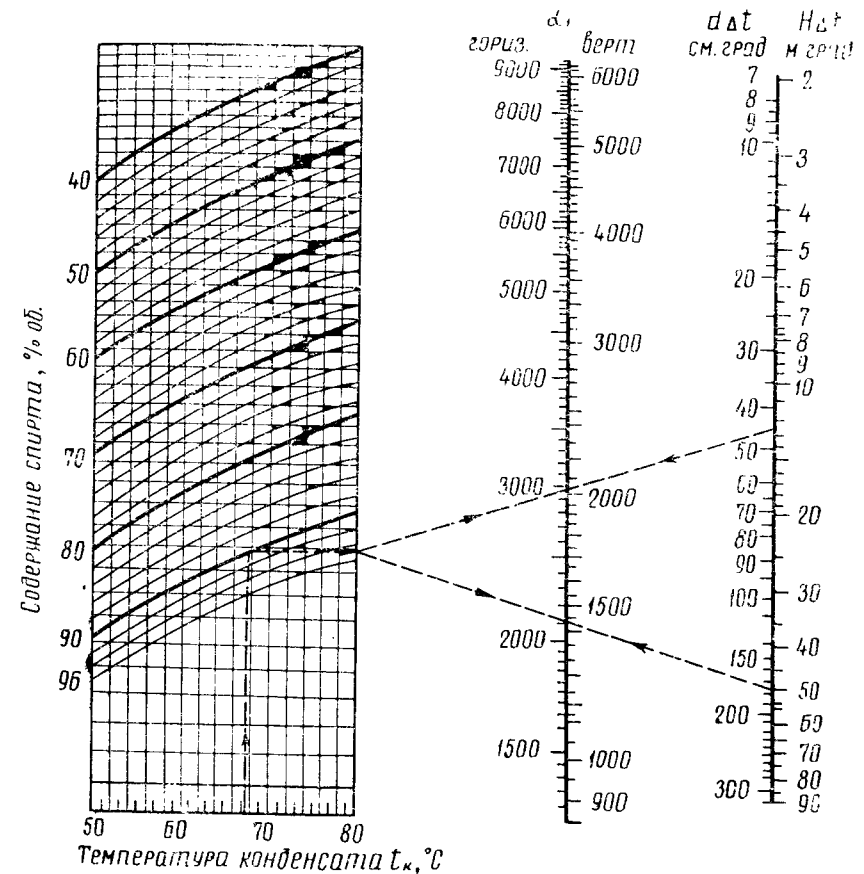


Рис. 16. Номограмма для определения коэффициента теплоотдачи при конденсации водно-спиртовых паров

Произведение критерия Рейнольдса и Прандтля — $RePr = 1920 \cdot 3,78 = 7250 > 1800$.

Следовательно, для нахождения величины α_2 критерий Нуссельта должен быть определен по формуле:

$$Nu = 0,74 (Re Pr)^{0,2} (Gr Pr)^{0,1},$$

$$Gr = \frac{\alpha^3 \gamma^2 \beta \Delta t}{\mu^2 g},$$

где β — коэффициент объемного расширения;
 Δt — разность температур поверхности стенки и
жидкости ($\Delta t = 73 - 21,2 = 51,8^\circ \text{C}$);
 $\beta = 47,0 \cdot 10^{-5}$;
 $\gamma = 987 \text{ кг/м}^3$;
 $\mu = 57,5 \cdot 10^{-6} \text{ кг/сек/м}^2$;
 $d = 0,032 \text{ м}$.

$$\text{Gr} = \frac{0,032^3 \cdot 987^2 \cdot 47,0 \cdot 10^{-5} \cdot 51,8}{57,5^2 \cdot (10^{-6})^2 \cdot 9,81} = 2,4 \cdot 10^7,$$

$$\text{Gr Pr} = 2,4 \cdot 10^7 \cdot 3,78 = 9,1 \cdot 10^7,$$

$$\text{Nu} = 0,85 \cdot 0,74 \cdot 7250^{0,2} (9,1 \cdot 10^7)^{0,1},$$

где 0,85 — коэффициент, учитывающий часть поверхности труб, не омываемых поперечным потоком.

$$\text{Nu} = 0,85 \cdot 0,74 \cdot 5,9 \cdot 6,3 = 23,4,$$

$$\alpha_2 = \frac{\text{Nu} \lambda}{d} = \frac{23,4 \cdot 0,554}{0,032} = 405 \text{ ккал/(м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^\circ \text{C)}.$$

Коэффициент теплопередачи при $\lambda_{\text{меди}} = 330 \text{ ккал/(м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^\circ \text{C)}$ составит

$$k = \frac{1}{\frac{1}{2550} + \frac{0,002}{330} + \frac{1}{405}} = 350 \text{ ккал/(м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^\circ \text{C)}.$$

Поверхность теплопередачи конденсационной части конденсатора составляет:

$$F_{\text{к}} = \frac{Q_{\text{к}}}{\Delta t_{\text{к}}} = \frac{70\,500}{56,5 \cdot 350} = 3,56 \text{ м}^2.$$

б) Охлаждающая часть конденсатора
Средняя разность температур между рабочими средами

$$\begin{array}{c} \overbrace{t_{\text{к}}=78,3^\circ \text{C}; t_{\text{ох}}=30^\circ \text{C}}^{\text{спирт}} \\ \Delta t_{\text{ср}} = \frac{(78,3 - 16,4) - (30 - 15)}{2,3 \lg \frac{78,3 - 16,4}{30 - 15}} = 33^\circ \text{C} \\ \underbrace{t_{\text{к}}''=16,4^\circ \text{C}; t_{\text{н}}=15^\circ \text{C}}_{\text{вода}} \end{array}$$

Коэффициент теплопередачи примем равным $k = 180 \text{ ккал/(м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^\circ \text{C)}$.

Поверхность теплообмена охлаждающей части конденсатора будет равна:

$$F_{\text{ох}} = \frac{10\,410}{33 \cdot 180} = 1,75 \text{ м}^2.$$

Общая поверхность конденсатора составит:

$$F = F_{\text{к}} + F_{\text{ох}} = 3,47 + 1,75 = 5,25 \text{ м}^2.$$

К установке принимаем конденсатор с поверхностью $F = 8 \text{ м}^2$.

РЕКТИФИКАЦИОННАЯ КОЛОННА

Принимаем флегмовое число, при котором работает колонна, равное $V = 4$.

Принимается, что сивушного масла, поступающего на аппарат, отбирается из ректификационной колонны в количестве 40% из жидкой фазы и 60% из паровой фазы. Всего сивушного масла отбирается (см. табл. 23) 2,96 кг/ч (1,184 кг/ч с жидкой фазой и 1,776 кг/ч с паровой фазой). Концентрация сивушного масла в паровой фазе принимается 20%. Количество абсолютного алкоголя, отбираемого из паровой фазы ректификационной колонны, составляет $1,776 \cdot \frac{100}{20} = 8,88 \text{ кг/ч}$. В сивушную колонну из жидкой фазы поступает (2,96 + 11,84) — 8,88 = 5,92 кг/ч. (2,96 + 11,84 — общее количество абсолютного алкоголя, отбираемого из зоны сивушных масел ректификационной колонны). Принимаемая крепость паров сивушного масла по спирту 50% вес.; количество погоня, отбираемого из паровой фазы ректификационной колонны, составит $\frac{8,88}{50} \cdot 100 = 17,76 \text{ кг/ч}$.

Количество отбираемого сивушного спирта при его крепости по спирту 60% вес. равно $\frac{5,92}{60} \cdot 100 = 9,88 \text{ кг/ч}$.

Материальный баланс

Приход, кг/ч	Расход, кг/ч
1. Элюрат — 2839,6	1. Спирт-ректификат — 998,0
2. Флегма — 5 D	2. Сивушный спирт — 9,88
3. Греющий пар P	3. Пары сивушного масла — 17,76
	4. Непастеризованный спирт — 21,0
	5. Лютерная вода (без конденсата пара) 2839,6 — (998 + 9,88 + 17,76 + 21,0) = 1792,96
	6. Пары флегмы — 5D
	7. Конденсат пара P

Количество паров, конденсирующихся в дефлегматоре, составит $5D = (998 + 21,0) \cdot 5 = 5090$ кг/ч.

Тепловой баланс

Приход, ккал/ч	Расход, ккал/ч
1. С элюратом $2839,6 \cdot 87 \cdot 1,05 = 260000$	1. Со спиртом-ректификатом — $998 \cdot 78,3 \cdot 0,65 = 50800$
2. С флегмой — $5095,0 \cdot 78,3 \cdot 0,65 = 260000$	2. С парами сивушного масла — $17,76 \cdot 350 = 6200$
3. С греющим паром — $650,3P$	3. С сивушным спиртом $9,88 \cdot 0,8 \cdot 7,95 = 630$
	4. С лютерной водой (без конденсата пара) — $1892,96 \cdot 104 \cdot 1,0 = 186000$
	5. С парами в дефлегматор — $5095,0 \cdot 294 = 1500000$
	6. С конденсатом пара — $104P$

На основании теплового баланса имеем: $650,3P + 260000 + 260000 = 50800 + 6200 + 630 + 186000 + 1500000 + 104P \cdot 546,3P = 1223630$; $P = 2240$ кг/ч.

Расход пара с учетом теплотерь (5%) составит 2350 кг/ч. Общий расход пара на аппарат (без сивушной колонны) равен $P = 2370 + 765 + 2350,0 = 5485$ кг/ч, или $\frac{5485 \cdot 24}{3000} = 44,0$ кг/дал спирта.

Число тарелок в ректификационной колонне. Для определения числа тарелок в концентрационной части колонны воспользуемся уравнением (5). Крепость ректификата (табл. 23) принята $x = 94\%$ вес. = $86,254\%$ мол.; $V = 4$.

Число тарелок определим графическим способом.

При $x = x_D$

$$y = x = 86,254\% \text{ мол.}$$

При $x = 0$

$$y = \frac{1}{4+1} 86,254 = 17,3\% \text{ мол.}$$

По двум полученным точкам на диаграмме $x-y$ строим рабочую линию укрепляющей части колонны (рис. 17).

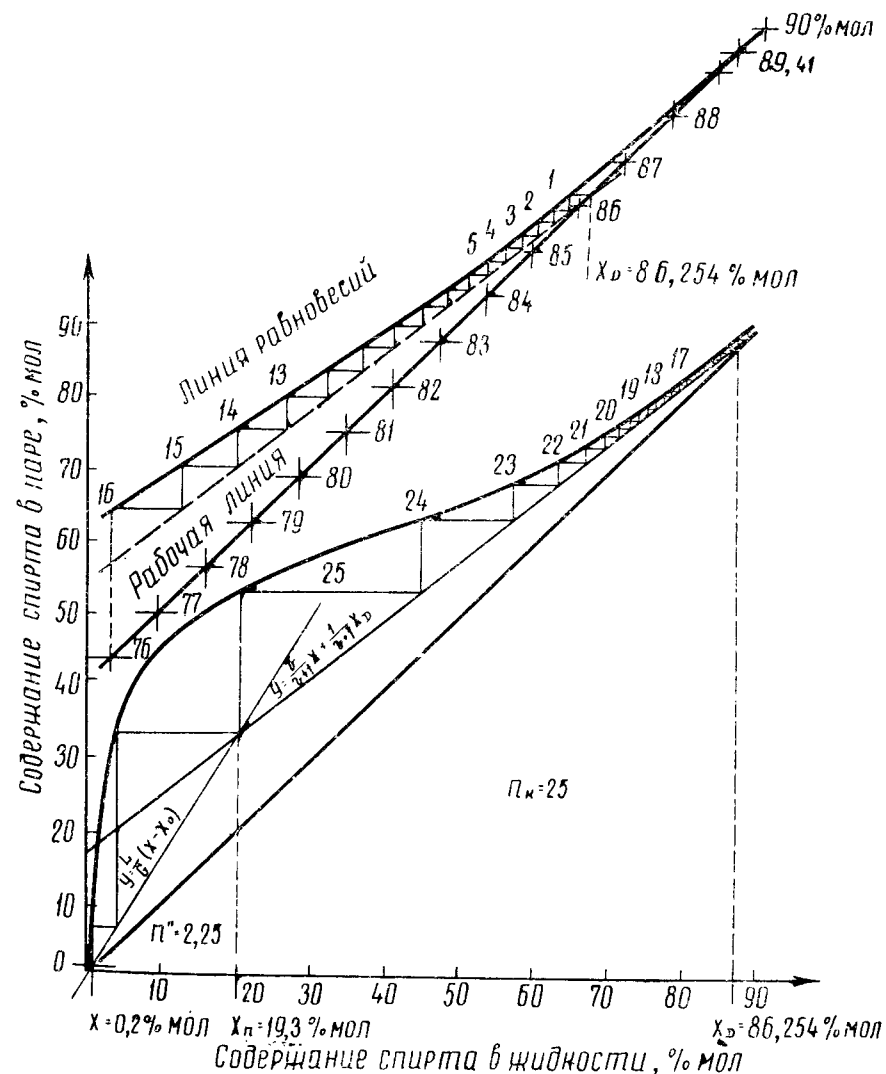


Рис. 17. График для определения числа теоретических тарелок в ректификационной колонне

Для построения рабочей линии выварной части колонны воспользуемся уравнением (7). Величина парового потока равна:

$$G = \frac{2350}{18} = 130 \text{ кмоль.}$$

Величина жидкостного потока складывается из потока эюрата (L') и потока флегмы (L''). Поток эюрата равен:

$$L' = \frac{2839,6}{22,8} = 124,5 \text{ кмоль}$$

(22,8 — средний молекулярный вес эюрата при концентрации спирта 34,7% вес.).

Поток флегмы

$$L'' = \frac{4(998 + 21)}{42,1} = 96,8 \text{ кмоль}$$

(42,1 — средний молекулярный вес флегмы при концентрации спирта 96,2% об.).

Величина жидкостного потока будет равна:

$$L = L' + L'' = 124,5 + 96,8 = 221,3 \text{ кмоль.}$$

Уравнение выварной части колонны будет иметь вид:

$$y = \frac{221,3}{130} (x - x_0) = 1,7 (x - x_0).$$

Концентрация спирта на питательной тарелке из графика (см. рис. 17) составляет 19,3% мол.

На участке изменения концентрации спирта от 19,3% мол. до 86,254% мол. определяем необходимое число теоретических тарелок в укрепляющей части колонны: $n' = 25$ т. т. При к. п. д. тарелок 0,5 число действительных тарелок будет равно $\frac{25,0}{0,5} = 50$ шт.

Число теоретических тарелок в выварной части колонны на участке изменения концентрации спирта от 0,2% мол. до 19,3% мол. согласно графику составляет $n'' = 2,25$ т. т. На участке изменения концентрации спирта от $x = 0,002\%$ мол. до $x_n = 0,2\%$ мол. при $k = 13$ число теоретических тарелок определится по формуле (8):

$$n' = \frac{\lg \left[1 + \frac{0,2}{0,002} \left(\frac{13 \cdot 130,0}{221,3} - 1 \right) \right]}{\lg \frac{13 \cdot 130}{221,3}} - 1 = 2,2 \text{ т.т.}$$

Общее число теоретических тарелок для выварной части колонны равно:

$$n_b = n' + n'' = 2,2 + 2,25 = 4,45 \text{ шт.}$$

При к. п. д. тарелок 0,5 их число в выварной части колонны будет равно

$$n_b = \frac{4,45}{0,5} = 9 \text{ шт.}$$

Одну тарелку, приходящуюся на кубовую часть колонны, исключаем, тогда $n_b = 8$ шт. Для устойчивой работы принимаем $n_b = 16$ шт. Общее число тарелок в ректификационной колонне составит:

$$n = n_k + n_b = 50 + 16 = 66 \text{ шт.}$$

Диаметр ректификационной колонны. Сечение ректификационной колонны определяем по ее верхней части, где объем паров будет иметь максимальное значение. Количество паров, поступающих в дефлегматор колонны, равно 5095 кг/ч. Объем паров определяем по формуле (1):

$$V = \frac{5095 \cdot 22,4 (273 + 78,3) 1,0}{1,03 \cdot 42,1 \cdot 273} = 3400 \text{ м}^3/\text{ч},$$

где 1,03 — давление в верхней части ректификационной колонны, кг/см².

Скорость паров в свободном сечении колонны определяем по формуле (13). Плотность спиртовых паров крепостью 96,2% об. при давлении 1,03 ат составляет:

$$\gamma_n = \frac{5095}{3400} = 1,5 \text{ кг/м}^3.$$

При расстоянии между тарелками 170 мм, величины A и m соответственно равны $A = 0,7$; $m = 0,515$; $\omega = 0,7 \cdot 1,5^{-0,515} = 0,57 \text{ м/сек.}$

Сечение колонны определится величиной:

$$F = \frac{3400}{0,57 \cdot 3600} = 1,66 \text{ м}^2.$$

Диаметр колонны равен:

$$D = \sqrt{\frac{1,66 \cdot 4}{\pi}} = 0,1450 \text{ м, или } 1450 \text{ мм.}$$

Принимаем диаметр ректификационной колонны 1500 мм. В ректификационной колонне устанавливаются многоколпачковые тарелки.

Диаметры основных трубопроводов приведены в табл. 26.

Таблица 26

Трубопроводы	Удельный вес продукта, кг/м ³	Пропускная способность		Скорость движения продукта, м/сек		Диаметр трубопровода, мм	
		кг/ч	м ³ /ч	допускаемая	принятая	расчетный	принятый
Для подвода элюрата	943	2839,6	3,01	0,1—0,2	0,2	73,0	75
Для подвода флегмы	807	4070	5,04	0,1—0,25	0,25	84,3	80
Для подвода греющего пара (p=3,0 ат)	1,622	2350	1450	20—40	25	143,5	150
Для отвода спиртовых паров в дефлегматор	1,5	5095	3400	10—20	15	284	300
Для отвода лютерной воды	1000	4142,17	4,14	0,15—0,8	0,15	99	100

Конструктивные размеры барботера рассчитываются так же, как и барботера бражной колонны.

Дефлегматор. Количество тепла, которое отводится из дефлегматора и конденсатора ректификационной колонны, из теплового баланса составляет $Q = 1500000 - 260000 = 1240000$ ккал/ч. Считая, что конденсатором будет отводиться 10% тепла, количество тепла, отводимое дефлегматором, будет равно $1240000 \cdot 0,9 = 1115100$ ккал/ч. Средняя разность температур между рабочими средами:

$$\Delta t_{cp} = \frac{(78,3 - 25) - (78,3 - 70)}{2,3 \lg \frac{78,3 - 25}{78,3 - 70}} = 24^\circ\text{C}.$$

Необходимая поверхность теплообмена дефлегматора при коэффициенте теплопередачи 500 ккал/(м²·ч·°C) равна:

$$F = \frac{1\,115\,100}{24 \cdot 500} = 92,7 \text{ м}^2.$$

Принимаем к установке двухсекционный дефлегматор с поверхностью теплообмена каждой секции $F = 50 \text{ м}^2$.

Поверхность теплообмена конденсатора принимаем равной $F = 10 \text{ м}^2$.

СИВУШНАЯ КОЛОННА

В практике сивушная колонна чаще всего эксплуатируется при периодическом отборе сивушного масла. До отбора сивушного масла сивушная колонна загружается промежуточной и концентрированной сивушной фракциями из ректификационной колонны, а отбор дистиллята из дефлегматора не производится, т. е. колонна работает при флегмовом числе, равном бесконечности, что обеспечивает необходимое концентрирование сивушного масла на тарелках сивушной колонны.

При образовании в фонаре слоя сивушного масла производится немедленный его отбор, после чего отбирается спирт из конденсатора колонны.

Материальный баланс

Приход, кг/ч	Расход, кг/ч
1. С парами сивушного масла — 17,76, в том числе спирта 8,88 воды 8,88	1. Сивушное масло на промывку (соотношение 1:1, один объем возвращаем в колонны) 5,92 <hr style="width: 50px; margin-left: 0;"/> 60 · 100 = 9,9, в том числе спирта 5,92 воды 3,98
2. С сивушным спиртом 9,88, в том числе спирта 5,92 · воды 3,96	2. Погон из колонны 11,84 <hr style="width: 50px; margin-left: 0;"/> 93,1 · 100 = 12,75, в том числе спирта 11,84 воды 0,91
3. Промывная вода: 2,96 <hr style="width: 50px; margin-left: 0;"/> 2,96 + x · 100 = 15 x = 16,8 2,96 + 16,8 = 19,76, в том числе спирта 2,96 воды 16,80	3. Лютерная вода (без конденсата пара) 17,76 + 9,88 + 19,76 — 9,9 — — 12,75 = 24,75
4. Пар (4 кг на 1 дал) * 500	4. Конденсатом пара — 500

* По данным В. Н. Стабникова.

Тепловой баланс

Приход, ккал/ч	Расход, ккал/ч
1. С парами сивушного масла $17,76 \cdot 20 \cdot 0,95 = 337$	1. С сивушным маслом $9,9 \cdot 8,9 \cdot 0,92 = 810$
2. С сивушным спиртом $9,88 \cdot 89 \cdot 0,92 = 807$	2. С погоном из колонны $12,75 \cdot 280 = 3570$
3. Промывная вода $19,76 \cdot 20 \cdot 1,0 = 395$	3. С лютерной водой (без конденсата пара) $24,75 \cdot 102 \cdot 1,0 = 2520$
4. Пар $500 \cdot 650,3 = 326000$	4. С конденсатом пара $102 \cdot 500 = 51000$
5. С жидкой флегмой $Q_{ж}$	5. С парами в дефлегматор $Q_{п}$

Из теплового баланса имеем, что

$$Q_{ж} + 337 + 807 + 395 + 326000 = Q_{п} + 810 + 3570 + 2520 + 51000.$$

Тепловая нагрузка на конденсатор и дефлегматор сивушной колонны составит:

$$q = Q_{п} - Q_{ж} = 269639 \text{ ккал ч.}$$

Число тарелок в сивушной колонне. По аналогии с расчетом числа тарелок в эшюрэционной колонне расчет числа тарелок в укрепляющей части сивушной колонны производится графическим способом при флегмовом числе, равном бесконечности. При этом рабочая линия укрепляющей части колонны совпадает с диагональю диаграммы $x=y$. Концентрация спирта на питательной тарелке принимается равной средней концентрации его в сивушной фракции, поступающей в колонну. При составлении материального баланса ректификационной колонны принято, что из паровой фазы отбирается сивушная фракция крепостью 50% вес., из жидкой фазы — крепостью 60% вес. Эти фракции объединяются и направляются в сивушную колонну. Средняя концентрация этой фракции по данным материального баланса составляет $(17,76 \cdot 28,12 + 9,88 \cdot 36,98) : 27,64 = 31,2\%$ мол. (28,12 и 36,98 концентрация спирта в сивушных фракциях, отбираемых из паровой и жидкой фазы, в % мол.).

Укрепляющим действием дефлегматора и конденсатора сивушной колонны пренебрегаем. Применяя графический способ определения числа тарелок в укрепляющей части сивушной колонны, получаем, что для изменения концентрации спирта в пределах от

31,2% мол. до 88,8% мол. требуется 17,5 т. т. Принимая средний к. п. д. тарелок 0,5, определим число реальных тарелок в укрепляющей части сивушной колонны

$$n = \frac{17,5}{0,5} = 35 \text{ шт.}$$

Число тарелок в выварной части колонны определяется графоаналитическим методом по уравнению (8). Величина парового потока составляет:

$$G = \frac{500}{18} = 27,8 \text{ кмоль.}$$

Величина жидкостного потока L складывается из потока питания L' , возврата промывных вод L'' и потока флегмы L''' . Поток питания составляет

$$L' = \frac{27,64}{26,75} = 1,03 \text{ кмоль}$$

(26,75 средний молекулярный вес питания при концентрации питания 31,2% мол). Поток промывных вод составляет:

$$L'' = \frac{19,76}{19,8} = 0,998 \text{ кмоль.}$$

Количество паров спирта в дефлегматоре примем равным величине парового потока, так как принято, что сивушная колонна работает при флегмовом числе, равном бесконечности — $L''' = 27,8$ кмоль. Общая величина жидкостного потока составляет:

$$L = L' + L'' + L''' = 1,03 + 0,998 + 27,8 = 30,0 \text{ кмоль.}$$

Подставляя полученные данные в формулу Сореля, получим:

$$n'' = \frac{\lg \left[1 + \frac{0,2}{0,002} \left(\frac{13 \cdot 27,8}{30} - 1 \right) \right]}{\lg \frac{13 \cdot 27,8}{30}} - 1 = 1,8 \text{ т. т.}$$

На участке изменения концентрации от 0,2% мол. до 31,2% мол. $n'' = 2$ т. т.

Общее число теоретических тарелок для выварной части сивушной колонны составляет $n = n' + n'' = 1,8 + 2 = 3,8$ шт. Принимая к. п. д. тарелок 0,5, их число в выварной части колонны будет равно $n_{в} = \frac{3,8}{0,5} = 8$ шт.

Учитывая возможность переработки большого количества промывных холодных вод, принимаем число тарелок в выварной части колонны 16 шт.

Общее число тарелок в сивушной колонне будет равно $n = n_k + n_b = 35 + 16 = 51$ шт.

Диаметр сивушной колонны. Количество паров, поступающих в дефлегматор колонны, равно:

$$G = \frac{q}{r} = \frac{269\,639}{228} = 1180 \text{ кг ч,}$$

где q — тепловая нагрузка на дефлегматор и конденсатор колонны, ккал/ч ;

r — теплота конденсации спиртовых паров крепостью 93,1% вес., ккал/кг .

Объем паров определяем по формуле (1):

$$V = \frac{1180 \cdot 22,4 (273 + 78,3) 1,0}{1,03 \cdot 41,7 \cdot 273} = 790 \text{ м}^3/\text{ч,}$$

где 41,7 — средний молекулярный вес паров крепостью 93,1% вес. Скорость паров в свободном сечении колонны, определенная по формуле (13), равна $\omega = 0,57 \text{ м/сек}$. Определяем сечение колонны, которое равно:

$$F = \frac{790}{0,57 \cdot 3600} = 0,387 \text{ м}^2.$$

Диаметр колонны равен:

$$D = \sqrt{\frac{0,387 \cdot 4}{\pi}} = 0,705 \text{ м, или } 705 \text{ мм.}$$

Принимаем диаметр сивушной колонны 700 мм. Сивушная колонна оборудована многоколпачковыми тарелками. Расчет основных трубопроводов сивушной колонны аналогичен расчету их в эспираторной и ректификационной колоннах.

Дефлегматор. Тепловая нагрузка на дефлегматор и конденсатор сивушной колонны определяется величиной 269639 ккал/ч (см. тепловой баланс колонны). Принимая, что 10% тепла отводится конденсатором, получаем $269639 \cdot 0,1 \approx 26964 \text{ ккал/ч}$. Средняя разность температур равна:

$$\Delta t_{\text{ср}} = \frac{(78,2 - 25) - (78,2 - 70)}{2,31 \lg \frac{78,2 - 25}{78,2 - 70}} = 24^\circ\text{C.}$$

Необходимая поверхность теплообмена дефлегматора при $K = 500 \text{ ккал/(м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C)}$ составляет:

$$F = \frac{242\,675}{24 \cdot 500} \approx 20 \text{ м}^2.$$

Учитывая возможность отложения солей на внутренних стенках трубок, принимаем для установки вертикальный дефлегматор с поверхностью охлаждения $F = 25 \text{ м}^2$. Поверхность охлаждения конденсатора принимается равной $F = 15 \text{ м}^2$.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ РЕЖИМ РАБОТЫ БРАГОРЕКТИФИКАЦИОННОГО АППАРАТА

Поддержание оптимального технологического режима работы аппарата является основным фактором, определяющим качество получаемого спирта.

В табл. 27 приведен режим работы брагоректификационного аппарата косвенного действия, установленный в процессе многолетней эксплуатации аппарата.

Таблица 27

Показатели	Брагоректификационный аппарат косвенного действия
Бражная колонна	
Температура, °C	
вверху колонны	93—94
внизу колонны	102—105
отходящей из дефлегматора воды	65—70
Давление внизу колонны, мм вод. ст.	1800—2100
Эспираторная колонна	
Температура, °C	
вверху колонны	79—80
внизу колонны	86—89
отходящей воды из дефлегматора	65—70
Давление внизу колонны, мм вод. ст.	1200—1500
Отбор ЭАФ к суточной производительности аппарата, %	1—4
Ректификационная колонна	
Температура, °C	
вверху колонны	79—80
в зоне отбора сивушного спирта	86—88
внизу колонны	102—105

Показатели	Брагоректификационный аппарат косвенного действия
отходящей воды из дефлегматора	65—70
Давление внизу колонны, мм вод. ст.	2100—2200
Отбор непастеризованного спирта к суточной производительности аппарата, %	0,5—1,0
Отбор сивушного спирта к суточной производительности аппарата, %	1,0—1,5
Отбор сивушного масла из паровой фазы к суточной производительности аппарата, %	1,0—1,5
Сивушная колонна	
Температура, °С	
вверху колонны	79—80
в зоне отбора сивушного масла	90—92
внизу колонны	102—103
отходящей воды из дефлегматора	60—65
Давление, мм вод. ст.	
внизу колонны	1400—1600
в зоне отбора сивушного масла	900—1000

ПУСК, НАЛАДКА И ОСТАНОВКА БРАГОРЕКТИФИКАЦИОННОГО АППАРАТА

После гидравлического испытания колонн, теплообменников и трубопроводов брагоректификационного аппарата водой производится пуск аппарата на паре. Для этого сначала необходимо дать охлаждающую воду в дефлегматоры и конденсаторы всех колонн, за исключением сивушной колонны, которая подключается после вывода бражной, элюрационной и ректификационной колонны на рабочий режим. Греющий пар в бражную, элюрационную и ректификационную колонны подается постепенно, чтобы избежать сильных гидравлических ударов, возникающих от конденсации выходящего из барботера греющего пара.

Как только нижние части бражной и ректификационной колонн прогреются, что определяется дистанционными термометрами ($t = 100^{\circ}\text{C}$), термобаллоны которых установлены в кубовой части вышеуказанных колонн, открывают задвижки на трубопроводах к бардорегулятору и к гидрозатвору для ректификационной ко-

лонны выхода конденсата пара. Подачу пара постепенно увеличивают, одновременно наблюдая за скоростью прогрева колонн. Предварительно парорегуляторы и вакуум-прерыватели на бражной элюрационной и ректификационной колоннах должны быть залиты водой. Как только избыток конденсата греющего пара сойдет из колонны, что определяется по водомерному стеклу в кубовой части колонн, подключают парорегуляторы и вакуум-прерыватели открытием кранов на паровых коммуникациях, соединяющих их с паровым пространством куба колонны.

Скорость прогрева колонн определяют по степени увеличения высоты водяного столба в водомерных трубках парорегуляторов и вакуум-прерывателей, а также по показаниям термометров на контрольных тарелках. Когда ртутные термометры, установленные на паровых трубопроводах, соединяющих верх колонны с дефлегматором, покажут температуру $99—100^{\circ}\text{C}$, можно считать, что колонны полностью прогреты. Через смотровые фонари элюрационной и ректификационной колонны должен проходить конденсат греющего пара, после чего отбор их прекращается. Напорный бак охлаждающей воды должен быть заполнен полностью водой. Включают подачу охлаждающей воды на спиртоловушку, после чего перемешивают бражку в передаточном чане циркуляционным насосом. Постепенно начинают подавать бражку на аппарат. Сначала бражку подают в количестве, соответствующем 30%-ной производительности, которая определяется по числу оборотов коленчатого вала бражного насоса. Во избежание потерь спирта с бардой увеличивают подачу пара в бражную колонну, наблюдая при этом высоту водяного столба в водомерном стекле парорегулятора бражной колонны.

По истечении 15—20 мин и при отсутствии потерь спирта в барде увеличивают подачу бражки в бражную колонну путем постепенного увеличения числа оборотов коленчатого вала бражного насоса (до полной его производительности).

Подачу охлаждающей воды на водяную секцию брагоподогревателей регулируют так, чтобы температура отходящей воды была равна $60—65^{\circ}\text{C}$. Бражка должна подогреваться до температуры $75—80^{\circ}\text{C}$. Элюрационная

колонна постепенно начинает насыщаться спиртом, поступающим с спиртовым погоном из бражной колонны.

В процессе работы элюационной колонны на ее верхних тарелках происходит концентрация эфиров и альдегидов, однако этот процесс протекает довольно медленно и требуется многочасовая работа аппарата для того, чтобы получить эфиро-альдегидную фракцию (ЭАФ) бледно-зеленого цвета. На брагоректификационных аппаратах косвенного действия подачу лютерной воды для рассиропки спирта в элюационной колонне на практике, как правило, не производят даже при условии вывода элюационной колонны на рабочий режим, так как бражной дистиллят, поступающий из бражной колонны, имеет крепость 40—45% об. при перегонке зерно-картофельных бражек и дальнейшее разбавление его лютерной водой нецелесообразно — это приводит к сокращению производительности аппарата.

Элюат из элюационной колонны поступает в выварную часть ректификационной колонны, где он полностью истощается от спирта. Полное насыщение ректификационной колонны наступает тогда, когда температура на нижних укрепляющих тарелках ректификационной колонны будет соответствовать 86—88°С. Температурный и технологический режим работы элюационной и ректификационной колонн должен соответствовать показателям, приведенным в табл. 27.

После установления в ректификационной колонне рабочего температурного режима регулируют отбор неастиризованного спирта из конденсатора ректификационной колонны так, чтобы он вытекал через смотровой фонарь струйкой диаметром не более 3 мм. После этого выпускают небольшой струей ректифицированный спирт с верхних тарелок отбора, крепость которого после промывки трубопроводов и змеевикового холодильника от воды должна быть не ниже 96,4—96,5% об. Если спирт не удовлетворяет требованиям стандарта, что возникает чаще всего из-за загрязнения колонны при первом пуске, его направляют в бражный резервуар и продолжают промывку ректификационной колонны спиртом. Если спирт-ректификат удовлетворяет требованиям стандар-

та, его направляют через контрольный фонарь в сборник сливного отделения.

После этого регулируют работу аппарата на его полную производительность, доводя крепость спирта до требуемой величины путем увеличения подачи бражки, пара в колонны, поддержанием постоянства показателей температурного и технологического режима их работы, достигая соответствия спирта, поступающего на аппарат с бражкой и отбираемого с аппарата из ректификационной колонны. Отсутствие сверхнормативных потерь спирта с бардой и лютерной водой достигается правильным соотношением парового потока, поднимающегося в колонне навстречу стекающей флегме, что косвенно фиксируется по давлению внизу колонны и поддержанием температурного режима на контрольных тарелках и температуры охлаждающей воды.

Температура отходящей из дефлегматоров воды дает представление о его работе в отношении питания колонны флегмой. Понижение температуры отходящей воды ниже нормы вызывает образование излишней флегмы, что приводит к увеличению удельного расхода пара.

Повышение или понижение (против нормы) температуры на контрольных тарелках колонн указывает, что аппарат или истощается или перегружается спиртом. И то и другое нежелательно, так как ухудшается качество спирта, повышаются потери его с бардой и лютерной водой. ЭАФ начинают отбирать непрерывно, примерно через 10—15 ч с момента вывода аппарата на рабочий режим.

Сивушный спирт с нижних тарелок укрепляющей части ректификационной колонны, пары сивушного масла из ее выварной части отбирают через 24—36 ч с момента начала работы аппарата по заданному режиму, которые затем направляют в предварительно прогретую паром сивушную колонну.

Сивушная колонна прогревается вышеописанным способом. После насыщения сивушной колонны спиртом, когда температура на контрольных тарелках будет соответствовать данным, приведенным в табл. 27, приступают к отбору сивушного масла. При этом в смотровом фонаре колонны, расположенном на уровне средней части аккумуляторной тарги, должны быть обозначены

два слоя: сивушного масла и водно-спиртовой жидкости, что указывает на насыщение колонны сивушным маслом. Сивушное масло отбирают с одной из укрепляющих тарелок колонны, которое направляется в сивухопромыватели на промывку. Слабая водно-спиртовая жидкость из сивухопромывателей возвращается в бражной резервуар или в выварную часть сивушной колонны.

Отбор спиртовых погонов из конденсатора сивушной колонны крепостью не ниже 96,2% об. регулируется таким образом, чтобы исключалось истощение сивушной колонны от спирта, что фиксируется повышением температуры на контрольной тарелке колонны. Спиртовые погоны должны выпускаться как спирт, используемый в дальнейшем на технические цели. В противном случае его смешивают с ЭАФ.

При вынужденной остановке аппарата прекращают подачу бражки в бражную колонну, максимально возможно истощают ее от спирта и в течение 20—30 мин продолжают отбор конечных продуктов ректификации. При достижении температуры насыщения ректификационной колонны спиртом 93—95°С прекращают отбор ректифицированного спирта, прекращают подачу греющего пара в колонны, одновременно закрывая выход барды, люгерной воды из колонн аппарата. После охлаждения колонн аппарата прекращают подачу охлаждающей воды на теплообменники. При длительной остановке аппарата колонны освобождаются от спирта полностью.

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ КОНСТРУКЦИИ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО РЕЖИМА РАБОТЫ БРАГОРЕКТИФИКАЦИОННЫХ АППАРАТОВ

За период оснащения спиртовой и ликеро-водочной промышленности непрерывно действующими брагоректификационными и ректификационными аппаратами работниками научно-исследовательских институтов и промышленности проведены значительные работы по усовершенствованию конструкции и режимов работы аппаратов.

В результате проведенных работ было повышено качество ректифицированного спирта при изменившемся составе сырья, перерабатываемого на спирт, а также снижена энергоемкость существующих аппаратов по расходу пара и воды на 1 дал спирта.

Качество спирта повысилось в результате улучшения условий для максимально возможного вывода примесей из колонн аппаратов и сокращения замкнутых контуров, по которым циркулируют полупродукты, обогащенные примесями, а также в результате разработки новых технологических способов очистки спирта в системе брагоректификации. Для снижения энергоемкости аппаратов были внедрены более совершенные технологические режимы их работы; для поддержания оптимального температурного режима работы колонн аппараты снабжены приборами автоматического регулирования, более эффективно использовались имеющиеся поверхности теплообмена.

Парк брагоректификационных и ректификационных аппаратов непрерывного действия в спиртовой и ликеро-водочной промышленности в основном представлен аппаратами косвенного действия.

БРАЖНАЯ КОЛОННА

Назначением бражной колонны является обеспечение полной выварки бражки от спирта и сопутствующих ей летучих примесей при наименьшем расходе пара.

Переливаясь с тарелки на тарелку через сливные трубки, бражка образует тонкий слой жидкости и выходит из колонны в виде барды. Одновременно пар подается через барботер, расположенный внизу колонны, и кипит жидкость на первой тарелке. Пар выделяется из кипящего слоя жидкости на этой тарелке, проходит через отверстия в верхней тарелке и конденсируется в следующем жидком слое, испаряя за счет теплоты конденсации эквивалентное (в молярном соотношении) количество жидкости. На следующих тарелках повторяется тот же процесс. Так как спирт имеет более высокую упругость паров и испаряется с каждой тарелки быстрее воды, концентрация спирта в поднимающихся парах увеличивается от тарелки к тарелке. Хотя жидкость на каждой тарелке непрерывно отдает спирт, ее концентрация по спирту остается постоянной, так как она непре-

равно получает новое питание со следующей верхней тарелки. Полная выварка спирта может быть достигнута при правильном соотношении стекающей вниз по колонне бражки и поднимающегося навстречу пара при допустимой скорости пара в свободном сечении колонны. Расход пара в бражной колонне зависит от нескольких факторов: температуры подогрева бражки, числа тарелок, коэффициента избытка пара.

Пар, поступающий в бражную колонну, осуществляет тепло- и массообмен между жидкостью и паром при температуре кипения жидкости на тарелках, а также подогревает бражку в брагоподогревателях.

Данные теплового баланса бражной колонны показывают, что все тепло, вводимое в колонну с паром, нельзя полностью отнести за счет подогрева бражки. Часть тепла отводится с охлаждающей водой, для чего брагоподогреватели оборудуются обязательно наряду с бражными также водяными секциями. Следовательно, определенная часть тепла является потерянной. Та часть тепла, которая возвращается в колонну с нагретой бражкой, может существенно повлиять на расход пара для перегонки бражки, а также на работу колонны в целом.

Температура подогрева бражки. Температура бражки, поступающей на питающую тарелку бражной колонны, должна быть ниже температуры ее кипения. Поэтому на питающей тарелке происходит конденсация спиртовых паров, поднимающихся с нижележащей тарелки, вследствие чего концентрация спирта на ней выше, чем в поступающей бражке. Чем ниже температура поступающей бражки, тем выше концентрация спирта на питающей тарелке. Зависимость содержания спирта на питающей тарелке от температуры поступающей бражки установлена Е. Ф. Четвериковым. Зависимость крепости спирта на питающей тарелке от количества тепла, необходимого для подогрева бражки на ней до кипения, представлена В. Н. Стабниковым на рис. 13.

Установлено, что предварительный нагрев бражки, например, крепостью 7,0% вес. с 40 до 75° С может снизить расход тепла на перегонку бражки примерно на 10—15%. Однако чрезмерный нагрев бражки выше оптимальной температуры нарушает режим работы колонны на истощение спирта, вследствие чего повышаются потери спирта с бардой.

В случае недогрева бражки при поступлении в аппарат, хотя и возрастает концентрация спирта на питающей тарелке, вываривание спирта протекает лучше за счет увеличенного расхода пара и отчасти за счет увеличения эффективности (к. п. д.) тарелок.

На рис. 18 представлена зависимость расхода пара в бражной колонне, имеющей 22 тарелки, от степени нагрева бражки в брагоподогревателях.

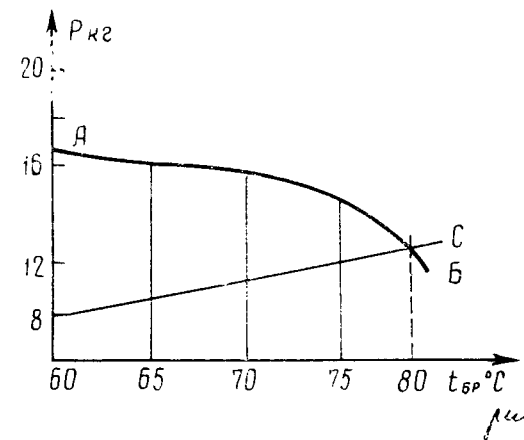


Рис. 18. Зависимость расхода пара от температуры подогрева бражки

Верхняя кривая обозначает расход пара на истощение спирта из 100 кг бражки крепостью 7,0% вес. в зависимости от температуры нагрева бражки. Нижняя кривая показывает расход пара на истощение спирта из бражки при температуре кипения ее на питающей тарелке. Точка пересечения кривых соответствует оптимальной для указанных условий температуре нагрева бражки в брагоподогревателях (78—80° С). При более низкой температуре подогрева бражки на истощение 100 кг расходуется пара больше, чем требуется для создания оптимального температурного уровня; часть пара поэтому без пользы отводится охлаждающей водой. Область, ограниченная кривыми и осью ординат, определяет то количество тепла, которое можно сэкономить за счет подогрева бражки; оно может составлять до 15%. Одновременно уменьшается расход охлаждающей воды.

Целесообразность подогрева бражки выше установленной температуры была проверена на практике на брагоректификационном аппарате косвенного действия производительностью 3000 дал/сутки. Общая поверх-

ность брагоподогревателя составляла $F = 100 \text{ м}^2$, из которых три секции по $F = 25 \text{ м}^2$ каждая охлаждались бражкой и одна секция — 25 м^2 — охлаждалась водой.

При испытании аппарата были получены следующие результаты.

Потери спирта с бардой были выше нормативных (до 0,2%). Увеличение подачи пара в бражную колонну повышало и без того высокую температуру подогрева бражки (до 99°С). Потери спирта с бардой увеличивались. Давление в бражной колонне повышалось до 3000 мм вод. ст. Температура внизу бражной колонны повышалась на 2°С , что увеличивало расход пара на 6%. При этом скорость пара в живом сечении тарелок резко возрастала, что приводило к сокращению времени контакта пара с бражкой. К.п.д. тарелок резко снижался, следствием чего были потери спирта с бардой.

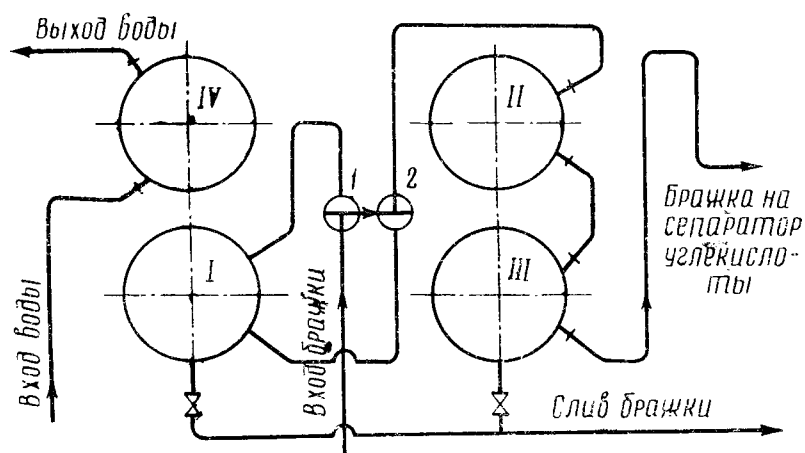


Рис. 19. Схема отключения бражного барабана в брагоподогревателе:

I, II, III — бражные барабаны; IV — водяная секция подогревателя; 1, 2 — трехходовые краны диаметром 100 мм

Аппарат был остановлен, брагоподогреватель был оборудован приспособлением (рис. 19) для отключения одной секции бражного подогревателя. После повторного пуска при работе двух бражных секций и секции водяного охлаждения температура подогрева бражки соответствовала $75\text{—}80^\circ \text{С}$, не было потерь спирта с бардой, температура внизу колонны была $102\text{—}103^\circ \text{С}$, режим работы колонны стал устойчивым, расход пара уменьшился.

На основании вышеизложенного можно сделать вывод, что оптимальный подогрев бражки перед поступлением ее в бражную колонну должен быть $75\text{—}80^\circ \text{С}$. В соответствии с этим должны быть рассчитаны поверхности брагоподогревателей.

Число тарелок в бражной колонне. Расход пара на перегонку бражки зависит не только от крепости ее и температуры подогрева, но и от числа тарелок в бражной колонне.

К. П. Андреев указывает, что уменьшение числа тарелок с 22 до 20 повышает расход пара на истощение спирта из сульфитногидролизной бражки крепостью 1,2% об. приблизительно на 2,2% и, наоборот, увеличение числа тарелок снижает расход пара. Это объясняется тем, что в бражной колонне с 22 тарелками создаются оптимальные условия для многократного использования тепла греющего пара, поднимающегося по колонне на истощение спирта из бражки.

В спиртовой промышленности, где перерабатываются более крепкие бражки (6—10,0% об.), число тарелок в бражной колонне должно быть не менее 23—25.

Коэффициент избытка пара в бражной колонне. При минимальном расходе пара (P_{\min}) требуется бесконечно большое число тарелок в бражной колонне. Поэтому в реальной колонне с определенным числом тарелок всегда должен быть избыток пара, который выражается коэффициентом избытка:

$$\beta = \frac{P}{P_{\min}},$$

где P — расход пара в бражной колонне с конечным числом тарелок.

И. Т. Малезик и П. С. Цыганков, пользуясь методом А. Н. Плановского, определили оптимальные значения коэффициента избытка пара бражной колонны. Для расчета ими принимались данные, аналогичные исходным данным для расчета аппарата производительностью 3000 дал/сутки.

Установлено, что оптимальное значение β при конечном числе тарелок равно 1,25; расход пара соответствовал 19,3 кг/дал.

На практике бражные колонны с 25 тарелками потребляют установленное количество пара. Если число

тарелок меньше 25, то коэффициент избытка пара больше вышеуказанной величины.

В процессе эксплуатации аппаратов в спиртовой промышленности выявили, что в брагоректификационных аппаратах всех систем наиболее узким местом является бражная колонна, которая часто забивается, вследствие чего колонну останавливают на чистку. Производительность аппарата в значительной степени определяется производительностью бражной колонны, которая зависит не только от размеров колонны и вышеперечисленных факторов, но и от расстояния между тарелками, их конструкции, а также характеристики персгоняемых бражек. Кроме конструктивных и технологических показателей при определении производительности бражных колонн, руководствуются практическими данными (табл. 28).

Таблица 28

Диаметр бражной колонны, мм	Производительность колонн, имеющих от 22 до 25 тарелок	
	с двойной вываркой	ситчатые
От 850 до 950	165	—
От 950 до 1200	150	200
От 1200 до 1500	135	180
От 1500 до 2000	—	238

В зависимости от ряда неучтенных факторов производительность бражных колонн может отличаться от приведенных данных на 5—10%. При переработке бражек из толстокожурного зерна (ячменя) на брагоректификационных аппаратах производительностью 3000 дал/сутки и выше, бражные колонны которых оборудованы ситчатыми тарелками, сливные стаканы быстро засоряются шелухой, следствием чего является частая остановка бражных колонн на чистку, сопровождающаяся большими потерями спирта. Причиной этого нежелательного явления является устройство сливных стаканов и наличие сливных порогов, определяющих высоту барботажного слоя бражки на тарелке.

Как отмечалось выше, для равномерного распределения бражки по тарелке у места выхода бражки из

сливного стакана ситчатая тарелка имеет переливной порог высотой до 90 мм. Линия перелива имеет пилообразную форму с высотой зуба до 10—12 мм.

Сливной стакан по всей высоте имеет цилиндрическую или овальную форму. Бражка, последовательно перетекая от тарелки к тарелке через сливные стаканы, как бы фильтруется через зубовидные выступы переливного порога, вследствие чего в пространстве, ограниченном переливным порогом и корпусом колонны, скапливается шелуха, образуя «шапку», затрудняющую нормальный слив бражки из сливного стакана. При определенных условиях сливной стакан забивается

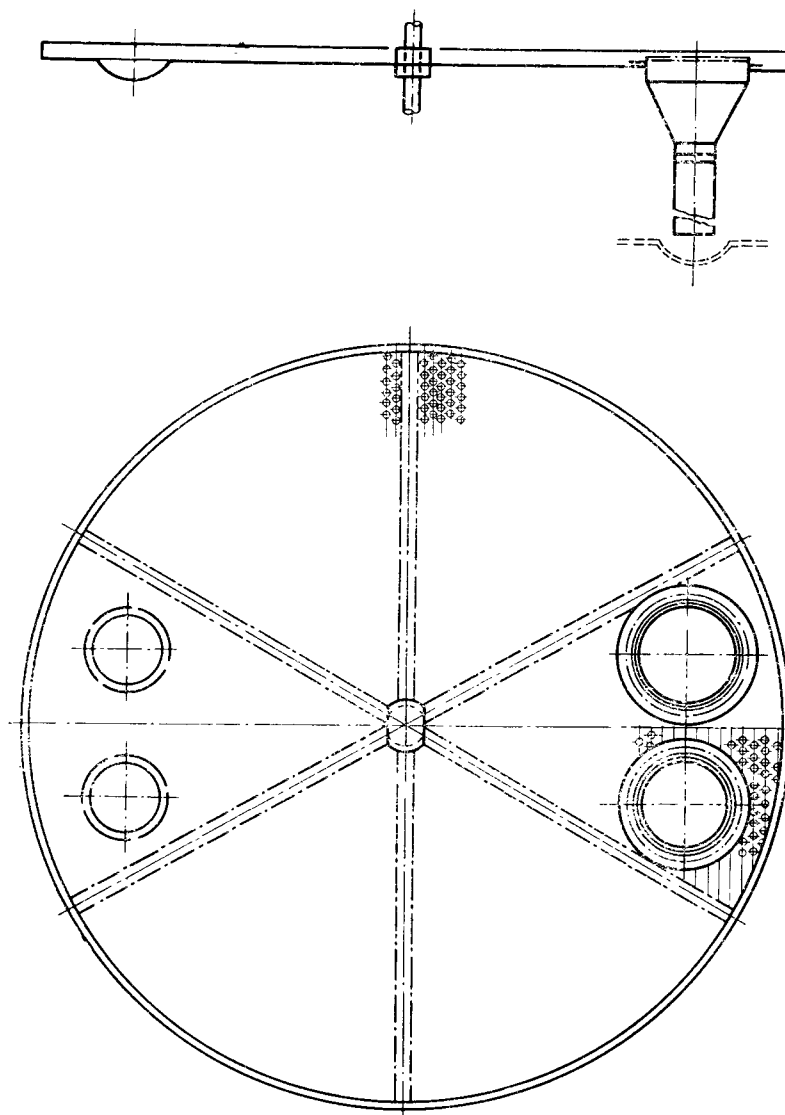


Рис. 20. Схема ситчатой тарелки фирмы «Badger»

шелухой, при этом прекращается нормальная работа колонны. При переработке кожурного сырья бражную колонну приходится останавливать на чистку через 5—6 ч с момента пуска аппарата.

На Плавском и Благовещенском спиртовых заводах сливные устройства ситчатых тарелок были переделаны по аналогии с конструкцией ситчатых тарелок фирмы «Badger» (рис. 20). Для этого сливные пороги на тарелке были упразднены, роль гидрозатвора для нижнего среза сливного стакана выполняли барботажный слой на тарелке, а также полусферическое углубление по месту слива бражки из сливного стакана. Барботажный слой на тарелке обеспечивался вставкой в стакане. Верхняя часть слива сливного стакана выполнена в виде воронки с постепенным переходом на расчетный диаметр сливного стакана.

Как показал многолетний опыт работы Петровского спиртового завода, на котором эксплуатируется бражная колонна с тарелками системы «Badger», сливные устройства при переработке всех видов сырья, включая толстокожурное, не забивались.

В качестве одного из мероприятий, исключаящих забивку сливных стаканов бражной колонны при переработке толстокожурного сырья, является внедрение непрерывной тепловой обработки крахмалистого сырья в измельченном виде.

Система вывода углекислого газа из сепаратора бражки на существующих брагоректификационных аппаратах не обеспечивает полного выделения углекислоты, в результате чего она попадает в брагоподогреватели, эюрационную и ректификационную колонны, чем ухудшает процесс укрепления спирта на тарелках колонн и теплообмен в дефлегматорах и конденсаторах, снижает пробу спирта на окисляемость. Система воздушников для вывода CO_2 и неконденсирующихся газов объединена в общий коллектор, по которому газы поступают в ловушку. Диаметр труб воздушников обычно не более 10—15 мм, что недостаточно для свободного выхода газов. Сопротивление выходу CO_2 в воздушниках создает подпор при работе колонн, что ухудшает работу аппарата в целом.

При переработке пенящихся бражек (паточных, свекловичных) наблюдается переброс бражки из сепаратора,

а также из бражной колонны в эюрационную и далее в ректификационную, которые при этом выйдут из строя, так как колпачки на тарелке забиваются.

Паровая и «сбросовая» коммуникации парорегулятора по существующим схемам подсоединяются к нижней царге бражной колонны, в результате чего она засоряется бардой, и парорегулятор не работает.

Для устранения вышеуказанных недостатков рекомендуется устанавливать сепараторы CO_2 объемом не менее $0,5 \text{ м}^3$ с соотношением $\frac{D}{H} = 0,8$ и подогрев бражки

для наиболее полного удаления углекислоты осуществлять в брагоподогревателях до $75—80^\circ \text{C}$.

Для наиболее полного удаления CO_2 из бражки и неконденсирующихся газов сепаратор необходимо оборудовать газовой коммуникацией диаметром не менее 30—50 мм в зависимости от производительности аппарата, при этом расстояние по высоте между выходом бражки из сепаратора и входом ее в колонну должно быть не менее 1,0—1,5 м. Отвод CO_2 и неконденсирующихся газов из конденсаторов колонн должен осуществляться по самостоятельным штуцерам в спиртоловушку. Диаметр воздушников должен быть 20—25 мм.

Для предотвращения возможного уноса бражки в конденсатор сепаратора CO_2 на газовой коммуникации между ними необходимо установить промежуточную емкость объемом 200 л для сбора пены и шелухи. Предусмотреть сброс частичек бражки и конденсата в сепаратор или в бражную колонну. Паровую и сбросовую коммуникации от парорегулятора нужно подключить через регарду в паровое пространство первой нижней тарелки.

ЭЮРАЦИОННАЯ КОЛОННА

Наиболее усовершенствована эюрационная колонна, так как она играет наиболее важную роль по очистке спирта от примесей в системе брагоректификационных аппаратов. Степень очистки спирта от примесей при эюрации может быть повышена увеличением удельного расхода пара на 1 дал спирта, что связано с увеличением поверхности охлаждения дефлегматора, увеличением числа выварных тарелок в эюрационной колонне за счет концентрационных, окончательной очистки спирта

и др. Рассмотрим эффективность каждого из вышеперечисленных мероприятий.

Увеличение удельного расхода пара на эюрацию.

По мнению некоторых авторов, расход пара в эюрационной колонне должен составлять 7—8 кг на 1 дал спирта. Однако на практике по контрольным замерам он соответствует 5—6 кг на 1 дал спирта, а в некоторых случаях еще ниже.

На Липецком спиртовом заводе при ректификации свекловичного спирта на непрерывно действующем аппарате косвенного действия особое внимание было обращено на расход пара при эюрации, и влияние этого расхода на полноту выделения метанола из эюрата в ЭАФ.

Режим работы аппарата на Липецком спиртовом заводе был отрегулирован так, что содержание метилового спирта в эюрате было не более 0,030—0,035%. Результаты анализа проб спиртопродуктов, отобранных с аппарата при этом режиме работы, приведены в табл. 29. Расход пара на эюрацию определялся по материальному балансу продуктов, поступающих и выходящих из эюрационной колонны, с учетом разности крепостей в дистилляте и эюрате.

Таблица 29

Спиртопродукты	Показатели	
	крепость, % вес.	содержание метилового спирта, % об.
Дистиллят из бражной колонны		
1.	39,1	0,160
2.	34,1	0,170
3.	31,3	0,170
ЭАФ		
1.	94,3	5,8
2.	94,3	5,8
3.	94,3	8,0
Эюрат		
1.	26,3	0,035
2.	20,4	0,035
3.	21,2	0,030
Непастеризованный спирт		
1.	94,6	0,04
2.	98,6	0,06
3.	94,6	0,07

Таблица 30

Приход, кг	Спирт			Вода		
	1	2	3	1	2	3
Дистиллят	7,9	7,9	7,9	12,3	15,26	17,34
Непастеризованный спирт (3%)	0,237	0,237	0,237	0,015 P ₁	0,0135 P ₂	0,0128 P ₃
Пар	—	—	—			

Расход, кг	Спирт			Вода		
	1	2	3	1	2	3
ЭАФ (2%)	0,163	0,163	0,163	0,01	0,0102	0,0091
Эюрат (без конденсата пара)	7,974	7,974	7,974	12,305 P ₁	15,2633 P ₂	17,3437 P ₃
Конденсат пара	—	—	—			

Примечание. При расчете прихода и расхода воды со спиртопродуктами их крепость переведена из объемных процентов в весовые.

Расчет расхода пара в кг производится на 1 дал б/с, выходящего из эюрационной колонны с эюратом.

На основании данных табл. 29 и по схеме (рис. 21), составлен материальный баланс колонны в весовых единицах (табл. 30).

Расход пара определяется по формуле:

$$C = \frac{A \cdot 100}{A + W + P}, \quad (14)$$

где C — крепость эюрата, % вес.;

A — количество спирта, выходящее с эюратом из колонны, кг;

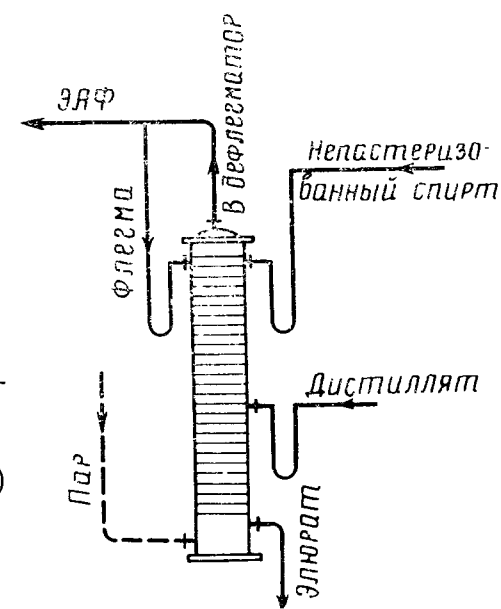


Рис. 21. Схема продуктовых потоков при эюрации спирта

W — количество воды, выходящее с элюатором из колонны, кг;

P — количество конденсата, поступающего в элюатор с паром за счет конденсации, кг.

Расход пара, на основании данных табл. 30, определенный по формуле (14), составляет $P_1 = 10,8$ кг; $P_2 = 15,5$ кг; $P_3 = 12,1$ кг/дал б/с.

Учитывая параметры пара на коллекторе (до редукции) $P = 5$ ат, $I_1 = 655,5$ ккал/кг и после редукции $P = 2$ ат и $I_2 = 648$ ккал/кг, а также теплопотери тепла в окружающую среду (коэффициент 1,05), реальный расход пара на 1 дал б/с определяется по формуле:

$$P' = P_0 \frac{I_2}{I_1} 1,05.$$

Для каждого из трех измерений расход пара составит соответственно $P'_1 = 10,7$; $P'_2 = 15,3$; $P'_3 = 12,0$ кг/дал б/с.

Средний расход пара в элюационной колонне составит:

$$P_{\text{ср}} = \frac{P'_1 + P'_2 + P'_3}{3} = \frac{38}{3} \approx 12,7 \text{ кг/дал б/с.}$$

После преобразования формула (14) может быть представлена в следующем виде, удобном для практического пользования:

а) для определения расхода пара на элюацию в ректификационных аппаратах:

$$P = 1000 \frac{C_M - C_э}{C_э - C_M} - W \frac{10}{C_M};$$

б) то же в брагоректификационных аппаратах:

$$P = 1000 \frac{C_d - C_э}{C_э C_d},$$

где C_M — крепость спирта-сырца, % об.;

$C_э$ — крепость элюата, % об.;

C_d — крепость бражного дистиллята, % об.;

W — соотношение лютерной или умягченной воды на разбавление к спирту-сырцу, %.

Удельный расход пара на элюацию определяется без учета отбора ЭАФ и при питании колонны сухим насыщенным паром.

При увеличении подачи пара в элюационную ко-

лонну необходимо установить дополнительную поверхность теплообмена дефлегматоров, согласно данным, приведенным в табл. 31.

Таблица 31

Производительность аппарата, дал/сутки	Поверхность дефлегматора, м ²	
	имеющаяся	рекомендуемая
1000	20	25
1500	25	35
2000	35	40
3000	40	60
6000	70	100

Таким образом, неизменным условием, обеспечивающим выработку спирта-ректификата, отвечающего требованиям стандарта, на аппаратах косвенного действия является увеличение расхода пара на элюацию до 10 кг/дал б/с.

Подводка пара в нижнюю часть элюационной колонны должна быть выполнена в виде П-образного гидрозатвора во избежание проникновения элюата в паровую магистраль. Высота П-образного гидрозатвора по отношению к точке ввода пара в барботер должна быть 1,5—1,7 м. Питание элюационной колонны вторичным паром из кубовой части ректификационной колонны рекомендуется отключить.

Отбор ЭАФ должен осуществляться непрерывно в количествах, указанных в технологической инструкции по спиртовому производству. Непастеризованный спирт должен возвращаться на верхнюю или одну из верхних тарелок элюационной колонны.

Увеличение числа выварных тарелок в элюационной колонне. Процесс элюации при существующих поверхностях теплообмена может быть интенсифицирован увеличением числа тарелок в выварной части элюационной колонны за счет тарелок укрепляющей части, что было установлено на ряде заводов.

На аппарате Куйбышевского ликеро-водочного завода производительностью 6000 дал/сутки в концентрированной части элюационной колонны было 25 тарелок, в выварной 15 тарелок. При нормальном режиме работы аппарата (расход пара на элюацию примерно соответ-

становал 5 кг/дал б/с) устанавливалась концентрация примесей на 22, 17, 12, 7 и 4-й концентрационных тарелках. Результаты анализа спиртопродуктов, отобранных из элюационной колонны, приведены в табл. 32.

Таблица 32

Места отбора проб	Крепость, % об.	Кислоты, мг/л	Эфиры, мг/л	Альдегиды, %	Метанол, %	Сивушное масло, %
ЭАФ	95	3300	35120	1,25	12,0	0,0005
С 22-й тарелки	96,8	18,0	962	0,06	1,35	0,008
С 17-й тарелки	96,5	12,0	158,4	0,05	0,25	0,004
С 12-й тарелки	96,3	18,0	114,4	0,003	0,09	0,003
С 7-й тарелки	95,2	12,0	123,2	0,0015	0,07	0,005
С 4-й тарелки	94,7	12,0	102,0	0,001	0,07	0,008
Элюат	55,0	16,0	61,6	0,0005	0,02	0,2

Из приведенных данных видно, что концентрация головных примесей происходит в основном с 17-й верхней тарелки. Начиная с 17-й тарелки, концентрационная часть колонны не работает на укрепление головных примесей и полностью не загружена ими. Поэтому без ущерба для концентрации головных примесей в ЭАФ подача спирта-сырца может быть осуществлена на 17, 16 или 15-ю верхние тарелки укрепляющей части колонны, т. е. выварную часть элюационной колонны можно увеличить примерно вдвое. При этом из-за удлинения времени контакта пара со стекающей флегмой в выварной части колонны можно ожидать, во-первых, выделения тех примесей промежуточного характера в ЭАФ, которые при работе по обычной схеме не выделяются, во-вторых, улучшения качества элюата, а следовательно, и ректификата и, в-третьих, увеличения производительности аппарата за счет большей подачи спирта-сырца в элюационную колонну и большего отбора ректификата из ректификационной колонны.

Для установления степени улучшения качества элюата при изменении точки ввода спирта-сырца на Калужском ликеро-водочном заводе питание элюационной колонны сырцом осуществлялось отдельно на 15-ю выварную тарелку, затем на 4, 9 и 14-ю тарелки концентрационной части колонны. При этом во всех четырех опытах скорость подачи сырца в колонну была по-

стоянной. При каждом режиме работы элюационной колонны отбирались пробы спиртопродуктов.

Приведены данные при питании элюационной колонны сырцом на 15-ю выварную тарелку (табл. 33) и для сравнения на 14-ю концентрационную тарелку (табл. 34).

Таблица 33

Спиртопродукты	Крепость, % об.	Кислоты, мг/л	Эфиры, мг/л	Альдегиды, %	Метанол, %	Сивушное масло, %
Сырце	89,3	30,0	237,0	0,004	0,05	0,40
ЭАФ	96,3	360,0	16544	0,8	7,0	—
Элюат	53,8	6,0	44,0	Нет	0,05	0,40
Флегма (элюац. колонны)	96,9	180,0	3800	0,1	6,0	—
Флегма (ректиф. колонны)	96,6	24,0	67,6	0,002	0,3	0,0005
Ректификат	96,4	10,0	30,8	Нет	0,06	Менее 0,0005
Непастеризованный спирт	96,6	68,0	70,4	0,001	0,4	0,0005

Таблица 34

Спиртопродукты	Крепость, % об.	Кислоты, мг/л	Эфиры, мг/л	Альдегиды, %	Метанол, %	Сивушное масло, %
Сырце	89,1	24,0	246,0	0,007	0,06	0,4
ЭАФ	96,5	480,0	12320	0,6	6,0	—
Элюат	57,2	6,0	26,8	Нет	0,03	0,35
Флегма (элюац. колонны)	96,6	144,0	7180	0,2	6,0	—
Флегма (ректиф. колонны)	96,5	24,0	32,8	0,0018	0,2	0,0005
Ректификат	96,2	10,0	26,4	Нет	0,04	Менее 0,0005
Непастеризованный спирт	96,7	50,0	32,0	0,0003	0,16	0,0005

Повышение точки ввода спирта-сырца в элюационную колонну положительно сказалось на качестве элюата. Так, например, содержание эфиров и метанола в элюате с повышением точки ввода сырца уменьшилось почти на 40%. Концентрация головных примесей в эфирно-альдегидной фракции практически осталась на прежнем уровне. Следовательно, подтверждается вывод, что для укрепления головных примесей достаточно 25—14=11 тарелок (где 25 — число тарелок в концентрационной части элюационной колонны).

При наличии в элюационной колонне 25 укрепляющих тарелок число выварных тарелок необходимо увеличивать с 15 до 25, оставляя в концентрационной части колонны всего 15 тарелок.

Процесс элюации может быть также интенсифицирован за счет увеличения емкости выварной камеры элюационной колонны. По расчетам Б. И. Соколова, объем жидкости в выварной камере и на тарелках элюационной колонны составляет 40—50% от объема жидкости, поступающей на питающую тарелку, в пересчете на безводный спирт.

Емкость выварной камеры элюационной колонны может быть увеличена установкой гидрозатвора высотой 100—200 мм на трубопроводе, по которому элюат поступает в ректификационную колонну. Для более полной обработки водно-спиртовой жидкости, поступающей в элюационную колонну, паром Б. И. Соколовым и А. П. Левчиком предложено повысить уровень элюата в выварной камере на 200—300 мм и повысить уровень жидкости на тарелках путем поднятия переливных стаканов.

РЕКТИФИКАЦИОННАЯ КОЛОННА

Определение числа тарелок в ректификационной колонне производится по равновесным данным бинарной смеси этиловый спирт — вода. Наличие примесей, а также зон их концентрирования в ректификационной колонне при расчетах не учитывается. Между тем известно, что в ректификационную колонну с элюатом поступают практически все хвостовые примеси (высшие спирты) и часть промежуточных, которые концентрируются в определенных зонах на тарелках колонны. Высшие спирты концентрируются в основном на нижних тарелках выварной части ректифицированной колонны; промежуточные примеси и часть высших спиртов (пропиловый, изобутиловый) концентрируются на нижних тарелках укрепляющей части ректификационной колонны. Главные примеси, не отделившиеся от спирта в элюационной колонне, пройдя зону отбора ректифицированного спирта, концентрируются в дефлегматоре, конденсаторе и на первой верхней тарелке ректификационной колонны.

Представляет практический интерес выяснить состав примесей в этих зонах в ректификационной колонне, их взаимосвязь при работе колонны и какое влияние они оказывают на получение стандартного ректифицированного спирта по аналитическим и дегустационным показателям.

Взаимосвязь между зонами накопления примесей в ректификационной колонне была установлена на промышленном аппарате Московского ликеро-водочного завода производительностью 6000 дал/сутки. Сначала из ректификационной колонны был произведен отбор непастеризованного спирта до снижения крепости ректифицированного спирта на 0,2% и сивушного спирта, после чего велись наблюдения за динамикой накопления эфиров в этих зонах. Для этого из указанных зон через каждый час отбирали пробы спирта, которые анализировали на содержании эфиров и других примесей. Динамика накопления эфиров в зонах сивушного спирта, ректифицированного спирта, непастеризованного спирта графически изображена на рис. 22, а, из которого видно, что после отбора непастеризованного и сивушного спиртов из ректификационной колонны накопление эфиров наблюдается во всех трех зонах. Так, например, в зоне сивушного спирта концентрация эфиров, спустя

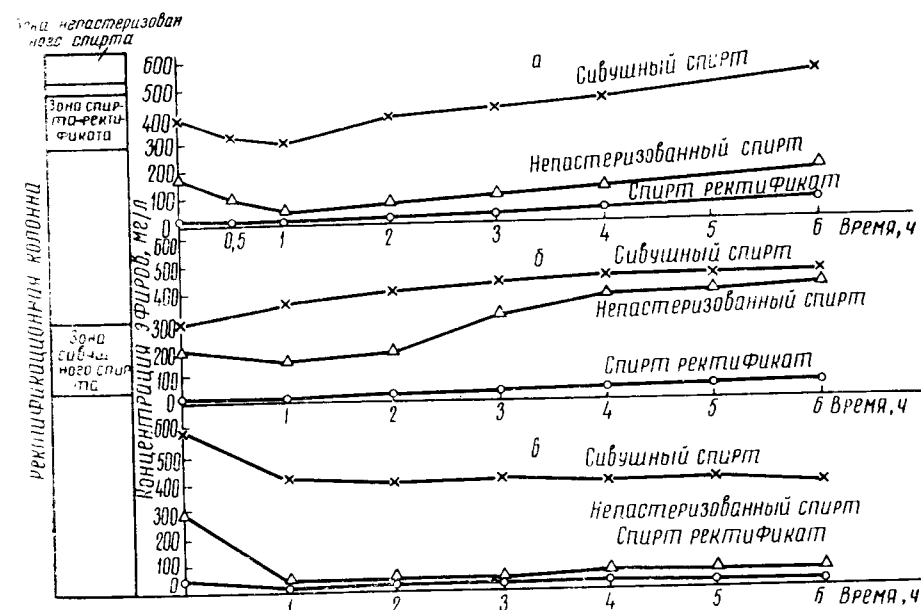


Рис. 22. Динамика накопления эфиров в зонах непастеризованного, сивушного и ректифицированного спирта

б и после стяжки колонны, увеличилась в 1,8 раза, в зоне ректифицированного спирта в 3,6 раза, в зоне непастеризованного спирта в 3,6 раза. В результате прекращения отбора сивушного спирта и непастеризованного спирта содержание эфиров в спирте увеличилось с 17,6 мг/л до 64 мг/л. Затем было выяснено влияние отбора непастеризованного спирта на концентрацию эфиров в зоне сивушного спирта при условии, если последний не отбирается. Непастеризованный спирт отбирался в количестве 1% от производительности аппарата. Динамика накопления эфиров в трех зонах при отборе непастеризованного спирта показана на рис. 22, б. Полученные данные показывают, что отбор непастеризованного спирта существенно влияет на концентрацию эфиров в зоне отбора ректификата и в зоне сивушного спирта. Так, например, если концентрация эфиров в зоне сивушного спирта увеличилась в 1,8 раза, то при отборе непастеризованного спирта эта величина равнялась 1,5 раза. Это объясняется тем, что часть эфира перегналась из зоны сивушного спирта в зону непастеризованного спирта, что подтверждается крутым подъемом кривой накопления эфиров в непастеризованном спирте. Следовательно, уменьшение концентрации эфиров в зоне сивушного спирта влечет за собой увеличение концентрации эфиров в зоне непастеризованного спирта.

Затем выяснили влияние отбора сивушного спирта на накопление эфиров в зонах ректифицированного и непастеризованного спирта. После отбора из колонны непастеризованного и сивушного спиртов в количестве 1% от производительности аппарата, через каждый час отбирали пробы, которые анализировали на содержание эфиров. Полученные данные графически показаны на рис. 22, в, из которого видно, что отбор сивушного спирта исключает накопление эфиров в трех зонах, концентрация которых практически поддерживается постоянной. Содержание эфиров в спирте-ректификате за весь опыт не превышало 17,6 мг/л.

На основании полученных данных можно сделать вывод, что при получении спирта высшей очистки с наилучшими аналитическими и дегустационными показателями отбор сивушного и непастеризованного спиртов следует производить в количестве 1—2% от производительности аппарата.

Отделение сивушного масла. В процессе спиртового брожения образуется небольшое количество сивушного масла, состоящее прежде всего из высших спиртов (приблизительно 3—4 дал сивушного масла на каждые 1000 дал абсолютного спирта).

Высшие спирты, входящие в состав сивушного масла, относятся к группе хвостовых примесей и их летучесть зависит от концентрации спирта на тарелках колонны. Поэтому при ректификации летучесть сивушного масла зависит от концентрации спирта на тарелках колонны. При концентрации спирта на нижних укрепляющих тарелках ректификационной колонны более 70—75% сивушное масло становится мало летучим.

К. П. Андреевым и Б. Д. Метюшевым было показано, что отбор сивушного масла целесообразно производить в жидком виде с тарелки, на которой содержание сивушного масла максимально.

Отбирать сивушную жидкость из колонны следует непрерывно.

Позднее стали отбирать пары сивушного масла, для чего выварные тарелки ректификационной колонны оборудовали краниками. Пары сивушного масла отводятся в холодильник, где конденсируются, конденсат направляется на промывку в сивухопромыватели или в сивушную колонну.

П. С. Цыганков, исследуя условия отбора сивушного масла из ректификационных колонн, установил, что максимальное накопление сивушного масла происходит на шестой выварной тарелке при температуре 94°С. При температуре выше 94°С отобранные из колонны пробы имеют гетерогенный характер.

Промывка сивушного масла. Сивушный экстракт из ректификационной или сивушной колонны поступает на промывку в сивухопромыватели, в которых происходит водная экстракция компонентов сивушного масла (*n*-пропилового, изобутилового и изоамилового спиртов) из этилового спирта и сопутствующих примесей (эфиров, кислот и др.) с целью доведения его до стандартных кондиций.

В. Ф. Суходол считает, что оптимальными условиями для эффективной промывки сивушного масла водой является отбор из колонны концентрированной сивушной фракции, содержащей около 40—43% высших спиртов

по отношению к этиловому спирту. Расход воды на промывку должен быть такой, чтобы видимая крепость подсивушного слоя по спиртомеру соответствовала 10—15% об. При меньшей концентрации высших спиртов в сивушной фракции выделить сивушное масло водной экстракцией почти невозможно. Повышение температуры смеси с 20 до 50°С несущественно ухудшает условия водной экстракции сивушного масла, что в свою очередь подтверждает целесообразность промывки сивушного масла частично охлажденной лютерной водой, которая не содержит солей жесткости, забивающих живое сечение колпачков тарелок колонны при переработке промывных вод.

Расход воды на промывку сивушной фракции, по П. С. Цыганкову, может быть сокращен примерно в 2 раза, если сивушную фракцию после холодильника предварительно декантировать. Подсивушный (нижний) слой следует возвращать в колонну и только верхний слой, обогащенный сивушным маслом, промывать. А. И. Ивановым предложен метод очистки сивушного масла, сущность которого заключается в следующем.

На Липецком и на ряде других спиртовых заводах сивушное масло очищают гидродинамическим перемешиванием без добавления поваренной соли и соляной кислоты. Это позволило не только получать сивушное масло хорошего качества, но и механизировать данный процесс. Установка проста и может быть изготовлена на любом спиртозаводе. Использование гидродинамического эффекта встречно направленных струй дает возможность получить высокодисперсную эмульсию сивушного масла и воды. Поверхность соприкосновения сивушного масла с водой увеличивается во много тысяч раз, и, следовательно, находящиеся в ней примеси более полно переходят в водный раствор, повышая тем самым чистоту отмываемого масла.

Установка для гидродинамической промывки сивушного масла (рис. 23) состоит из резервуара (эмульгатора), центробежного циркуляционного насоса, двух пар тангенциально направленных сопел. Расстояние между соплами одной пары равно 0,8, а между другой — 0,4—0,5 диаметра резервуара. Сопла с меньшим расстоянием незначительно подняты вверх (5—15°), а сопла другой пары — наклонены вниз. Погружение со-

пел производится на $\frac{1}{4}$ высоты слоя перемешиваемой жидкости. Насос засасывает перемешиваемую жидкость у дна и под давлением нагнетает ее через сопла в жидкость. Струи жидкости вытекают из сопел со скоростью 7—10 м/сек. При своем истечении в жидкость они увлекают частицы окружающей жидкости, смешиваются с ней. Образование эмульсии сивушного масла в воде наступает через 50—70 сек. Практически гидродинамическое перемешивание производится в течение 15—30 мин. Отстаивается эмульсия от 16 до 20 ч, после чего ее декантируют.

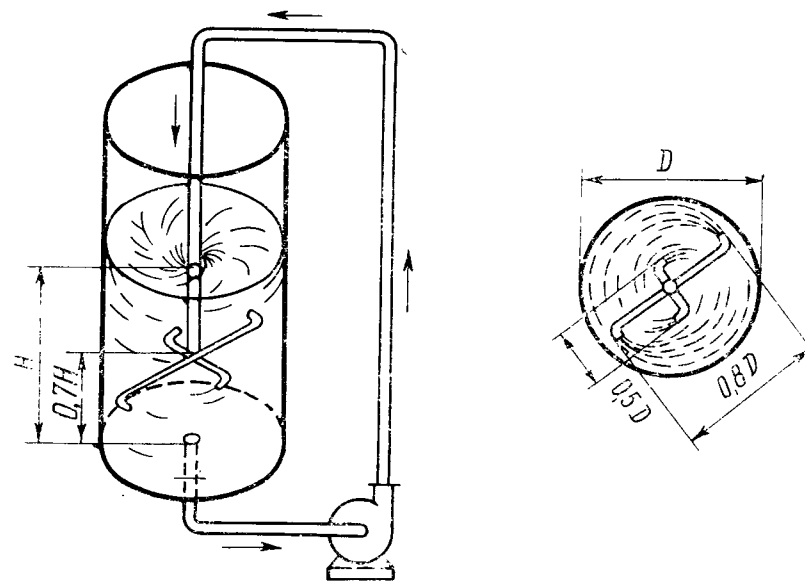


Рис. 23. Схема установки для промывки сивушного масла методом гидродинамического перемешивания

Многочисленными опытами промывки сивушного масла в производственных условиях установлена зависимость между качеством промывки и содержанием спирта в промывной воде. При соотношении сивушного масла и воды 1:1 на Липецком спиртовом заводе получают стандартное сивушное масло.

Для наиболее полного вывода сивушного масла из колонны необходимо дополнить узел отбора сивушного масла краником отбора с 5-й нижней тарелки и для вывода сивушного спирта — краниками с 3 и 4-й концентрационных тарелок.

В предыдущих конструкциях аппаратов отбор сивушного масла и сивушного спирта производился соответ-

ственно с 5, 7, 9, 11 и 17, 19, 21-й, а также с 23-й тарелок, тогда как в поставляемых сейчас аппаратах отбор сивушного масла производится с 7, 9 и 10-й тарелок, а отбор сивушного спирта с 14-й выварной и с 1-й концентрационной тарелок. При выработке спирта «Экстра» следует производить непрерывный отбор крепкого сивушного спирта в количестве 0,3—0,7%.

Усиление теплообмена в дефлегматорах. В практике часто возникает необходимость в усилении теплообмена в дефлегматорах аппарата при существующих поверхностях, которое может быть достигнуто увеличением числа ходов охлаждающей воды в дефлегматоре или увеличением ее расхода. Первый вариант связан с увеличением коэффициента теплопередачи за счет повышения скорости движения воды по трубкам дефлегматора. Второй вариант обеспечивает наряду с повышением коэффициента теплопередачи также и увеличение разности температур между рабочими средами. Для примера примем следующие условия.

Температура отходящей воды из дефлегматора $t_k = 60^\circ\text{C}$, поступающей $t_n = 15^\circ\text{C}$. Средняя температура между рабочими средами

$$\Delta t_{\text{ср}} = \frac{t_{\text{конд}} 78,3^\circ\text{C} - (78,3 - 60)}{2,3 \lg \frac{78,3 - 15}{78,3 - 60}} = 36,3^\circ\text{C}.$$

пар →

← вода

Поверхность дефлегматора при $\Delta t_{\text{ср}} = 36,3^\circ\text{C}$ и $k = 510^*$ при тепловой нагрузке $Q = 670000$ ккал/ч будет равна:

$$F = \frac{670000}{510 \cdot 36,3} = 36 \text{ м}^2.$$

Повышение коэффициента теплопередачи за счет увеличения числа ходов охлаждающей воды. Коэффициент теплопередачи от пара в стенке для данных условий $\alpha_1 = 2800$ ккал/(м²·ч·°C) = const.

* Определен экспериментально на Липецком спиртовом заводе.

Средняя температура воды равна $t_{\text{в.ср}} = t_{\text{конд}} - \Delta t_{\text{ср}} = 78,3 - 36,3 = 42^\circ\text{C}$.

Значения физико-химических констант воды при $t_{\text{в.ср}}$:

$$\begin{aligned} \nu &= 0,636 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{сек}; \\ \text{Pr} &= 4,15; \\ \lambda &= 0,547 \text{ ккал}/(\text{м} \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C}). \end{aligned}$$

Расход охлаждающей воды составит:

$$W = \frac{Q}{\Delta t} = \frac{670000}{60 - 15} = 14,8 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Изменение условий теплообмена в дефлегматоре при увеличении числа ходов охлаждающей воды показано в табл. 35.

Таблица 35

Число ходов охлаждающей воды по трубкам дефлегматора (z)	ω , м/сек	n, шт.	Re	Nu	α_2 , ккал/(м ² ·ч·°C)	k, ккал/(м ² ·ч·°C)	F, м ²
6	0,22	23	11000	69	1180	510	36
8	0,30	18	15000	88	1500	555	33
10	0,37	14	18500	109	1830	600	31
12	0,45	12	22000	127	2170	630	29

Скорость движения воды по трубкам будет равна (при z = 6):

$$\omega = \frac{W}{0,785 d_{\text{вн}}^2 \cdot 3600 n},$$

где n — число параллельно работающих трубок при z = 6, равно 23;

$d_{\text{вн}}$ — внутренний диаметр труб, мм.

Подставляя значения в формулу, получим:

$$\omega = \frac{14,8}{0,785 \cdot 0,032^2 \cdot 3600 \cdot 23} = 0,22 \text{ м/сек}.$$

Следовательно, при увеличении числа ходов в дефлегматоре в два раза теплообмен увеличивается почти на 20%.

Изменение условий теплообмена в дефлегматоре при увеличении расхода

да охлаждающей воды. Для расчета подачу охлаждающей воды ($W = 14,8 \text{ м}^3/\text{ч}$) увеличивают в 1,25 и 1,5 раза.

В этом случае $W_1 = 1,25W = 18,5 \text{ м}^3/\text{ч}$.

Скорость охлаждающей воды по трубкам будет соответствовать:

$$\omega = \frac{18,5}{0,785 \cdot 0,032^2 \cdot 3600 \cdot 23} \approx 0,28 \text{ м/сек.}$$

Разность температур входящей и выходящей из дефлегматора воды будет равна:

$$\Delta t' = \frac{Q}{W_1} = \frac{670\,000}{18,5} = 36,2^\circ\text{C.}$$

Температура выходящей воды составит:

$$t_{\text{вых}} = 15 + 36,2 = 51,2^\circ\text{C,}$$

откуда

$$\Delta t_{\text{ср}} = \frac{(78,3 - 15) - (78,3 - 52,1)}{2,3 \lg \frac{(78,3 - 15)}{(78,3 - 52,1)}} = 42,8^\circ\text{C.}$$

Средняя разность температур между средами будет равна $t_{\text{в.ср}} = 78,3 - 42,8 = 35,5^\circ\text{C}$.

Физико-химические величины, определяемые по $t_{\text{в.ср}}$, приведены в табл. 36.

Таблица 36

Увеличение расхода охлаждающей воды (W')	ω , м/сек	$\Delta t'$, °C	$t_{\text{вых}}$, °C	$\Delta t_{\text{ср}}$, °C	$t_{\text{в.ср}}$, °C	ν , м ² /сек
В 1,25 раза	0,28	36,2	51,2	42,6	35,7	$0,722 \cdot 10^{-6}$
В 1,5 раза	0,33	30,4	45,4	46,4	31,9	$0,777 \cdot 10^{-6}$

Увеличение расхода охлаждающей воды (W')	P_r	λ , ккал (м ² ·ч·°C)	Re	Nu	α_2 , ккал/ (м ² ·ч·°C)	k_r , ккал/ (м ² ·ч·°C)	F , м ²
В 1,25 раза	4,82	0,539	11900	80,5	1350	535	29,5
В 1,5 раза	5,27	0,534	13600	89,0	1480	555	26

Следовательно, при увеличении расхода воды в 1,5 раза теплообмен повышается на 30%. В этом случае целесообразно осуществить подачу охлаждающей воды на дефлегматор и конденсатор отдельно.

При этом проходные диаметры подводящих и выводящих штуцеров на дефлегматоре следует увеличить согласно данным, приведенным в табл. 37.

Таблица 37

Производительность аппарата, дал/сутки	Диаметр штуцеров, мм	
	существующий	рекомендуемый
1000	50	75
1500	50	75
2000	50	75
3000	50	100
6000	150	200

При эксплуатации аппаратов внутренняя поверхность трубок дефлегматоров, конденсаторов загрязняется накипью и слизью, что резко снижает теплообмен и эффективность их работы. Поэтому дефлегматоры и конденсаторы периодически чистят.

При механической чистке открывают крышки теплообменников и трубки чистят «шарошками», представляющими собой стальной стержень диаметром 10—15 мм с наконечником в виде червячной ленты или пучка намотанной стальной проволоки по внутреннему диаметру трубок дефлегматора. После снятия осадка их промывают водой под давлением.

От слизистых осадков очищают трубки как механическим, так и химическим способом — соляной кислотой, разбавленной водой в соотношении 1:3. Для этого в верхней точке трубопровода, по которому отходящая вода из дефлегматора отводится в сборный бак горячей воды, предусматривается патрубок для установки в него воронки, через которую наливают разбавленный раствор соляной кислоты. После заполнения трубок раствором соляной кислоты система отключается глушкой и оставляется на 5—6 ч или на ночь. Затем раствор сливают, а трубки промывают водой.

Для предупреждения загрязнения поверхности трубок дефлегматора осадками, а также слизью приме-

няется углекислый газ, который вводится в охлаждающую воду перед подачей ее в теплообменники. За счет повышения кислотности воды внутренняя поверхность трубок дефлегматоров почти не загрязняется осадками. Для уменьшения возможности загрязнения трубок дефлегматоров песком и ржавчиной рекомендуется забор воды из напорного бака производить в точке, стоящей от днища бака на расстоянии 200—300 мм. Бак охлаждающей воды при значительном его загрязнении необходимо периодически промывать раствором хлорной извести.

Для заводов, вырабатывающих спирт «Экстра», число концентрационных тарелок в ректификационной колонне рекомендуется увеличить на 5—8 шт. [общее число тарелок в колонне 71—74 шт. (54/16)]; при этом над зоной отбора (2, 4, 6-я тарелки) должно быть не менее 6—9 тарелок, что обеспечит лучшее выделение метанола из спирта и исключит возможность его загрязнения головными продуктами.

При сохранении числа тарелок отбор ректифицированного спирта рекомендуется производить с нижней тарелки зоны отбора.

Прекращение возврата непастеризованного спирта в ректификационную колонну. Отбор непастеризованного спирта из ректификационной колонны необходим, так как он содержит головные, промежуточные и хвостовые примеси. В табл. 38 приведены результаты анализа непастеризованного спирта и других спиртопродуктов, отобранных с аппарата.

Из табл. 38 следует, что целесообразно возврат непастеризованного спирта осуществлять полностью на верхние тарелки элюационной колонны.

Отбор непастеризованного спирта в количестве 1,5—2% от производительности аппарата при переработке острodefектного сырья рекомендуется производить полностью в элюационную колонну непрерывно, в указанных количествах.

Однако следует иметь в виду, что чрезмерный отбор непастеризованного спирта (более 2% от производительности аппарата) за счет снижения крепости ректифицированного спирта может повлечь за собой сокращение производительности аппарата и ухудшение качества ректифицированного спирта.

Рекомендации по улучшению работы воздушников, изложенных ранее, для ректификационной колонны остаются в силе.

В целях полной гарантии от загрязнения ректифицированного спирта примесями рекомендуется воздушники от конденсатора ректификационной колонны подсоединять к отдельной спиртоловушке.

СИВУШНАЯ КОЛОННА

Из вышеизложенного следует, что отбор с тарелок ректификационной колонны сивушной фракции целесообразен, так как это повышает качество спирта и увеличивает производительность аппарата. Возникает вопрос, подвергать ли сивушную фракцию дополнительному фракционированию или выводить ее из системы аппарата вообще?

Данные табл. 38 показывают, что сивушный спирт содержит значительное количество эфиров, которые перегоняются в зону отбора ректифицированного спирта. Из высших спиртов в этой фракции в основном содержатся пропиловый и изобутиловый спирты.

Целесообразно сделать оценку, насколько повторная переработка сивушного спирта в сивушной колонне может способствовать увеличению выхода сивушного масла.

Как известно, назначением сивушных колонн является выделение этилового спирта совместно с промежуточными примесями и сивушного масла. С нижних укрепляющих и аккумуляторной царг колонны отбирается концентрированная сивушная фракция, которая далее поступает на промывку в сивухопромыватели. Степень концентрирования сивушного масла определяется не только накоплением его в колонне, но и крепостью этилового спирта в укрепляющей части колонны, что в свою очередь зависит от числа тарелок, флегмы и других факторов.

Целесообразность повторной переработки сивушного спирта должна оцениваться с точки зрения накопления пропилового спирта в системы аппарата. Как известно, в сивушном масле содержится определенное количество пропанола, выше которого сивушное масло не отвечает требованиям стандарта по пределам перегонки и расщеплению при смешении его с водой. При промывке

Таблица 38

Спиртопродукты	Крепость, % об.	Кислоты, мг/л	Эфиры, мг/л	Альдегиды, % об.	Метанол, % об.	Сивушное масло, % об.	Проба	
							на окисляемость, млн	на чистоту с H ₂ SO ₄
Спирт-сырец	89,6	24	308	0,008	0,13	0,5	—	—
Спирт-ректификат	96,2	18	44	0,00025	0,06	0,0005	35	Выдерживает
ЭАФ	96,8	480	12320	0,2	0,45	—	—	—
Энорат	43,3	9	52,4	Нет	0,06	0,15	—	—
Сивушный спирт	82,7	36	176	0,002	0,15	12	—	—
Сивушное масло (до промывки)	86,6	18	158,4	0,0015	0,2	40	—	—
Непастеризованный спирт	96,8	108	176	0,01	0,4	0,0005	—	—
Концевые сорта спиртовых ногонов	87,1	36	264	0,001	0,1	0,0005	—	—
Промывные воды	1,2	6	13,2	—	—	9,5	—	—
Лютерная вода	0,0	6	8,8	—	—	—	—	—

он образует стойкую эмульсию, разрушить которую можно добавлением нескольких капель соляной кислоты. Пропиловые спирты смешиваются с водой во всех отношениях. Следовательно, при промывке сивушного масла его основная часть растворяется в промывной воде и возвращается в аппарат, что нежелательно, так как это приводит к ухудшению качества ректифицированного спирта.

При правильно налаженном отборе сивушного масла из выварной части ректификационной колонны и выводе сивушного спирта из системы аппарата установка сивушной колонны не оправдана, так как это приводит к перерасходу металла, пара и воды на 1 дал спирта, а в отдельных случаях к уменьшению выхода товарного сивушного масла.

КОЛОННА ОКОНЧАТЕЛЬНОЙ ОЧИСТКИ

В практике эксплуатации брагоректификационных аппаратов имеют место случаи, когда сивушные колонны не включаются в работу, а используются в качестве колонны окончательной очистки. Целесообразность переоборудования сивушных колонн на колонны окончательной очистки при переработке на спирт острodefектного сырья, когда они не используются по своему прямому назначению, вполне оправдана при условии, если отбор сивушного масла из ректификационной колонны организован правильно. При этом повышается выход сивушного масла и улучшается качество ректифицированного спирта.

В колонне окончательной очистки 20 тарелок. Ректифицированный спирт из ректификационной колонны по трубопроводу подавался на шестую (считая сверху) тарелку колонны, после чего выводился снизу колонны и поступал на холодильник.

Для равномерного выхода спирта сливной стакан должен иметь воронку диаметром, равным 2,5—3 диаметрам стакана. Сливной стакан находился в центре тарги. Его высота должна обеспечивать погружение змеевика в спирт. Отбор ректифицированного спирта из ректификационной колонны регулируется с помощью вентиля. Колонна окончательной очистки обогревается острым паром через змеевик. Сивушное масло отбирают из ректификационной колонны, после чего направляют

на промывку. Промывные воды поступают из промывателей в бражную яму. Температуру на первой нижней концентрационной тарелке поддерживают 89—90° С. Непастеризованный спирт в количестве 1,2% направляют из колонны окончательной очистки на верхнюю тарелку эспирационной колонны. Осуществление этих мероприятий позволило повысить производительность аппарата до 700—750 дал спирта высшей очистки в сутки (вместо 600 дал/сутки), получить выход сивушного масла до 0,4% (вместо 0,24%) и улучшить качество ректификованного спирта.

Результаты анализа ректификованного спирта до и после очистки в колонне окончательной очистки приведены в табл. 39.

Таблица 39

Спирто-продукты	Крепость, % об.	Кислоты, мг/л	Эфиры, мг/л	Альдегиды, % об.	Метанол, % об.	Сивушное масло, % об.	Проба		Дегустационная оценка, баллы
							на чистоту	на окисляемость, мин	
Спирт из ректификационной колонны	96,3	12,0	35,2	0,0005	0,08	0,0005	Выд.	24	8,5
Спирт из колонны окончательной очистки	96,3	9,0	14,0	Нет	Нет	Нет	Выд.	48	9,3

В результате установки колонны окончательной очистки резко улучшаются качественные показатели спирта.

На спиртовых и ликеро-водочных заводах, где предполагается выработка спирта «Экстра», необходимо устанавливать колонны для окончательной очистки спирта.

Характеристика колонн и теплообменников приведена в табл. 40.

Для обеспечения свободного перетока спирта из ректификационной колонны в колонну окончательной очистки, последняя должна быть установлена так, чтобы между выходом спирта из ректификационной колонны и входом его в окончательную было расстояние по вы-

соте не менее 1—1,5 м. Расстояние по высоте между выходом спирта из окончательной колонны и входом его в холодильник должно быть не менее 0,5 м. В зависимости от этого холодильник спирта устанавливается применительно к существующим отметкам площадок цеха ректификации, включая нулевую отметку.

Таблица 40

Производительность аппарата, дал/сутки	Число тарелок	Диаметр колонны, мм	Поверхность теплообмена, м ²	
			дефлегматора	конденсатора
1000	10/10	500	15	6
1500	10/10	600	15+20	6
2000	10/10	700	25	10
3000	10/10	900	35	10
6000	10/10	1200	50	20

Колонна окончательной очистки спирта оборудуется глухим обогревом паром. В зависимости от производительности аппарата глухой обогрев осуществляется через змеевики, устанавливаемые в кубовой части колонны или с помощью выносных подогревателей. Ниже (табл. 41) рекомендуются типы теплообменников для глухого обогрева колонны.

Таблица 41

Производительность аппарата, дал/сутки	Тип теплообменника	Поверхность теплообмена, м ²
1000	Змеевик	5
1500	Змеевик	7,5—8
2000	Змеевик	10,0
3000	Выносной	15
6000	Выносной	25

Для регулировки питания колонны окончательной очистки спиртом из ректификационной колонны на спиртовой коммуникации устанавливается ротаметр, вентиль с выводом штурвала на рабочую площадку. Для контроля крепости ректификованного спирта, поступающего в колонну окончательной очистки, рекомендуется предусмотреть установку пробного холодильника с возвратом спирта в эспирационную колонну.

Общими условиями, улучшающими работу аппарата в целом, являются:

1) брагоректификационные и ректификационные аппараты должны работать при производительности, не превышающей номинальную. Форсировать работу аппаратов запрещается;

2) пар, поступающий из котельной на распределительный коллектор аппаратного отделения, обязательно должен проходить через редукционный вентиль. Коллектор должен быть снабжен дренажной коммуникацией для отвода конденсата пара. Использование экстрапара из разварников и выдерживателей при открытом обогреве колонны запрещено;

3) при приемке заводов после ремонта необходимо проверить правильность монтажа аппарата:

а) вертикальность колонн и горизонтальность тарелок наливом воды;

б) дефлегматоры всех колонн должны быть установлены на высоте не менее 1300—1500 мм над флегменным штуцером колонны, считая от нижней отметки дефлегматора, вывод дистиллята из каждого барабана брагоподогревателей и дефлегматоров должен быть обеспечен полностью;

в) конденсаторы всех колонн должны быть установлены на высоте, при которой смотровой фонарь для отвода конденсата располагается на 300—500 мм выше нижней отметки дефлегматора;

г) спиртоловушки должны быть установлены на отметке конденсатора элюрационной колонны. Для ректификационной колонны и колонны окончательной очистки спирта устанавливается отдельная от других колонн спиртоловушка;

д) все колонны в нижней и в верхней части должны быть снабжены вакуум-прерывателями, оборудованными водомерными стеклами и кранами для отключения их в случае «выброса». Установка вакуум-прерывателей должна обеспечить свободный сток избытка конденсата пара через штуцер замера давления в колонне;

е) для более свободного отвода неконденсирующихся газов и углекислоты воздушники от всех колонн, идущие к спиртоловушкам, должны соответствовать нижеприведенным данным (табл. 42):

Таблица 42

Производительность аппарата, дал/сутки	Диаметры воздушников, мм	
	от сепаратора CO ₂ до конденсатора	от конденсатора к спиртоловушкам
1000	30	20
1500	30	20
2000	30	25
3000	50	25
6000	70	32

ж) погоны из спиртоловушек отводить в сборник эфира-альдегидной фракции;

з) для предупреждения образования накипи в трубах дефлегматоров рекомендуется подводить CO₂ во входную коммуникацию воды тангенциально. При использовании отходящей воды для питания паровых котлов ее необходимо декарбонировать.

ДВУХПОТОЧНЫЙ БРАГОРЕКТИФИКАЦИОННЫЙ АППАРАТ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬЮ 3000 дал/сутки

Основными недостатками трех- и четырехколонных брагоректификационных аппаратов косвенного действия, построенных по принципу последовательного перетока спирта от колонны к колонне, являются:

1) ограниченные возможности вывода примесей из колонн при ректификации спирта без нарушения режима их работы;

2) выделение примесей производится из зон крепкого спирта, что резко уменьшает летучесть и выделение примесей промежуточного характера;

3) ограниченные возможности изменения режима работы колонн при поступлении на аппарат бражек различного качества;

4) значительный расход пара и воды на 1 дал спирта.

Следствием этого является невозможность стабильного получения спирта высокого качества при переработке дефектного сырья.

При разработке новых типов брагоректификационных аппаратов, работающих под атмосферным давлением, должно быть предусмотрено следующее:

а) выделение примесей из слабых водно-спиртовых растворов при оптимальных расходах пара;

б) наиболее полное выделение примесей из концентрированных спиртовых растворов при повышенных удельных расходах пара в элюационной колонне;

в) отбор примесей с колонн аппарата должен осуществляться в широком диапазоне в зависимости от вида и степени дефектности перерабатываемого сырья;

г) выработка ректифицированного спирта должна осуществляться на ректификационной колонне, содержащей наименьшее количество промежуточных и хвостовых примесей;

д) достижения максимально возможного выхода ректифицированного спирта высшего качества;

е) уменьшение удельного расхода пара и воды на 1 дал спирта по сравнению с аппаратами косвенного действия.

ВНИИФС разработан новый двухпоточный брагоректификационный аппарат, по конструкции и технологическому режиму работы удовлетворяющий всем вышеизложенным требованиям.

Двухпоточный брагоректификационный аппарат производительностью 3000 дал/сутки внедрен на Липецком и 2000 дал/сутки на Мичуринском спиртовых заводах.

В настоящее время двухпоточный брагоректификационный аппарат производительностью 1000, 2000, 3000 дал/сутки принят к изготовлению на заводе «Комсомолец».

ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ СХЕМА И ПРИНЦИП РАБОТЫ АППАРАТА

Схема двухпоточного брагоректификационного аппарата представлена на рис. 24. Он состоит из четырех колонн: бражной, состоящей из выварной и элюационной частей; элюационной и двух ректификационных.

Бражка насосом 1 подается в подогреватель 2, где нагревается теплом конденсации спиртовых паров первой ректификационной колонны 15 до 75—77° С. Нагретая бражка через сепаратор углекислоты 3 поступает на верхнюю тарелку элюационной части бражной ко-

лонны 5, где производится выделение непосредственно из бражки практически всех примесей спирта. Погон спирта с примесями, выделенными при элюации бражки, поступает в дефлегматор 8 и конденсатор 9, откуда в виде водно-спиртового конденсата направляется на очистку в элюационную колонну 12. Количественно величина этого погона регулируется шиберной заслонкой, установленной перед дефлегматором 8.

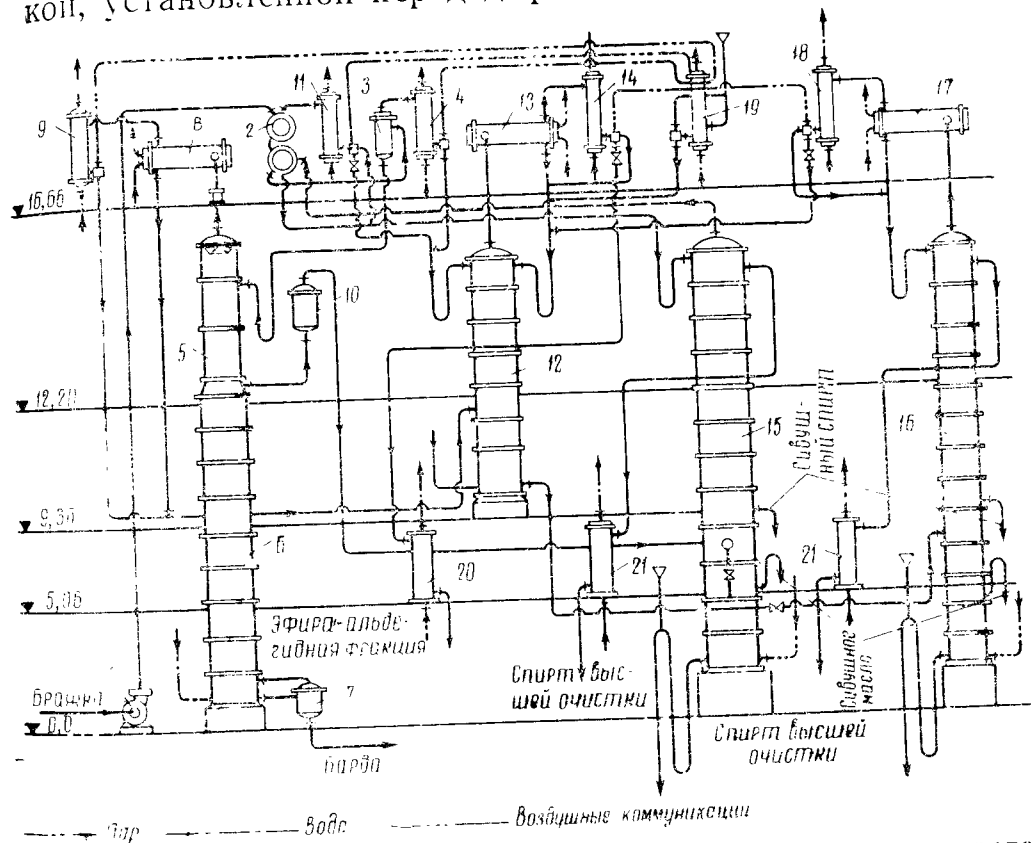


Рис. 24. Схема двухпоточного брагоректификационного аппарата: 1 — бражной насос; 2 — подогреватель бражки; 3 — сепаратор углекислоты; 4 — конденсатор после сепаратора; 5 — элюирующая часть бражной колонны; 6 — выварная часть бражной колонны; 7 — бардрегулятор; 8 — дефлегматор элюирующей части бражной колонны; 9 — конденсатор; 10 — пеноловушка; 11 — конденсатор первой ректификационной колонны; 12 — элюационная колонна; 13 — дефлегматор элюационной колонны; 14 — конденсатор колонная; 15 — первая ректификационная колонна; 16 — вторая ректификационная колонна; 17 — дефлегматор второй ректификационной колонны; 18 — конденсатор; 19 — спиртоловушка; 20 — холодильник эфиров; 21 — холодильник спирта высшей очистки

Освобожденная от примесей бражка переходит в выварную часть бражной колонны 6, с верхней тарелки которой водно-спиртовые пары, представляющие собой бинарную смесь этанол—вода, поступают непосредственно на укрепление в первую ректификационную колонну 15.

При полном рабочем давлении в элюационной колонне 12 и переработке в ней 30—40% спирта, содержащегося в бражке, расход пара на процесс элюации увеличивается в 2,5—3 раза по сравнению с элюацией на аппаратах косвенного действия, что в переводе на 1 дал составляет 15—20 кг пара, т. е. процесс очистки спирта в элюационной колонне при работе аппарата по двухпоточной схеме ведется в области, близкой к области «абсолютной элюации». Освобожденный от головных и большей части промежуточных примесей элюат поступает на питательную тарелку второй ректификационной колонны 16. С верхних тарелок двух ректификационных колонн производится отбор высококачественного ректифицированного спирта.

При переработке кондиционного сырья предусмотрено частичное питание первой ректификационной колонны высококачественным элюатом. Отбор концентрированной эфирно-альдегидной фракции осуществляется с конденсатора 14. При отключении второй ректификационной колонны элюат направляется в первую ректификационную колонну, для чего в последней предусмотрены гребенки для вывода сивушных масел и высших спиртов.

Схемой предусмотрена установка двух спиртоловушек, одна из которых связана с сепаратором углекислоты и воздушниками конденсаторов элюирующей части бражной и элюационной колонн, а вторая — с конденсаторами двух ректификационных колонн.

ПРОЦЕССЫ ЭЛЮАЦИИ БРАЖКИ И БРАЖНОГО ДИСТИЛЛЯТА НА ДВУХПОТОЧНОМ БРАГОРЕКТИФИКАЦИОННОМ АППАРАТЕ

Согласно описанию технологической схемы работы двухпоточного аппарата процесс очистки водно-спиртового раствора, каким является бражка, начинается с верхней тарелки элюирующей части бражной колонны. Для количественной оценки процесса очистки бражки от примесей необходимо найти аналитическую зависимость между коэффициентами испарения примесей (см. табл. 21), температурой подогрева бражки, определяющей концентрацию спирта на тарелке питания, необходимым числом тарелок истощения и процентом отбора

спиртового погона. Схема процесса очистки представлена на рис. 25.

Бражная колонна в отличие от существующих состоит из двух частей: элюирующей, предназначенной для выделения из бражки всех примесей спирта, и выварной — для отгона оставшейся части спирта.

Теплота конденсации водно-спиртовых паров, поступающих из выварной части бражной колонны в элюирующую, будет расходоваться на нагрев бражки до кипения и на выделение погона спирта с примесями. Величина этого парового потока G_1 будет зависеть от температуры подогрева, поступающей на элюацию бражки $t_{бр.к}$ и объема паров G' , выделяемых при ее элюации.

Весовое количество спирта, поступающего в дефлегматор элюирующей части бражной колонны, от общего количества спирта, содержащегося в бражке, выразим через коэффициент отгона m , тогда

$$G' y' = m B x, \quad (15)$$

где x — содержание спирта в исходной бражке, % вес.;

y' — содержание спирта в парах над верхней тарелкой элюирующей части бражной колонны, % вес.;

B — количество бражки, поступающей в колонну кг/ч.

Если обозначить через S содержание примесей в исходной бражке, S_{II} — в элюированной, то отношение $\frac{S_{II}}{S}$ будет характеризовать степень очистки бражки от примесей, т. е. качество водно-спиртовых паров, поступающих на укрепление в первую ректификационную ко-

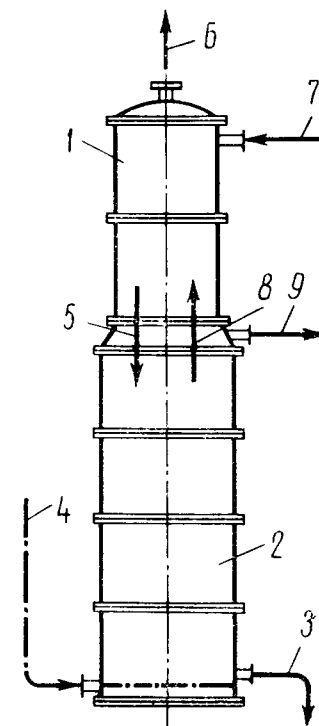


Рис. 25. Брагоэлюационная колонна:

1 — элюирующая часть колонны; 2 — выварная часть; 3 — барда; 4 — греющий пар; 5 — элюированная бражка; 6 — погон с примесями спирта; 7 — бражка; 8 — водно-спиртовые пары на элюацию бражки; 9 — элюированные водно-спиртовые пары

лонну. Это отношение определяется из баланса примесей спирта для верхних тарелок эпюрирующей части бражной колонны и имеет вид:

$$\frac{S_{\text{п}}}{S} = \frac{B \left(\frac{1}{G'} - \frac{1}{G_1} \right)}{(1-q)k + \frac{B'}{G'}} \quad (16)$$

где G_1 и G' — соответственно количество паров, поступающих в эпюрирующую часть бражной колонны из выварной части, и количество паров, отбираемых с верхней тарелки в дефлегматор;

B и B' — соответственно количество бражки, поступающей на верхнюю тарелку эпюрирующей и выварной части бражной колонны;

$q = \frac{B'}{G_1 k}$ — коэффициент, показывающий степень выделения компонента, имеющей летучесть, равную k .

Принято, что $k = \text{const}$, так как крепость спирта на тарелках эпюрирующей части бражной колонны изменяется незначительно.

Из уравнения (16) следует, что при $\lim \frac{S_{\text{п}}}{S} = 0$; $G' \rightarrow G_1$, т. е. степень очистки бражки от примесей

при прочих равных условиях (числе тарелок, значений коэффициентов испарения примесей, крепости спирта в исходной бражке) будет возрастать с увеличением температуры подогрева бражки и количества отбираемого при эпюрации бражки спиртового погона с примесями.

Для решения уравнения (16) входящие в него неизвестные величины G_1 , G' , B' находим из уравнений материального и теплового балансов.

Баланс по общему продукту:

$$B + G_1 = G' + B' \quad (17)$$

Баланс по спирту:

$$Bx + G_1 y_1 = m Bx + B' x' \quad (18)$$

Тепловой баланс:

$$B i + G_1 I_1 = G' I' + B' i' \quad (19)$$

где i , I — теплосодержание соответственно жидкости и пара, ккал/кг.

Деля уравнение (19) на (18) и заменяя B' на его значение из уравнения (17), а G' на его значение из уравнения (15), будем иметь:

$$\frac{i'}{x'} = \frac{i}{x(1-m)} - \frac{I'}{y'} \cdot \frac{m}{1-m} \quad (20)$$

Это уравнение показывает равенство приведенных теплот пара и жидкости во встречных потоках для любого сечения колонны. В любом свободном сечении колонны разность весов нижекипящего компонента между паром и жидкостью и разность теплосодержаний между паровой и жидкой фазами — постоянны.

В табл. 43 приведены физические величины бинарной смеси этанол—вода, на основе которой решается уравнение (20) и находятся величины, необходимые для определения значения $\frac{S_{\text{п}}}{S}$ в уравнении (16).

Таблица 43

Содержание спирта в жидкости, % вес.	Содержание спирта в паре, % вес.	Температура кипения раствора, °С	Теплота жидкости, ккал/кг	Теплота испарения раствора, ккал/кг	Теплосодержание водно-спиртового раствора, ккал/кг	$\frac{i}{x}$	$\frac{I}{y}$
x	y	t	i	r	I		
4,0	33,30	95,80	101,12	426,78	524,76	25,28	15,76
4,5	35,15	95,38	101,26	420,49	517,56	22,50	14,73
4,6	35,52	95,29	101,29	419,28	516,15	22,01	14,53
4,7	35,89	95,20	101,32	417,97	514,69	21,55	14,34
5,0	37,00	94,95	101,40	414,20	510,32	20,28	13,92
6,0	41,10	94,15	101,48	400,48	494,28	16,91	12,03
6,8	43,90	93,51	101,54	391,52	483,52	14,93	11,02
6,9	44,25	93,43	101,55	390,40	482,18	14,71	10,90
7,0	44,60	93,35	101,56	389,28	480,84	14,50	10,78
7,5	46,10	92,98	101,60	384,26	474,88	13,54	10,30

По уравнениям (20) и (16) вычислены значения $\frac{S_{\text{п}}}{S}$

для всех примесей спирта (табл. 44).

Максимальная очистка бражки от примесей обеспечивается при ее нагреве до 85—90°С и при отборе спир-

тового погона при эюрации в количестве 40—50%. В этих условиях этилацетат, ацетальдегид, изоамиловый и изобутиловый спирты практически полностью выделяются из бражки, пропиловый спирт на 70—80%, метиловый на 30—40%.

В двухпоточном брагоректификационном аппарате на 30—40% спиртового погона, отбираемого при эюрации бражки и содержащего практически все примеси, включая примеси головного, промежуточного и хвостового характера, удельный расход пара при эюрации составляет 15—20 кг/дал. По тепловому балансу двухпоточного аппарата Липецкого спиртового завода удельный расход пара в эюрационной колонне равен 16,5 кг/дал б/с.

Представляет интерес установить влияние расхода пара в эюрационной колонне в количестве 16,5 кг/дал б/с на степень очистки спирта от примесей по сравнению с расходом пара в 6 кг/дал б/с на аппаратах косвенного действия, пользуясь графо-аналитическим методом, разработанным В. Н. Стабниковым.

Характер распределения примесей спирта по высоте колонны при указанных расходах пара на эюрацию определяется положением рабочих линий выварной и концентрационной частей колонны, а также положением линий равновесия примесей.

Уравнение рабочей линии «абсолютной эюрации» для выварной части колонны будет иметь вид:

$$\beta_k = \frac{L}{G} \alpha_{II}, \quad (21)$$

где L — жидкостной поток в колонне, моль;

G — паровой поток, моль;

α_{II} — начальная концентрация примесей в исходном дистилляте, % мол.;

β_k — концентрация примесей в паре над тарелкой питания, % мол.

Количество отбираемой ЭАФ крепостью 92% вес. принимается 2%. В колонну поступает непастеризованного спирта крепостью 94% вес. в количестве 2%.

Влиянием возврата непастеризованного спирта на угол наклона рабочей линии укрепляющей части эюрационной колонны пренебрегаем.

Таблица 44

Отбор погона при эюрации, %	Крепость исходной бражки, % об.	Температура перегрева бражки, °С	Содержание спирта на верхней тарелке, % об.	Крепость паров над верхней эюрирующей тарелкой, % об.	Крепость эюрирующей бражки, % об.	Содержание спирта в паре над верхней выварной тарелкой, % об.	Относительное содержание примесей спирта после эюрации бражки				
							этил-ацетат	ацетальдегид	изоамиловый спирт	изобутиловый спирт	пропиловый спирт
15	7,0	75	6,9	44,25	4,52	35,22	0,32	0,59	0,63	0,66	0,78
		80	6,5	42,85	4,05	33,47	0,3	0,565	0,61	0,598	0,775
		85	6,04	41,2	3,74	31,7	0,24	0,505	0,58	0,605	0,755
		90	5,7	39,87	3,5	30,25	0,179	0,455	0,6	0,583	0,755
		75	6,82	44,03	4,44	34,9	0,22	0,5	0,53	0,54	0,7
		80	6,41	42,54	3,95	33,0	0,21	0,455	0,5	0,495	0,585
		85	5,98	41,08	3,69	31,4	0,178	0,39	0,465	0,455	0,575
		90	5,61	39,5	3,43	29,82	0,115	0,325	0,407	0,43	0,58
		75	6,6	43,2	4,19	34,0	0,148	0,37	0,4	0,38	0,57
		80	6,15	41,62	3,82	32,2	0,125	0,307	0,35	0,316	0,538
		85	5,78	40,2	3,53	30,23	0,095	0,25	0,29	0,267	0,515
		90	5,45	38,84	3,3	29,03	0,063	0,178	0,23	0,225	0,44
		75	6,4	42,5	4,0	33,3	0,085	0,21	0,25	0,276	0,435
		80	6,0	41,1	3,68	31,34	0,082	0,21	0,25	0,203	0,388
		85	5,57	39,33	3,4	29,64	0,055	0,154	0,186	0,14	0,372
		90	5,28	38,14	3,2	28,42	0,0315	0,092	0,123	0,125	0,38
		75	6,2	41,8	3,8	32,1	0,07	0,19	0,22	0,25	0,38
		80	5,74	40,0	3,54	31,0	0,0515	0,14	0,167	0,188	0,326
		85	5,35	38,43	3,23	28,6	0,0348	0,0975	0,118	0,136	0,286
		90	5,02	37,08	3,0	27,2	0,015	0,044	0,054	0,07	0,207

Для определения величины L составим материальный баланс эюорационной колонны на 100 кг дистиллята.

Материальный баланс

Приход, кг/ч	Расход, кг/ч
1. Дистиллят — 100, в том числе спирта — 42,43 воды — 57,57	1. ЭАФ $\frac{2 \cdot 42,43 \cdot 100}{100 \cdot 92} = 0,925$ в том числе спирта — 0,85 воды — 0,075
2. Непастеризованный спирт $\frac{2 \cdot 42,43 \cdot 100}{100 \cdot 94} = 0,903$ в том числе спирта — 0,849 воды — 0,054	2. Эпюрат $100 + 0,903 + 88,3 - 0,925 = 188,278$
3. Греющий пар (16,5 кг на 1 дал б/с) $16,5 \cdot \frac{42,43}{0,79 \cdot 10} = 88,3$ (0,79 — плотность спирта)	

Крепость эпюрата равна $\frac{42,43 + 0,849 - 0,85}{188,278} \cdot 100 = 22,5\%$ вес.

Средний молекулярный вес эпюрата составляет:

$$\mu_{\text{ср}} = \frac{100}{\frac{22,5}{46} + \frac{77,5}{18}} = 20,9 \text{ кг/кмоль},$$

где 46 и 18 соответственно молекулярные веса спирта и воды. Величина жидкостного потока составит:

$$L = \frac{188,278}{20,9} = 9,0 \text{ кмоль}.$$

Величина парового потока будет равна:

$$G = \frac{88,3}{18} = 4,9 \text{ кмоль}.$$

Уравнение рабочей линии «абсолютной эюорации» выварной части колонны при расходе пара 16,5 кг на 1 дал б/с будет иметь вид:

$$\beta_k = \frac{9,0}{4,9} \alpha_n = 1,84 \alpha_n.$$

Уравнение рабочей линии «абсолютной эюорации» при расходе пара 6 кг на 1 дал б/с, полученное аналогичным расчетом, следующее:

$$\beta_k = 3,25 \alpha_n.$$

Уравнением рабочей (рис. 26) линии концентрационной части эюорационной колонны для спирта при бесконечном флегмовом числе является диагональ $y = x$.

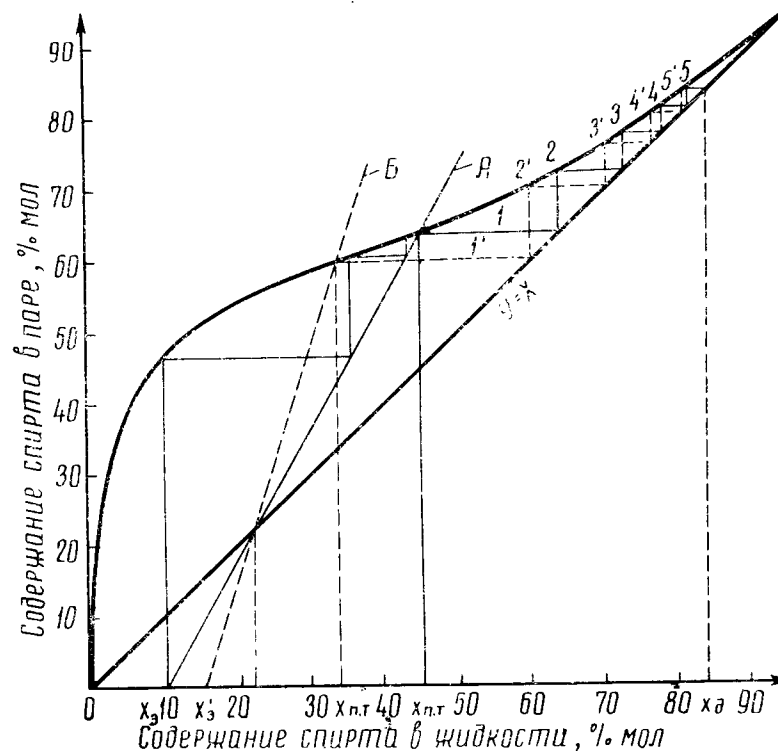


Рис. 26. Концентрация спирта на тарелках эюорационной колонны в зависимости от расхода пара:

А и Б — рабочие линии выварной части эюорационной колонны при расходе пара соответственно 16,5 кг и 6,0 кг на 1 дал спирта

Для примесей спирта, исходя из материального баланса, уравнением рабочей линии концентрационной части эюорационной колонны будет служить прямая $\beta - \beta_0 = \alpha - \alpha_0$, имеющая угол наклона 45° и проходящая через точку с координатами $\alpha_0 = \alpha_n$ и $\beta_0 = \beta_k$. Крепость спирта на питательной тарелке и тарелках концентрационной части эюорационной колонны при расходах па-

ра на эюорацию в 16,5 и 6 кг/дал б/с определена графически и представлена на рисунке.

На основании данных табл. 22 и рис. 26 в табл. 45 представлены коэффициенты испарения примесей, по которым можно проследить характер движения примесей по колонне при вышеуказанных расходах пара на эюорацию.

На рис. 27 и 28 представлено движение метанола по высоте эюорационной колонны при расходе пара 16,5 и 6 кг на 1 дал б/с.

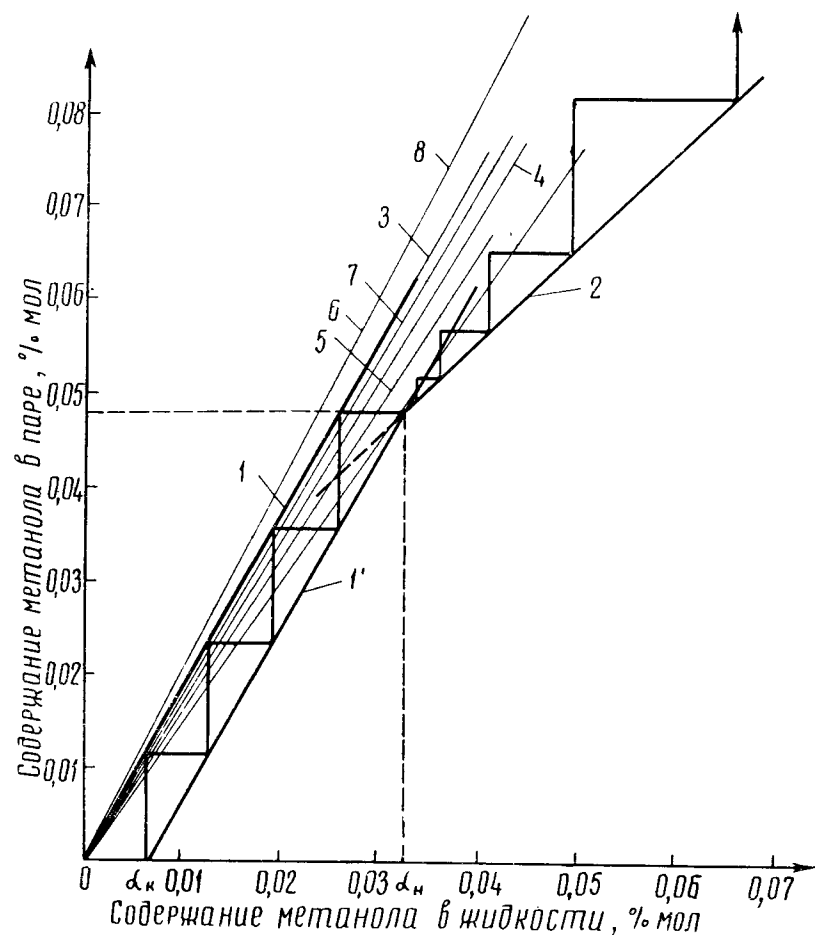


Рис. 27. Движение метанола по высоте эюорационной колонны при расходе пара 16,5 кг на 1 дал спирта

Прямые 1 и 2 представляют собой рабочие линии «абсолютной эюорации» для выварной и укрепляющей частей колонны, 4, 5, 6, 7, 8 — линии равновесия (локальные прямые), соответствующие коэффициентам ис-

парения метанола на пяти последовательных теоретических тарелках (ступенях) концентрационной части колонны, 3 — линия равновесия метанола, соответствующая коэффициентам его испарения при концентрации

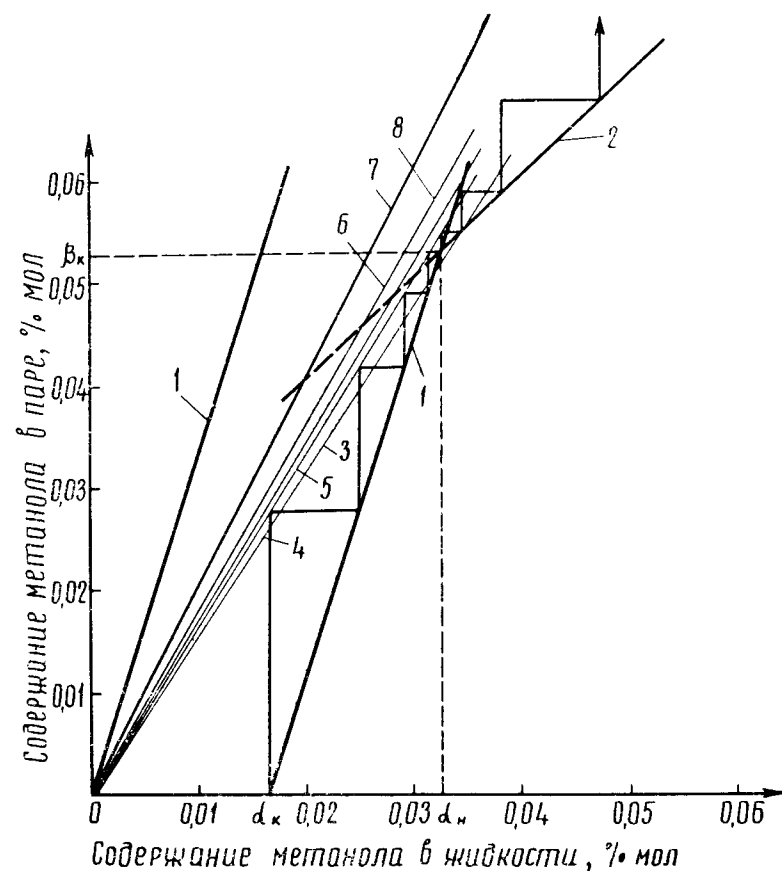


Рис. 28. Движение метанола по высоте эюорационной колонны при расходе пара 6 кг на 1 дал спирта

спирта на питательной тарелке (67,0% вес. при расходе пара 16,5 кг/дал б/с и 56,6% вес. при расходе пара в 6 кг/дал б/с). Линия 1' представляет собой смещенную рабочую линию 1, так как для «абсолютной эюорации» (десорбции) метанола при расходе пара 16,5 кг/дал б/с потребуется бесконечное число тарелок в выварной части колонны (α_k — означает концентрацию метанола в эюорате).

Построение ступенчатого графика в концентрационной части колонны произведено при к. п. д. тарелок, равным 0,5; принято также, что концентрация примеси на питательной тарелке равна концентрации ее в исход-

Расход пара на 1 дал спирта	Ступени концентрации этанола	Содержание спирта			Коэффициенты испарения примесей спирта					
		% мол.	% вес.	% об.	ацетальдегид	этилацетат	пропанол	глицерин	метиловый спирт	этиловый спирт
16,5 кг	Исходный дистиллят	22,4	42,43	50	13,4	9,2	1,9	1,8	0,97	1,1
	Питательная тарелка	44,2	67,0	74,8	8,6	5,7	1,8	1,3	0,8	0,41
	Концентрационные тарелки									
	первая	64,0	82,0	86,0	4,9	3,75	1,5	0,8	0,65	0,4
	вторая	73,0	87,4	91,7	2,7	2,4	1,6	0,55	0,6	0,32
	третья	78,3	90,2	93,2	2,4	2,3	1,7	0,5	0,56	0,30
	четвертая	82,0	92,0	94,3	2,0	2,15	1,8	0,42	0,5	0,27
	пятая	84,3	93,1	95,6	1,87	2,1	2,0	0,36	0,45	0,25
	Исходный дистиллят	22,4	42,43	50	13,4	9,2	1,9	1,8	0,97	1,1
	Питательная тарелка	33,8	56,6	65,0	10,7	7,0	1,65	1,5	0,84	0,63
6,0 кг	Концентрационные тарелки									
	первая	60,0	79,4	85,0	5,2	3,8	1,6	0,8	0,65	0,46
	вторая	70,5	85,9	90,3	3,0	2,5	1,65	0,6	0,62	0,35
	третья	76,8	89,1	93,0	2,3	2,1	1,7	0,55	0,58	0,32
	четвертая	81,3	91,8	94,0	2,1	2,3	1,8	0,45	0,52	0,28
	пятая	84,1	93,0	95,5	1,9	2,15	2,0	0,38	0,47	0,25

ном дистилляте. При расходе пара 16,5 кг/дал б/с 60% метанола переходит в ЭАФ. При расходе пара 6 кг/дал б/с при одном и том же числе тарелок в выварной части колонны метанол будет частично задерживаться и концентрироваться на первой укрепляющей тарелке. При этих условиях до 60% метанола переходит в элюрат; расход пара 6 кг/дал б/с является минимально допустимым для перегонки метанола в ЭАФ, так как при снижении расхода пара ниже 6 кг/дал б/с локальные прямые 4, 5, 6, 7, 8 будут поворачиваться вокруг точки О по часовой стрелке, ступени концентрации метанола расположатся ниже рабочей линии 2, т. е. метанол будет задерживаться укрепляющими тарелками и при насыщении им концентрационной части колонны он будет переходить в элюрат.

Ацетальдегид и этилацетат при расходе пара 16,5 кг/дал вывариваются более полно, чем при расходе пара 6 кг/дал б/с.

Высшие спирты практически полностью задерживаются пятью теоретическими тарелками в концентрационной части элюрационной колонны и полностью переходят в элюрат.

МАТЕРИАЛЬНЫЙ И ТЕПЛОВОЙ БАЛАНСЫ КОЛОНН И РАСЧЕТ ДВУХПОТОЧНОГО БРАГОРЕКТИФИКАЦИОННОГО АППАРАТА

Исходные данные для расчета приняты такими же, как и для аппарата косвенного действия, производительностью 3000 дал/сутки (табл. 23). Однако вместо отбора концевых сортов спиртовых погоннов на двухпоточном аппарате предусматривается отбор сивушного спирта в количестве 1,2%. Принимается, что греющий пар на коллекторе имеет давление 3 ат и температуру 132,8°С.

С учетом специфики работы двухпоточного брагоректификационного аппарата температуру лютерной воды с первой ректификационной колонны принимаем 106°С, температуру отходящей барды 107,5°С. Часовое количество алкоголя, поступающее на аппарат с бражкой, должно быть равным для аппаратов производительностью 3000 дал/сутки — 987 кг/ч. Часовое количество бражки, поступающей на перегонку, для аппаратов производительностью 3000 дал/сутки — 14100 кг/ч.

Концентрация спирта на верхней тарелке эюрирующей части бражной колонны 10% вес. (в парах 52,2% вес.). Количество водно-спиртового пара, поступающего в дефлегматор и конденсатор эюрирующей части бражной колонны, будет равно $\frac{987 \cdot 100 \cdot 40}{52,2 \cdot 100} = 757 \text{ кг/ч}$ (40 — величина спиртового погона с примесями, отбираемого при эюрации бражки в %*). Примем, что бражная колонна работает с избытком пара, равным 1,1. Тогда количество водно-спиртовых паров, поступающих в дефлегматор и конденсатор эюрирующей части бражной колонны, составит $757 \cdot 1,1 = 832 \text{ кг/ч}$. Действительная концентрация спирта в парах будет равна $\frac{757}{832} \cdot 52,2 = 47,5\%$ вес.

На верхней тарелке эюрирующей части бражной колонны происходит отбор спиртового погона в количестве 40% от спирта, содержащегося в бражке, что составляет $14100 - 832 = 13268 \text{ кг/ч}$. Крепость дистиллированной бражки будет равна $987 - \frac{40 \cdot 987}{13268} \cdot 100 = 4,5\%$

вес., что соответствует содержанию спирта в паре над тарелкой, находящегося в фазовом равновесии с жидкостью, равному 35% вес. Количество водно-спиртовых паров, поступающих в первую ректификационную колонну, равно $987 - \frac{40 \cdot 987}{100} \cdot \frac{100}{35} = 1690 \text{ кг/ч}$. С учетом

избытка пара, равным 1,1, количество водно-спиртовых паров, поступающих в первую ректификационную колонну, будет равно $1690 \cdot 1,1 = 1860 \text{ кг/ч}$. Действительная концентрация спирта в парах составит $\frac{1690}{1860} \cdot 35,0 = 32\%$ вес.

БРАЖНАЯ КОЛОННА

Ниже приводится материальный и тепловой балансы бражной колонны.

* Принята на основе данных промышленной эксплуатации двухпоточного брагоректификационного аппарата.

Материальный баланс

Приход, кг/ч	Расход, кг/ч
1. Бражка — 14100	1. Пары в дефлегматор эюрирующей части бражной колонны — 832
2. Греющий пар — P	2. Пары в первую ректификационную колонну — 1860
	3. Барда — 11408 (без конденсата пара)
	4. Конденсат пара P

Тепловой баланс

Приход, ккал/ч	Расход, ккал/ч
1. С бражкой — $14100 \cdot 0,95 \cdot 70 = 93700$	1. С парами в дефлегматор и конденсатор эюрирующей части бражной колонны — $832 \cdot 469 = 390000$
2. С греющим паром — $650,3P$	2. С парами в первую ректификационную колонну — $1860 \cdot 530 = 985000$
	3. С бардой — $11408 \cdot 0,97 \cdot 107,5 = 1190000$
	4. С конденсатом пара — $107,5P$

Из теплового баланса имеем, что $937000 + 650,3P = 390000 + 985000 + 1190000 + 107,5P$; $1628000 = 542,8P$; $P = 3000 \text{ кг/ч}$.

Расход пара с учетом теплотерь (5%) равен $P = 3150 \text{ кг/ч}$.

ЭЮРАЦИОННАЯ КОЛОННА

Ниже дается материальный и тепловой баланс эюрационной колонны.

Материальный баланс

Приход, кг/ч	Расход, кг/ч
1. Погон из дефлегматора и конденсатора эюрирующей части бражной колонны — 832, в том числе спирта — 395, воды — 437	1. Эфирно-альдегидная фракция — 26,4, в том числе спирта — 24,6, воды — 1,8
2. Нестандартный спирт из конденсаторов первой и второй ректификационных колонн — 21, в том числе спирта — 19,75, воды — 1,25	2. Эюрат во вторую ректификационную колонну: спирта $395 + 19,75 - 24,6 = 390,15$, воды $437 + 785 + 1,25 - 1,8 = 1221,45$ Всего 1611,6

3. Греющий пар —
 $\frac{395 + 19,75}{10 \cdot 0,79} \cdot 15 = 785$

3. Крепость эюрата —
 $\frac{390,15}{1611,6} \cdot 100 = 24\% \text{ вес.}$

Тепловой баланс

Приход, ккал/ч	Расход, ккал/ч
1. С погонном из дефлегматора и конденсатора эюрирующей части бражной колонны $832 \cdot 82 \cdot 0,93 = 63500$	1. С головными продуктами — $26,4 \cdot 284 = 7500$
2. С греющим паром — $785 \cdot 650,3 = 510000$	2. С эюратом — $1611,6 \cdot 87 \cdot 1,05 = 147000$
3. С непастеризованным спиртом — $21 \cdot 30 \cdot 0,65 = 410$	3. С парами в дефлегматор Q_{II}
4. С жидкой флегмой $Q_{ж}$	

Из теплового баланса следует, что $Q_{ж} + 635000 + 510000 + 410 = Q_{II} + 7500 + 147000$. Тепловая нагрузка на конденсатор и дефлегматор эюрационной колонны составит $q = Q_{II} - Q_{ж} = 419410 \text{ ккал/ч}$.

ПЕРВАЯ РЕКТИФИКАЦИОННАЯ КОЛОННА

Расчет первой ректификационной колонны произведем на максимальную ее нагрузку, т. е. для случая, когда в ректификационную колонну полностью поступает эюрат и водно-спиртовые пары*. Ниже приведены материальный и тепловой балансы первой ректификационной колонны.

Материальный баланс

Приход, кг/ч	Расход, кг/ч
1. Водно-спиртовые пары с верхней тарелки выварной части бражной колонны — 1860	1. Спирт-ректификат — 998
2. Эюрат — 1611,6	2. Сивушный спирт — 9,88
3. Флегма — $5D^{**}$	3. Пары сивушного масла — 17,76
4. Греющий пар — P	4. Непастеризованный спирт — 21,0
	5. Лютерная вода (без конденсата пара) — $1860 + 1611,6 - (998 + 9,88 + 17,76 + 21) = 2424,96$
	6. Пары флегмы — $5D$
	7. Конденсат пара — P

* При переработке кондиционного сырья.

** Погонное отношение принимается за четырехкратное количество дистиллята.

Дистиллят равен сумме ректификата и непастеризованного спирта.

Тепловой баланс

Приход, ккал/ч	Расход, ккал/ч
1. С водно-спиртовыми парами бражной колонны — $1860 \cdot 530 = 985000$	2. Со спиртом-ректификатом — $498 \cdot 78,3 \cdot 0,65 = 50800$
2. С эюратом — $1611,6 \cdot 1,05 = 147000$	2. С парами сивушного масла — $17,76 \cdot 350 = 6200$
3. С флегмой — $5095 \cdot 78,3 \cdot 0,65 = 260000$	3. С сивушным спиртом — $9,88 \cdot 0,8 \cdot 79,5 = 630$
4. С греющим паром — $650,3P$	4. С лютерной водой (без конденсата пара) — $2424,96 \cdot 106 \cdot 1,0 = 257000$
	5. С парами в дефлегматор — $5095 \cdot 294 = 1500000$
	6. С конденсатом пара — $106P$

Из теплового баланса имеем: $985000 + 147000 + 260000 + 650,3P = 50800 + 6200 + 630 + 257000 + 1500000 + 106P$; $544,3P = 422630$; $P = 775 \text{ кг/ч}$. Расход пара с учетом теплотерь (5%) составит $P = 815 \text{ кг/ч}$.

ВТОРАЯ РЕКТИФИКАЦИОННАЯ КОЛОННА

Установка второй ректификационной колонны в системе двухпоточного брагоректификационного аппарата обосновывается технологически при переработке на спирт дефектного сырья.

Расчет второй ректификационной колонны производится для случая, когда на спирт перерабатывается дефектное сырье, т. е., когда питание первой ректификационной колонны производится водно-спиртовыми парами, а весь эюрат направляется во вторую ректификационную колонну. В этом случае отбор ректифицированного спирта с первой и второй ректификационных колонн, а также отбор непастеризованного спирта производится соответственно в соотношении 60 и 40%. Отбор крепкого сивушного спирта и сивушного масла будет осуществляться из второй ректификационной колонны. Количество абсолютного алкоголя, отбираемого с ректифицированным спиртом со второй ректификационной колонны, составит $(390,15 - 11,84 - 2,96 - 19,75) \frac{40}{100} = 367,45 \text{ кг}$ ($390,15$ — количество алкоголя, содержащегося в эюрате).

Ниже приводятся материальный и тепловой балансы второй ректификационной колонны.

Материальный баланс

Приход, кг/ч	Расход, кг/ч
1. Эпюрат — 1611,6	1. Спирт-ректификат — $\frac{367,45}{94,0} \cdot 100 = 390$
2. Флегма — 5D	2. Сивушный спирт — 9,88
3. Греющий пар — P	3. Сивушное масло — 16,76
	4. Непастеризованный спирт — $\frac{1975}{40} \cdot 100 = 8,37$
	5. Лютерная вода (без конденсата пара) — 1611,6 — (390 + 9,88 + 17,76 + 8,37) = 1185,59
	6. Пары флегмы — 5D
	7. Конденсат пара — P

Тепловой баланс

Приход, ккал/ч	Расход, ккал/ч
1. С эпюратом — $1611,6 \cdot 87 \cdot 1,05 = 147000$	1. Со спиртом-ректификатом — $390 \cdot 78,3 \cdot 0,65 = 19800$
2. С флегмой — $1992 \cdot 78,3 \cdot 0,65 = 102000$	2. С парами сивушного масла — $17,76 \cdot 350 = 6200$
3. С греющим спиртом — 650,3P	3. С сивушным спиртом — $9,88 \cdot 0,80 \cdot 79,5 = 630$
	4. С лютерной водой — $1185,59 \cdot 104 \cdot 1,0 = 123000$
	5. С парами в дефлегматор — $1992 \cdot 294 = 587000$
	6. С конденсатом пара — 104P

Из теплового баланса имеем: $650,3P + 102000 + 147000 = 19800 + 6200 + 630 + 123000 + 587000 + 104P$; $546,3P = 487630$; $P = 890$ кг/ч. Расход пара с учетом теплопотерь (5%) составит 935 кг/ч. Общий расход пара в аппарате (без второй ректификационной колонны) $P = 3150 + 785 + 815 = 4750$ кг/ч или $\frac{4750 \cdot 24}{3000} = 38,0$ кг/дал спирта.

РАСЧЕТ БРАЖНОЙ КОЛОННЫ

Количество греющего пара, поступающее в нижнюю часть колонны, равно 3150 кг/ч. Давление в колонне — 1,35 ат. Плотность вводимых в колонну паров — 0,7 кг/м³. Скорость паров в свободном сечении колонны принимаем равной 0,7 м/сек. Сечение колонны определяем по формуле (9):

$$F = \frac{3150}{0,7 \cdot 0,7 \cdot 3600} = 1,78 \text{ м}^2.$$

Этому сечению соответствует диаметр колонны 1510 мм. Принимаем диаметр выварной и эпюрирующей части бражной колонны 1500 мм.

Тип тарелок:

а) в выварной части — 22 ситчатые тарелки, расстояние между тарелками 500 мм;

б) в эпюрирующей части — 9 тарелок двойной выварки, расстояние между тарелками 280 мм.

Расчет дефлегматора и конденсатора эпюрирующей части бражной колонны

Тепловая нагрузка на дефлегматор колонны равна $q = 390000 - 63500 = 326500$ ккал/ч.

Расход воды равен:

$$W = \frac{326500}{(70 - 15) 1000} = 5,85 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Средняя разность температур между рабочими средами

$$t_{\text{конд}} = 88^\circ\text{C}$$

↑
пары спирта

$$\Delta t_{\text{ср}} = \frac{73 - 18}{2,31g \frac{73}{18}} = 39^\circ\text{C}$$

$$t_{\text{к}} = 70^\circ\text{C} \quad t_{\text{н}} = 15^\circ\text{C}$$

←
вода

Коэффициент теплопередачи k принимаем равным 300 ккал/(м²·ч·°C) Поверхность теплопередачи будет равна:

$$F = \frac{326500}{39 \cdot 300} = 28 \text{ м}^2.$$

Устанавливается дефлегматор с поверхностью теплопередачи 30 м² и конденсатор с поверхностью 10 м².

РАСЧЕТ ЭПЮРАЦИОННОЙ КОЛОННЫ

Скорость паров в свободном сечении колонны, определенная по уравнению Киршбаума, составляет 0,58 м/сек. Паровой поток, поступающий в дефлегматор

эпюрационной колонны (см. расчет эпюрационной колонны аппарата косвенного действия), составляет:

$$G = \frac{4190 \cdot 410}{227,4} = 1850 \text{ кг/ч.}$$

Объем спиртовых паров в верхней части эпюрационной колонны равен:

$$V = \frac{1850}{1,48} = 1250 \text{ м}^3 \text{ ч.}$$

Сечение колонны составит:

$$F = \frac{1250}{0,58 \cdot 3600} = 0,597 \text{ м}^2.$$

Диаметр колонны будет равен:

$$D = \sqrt{\frac{0,597 \cdot 4}{\pi}} = 0,870 \text{ м.}$$

Принимаем диаметр эпюрационной колонны 900 мм с 32-я многоколпачковыми тарелками, из них 7 — в концентрационной части и 25 — в выварной части колонны.

Расчет дефлегматора и конденсатора эпюрационной колонны

Тепловая нагрузка на дефлегматор и конденсатор составляет 419410 ккал/ч.

Расход охлаждающей воды равен:

$$W = \frac{419410}{(70 - 15) 100} = 7,65 \text{ м}^3 \text{ ч.}$$

Тепловая нагрузка между дефлегматором и конденсатором распределяется в отношении 4:1.

Поверхность дефлегматора. Тепловая нагрузка на дефлегматор составит:

$$q = 419410 \cdot \frac{4}{5} = 336000 \text{ ккал/ч.}$$

Температура воды на выходе из конденсатора:

$$t_b = 15 + \frac{83410}{7650} = 15 + 11 = 26^\circ\text{C.}$$

Средняя разность температур между рабочими средами

$$t_{\text{конд}} = 78,3^\circ\text{C}$$

↑
пары спирта

$$\Delta t_{\text{ср}} = \frac{52,3 - 8,3}{2,3 \lg \frac{52,3}{8,3}} = 24^\circ\text{C}$$

$$t_k = 70^\circ\text{C} \quad t_n = 26^\circ\text{C}$$

←
вода

Поверхность теплообмена будет равна:

$$F = \frac{336000}{24 \cdot 400} = 35 \text{ м}^2.$$

Устанавливаем дефлегматор с поверхностью теплообмена $F = 40 \text{ м}^2$ и конденсатор $F = 8 \text{ м}^2$.

РАСЧЕТ ПЕРВОЙ РЕКТИФИКАЦИОННОЙ КОЛОННЫ

Диаметр колонны определяется по ее верхней части, где объем паров будет иметь максимальное значение. Количество паров, поступающих в дефлегматор колонны, составляет 5095 кг/ч. Объем паров, определенный по формуле (1), составляет 3400 м³/ч. Скорость паров в свободном сечении колонны, определенная по уравнению Киршбаума (13), составляет 0,57 м/сек. Сечение колонны будет равно:

$$F = \frac{3400}{0,57 \cdot 3600} = 1,66 \text{ м}^2.$$

Диаметр будет определен по формуле:

$$D = \sqrt{\frac{1,64 \cdot 4}{\pi}} = 0,145 \text{ м} = 1450 \text{ мм.}$$

Принимаем колонну диаметром 1500 мм с 66 многоколпачковыми тарелками, из них 50 тарелок расположены в концентрационной части и 16 — в выварной части колонны.

Расчет дефлегматора-подогревателя первой ректификационной колонны

Тепловая нагрузка на дефлегматор-подогреватель по тепловому балансу составляет $q = 1500000 - 260000 = 1240000 \text{ ккал/ч}$. Количество тепла, отводимое браж-

кой, равно $14100(70-28)0,95 = 560000$ ккал/ч. Коэффициент теплопередачи бражной секции дефлегматора-подогревателя составляет $k = 236$ ккал/(м²·ч·°С). Средняя разность температур:

$$t = 78,3^{\circ}\text{C} \xrightarrow{\text{пар}}$$

$$\Delta t_{\text{ср}} = \frac{50,3 - 8,3}{2,3 \lg \frac{50,3}{8,3}} = 23,4 \text{ C.}$$

$$\xleftarrow{\text{бражка}} t_{\text{к}} = 70^{\circ}\text{C} \quad t_{\text{н}} = 28^{\circ}\text{C}$$

Поверхность дефлегматора-подогревателя, охлаждаемая бражкой, равна:

$$F = \frac{560\,000}{23,4 \cdot 236} = 101 \text{ м}^2.$$

Устанавливаем дефлегматор с поверхностью теплообмена $F = 100 \text{ м}^2$ (2 барабана по 50 м^2 каждый). Остальное количество тепла (680000 ккал/ч) отводится охлаждающей водой.

Расход воды составит:

$$W = \frac{680\,000}{(70-15)1000} = 12,4 \text{ м}^3 \text{ ч.}$$

Тепловая нагрузка между водяной секцией дефлегматора-подогревателя и конденсатором распределяется в отношении 4:1.

Поверхность водяной секции дефлегматора-подогревателя. Тепловая нагрузка равна $680000 \cdot \frac{4}{5} = 545000$ ккал/ч. Температура воды на выходе из конденсатора равна:

$$t_{\text{в}} = 15 + \frac{680\,000 - 545\,000}{12\,400} = 15 + 11 = 26^{\circ}\text{C}.$$

Средняя разность температур:

$$t_{\text{к}} = 78,3^{\circ}\text{C} \xrightarrow{\text{пар}}$$

$$\Delta t_{\text{ср}} = \frac{52,3 - 8,3}{2,3 \lg \frac{52,3}{8,3}} = 24,0^{\circ}\text{C}$$

$$\xleftarrow{\text{вода}} t_{\text{н}} = 70^{\circ}\text{C} \quad t_{\text{к}} = 26^{\circ}\text{C}$$

Коэффициент теплопередачи принимаем равным $k = 500$ ккал/(м²·ч·°С). Поверхность водяной секции дефлегматора-подогревателя будет составлять:

$$F = \frac{545\,000}{24 \cdot 500} = 45,3 \text{ м}^2$$

К установке принимаем водяной барабан с поверхностью охлаждения $F = 50 \text{ м}^2$. Поверхность конденсатора принимается $F = 15 \text{ м}^2$.

РАСЧЕТ ВТОРОЙ РЕКТИФИКАЦИОННОЙ КОЛОННЫ

Количество паров, поступающих в дефлегматор колонны, составляет 1992 кг/ч.

Объем паров, определенный по формуле (1), равен:

$$V = \frac{1992 \cdot 22,4(273 + 78,3) 1,0}{1,03 \cdot 42 \cdot 1,273} = 1330 \text{ м}^3/\text{ч}$$

Скорость паров в свободном сечении колонны, определенная по уравнению (13), составляет $\omega = 0,57$ м/сек.

Сечение колонны составит:

$$F = \frac{1330}{0,57 \cdot 3600} = 0,65 \text{ м}^2$$

Этому сечению соответствует диаметр:

$$D = \sqrt{\frac{0,65 \cdot 4}{\pi}} = 0,91 \text{ м, или } 910 \text{ мм.}$$

К установке принимается колонна диаметром 900 мм с 66 многоколпачковыми тарелками, из них 50 расположены в концентрационной части и 16 — в выварной части колонны.

Расчет дефлегматора и конденсатора второй ректификационной колонны

Тепловая нагрузка на дефлегматор и конденсатор по тепловому балансу составляет: $587000 - 102000 = 485000$ ккал/ч. Расход охлаждающей воды будет равен:

$$W = \frac{485000}{(70 - 15) 1000} = 8,8 \text{ м}^3 \text{ ч.}$$

Поверхность дефлегматора. Тепловая нагрузка на дефлегматор составляет: $485000 \cdot \frac{4}{5} = 388000$ ккал/ч.

Температура воды на выходе из конденсатора равна:

$$t_{\text{в}} = 15 + \frac{485000 - 388000}{8800} = 32^\circ\text{C.}$$

Средняя разность температур между рабочими средами

$$t_{\text{к}} = 78,3^\circ\text{C}$$

пар

$$\Delta t_{\text{ср}} = \frac{46,3 - 8,3}{2,31 \lg \frac{46,3}{8,3}} = 22^\circ\text{C.}$$

$$t_{\text{к}} = 70^\circ\text{C} \quad t_{\text{н}} = 32^\circ\text{C}$$

← вода

Поверхность дефлегматора равна:

$$F = \frac{388000}{22 \cdot 500} = 35,3 \text{ м}^2.$$

К установке принимается дефлегматор с поверхностью охлаждения $F = 40 \text{ м}^2$. Поверхность конденсатора принимается $F = 10 \text{ м}^2$.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ РЕЖИМ РАБОТЫ ДВУХПОТОЧНОГО БРАГОРЕКТИФИКАЦИОННОГО АППАРАТА

В табл. 46 приведены основные технические данные двухпоточного брагоректификационного аппарата Липецкого спиртового завода.

Ниже приводятся некоторые показатели работы двухпоточного брагоректификационного аппарата:

Таблица 46

Колонны	Диаметр колонны, мм	Число тарелок	Тип тарелок	Расстояние между тарелками, мм	Поверхность охлаждения, м ²		
					дефлегматора	конденсатора	холодильника
Эпюрирующая часть бражной колонны	1400	9	Двойной выварки	280	60	10	22
Выварная часть бражной колонны	1500	22	Ситчатые	500	—	—	—
Эпюриационная колонна	1200	32	Многоколпачковые	170	40	8	4
Ректификационная колонна первая	1500	66	Многоколпачковые	170	75+35	15	22
вторая	750	70	Многоколпачковые	170	35	15	7

1) перерабатываемое сырье — сахарная свекла 85%, меласса 15%;

2) крепость бражки 7,0% об. (5,99% вес.), теплоемкость бражки 0,94 ккал/(кг·°C);

3) крепость ректифицированного спирта:

с первой ректификационной колонны — 96,3% об.;

со второй ректификационной колонны — 96,5% об.;

4) производительность аппарата по спирту высшей очистки:

с первой ректификационной колонны — 2630 дал б/с в сутки;

со второй ректификационной колонны 540 дал б/с в сутки;

5) выход продуктов ректификации: спирта высшей очистки 96,2%, эфирно-альдегидной фракции 2,7%, сивушного масла 0,35%, пстери 0,75%.

Ниже представлен технологический режим работы аппарата (приведены средние данные).

1. Температура воды на распределительном коллекторе, °С	11,0
2. Температура воды на выходе из холодильника спирта первой ректификационной колонны, °С	14,25
3. Температура воды на выходе из холодильника эфиров и спирта, °С	12,5
4. Начальная температура бражки, °С	29,5
5. Температура бражки на выходе из подогревателя, °С	75,7
6. Температура в нижней части бражной колонны, °С	107,8
7. Давление внизу бражной колонны, мм вод. ст.	3500
8. Температура в нижней части эюрационной колонны, °С	87,7
9. Давление в эюрационной колонне, мм вод. ст.	1250
10. Температура в нижней части первой ректификационной колонны, °С	105,8
11. Давление внизу первой ректификационной колонны, мм вод. ст.	2900
12. Температура в нижней части второй ректификационной колонны, °С	103,1
13. Давление внизу второй ректификационной колонны, мм вод. ст.	1800
14. Концентрация спирта в погоне, отобранном при эюрации бражки, % об	46,4
15. Температура спиртового погона, поступающего на очистку в эюрационную колонну, °С	82,1
16. Крепость эфиро-альдегидной фракции, % об	94,8
17. Крепость сивушного масла, % об	88,0

Т а б л и ц а 47

Замеряемые объекты	Средние значения	
	V м³/ч	t°С
Дефлегматор и конденсатор эюрирующей части бражной колонны	10,26	74,9
Дефлегматор и конденсатор эюрационной колонны	11,96	64,3
Секция водяного охлаждения дефлегматора и конденсатор первой ректификационной колонны	20,72	32,5
Дефлегматор и конденсатор второй ректификационной колонны	5,29	55,0
Спиртоловушка и холодильник сивушного масла	1,69	33,0

В табл. 47 сведены данные по расходу воды и ее температуре в замеряемых объектах.

Часовое количество бражки, поступающее на аппарат, составляет:

$$B = \frac{(П_I + П_{II} \cdot 10 \gamma_{сп}) 100 \cdot 100 \cdot 100}{C_{бр} \cdot 24 \cdot 96,2 \cdot 99,25} =$$

$$= \frac{(2630 + 540) 10 \cdot 0,79 \cdot 100 \cdot 100 \cdot 100}{5,99 \cdot 24 \cdot 96,2 \cdot 99,25} = 20\ 500 \text{ кг/ч.}$$

Количество тепла, отбираемого бражкой в подогревателе, будет равно:

$$Q_{бр} = 20\ 500 (75,7 - 29,5) 0,94 = 890\ 000 \text{ ккал/ч.}$$

Тепло, расходуемое на догрев бражки до кипения, составляет:

$$Q_{бр.к} = 20\ 500 (95 - 75,7) 0,94 = 372\ 000 \text{ ккал/ч.}$$

Количество тепла, отбираемого охлаждающей водой при конденсации пара, составляет:

в конденсаторе и дефлегматоре эюрирующей части бражной колонны:

$$Q_1 = W (t_{в.к} - t_{в.н}) c = 10\ 260 (74,9 - 11) 1,0 = 655\ 000 \text{ ккал/ч;}$$

в конденсаторе и дефлегматоре эюрационной колонны:

$$Q_2 = 11\ 960 (64,3 - 12,5) 1,0 = 620\ 000 \text{ ккал/ч;}$$

в конденсаторе и секции водяного охлаждения дефлегматора первой ректификационной колонны:

$$Q_3 = 20\ 720 (32,5 - 14,25) 1,0 = 378\ 000 \text{ ккал/ч;}$$

в конденсаторе и дефлегматоре второй ректификационной колонны:

$$Q_4 = 5290 (65,0 - 12,5) 1,0 = 278\ 000 \text{ ккал/ч;}$$

в спиртоловушке и холодильнике сивушного масла:

$$Q_5 = 1690 (33,0 - 11,0) 1,0 = 37\ 200 \text{ ккал/ч.}$$

Количество дистиллята, перешедшего из дефлегматора и конденсатора эюрирующей части бражной колонны в эюрационную, составляет:

$$L = \frac{Q}{r} = \frac{655\ 000}{432,2} = 1510 \text{ кг/ч.}$$

Количество тепла, необходимое на нагрев дистиллята в элюрационной колонне до $87,7^{\circ}\text{C}$ с коэффициентом избытка пара 10%, равно:

$$Q_{\text{н}} = 1510 (87,7 - 82,1) 1,03 = 8700 \text{ ккал ч.}$$

Суммарный расход пара на аппарат с учетом теплопотерь (5%) составит:

$$\begin{aligned} Q_{\text{общ}} &= [Q_{\text{бр}} + Q_{\text{бр.к}} + Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_{\text{н}}] 1,05 = \\ &= [890\,000 + 372\,000 + 655\,000 + 620\,000 + 378\,000 + \\ &+ 278\,000 + 37\,200 + 8700] 1,05 = 3\,400\,000 \text{ ккал ч.} \end{aligned}$$

Расход пара равен:

$$P = \frac{Q_{\text{общ}}}{r} = \frac{3\,400\,000}{540} = 6300 \text{ кг/ч}$$

или в пересчете на 1 дал б/с будет составлять:

$$P = \frac{6300}{\frac{3170 \cdot 100}{96,2 \cdot 24}} = 45,6 \text{ кг/дал б/с.}$$

Расход воды:

$$W_{\text{общ}} = 10,26 + 11,96 + 20,72 + 5,29 + 1,69 = 49,92 \text{ м}^3/\text{ч.}$$

С учетом расхода воды на конденсатор, сепараторы углекислоты, сивухопромыватель и прочие общий расход воды принимаем $52 \text{ м}^3/\text{ч}$, тогда удельный расход воды на 1 дал б/с составит $\frac{52000}{96,2 \cdot 24} = 0,38 \text{ м}^3/\text{дал б/с}$.

Расход пара в элюрационной колонне определяют по известным величинам теплоты конденсации паров в дефлегматоре и конденсаторе колонны и количеству тепла, необходимого для нагрева дистиллята, поступающего в колонну, до кипения.

$$P = \frac{Q_2 + Q_{\text{н}}}{r} = \frac{620\,000 + 8700}{540} = 1170 \text{ кг ч}$$

или с учетом теплопотерь (5%) $P = 1170 \cdot 1,05 = 1225 \text{ кг/ч}$, что в пересчете на 1 дал б/с составит:

$$P = \frac{P \cdot \gamma_{\text{сп}} \cdot 100 \cdot 10}{M x_{\text{м}}} = \frac{1225 \cdot 0,79 \cdot 100 \cdot 10}{1270 \cdot 39} = 16,5 \text{ кг/дал б/с,}$$

где M — количество дистиллята, поступающего в элюрационную колонну, кг/ч ;

$x_{\text{м}}$ — концентрация спирта в дистилляте, % вес.

ПУСК, НАЛАДКА И ОСТАНОВКА АППАРАТА

Гидравлические испытания колонн и теплообменников двухпоточного брагоректификационного аппарата производятся так же, как и аппаратов косвенного действия.

Перед пуском аппарата на паровой трубе, по которой очищенные от примесей спиртовые пары поступают непосредственно в первую ректификационную колонну, полностью открывается задвижка Лудло. Такая же задвижка установлена на паропроводе от колонны для элюрации бражки к дефлегматору; она открывается частично (на 6—7 витков). После наполнения напорного бака охлаждающей водой, заполнения бачков вакуум-прерывателей и парорегуляторов водой производится пуск охлаждающей воды на дефлегматоры и конденсаторы бражной, элюрационной и первой ректификационной колонны, после чего подается греющий пар в вышеуказанные колонны с соблюдением предосторожностей, указанных при пуске аппарата косвенного действия.

После прогрева низа колонн, спуска из них конденсата пара подключаются вакуум-прерыватели и парорегуляторы, по высоте водяного столба в водомерных стеклах которых и по температуре на контрольных тарелках колонн наблюдают за скоростью их прогрева. При этом подачу пара регулируют так, чтобы бражная колонна прогревалась быстрее, чем первая ректификационная колонна.

Как только паровая труба, соединяющая бражную колонну с первой ректификационной колонной, полностью прогреется, увеличивают подачу пара в бражную и первую ректификационную колонну до полного их нагрева. При этом подключают бражный насос на подачу охлаждающей воды на брагоподогреватели*.

Как только бражная, элюрационная и первая ректификационная колонны будут полностью прогреты, браж-

* Технологической схемой должна быть предусмотрена подача охлаждающей воды в брагоподогреватели в пусковой период и при случайных остановах аппарата.

ный насос переключают на подачу бражки из бражного резервуара, предварительно перемешав в нем бражку. Подачу бражки постепенно увеличивают до полного насыщения элюрационной и первой ректификационной колонн спиртом при отсутствии потерь спирта в барде и лютере.

Для быстрого насыщения первой ректификационной колонны спиртом элюрат из элюрационной колонны полностью направляется в нее. Как только достигнуто насыщение первой ректификационной колонны спиртом, с верхних тарелок через холодильник отбирают пробу спирта-ректификата, в котором определяют крепость и содержание примесей. Если полученный спирт не стандартный по качеству, его направляют в промежуточный бражной чан. Регулируют отбор нестерилизованного спирта в допустимых пределах. Спирт-ректификат, удовлетворяющий требованиям стандарта, направляют через контрольный снаряд в сливное отделение. Увеличивают подачу бражки на аппарат и отбор ректифицированного спирта с первой ректификационной колонны, доводя производительность аппарата до проектной. При этом температура подогрева бражки в брагоподогревателях должна соответствовать 75—77° С.

Температура на питающей тарелке колонны для элюрации бражки должна быть 92—93° С, на верхней выварной тарелке истощающей части бражной колонны 102—104° С, в кубовой части бражной колонны 107—108° С, в нижней части первой ректификационной колонны 104—105° С.

Давление в бражной колонне должно соответствовать 3200—3500 мм вод. ст., в первой ректификационной колонне 2700—2900 мм вод. ст. Перепад давления между обеими колоннами должен быть равным 400—500 мм вод. ст. для обеспечения непрерывного перетока водно-спиртовых паров из бражной колонны в первую ректификационную, что обеспечивается регулировкой подачи пара в эти колонны и поддержанием показателей технологического и температурного режима работы колонн и дефлегматоров, указанных ранее.

После установления в колоннах рабочего режима часть элюрата направляют на вторую ректификационную колонну, что необходимо делать при поступлении на переработку дефектного сырья. Количество элюрата,

которое направляется во вторую ректификационную колонну, определяется степенью дефектности перерабатываемого сырья: чем дефектнее сырье, тем больше элюрата направляется во вторую ректификационную колонну.

ЭАФ начинают отбирать через 20—24 ч после установления в аппарате рабочего режима.

Сивушное масло с первой ректификационной колонны отбирают с момента вывода ее на рабочий режим по истечении 24—48 ч, а затем направляют на промывку в сивухопромыватель. Сивушный спирт и сивушное масло из второй ректификационной колонны отбирают спустя 20—24 ч с момента вывода колонны на рабочий режим, которые также направляют на промывку в сивухопромыватель. Промывные воды возвращаются в бражной резервуар на повторную переработку.

При поддержании технологического режима работы аппарата получают стандартный ректифицированный спирт независимо от вида и степени дефектности перерабатываемого сырья.

При вынужденной остановке аппарата (например, чистка бражной колонны), задвижка Лудло на паровой коммуникации от бражной колонны в первую ректификационную колонну перекрывается, бражный насос переключается на подачу охлаждающей воды вместо бражки, отбор спиртопродуктов прекращают.

При длительной остановке аппарата колонны истощаются от спирта, прекращается подача пара, закрываются выходы барды и лютерной воды и после остывания колонн прекращается подача охлаждающей воды на аппарат.

ПОКАЗАТЕЛИ РАБОТЫ БРАГОРЕКТИФИКАЦИОННЫХ АППАРАТОВ КОСВЕННОГО И ДВУХПОТОЧНОГО ДЕЙСТВИЯ

На Липецкий спиртовой завод был поставлен из ГДР брагоректификационный аппарат косвенного действия производительностью 3000 дал/сутки, который был реконструирован на двухпоточный аппарат. Для проведения сравнительных испытаний аппарат работал по схеме косвенного действия. Сравнительные испытания аппарата по обеим схемам производились в одинаковых условиях, на одном и том же сырье в течение месяца. Бражку подогревали до температуры 75—80° С.

Расход пара на аппарат замерялся паромером, который был установлен на общей паровой коммуникации, расход воды — водомером ВР-200, установленным на общей коммуникации.

Показания счетчика водомера снимали ежедневно и в конце смены. Средняя производительность аппарата, работающего по схеме косвенного действия, по спирту высшей очистки составляла 2800 дал/сутки, расход пара и воды соответственно 8,0 т/ч и 63,5 м³/ч.

Производительность аппарата по схеме двухпоточного действия по спирту высшей очистки составляла 3170 дал/сутки: расход пара и воды соответственно 6,3 т/ч и 5,0 м³/ч.

На основании полученных данных удельный расход пара и воды на 1 дал спирта высшей очистки, выработанного по схеме косвенного и двухпоточного действия, представлен в табл. 48.

Таблица 48

Аппарат	Удельный расход			
	пара		воды	
	кг/ч	кг/дал	м ³ /ч	м ³ /дал
Косвенного действия	8000	66	63,5	0,525
Двухпоточный	6300	45,6	50,0	0,387

Как видно из табл. 48, сокращение расхода пара и воды на двухпоточном аппарате по сравнению с аппаратами косвенного действия составляет около 30%.

Таблица 49

Образец	Оценка по 10-балльной системе			
	цвет	запах	вкус	общая
Образец 1 (аппарат косвенного действия)	2,0	3,5	3,5	9,0
Образец 2 (двухпоточный аппарат)	2,0	3,8	3,8	9,6
Образец 3 (двухпоточный аппарат, первая ректификационная колонна)	2,0	3,8	3,9	9,7
Образец 4 (двухпоточный аппарат, вторая ректификационная колонна)	2,0	3,8	3,7	9,5

Пробы спирта высшей очистки, полученные при испытании аппарата по схеме косвенного и двухпоточного действия, были представлены на закрытую дегустацию Центральной дегустационной комиссии (табл. 49).

Дегустационная комиссия считает, что спирт-ректификат высшей очистки, выработанный по двухпоточной схеме, имеет лучшие вкусовые качества, чем спирт, выработанный по схеме косвенного действия.

КОНТРОЛЬ И АВТОМАТИЗАЦИЯ РАБОТЫ АППАРАТОВ

Получение стандартного ректифицированного спирта на брагоректификационных и ректификационных аппаратах может быть обеспечено при поддержании стабильного режима работы колонн.

При ручном регулировании это достигается строгим соблюдением аппаратчиком заданного температурного и технологического режима работы аппарата. При автоматическом регулировании работу аппаратчика частично выполняют приборы, контроль за работой которых должен быть обеспечен службой КИП.

ПРОСТЕЙШИЕ РЕГИСТРИРУЮЩИЕ И РЕГУЛИРУЮЩИЕ ПРИБОРЫ

Рассмотрим устройство и принцип работы простейших регистрирующих и регулирующих приборов, применяемых при ректификации спирта. Для достижения ритмичной работы колонны оборудуются приборами, которые контролируют и регулируют технологический и температурный режим работы колонны.

Контрольный фонарь. С помощью контрольного фонаря в процессе работы колонн непрерывно отбирается конденсат паров для определения потерь спирта в кубе колонны. Из пространства над жидкостью одной из нижних тарелок или куба колонны отбирается небольшое количество паров, которые по паропроводу направляются в змеевиковые холодильники и конденсируются; определяется содержание спирта в конденсате паров. Предельное содержание спирта в барде допускается 0,015% об., в лютерной воде — спирта не должно быть.

В кубовой части колонны установлено водомерное стекло для наблюдения за уровнем жидкости.

Бардорегулятор. Бардорегулятор представляет собой автоматически действующий поплавок, при помощи которого регулируется уровень барды в кубе колонны. Сосуд, в котором помещен поплавок, соединен с паровым пространством нижней части колонны для уравнивания давления. Конденсат пара непрерывно поступает на поплавок и омывает его. Чувствительность регулятора уровня повышается при использовании противовесов на поплавковой тяге. Уровень барды в кубе колонны влияет на подачу пара в колонну. Высокий уровень жидкости может вызвать достаточное обратное давление на барботер и значительно сократить поступление пара; и наоборот, снижение уровня жидкости может увеличить поступление пара в колонну. Однако труба барботера должна быть покрыта жидкостью.

Изменение уровня барды в кубе колонны указывает на наличие подпора со стороны выхода барды или на плохую работу поплавка бардорегулятора. Высокий уровень барды в колонне может быть вызван интенсивной подачей бражки или, если бардопровод небольшого диаметра, для передачи больших количеств барды.

Гидрозатвор. Куб колонны оснащается гидрозатвором, который действует по принципу манометра. Регулятор уровня такого типа не имеет подвижных деталей. Однако на его работу влияет атмосферное давление и давление внутри колонны.

Парорегулятор. Парорегулятор регулирует подачу пара в колонну в зависимости от давления в ней. Простейший регулятор представляет собой поплавок, покоящийся на водяном столбе жидкости. Изменение давления внутри колонны повышает или понижает уровень водяного столба. Поплавок соответственно меняет свое положение и тем самым перемещает клапан в паропроводе, увеличивая или уменьшая подачу пара в колонну.

Подачу пара можно также регулировать пневматическим прибором. Изменение давления фиксируется прибором, который регулирует подачу воздуха на диафрагму клапана в трубопроводе.

Поток воды в конденсатор и дефлегматор обычно регулируется по температуре выходящей воды. Баллон и трубки дистанционного термометра, наполненные

инертным газом или жидкостью, стремятся к расширению или сжатию при изменении температуры. Как только изменяется температура газа или жидкости в термобаллоне, установленном в трубопроводе, изменяется давление, и оно действует на водяной клапан непосредственно или через пневматическое приспособление.

Регулирование подачи бражки осуществляется плунжерным насосом, который при каждом движении поршня подает постоянное количество бражки. Подача бражки при ручном регулировании осуществляется по показаниям температуры загрузки ректификационной колонны спиртом; при автоматическом регулировании осуществляется по температуре на верхней тарелке бражной колонны. В зависимости от типа насоса регулирование подачи бражки в бражную колонну достигается уменьшением или увеличением подачи пара на насос или изменением числа оборотов рабочего колеса насоса.

СХЕМА АВТОМАТИЗАЦИИ ЧЕТЫРЕХКОЛОННОГО БРАГОРЕКТИФИКАЦИОННОГО АППАРАТА КОСВЕННОГО ДЕЙСТВИЯ

Принципиальная схема автоматизации работы четырехколонного брагоректификационного аппарата косвенного действия приведена на рис. 29.

Средства автоматизации

Помещения брагоректификационных отделений спиртовых заводов относятся к категории пожаро- и взрывоопасных.

Учитывая это, а также высокие требования к точности и надежности системы автоматического регулирования, в качестве основной аппаратуры используются пневматические регулирующие блоки системы «Старт», представляющие собой комплекс унифицированных малогабаритных пневматических блоков, позволяющих решать задачи многоконтурного автоматического регулирования процесса ректификации.

При этом для дистанционного управления исполнительными механизмами используются вторичные показывающие приборы системы АУС, представляющие со-

бой записывающие пневматические приборы с электрическим приводом для перемещения диаграммы.

Регистрация основных технологических параметров обеспечивается 15-точечным регистрирующим пневматическим прибором системы «Старт». Датчиками приборов контроля и регулирования выбраны:

а) манометрические термометры — для измерения температуры в колоннах, дефлегматорах и конденсаторах;

б) дифманометры — для измерения давления в колоннах и расхода пара на аппарате;

в) ротаметры — для измерения количества спирта-ректификата, отбираемого из ректификационной колонны.

Все первичные приборы имеют пневмовыход, позволяющий использовать их для дистанционной передачи показаний на щит брагоректификационного отделения. В качестве исполнительных механизмов в схеме предусмотрены регулирующие клапаны с пневматическим мембранным приводом.

Технологический контроль и сигнализация

Схемой автоматизации работы брагоректификационного аппарата предусмотрен технологический контроль всех основных параметров процесса со щита управления. На щите сосредоточены показывающие и регистрирующие приборы, обеспечивающие возможность наблюдения обслуживающему персоналу за ходом технологического процесса.

Способы контроля (показания, запись) параметров приведены на принципиальных схемах автоматизации.

Со щита управления предусмотрена также сигнализация при отклонениях основных технологических параметров от заданных значений. Сигнализация сопровождается подачей звукового сигнала, свидетельствующего о необходимости вмешательства обслуживающего персонала в управление технологическим процессом.

Автоматическое регулирование параметров процесса

В брагоректификационных аппаратах регулируются следующие параметры:

а) давление в колоннах;

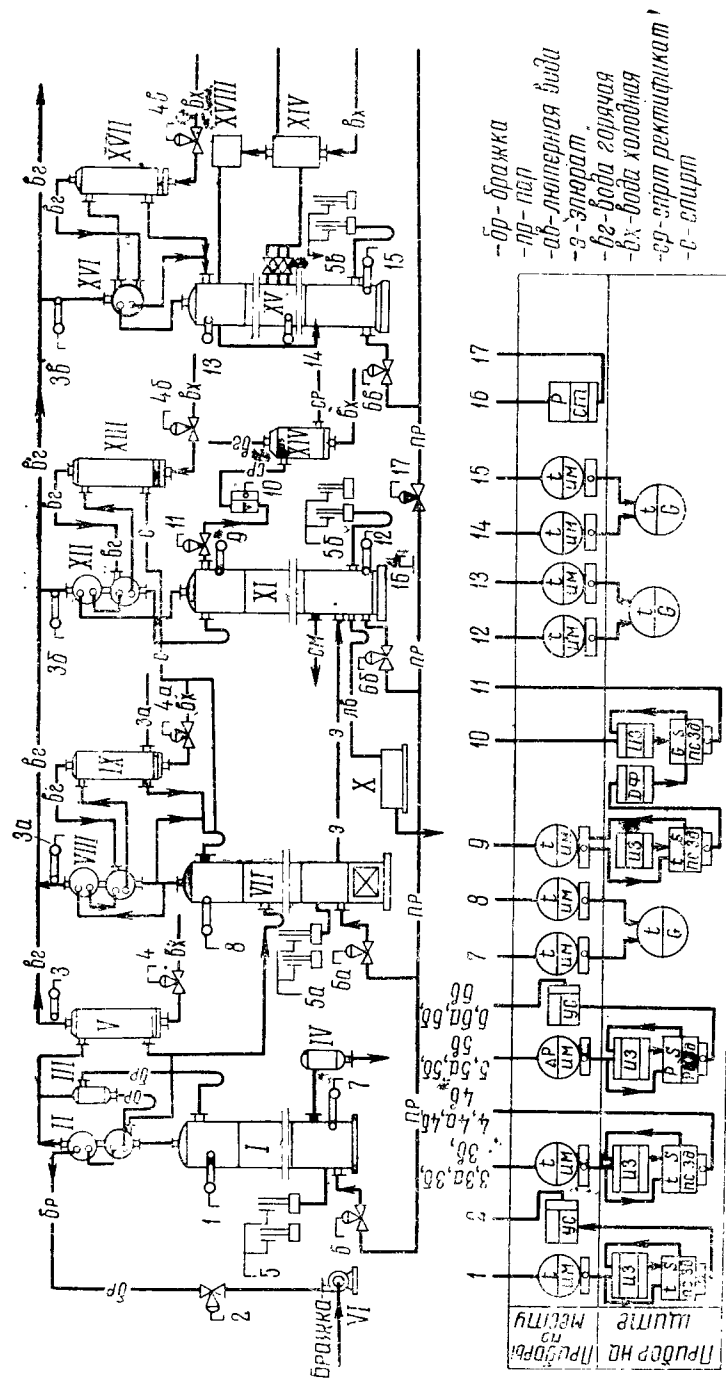


Рис. 29. Принципиальная схема автоматизации четырехколонного брагоректификационного аппарата:

I — бражная колонна; II — брагоподогреватель; III — сепаратор бражки; IV — бардорегулятор; V — конденсатор; VI — бражной насос; VII — эворапационная колонна; VIII — дефлегматор эворапационной колонны; IX — конденсатор эворапационной колонны; X — бак лютерной воды; XI — ректификационная колонна; XII — дефлегматор ректификационной колонны; XIII — конденсатор ректификационной колонны; XIV — холодильный спирт; XV — сивушная колонна; XVI — дефлегматор сивушной колонны; XVII — конденсатор сивушной колонны; XVIII — подогреватель промышленных вод; 1, 3, 3а, 3б, 3в — измерение и регулирование температуры; 2 — регулирование подачи бражки; 4, 4а, 4б, 4в — регулирование подачи охлаждающей воды; 5, 5а, 5б, 5в — измерение и регулирование давления; 6, 6а, 6б, 6в — регулирование подачи пара; 7, 8, 12, 13, 14, 15 — контур регулирования отбора спирта; 9, 10, 11 — контур регулирования отбора спирта; 16 — контроль давления; 17 — регулирование давления

гулятор типа ПРЗ-21. С другой стороны к регулятору подведено давление, пропорциональное величине задания (задание устанавливается по прибору типа 2МП-30В). При отклонении температуры от заданного значения появляется сигнал рассогласования, который воздействует на исполнительный механизм (клапан), изменяющий подачу охлаждающей воды на дефлегматор таким образом, чтобы температура отходящей воды из дефлегматора соответствовала заданной;

2) контроль и регулирование температуры верха бражной колонны подачей бражки;

3) контроль и регулирование давления низа колонн подачей греющего пара;

4) контроль температуры низа колонн;

5) контроль температуры в средней части и вверху эпорационной колонны;

6) стабилизация давления пара в коллекторе пара;

7) контроль и регулирование отбора спирта из первой и второй ректификационных колонн;

8) контроль расхода воды на брагоректификационный аппарат;

9) контроль давления воздуха в коллекторе питания системы автоматизации.

Контроль и регулирование отбора спирта из первой и второй ректификационных колонн осуществляются с помощью каскадных схем, выполненных на базе регулятора системы «Старт». Каскадная схема работает следующим образом. На трубопроводе устанавливается исполнительный механизм, последовательно с ним — ротаметр РПД. Пневмосигнал от РПД поступает на второй регулятор ПРЗ-21. В зоне контрольной тарелки установлен термометр-датчик ДТП-1, который подает сигнал на первый регулятор ПРЗ-21.

Температура записывается на диаграмме прибором типа МОС-430. Первый регулятор получает задание по температуре от датчика, установленного на приборе типа 2МП-30В. Сигнал рассогласования поступает на блок предварения системы «Старт» и затем поступает в камеру задания второго регулятора. С другой стороны на второй регулятор поступает сигнал от датчика отбора спирта (РПД); сигнал рассогласования второго регулятора подается на исполнительный механизм.

Технологический режим работы аппарата стабильно поддерживался системой автоматизации, чем обеспечивалось получение стандартного ректификационного спирта высшей очистки.

МОНТАЖ И ИСПЫТАНИЯ БРАГОРЕКТИФИКАЦИОННЫХ И РЕКТИФИКАЦИОННЫХ АППАРАТОВ

Правильный монтаж оборудования медных брагоректификационных и ректификационных аппаратов непрерывного действия является основным условием для нормальной их работы.

ПОДГОТОВКА ОБОРУДОВАНИЯ К МОНТАЖУ

Монтаж медных аппаратов должен производиться только при соблюдении следующих условий:

1. Монтаж медного аппарата должен производиться квалифицированными рабочими.

2. При монтаже рабочие должны быть обеспечены следующими инструментами:

а) металлическим уровнем;

б) деревянной, тщательно простроганной и проверенной линейкой, ширина линейки должна быть не меньше ширины рабочей поверхности металлического уровня. Линейка должна быть на 10—20 см длиннее диаметра устанавливаемой колонны;

в) металлическим отвесом;

г) металлическими метрами с достаточно ясными делениями и цифрами;

д) наборами гаечных ключей, в числе которых должно быть не менее двух накидных гаечных ключей длиной плеча-рукоятки 700—800 мм;

е) металлическими оправками длиной 25—30 см. Оправки должны соответствовать диаметру болтовых отверстий во фланцах собираемых царг колонн.

3. При проведении такелажных работ должно быть следующее оборудование и инструменты:

а) две ручные лебедки с тросами длиной от 60 до 100 м. Грузоподъемность каждой лебедки должна быть не меньше двойного веса самой тяжелой части аппарата, но не менее 1,5 т;

б) такой же грузоподъемности четырьмя-шестью однорольными блоками;

в) две тали такой же грузоподъемности;

г) треххвостовая цепь на кольце с достаточно прочными крюками по концам (цепи могут быть заменены тремя концами троса разной длины, скрепленными в одной точке и снабженными на концах крюками);

д) набор скоб, прикрепляемых к фланцам царг и теплообменников при застроповке для подъема;

е) тросовые зажимы.

4. Перед сборкой медного аппарата все части аппарата тщательно проверяются. Трубчатые или змеевиковые теплообменники (подогреватели, дефлегматоры, конденсаторы и холодильники) подвергают гидравлическому испытанию.

Без предварительного гидравлического испытания теплообменников устанавливать их не рекомендуется. Проверяют все размеры по тарелкам, доступным для проверки во всех царгах колонн. В царгах колонн, не имеющих люков или регард, проверяют доступные для проверки размеры и зазоры на верхней и нижней тарелках, а в царгах колонн, снабженных люками или регардами, кроме указанных, проверяют размеры деталей и зазоры, которые можно измерить через люки или регарды.

Особо тщательно проверяют следующие размеры:

1) высоту перегородки или части переливного стакана, выступающей над полотном тарелки (слой жидкости на тарелке);

2) высоту бортов полотна тарелки двойного кипячения или высоту сливных стаканов многоколпачковой тарелки;

3) величину зазора между краями колпака тарелки двойного кипячения и полотном тарелки, а также между краями воротника и полотном тарелки;

4) расстояние между верхним краем отверстий в колпачках многоколпачковых тарелок и верхней кромкой переливной перегородки или переливного стакана (барботажный слой);

5) величину зазора между концом сливного стакана и полотном нижележащей тарелки (в колоннах, снабженных регардами).

Отклонения от установленных размеров допустимы в пределах ± 2 мм, за исключением размера барботажного слоя, отклонения по которому допустимы в пределах не более ± 1 мм.

В отдельно упакованных царгах колонн часто наблюдаются значительные отклонения (центральной части) тарелок от горизонтального уровня. Указанные отклонения возникают вследствие толчков при транспортировке. Эти отклонения легко исправляются при сборке колонны регулировкой длины центральной опоры тарелок.

Проверяют и испытывают все паровые и бардяные поплавковые регуляторы.

Паровые регулирующие дроссельные клапаны и клапаны бардяных регуляторов должны быть тщательно притерты. Поплавки регуляторов должны быть сняты и испытаны погружением в воду (отсутствие воздушных пузырьков, вырывающихся из поплавков, свидетельствует об исправности поплавка). Шарниры на тягах и коромыслах регуляторов должны обеспечивать свободное движение всей системы. Штоки поплавков должны свободно перемещаться в направляющих.

Все вентили, задвижки, краны обратные и редукционные клапаны, устанавливаемые на продуктовых, паровых и водяных трубопроводах аппаратов или на самих аппаратах, должны быть предварительно испытаны на плотность.

Штоки вентиля и задвижек, а также пробки кранов должны быть при сборке зажаты сальниками или хвостовиками так, чтобы была обеспечена достаточная плотность, но чтобы шток или пробка свободно вращались штурвалом или ключом от руки.

Не допускается применение рычагов на штурвалах или ключах кранов.

Каждый установленный вентиль и задвижка должны иметь надежно закрепленный штурвал и каждый кран должен иметь плотно насаженный на квадрат ключ с нормальной длиной плеча.

Не допускается установка непритертой и неиспытанной арматуры.

Все устанавливаемые термометры — ртутные, дистанционные, а также пружинные манометры должны быть предварительно проверены.

Устанавливаемые гидравлические манометры должны быть снабжены тщательно закрепленными чистыми стеклянными трубками достаточной длины. Насосы, устанавливаемые для подачи бражки в бражную колонну, а также для перекачки спирта и горячей воды, должны быть перед установкой тщательно проверены.

Производительность насоса должна быть точно отрегулирована изменением длины хода плунжера, числа оборотов и изменения степени открытия нагнетательной задвижки (у центробежных насосов).

Насосы, устанавливаемые для перекачки спирта, должны быть герметичными.

Включать в работу на перекачку бражки, спирта и горячей воды непроверенные, неисправные и неотрегулированные на требуемую производительность насосы не рекомендуется.

Все стеклянные смотровые фонари, цилиндры и смотровые стекла должны быть чистыми и должны быть установлены в зажимных устройствах, обеспечивающих полную герметичность. Все заготовленные детали трубопроводов: прямые участки, колена, гидравлические затворы и прочие должны быть тщательно очищены и промыты.

Устанавливать непроверенные детали трубопроводов не рекомендуется.

УСТРОЙСТВО ТАКЕЛАЖА

Царги колонн обычно упаковывают с опорой фланцев на боковые брусья прямоугольной деревянной рамы.

Перед установкой царгу колонны снимают с рамы и подают к месту установки вручную, перекачивая царгу на фланцах по подложенным под фланцы доскам. Доски под фланцы укладывают в один или несколько рядов с таким расчетом, чтобы выступающие штуцера царги при перекачивании не касались пола. Медные дефлегматоры, конденсаторы, холодильники упаковывают с опорой фланцев на торцовые брусья прямоугольной деревянной рамы. Медные трубчатые теплообменники подаются к месту установки вместе с опорными деревянными рамами. Передвижение теплообменников осуществляется по настилу из досок и каткам, подложенным под раму. К месту установки оборудование удобнее подавать через монтажный проем, размер ко-

торого соответствует наибольшему по габаритам оборудованию.

В случае, когда фундаменты колонн подняты до высоты второго этажа, монтируемое оборудование удобнее подавать на второй этаж помещения по наклонной эстакаде, устраиваемой из бревен с настилом из досок.

В этих случаях подача оборудования производится при помощи ручных лебедок. Для осуществления подъема частей медного аппарата внутри помещения устанавливают две ручные лебедки. Лебедки закрепляются за существующие конструкции, стены здания или специально вбитые или врытые в грунт и надежно укрепленные якоря.

Над центром фундамента устанавливаемой колонны на высоте, большей на 1—2 м высоты самой верхней точки аппарата (верхняя крышка дефлегматоров колонны), подвешивается основной подъемный блок. Блок может быть подвешен к балке кровельных перекрытий. При отсутствии достаточно прочной балки, к которой может быть подвешен блок, устанавливают прочные козла или другие устройства, на которые укладывается и надежно укрепляется специальная монтажная балка. Внизу укрепляются отводные блоки с таким расчетом, чтобы трос от лебедки проходил к подъемному блоку беспрепятственно.

На некотором расстоянии от точки, в которой подвешен основной подъемный блок, на той же высоте подвешивается вспомогательный подъемный блок и укрепляются отводные блоки с таким расчетом, чтобы трос от второй (вспомогательной) лебедки проходил беспрепятственно от отводного блока ко второму подъемному блоку.

Тросы от лебедок протягиваются через отводные блоки, затем через подъемные блоки и опускаются до фундамента устанавливаемой колонны. К основному подъемному тросу прикрепляется треххвостовая цепь, а к концу вспомогательного троса прикрепляется крюк (при отсутствии треххвостовой цепи и крюков можно пользоваться петлями, завязываемыми из троса и укрепляемыми тросовыми зажимами).

В ходе работ по подъему оборудования вспомогательный подъемный блок может перемещаться в места, более удобные для установки оборудования на верхнем этаже.

ПОДЪЕМ И УСТАНОВКА ТЕПЛООБМЕННИКОВ И ЦАРГ КОЛОНН

Подъем частей аппарата начинается с подъема дефлегматоров, конденсаторов, холодильников и ловушек, устанавливаемых на верхнем этаже. Укрепленный на деревянной раме теплообменник подается на место, удобное для подъема. К фланцам теплообменника с помощью болтов прикрепляют три скобы: две скобы в диаметрально противоположных точках верхней пары фланцев (у крышки) и одна скоба на нижней паре фланцев (у днища).

За две первые скобы теплообменник захватывается крюками треххвостовой цепи, прикрепленной к основному подъемному тросу (один крюк цепи остается свободным), за третью скобу теплообменник захватывается крюком, прикрепленным к вспомогательному тросу. Медные теплообменники с открытой водяной камерой, не имеющие верхних фланцев, для их захвата и подъема снабжаются хомутами из полосового железа. Хомуты должны состоять из двух половин с отверстиями в диаметрально противоположных точках. В отверстиях болтами, скрепляющими обе половины хомута, укрепляются скобы, через которые пропускается основной подъемный трос, закрепляемый вышеуказанным способом.

Захват медных теплообменников с увязкой тросами за медный кожух или штуцера, включая и захваты с подкладками под трос досок или других материалов, не рекомендуется.

Подъем теплообменника, застропованного вышеуказанным способом, производится следующим образом.

При подъеме вертикального теплообменника обе лебедки начинают работать одновременно и поднимают теплообменник на 1—2 м от уровня пола в горизонтальном положении. Затем вспомогательная лебедка прекращает подъем. По мере подъема основной лебедкой верхней части теплообменника вспомогательный трос постепенно отпускается до тех пор, пока теплообменник не примет вертикального положения.

После этого теплообменник опускается днищем на заготовленные подкладки, вспомогательный трос отвязывается и закрепляется в той же точке, в которой закреплен основной трос. Затем теплообменник поднимается при одновременной работе двух лебедок на максималь-

ную высоту, допускаемую длиной основного троса. С этого момента основной трос отпускается, а вспомогательный трос натягивается до тех пор, пока теплообменник не переместится под вспомогательный блок. После этого начинает отпускаться вспомогательный трос до тех пор, пока теплообменник не встанет днищем на подставку или фундамент.

Подъем царги колонны производится следующим образом: царга подается к месту установки указанным выше способом. К верхнему фланцу царги прикрепляются болтами три скобы на равных друг от друга расстояниях. К нижнему фланцу прикрепляется одна скоба в верхней точке фланца. Царга захватывается за три скобы крюками треххвостовой цепи. К скобе нижнего фланца прикрепляется вспомогательный подъемный трос. Подъем царги начинается с одновременной работы обеих лебедок, и царга поднимается на высоту 1—2 м от уровня пола. После этого подъем прекращается и вспомогательный трос постепенно опускается до тех пор, пока тарелки царги не примут горизонтального положения.

Затем царга основной лебедкой опускается на заранее заготовленные подкладки, вспомогательный трос отвязывается от нижнего фланца и закрепляется в той же точке, в которой закреплен основной трос. Одновременно работой двух лебедок царга поднимается на требуемую высоту, после чего вспомогательный трос постепенно отпускается, основной трос натягивается и царга при этом перемещается под основной блок и затем опускается на место.

СБОРКА КОЛОНН

Сборка медной колонны начинается с установки первой царги колонны на фундаменте.

Перед установкой первой царги фундамент колонны тщательно выверяют при помощи деревянной линейки и металлического уровня. Линейка должна быть не короче диаметра фундамента. На уложенной на фундаменте по его диаметру линейке устанавливается металлический уровень. Плоскость фундамента колонны во всех направлениях должна быть строго горизонтальна. В большинстве случаев колонны устанавливают на фундаментах без подставок. При наличии подставки ее устанавли-

ливают на проверенном фундаменте и опорную площадку подставки выверяют при помощи линейки и металлического уровня.

Плоское железное днище колонны обычно скрепляется с нижним фланцем первой царги болтами, головки которых выступают над плоскостью днища. Перед установкой первой царги высота указанных головок замеряется и на фундамент или подставку укладываются подкладки толщиной, равной высоте головки болтов, чтобы колонна опиралась на фундамент не головками болтов, а плоскостью днища.

На фундамент наносят мелом оси, по которым должны быть расположены штуцера первой царги колонны согласно общему монтажному чертежу.

После указанной подготовки фундамента производится подъем первой царги колонны, и царга медленно опускается на фундамент. При этом царга должна быть развернута так, чтобы оси штуцера совпали с их разметкой и чтобы вертикальная ось царги совпала с центром фундамента. Установленная царга должна плотно стоять на фундаменте. После этого подъемные скобы снимаются и выверяется положение верхнего борта царги и положение верхней тарелки.

Для этого на борт царги по его диаметру укладывается деревянная линейка, на которой устанавливается металлический уровень. Борт царги по всем направлениям должен быть строго горизонтален. На верхнюю тарелку с целью проверки ее положения наливается вода до уровня переливного стакана. При правильном положении тарелки борта колпаков и борта воротников на тарелке двойного кипячения или прорези в колпачках многоколпачковой тарелки должны быть закрыты одинаковым по всей тарелке слоем воды. Если проверкой установлено, что при правильном положении тарелки борт царги имеет неровности или отклоняется от горизонтали одной из сторон, борт царги выправляется легкими ударами молотка по выступающей части борта через деревянную подкладку. В случае, когда окажется, что верхняя тарелка и борт царги отклоняются от горизонтали с одной и той же стороны, между днищем царги и фундаментом укладывают со стороны уклона подкладки.

Часты случаи, когда центральная часть верхней тарелки первой царги колонны оказывается спущенной ниже общего горизонтального положения тарелки или, наоборот, поднятой выше этого положения. Это возможно, когда тарелки колонны не снабжены центральной опорой или центральная опора установлена неправильно. Медные колонны, в которых тарелки не снабжены центральной опорой, имеют обычно небольшой диаметр. Медные колонны, в которых только первая тарелка снизу не снабжена центральной опорой, имеют под нижней тарелкой уголки жесткости. Если выверкой установлено, что центральная часть верхней тарелки первой царги опущена ниже горизонтали, то под центр нижней тарелки подводится опора в виде отрезка медной трубки диаметром 40—50 мм. Если центральная часть верхней тарелки нижней царги колонны поднята над горизонтальной плоскостью тарелки, эту часть осаживают легкими ударами молотка.

В медных колоннах с центральной опорой от днища до верха колонны отклонения середины верхней тарелки первой царги от горизонтальной плоскости возможны только тогда, когда опорный стержень под первой тарелкой установлен неправильно. В этом случае указанную опору удлиняют или укорачивают на нужную величину. После проверки положения верхней тарелки и бортов первой царги проверяют (через открытый люк) величину зазора между днищем царги и концом переливного стакана, опущенного от нижней тарелки. Зазор между концом переливного стакана и днищем должен соответствовать чертежу. Одновременно проверяют положение барботера.

Перед установкой второй царги проверяют промежуточные участки опор между верхней тарелкой первой царги и нижней тарелкой второй царги. Высота указанного участка опор должна точно соответствовать расстоянию между тарелками колонн. Если длина этого участка опоры больше расстояния между тарелками, участок опоры укорачивается; если длина участка меньше расстояния между тарелками, под этот участок опоры укладывается медная шайба нужной толщины.

Перед установкой второй царги проверяют длину сливного стакана нижней тарелки второй царги. Длина стакана должна быть меньше расстояния между со-

седними тарелками на величину зазора между концом сливного стакана и полотном нижеследующей тарелки. Величину зазора проверяют по чертежу. Перед установкой второй царги все болты с гайками, скрепляющие фланцы обеих царг, проверяют и смазывают.

На борт первой царги укладывают заранее заготовленную ленточную прокладку. Наиболее применимы прокладки из листового асбеста и асбестового полотна (при широких бортах), пряди пакли, сбитой со свинцовым суриком, или из паранита.

Не рекомендуется применять для изготовления прокладок непроверенные материалы, а в особенности мягкие и пористые ткани. Ширина ленты берется с таким расчетом, чтобы прокладка была шире диаметра болтовых отверстий во фланцах и выступала за болты до наружного диаметра фланца.

Перед укладкой на борт на прокладке размечают отверстия, соответствующие болтовым отверстиям во фланцах. Отверстия в прокладке пробивают острым пробойником на деревянной подкладке.

Порванную прокладку или прокладку с неправильно размеченными и неаккуратно пробитыми отверстиями устанавливать не рекомендуется.

Перед укладкой на борта прокладка пропитывается густой, тщательно размешанной смесью свинцового сурика с натуральной олифой. После этого заготовленную прокладку аккуратно укладывают на борт нижней царги так, чтобы отверстия в прокладке совпали с отверстиями во фланце нижней царги. Прокладку прикрепляют в нескольких местах к фланцу через болтовые отверстия тонким шпагатом.

Затем вторую царгу поднимают и на основном подъемном тросе медленно опускают. Когда вторая царга будет опущена настолько, что между фланцами останется около 10 см, лебедку приостанавливают. Вторую царгу развертывают вокруг оси с таким расчетом, чтобы сливные стаканы нижней тарелки второй царги опустились точно на предназначенное для них место над нижней тарелкой и чтобы участки опор между тарелками точно совпали. После этого через болтовые отверстия во фланцах снизу пропускают три или четыре оправки; царга медленно опускается по оправкам на место.

При установке второй царги нужно тщательно следить за тем, чтобы уложенная прокладка не была сбита во время установки и чтобы на прокладке после установки не оставалось складок.

После того как царга стала на место, во фланцах между первой и второй царгами устанавливают 12—16 болтов в диаметрально противоположных точках. Болты равномерно затягивают, после чего на верхнюю тарелку второй царги наливают воду и проверяют положение верхней тарелки.

После установки царги и окончательной выверки тарелки устанавливают и равномерно затягивают все болты. Подъемные скобы и трос снимают и проверяют положение борта и тарелок второй царги.

Все последующие царги колонны устанавливают аналогично, с соблюдением тех же правил сборки и проверки. Если фланцы, соединяющие первую и вторую царги, находятся на высоте от пола более чем на 1,2 м, перед установкой второй царги вокруг первой делают деревянный настил из прочных досок на высоте, с которой удобно производить проверку борта и тарелок, а также затяжку болтов на соединительных фланцах.

В процессе сборки собранную часть колонны проверяют металлическим отвесом. В полностью собранной колонне допускается отклонение отвеса от вертикали не более 10 мм (на полную высоту колонны).

СБОРКА ТРУБОПРОВОДОВ

Заготовленные участки трубопроводов собирают и прокладывают строго по схеме или чертежу.

При прокладке трубопроводы тщательно закрепляют хомутами на подвесках или кронштейнах. Все горизонтальные трубопроводы должны иметь установленные уклоны. Собранные трубопроводы не должны иметь участков, опущенных ниже общей линии трубопровода, где возможен застой жидкости.

Вертикальные участки трубопроводов должны совпадать с отвесами. Фланцевые соединения трубопроводов должны быть снабжены правильно изготовленными прокладками. Установка во фланцевых соединениях прокладок неправильной формы влечет за собой перекося прокладки, причем сдвинутая прокладка может частично или полностью закрыть проход трубы.

Фланцы и борта труб в соединении должны быть тщательно пригнаны, не иметь перекозов и должны обеспечивать необходимую плотность соединения. Болты и гайки, устанавливаемые на фланцевых соединениях, должны быть проверены и промаслены. Устанавливать неисправные или не соответствующие требуемому размеру болты и гайки не разрешается. Для защиты трубопроводов от попадания в них пыли или мусора во время перерывов в сборке концы труб должны закрываться деревянными пробками.

ОСНОВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К РАСПОЛОЖЕНИЮ ОБОРУДОВАНИЯ, ТРУБОПРОВОДОВ, АРМАТУРЫ И ПРИБОРОВ В АППАРАТНОМ ЦЕХЕ

1. Оборудование аппаратного цеха должно быть расположено по высотным отметкам в точном соответствии со схемой установки.

При отсутствии схемы необходимо руководствоваться следующим:

а) отметки, на которых устанавливаются аппараты или резервуары, из которых жидкость передается по трубопроводам в другие аппараты или резервуары, работающие без давления, должны быть выше точки ввода (считая от осей выводного и вводного штуцеров) не менее чем на 1 м и при передаче жидкости в аппараты, работающие под давлением, не менее чем на 2 м выше точки ввода. У точек ввода устанавливаются гидравлические затворы, высота столба жидкости которых больше давления в аппарате;

б) отметка, на которой устанавливается дефлегматор колонны, должна быть выше точки ввода флегмы в колонну не меньше чем на 1,2 м, считая от оси выводного штуцера;

в) отметка, на которой устанавливается эapurационная колонна, должна быть выше (считая от оси штуцера вывода эapurата из колонны) точки ввода эapurата в выварную часть ректификационной колонны не менее чем на 1,5 м;

г) отметка, на которой устанавливается резервуар горячей воды (считая от оси штуцера вывода горячей воды), должна быть выше верхней точки ввода горячей воды в эapurационную колонну не менее чем на 2 м;

д) паровые регуляторы устанавливают выше оси штуцера колонны, через который передается давление от колонны на паровой регулятор, не менее чем на 1 м (считая от оси штуцера регулятора);

е) паропроводы, подводящие греющий пар к аппаратам (колоннам), должны быть расположены выше точки ввода пара в аппарат. При подводке пара к аппаратам от паропроводов, расположенных ниже точки ввода пара в аппарат, необходимо подводку пара к аппарату осуществлять через затвор (гусак) высотой не менее 1,5 м (считая от оси штуцера ввода пара в колонну);

ж) линии паропроводов, подводящие пар к аппаратам на всем своем протяжении, должны иметь нормальные уклоны, обеспечивающие нормальный сток конденсата пара, и не должны иметь участков, опущенных ниже общей прямой линии, где может скапливаться конденсат.

2. Расстановка оборудования должна точно соответствовать утвержденной схеме:

а) проходы между соседними аппаратами должны быть не уже 1,5 м и должны быть свободны (не перегорожены трубопроводами);

б) все смотровые фонари и эпруветки должны устанавливаться не выше 1,5 м от уровня пола или обслуживающей площадки. Место установки должно быть удобным для наблюдения и достаточно освещенным дневным и электрическим светом;

в) дистанционные термометры, ртутные термометры, пружинные манометры, стекла гидравлических манометров должны располагаться так, чтобы было удобно наблюдать за показаниями приборов. Стекла и циферблаты должны быть достаточно освещены;

г) особое внимание следует обращать на расположение вентилей управления подачей пара в колонны, вентилей управления подачей пара в цилиндры плунжерных бражных насосов, задвижек или кранов управления подачей бражки и спирта-сырца на аппарат, кранов или задвижек управления подачей охлаждающей воды. Штурвалы и рукоятки перечисленных вентилей, задвижек и кранов должны быть сконцентрированы на одном этаже и по возможности на площадке, наиболее удобной для управления аппаратом.

Все прочие вентили, задвижки и краны должны располагаться так, чтобы доступ к ним был свободным;

д) паровые регуляторы должны устанавливаться так, чтобы гидравлические манометры (стекла) паровых регуляторов были расположены в местах, наиболее удобных для наблюдения;

е) регарды и люки колонн должны располагаться так, чтобы к ним был обеспечен свободный доступ. Со стороны расположения регард рекомендуется устанавливать стационарные лестницы с площадками, расположенными с расчетом обеспечения наиболее удобного обслуживания запорных приспособлений у регард;

ж) место расположения контрольных приборов выбирается с расчетом на удобство обслуживания и наблюдения. Место расположения и способы установки приборов согласовываются с инспекцией по спирту и контрольным снарядам.

ИСПЫТАНИЕ АППАРАТА

Испытание смонтированного аппарата производится с целью проверки герметичности всех частей аппарата и правильного взаимодействия частей смонтированного аппарата.

Проверку герметичности колонн аппарата рекомендуется производить сжатым воздухом, а проверку герметичности остальных частей (дефлегматоров, конденсаторов, холодильников, трубопроводов и пр.) — водой под давлением.

Герметичность колонн сжатым воздухом проверяют следующим образом.

Каждую колонну, входящую в комплект аппарата, испытывают сжатым воздухом отдельно от дефлегматоров и других колонн.

Перед испытанием на всех штуцерах колонн устанавливают заглушку. К одному из штуцеров паровой камеры колонны подключается воздухоподводящая трубка от воздушного компрессора (при отсутствии воздушного компрессора сжатый воздух может быть подведен от компрессора автомашины ЗИЛ-150).

На паровой камере колонны устанавливают гидравлический манометр с длиной трубки 5 м или пружинный манометр с циферблатом на давление до 0,5 ат.

Готовят мыльный раствор (растворяют 0,5 кг мыла в 5 л горячей воды).

Леса и решетки, установленные во время сборки аппарата, рекомендуется не снимать до полного окончания испытания и пробного пуска аппарата.

После указанной подготовки колонны к испытанию и проверки того, что колонна полностью отключена от коммуникаций, включается воздушный компрессор и сжатый воздух нагнетается в колонну до тех пор, пока давление по гидравлическому манометру не достигнет 5 м вод. ст.

Если при нагнетании сжатого воздуха давления в колонне не создается, это свидетельствует о том, что в колонне имеется одна или несколько больших неплотностей, в которые уходит воздух. Эти неплотности легко обнаруживаются по звуку, характерному для выходящего из отверстия воздуха.

В этом случае, не прекращая подачу в колонну сжатого воздуха, отыскивают указанные неплотности. После этого подачу сжатого воздуха в колонну прекращают и найденные неплотности устраняют.

Наличие больших неплотностей обычно влечет за собой необходимость полной или частичной разборки колонны, установки заплат на трещинах в медных обечайках или замены непригодных или неправильно установленных прокладок.

После устранения больших неплотностей воздух в колонну нагнетают до тех пор, пока избыточное давление в колонне не достигнет 0,5 ат.

При указанном воздушном давлении все фланцевые соединения колонны, швы, заклепки и патрубки штуцеров при помощи кисти покрывают слоем мыльной эмульсии.

В местах незначительного пропуска воздуха из мыльной эмульсии образуются хорошо заметные мыльные пузыри. Производят осмотр всех соединений, швов, заклепок и патрубков.

Наибольшее количество воздуха пропускают обычно заклепки, прокладки фланцевых соединений и швы обечайек. Это устраняется лужением наружных головок заклепок, дополнительной подтяжкой болтов или заменой прокладок, подпайкой швов или впайкой в местах пропуска воздуха медной заплаты.

После устранения неплотностей производят повторное испытание сжатым воздухом.

При повторном испытании необходимо иметь в виду, что даже при полном отсутствии пропусков воздуха, отмечаемых появлением мыльных пузырей, может иметь место падение давления, наблюдаемого по гидравлическому манометру, хотя и очень медленное. Это падение давления является следствием изменения температуры и объема сжатого воздуха в колонне.

Испытание медных теплообменников (трубного и межтрубного пространства), а также трубопроводов (за исключением медных трубопроводов диаметром свыше 100 мм) производится гидравлическим способом.

Медные трубопроводы диаметром от 100 до 350 мм следует испытывать пневматическим способом, заполняя воздухом испытываемые участки трубопроводов вместе с колоннами, к которым относятся эти участки.

Чаны, сборники и мерники испытывают водой.

ТЕПЛОИЗОЛЯЦИЯ КОЛОНН, ТЕПЛООБМЕННИКОВ И ПАРОПРОВОДОВ

При нанесении теплоизоляционного материала на колонны, теплообменники и паропроводы уменьшаются потери тепла в окружающую среду и, следовательно, повышается экономичность установки в теплотехническом отношении и устраняется возможность ожогов обслуживающего персонала при соприкосновении с нагретой поверхностью.

Теплоизолируют только колонны, паропроводы, подводящие пар в колонны и дефлегматоры. Конденсаторы, спиртопроводы и водные коммуникации не изолируют.

Для изоляции применяется обыкновенный теплоизоляционный кирпич. Нанесение изоляционного материала на колонны производится следующим образом.

Между фланцами каждой царги колонны крепятся металлические стойки из уголков так, чтобы обеспечивался доступ к регардам и фланцевым соединениям. Затем между ними натягивается металлическая сетка; между сеткой и корпусом царги должно быть расстояние, равное толщине изоляционного кирпича.

Затем в это пространство плотно укладывается кирпич. Поверхность металлической сетки «замазывается»

раствором, состоящим из измельченного кирпича и связывающего материала (жидкого стекла, цемента и др.).

После этого на поверхность сетки наносится мешковина, полотно или другой плотный хлопчатобумажный материал.

Когда теплоизоляция высохнет, она дважды красится белой масляной краской.

Дефлегматоры и паропроводы теплоизолируются аналогичным способом.

Спиртопроводы, водные коммуникации окрашиваются соответственно в голубой и зеленый цвета (до пуска аппарата).

Свойства водно-спиртовых паров при температуре конденсации и давлении 760 мм рт. ст.

% вес. спирта в парах	Температура конденсации, °С	Объем 1 кг пара, м³	С _{ср} , ккал/(кг·°С)	Теплота жидкости, ккал/кг	Теплота испарения, ккал/кг	Теплосодержание пара, ккал/кг
0	100	0,589	1,0	100,0	539	639,0
5	99,4	0,620	1,02	101,4	522	623,4
10	98,8	0,643	1,03	101,8	505	606,8
15	98,2	0,667	1,03	101,1	488	589,1
20	97,6	0,694	1,03	100,5	471	571,5
25	97,0	0,722	1,035	100,4	454,5	554,9
30	96,0	0,750	1,04	99,8	438	537,5
35	95,3	0,785	1,02	97,2	421	518,2
40	94,0	0,817	1,01	94,9	404	498,5
45	93,2	0,854	0,98	91,3	388	479,3
50	91,9	0,887	0,96	88,2	371	459,2
55	90,6	0,933	0,94	85,2	354,5	439,7
60	89,0	0,976	0,92	81,9	338	419,9
65	87,0	1,025	0,89	77,1	321,5	398,6
70	85,1	1,085	0,86	73,2	305	378,2
75	82,8	1,145	0,82	67,9	289	356,9
80	80,8	1,214	0,77	62,1	273	335,1
85	79,6	1,295	0,75	59,7	256	315,7
90	78,7	1,380	0,72	56,7	238	294,7
95	78,2	1,480	0,68	53,2	221	274,2
100	78,3	1,598	0,64	50,1	204	254,1

Приложение 1

Свойства водяного пара (сухой насыщенный пар по М. П. Вукаловичу)

Давление, кг.с.м²	Температура, °С	Объем 1 кг, м³	Вес 1 м³, кг	Теплосодержание жидкости, ккал/кг	Теплота пара, ккал/кг	Теплота парообразования, ккал/кг
1,0	99,09	1,725	0,5797	99,12	638,5	539,4
1,1	101,76	1,578	0,6337	101,81	639,4	537,6
1,2	104,25	1,455	0,6875	104,32	640,3	536,0
1,3	106,56	1,350	0,7410	106,66	641,2	534,5
1,4	108,74	1,259	0,7942	108,85	642,0	533,1
1,5	110,79	1,180	0,8472	110,92	642,8	531,9
1,6	112,73	1,111	0,8999	112,89	643,5	530,6
1,7	114,57	1,050	0,9584	114,76	644,1	529,3
1,8	116,33	0,9952	1,005	116,54	644,7	528,2
1,9	118,01	0,9460	1,057	118,24	645,3	527,1
2,0	119,62	0,9016	1,109	119,87	645,8	525,9
2,1	121,16	0,8613	1,161	121,4	646,3	524,9
2,2	122,65	0,8246	1,213	122,9	646,8	523,9
2,3	124,08	0,7910	1,264	124,4	647,3	522,9
2,4	125,46	0,7601	1,316	125,8	647,8	522,0
2,5	126,79	0,7316	1,367	127,2	648,3	521,1
2,6	128,08	0,7052	1,418	128,5	648,7	520,2
2,7	129,34	0,6806	1,469	129,8	649,1	519,3
2,8	130,55	0,6578	1,520	131,0	649,5	518,5
2,9	131,73	0,6365	1,571	132,2	649,9	517,7
3,0	132,88	0,6166	1,622	133,4	650,3	516,9

Приложение 3
**Состав кипящей водно-спиртовой жидкости,
образующегося из нее пара и температура кипения этой жидкости
при атмосферном давлении**

Содержание спирта в жидкости		Температура кипения, °С	Содержание спирта в парах	
% вес.	% мол.		% вес.	% мол.
0,01	0,004	99,9	0,13	0,053
0,10	0,04	99,8	1,3	0,51
0,15	0,055	99,7	1,95	0,77
0,20	0,08	99,6	2,6	1,03
0,30	0,12	99,5	3,8	1,57
0,40	0,16	99,4	4,9	1,98
0,50	0,19	99,3	6,1	2,48
0,60	0,23	99,2	7,1	2,90
0,70	0,27	99,1	8,1	3,33
0,80	0,31	99,0	9,0	3,725
0,90	0,35	98,9	9,9	4,12
1,00	0,39	98,75	10,75	4,51
2,00	0,79	97,65	19,7	8,76
3,00	1,19	96,65	27,2	12,75
4,00	1,61	95,8	33,3	16,34
5,00	2,01	94,95	37,0	18,68
6,00	2,43	94,15	41,1	21,45
7,00	2,86	93,35	44,6	23,96
8,00	3,29	92,6	47,6	26,21
9,00	3,73	91,9	50,0	28,12
10,00	4,16	91,3	52,2	29,92
11,00	4,61	90,8	54,1	31,56
12,00	5,07	90,5	55,8	33,06
13,00	5,51	89,7	57,4	34,51
14,00	5,98	89,2	58,8	35,83
15,00	6,46	89,0	60,0	36,98
16,00	6,86	88,3	61,1	38,06
17,00	7,41	87,9	62,2	39,16
18,00	7,95	87,7	63,2	40,18
19,00	8,41	87,4	64,3	41,27
20,00	8,92	87,0	65,0	42,09
21,00	9,42	86,7	65,8	42,94
22,00	9,93	86,4	66,6	43,82
23,00	10,48	86,2	67,3	44,61
24,00	11,00	85,95	68,0	45,41
25,00	11,53	85,7	68,6	46,08
26,00	12,08	85,4	69,3	46,90
27,00	12,64	85,2	69,8	47,49
28,00	13,19	85,0	70,3	48,08
29,00	13,77	84,8	70,8	48,68
30,00	14,35	84,7	71,3	49,30

Продолжение прилож. 3

Содержание спирта в жидкости		Температура кипения, °С	Содержание спирта в парах	
% вес.	% мол.		% вес.	% мол.
31,00	14,95	84,5	72,7	49,77
32,00	15,55	84,3	72,1	50,27
33,00	16,15	84,2	72,5	50,78
34,00	16,77	83,85	72,9	51,27
35,00	17,41	83,75	73,2	51,67
36,00	18,03	83,7	73,5	52,04
37,00	18,68	83,5	73,8	52,43
38,00	19,34	83,4	74,0	52,68
39,00	20,00	83,3	74,3	53,09
40,00	20,68	83,1	74,6	53,46
41,00	21,38	82,95	74,8	53,76
42,00	22,07	82,78	75,1	54,12
43,00	22,79	82,65	75,4	54,54
44,00	23,51	82,5	75,6	54,80
45,00	24,25	82,45	75,9	55,22
46,00	25,00	82,35	76,1	55,48
47,00	25,75	82,3	76,3	55,74
48,00	26,53	82,15	76,5	56,03
49,00	27,32	82,0	76,8	56,44
50,00	28,12	81,9	77,0	56,71
51,00	28,93	81,8	77,3	57,12
52,00	29,80	81,7	77,5	57,41
53,00	30,61	81,6	77,7	57,70
54,00	31,47	81,5	78,0	58,11
55,00	34,34	81,4	78,2	58,39
56,00	33,24	81,3	78,5	58,78
57,00	34,16	81,25	78,7	59,10
58,00	35,09	81,2	79,0	59,55
59,00	36,02	81,1	79,2	59,84
60,00	36,98	81,0	79,5	60,29
61,00	37,97	80,95	79,7	60,58
62,00	38,95	80,85	80,0	61,02
63,00	40,00	80,75	80,3	61,44
64,00	41,02	80,65	80,5	61,76
65,00	42,09	80,6	80,8	62,22
66,00	43,17	80,5	81,0	62,52
67,00	44,27	80,45	81,3	62,99
68,00	45,41	80,4	81,6	63,43
69,00	46,55	80,3	81,9	63,91
70,00	47,72	80,2	82,1	64,21
71,00	48,92	80,1	82,4	64,70
72,00	50,16	80,0	82,8	65,34
73,00	51,39	79,95	83,1	65,81
74,00	52,68	79,85	83,4	66,28

Продолжение прилож. 3

Содержание спирта в жидкости		Температура кипения, С	Содержание спирта в парах	
% вес.	% мол.		% вес.	% мол.
75,00	54,00	79,75	83,8	66,93
76,00	55,34	79,72	84,1	67,42
77,00	56,71	79,7	84,5	68,07
78,00	58,11	79,65	84,9	68,76
79,00	59,55	79,55	85,4	69,59
80,00	61,02	79,5	85,8	70,29
81,00	62,52	79,4	86,3	71,14
82,00	64,05	79,3	86,7	71,86
83,00	65,64	79,2	87,2	72,71
84,00	67,27	79,1	87,7	73,61
85,00	68,92	78,95	88,3	74,69
86,00	70,62	78,85	88,9	75,81
87,00	72,36	78,75	89,5	76,93
88,00	74,15	78,65	90,1	78,00
89,00	75,99	78,6	90,7	79,26
90,00	77,88	78,5	91,3	80,42
91,00	79,82	78,4	92,0	81,83
92,00	81,82	78,3	92,65	83,15
93,00	83,87	78,27	93,4	84,70
94,00	85,97	78,2	94,2	86,40
95,00	88,15	78,18	95,05	88,25
95,57	89,41	78,15	95,57	89,41

ЛИТЕРАТУРА

Андреев К. П. Пути снижения расхода пара на перегонку бражки. «Гидролизная и лесохимическая промышленность», 1957, № 4.

Бартенев Е. Н. Основы проектирования спиртовых заводов. Пищепромиздат, 1952.

Богданов Ю. П., Грязнов В. П., Ржечицкая Г. В. Коэффициенты испарения и ректификации примесей спирта в слабых водно-спиртовых растворах. «Ферментная и спиртовая промышленность», 1966, № 1.

Богданов Ю. П., Грязнов В. П. Анализ работы элюционной колонны при повышенном расходе пара. «Ферментная и спиртовая промышленность», 1966, № 4.

Варгафтик Н. Б. Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкостей. Госиздат физико-математической литературы, 1963.

Винокур Т. Ф. Из опыта работы ректификационного аппарата на Должокском спиртовом заводе. «Спиртовая промышленность», 1960, № 7.

Висневская Г. Л., Егоров А. С., Сокольская Е. В. Исследование процесса элюации в трехколонном брагоректификационном аппарате. Труды Киевского филиала Всесоюзного научно-исследовательского института спиртовой и ликеро-водочной промышленности. Вып. IV, Киев, 1958.

Висневская Г. Л., Егоров А. С., Сокольская Е. В. Исследование процесса элюации в трехколонном брагоректификационном аппарате. Труды Украинского научно-исследовательского института спиртовой и ликеро-водочной промышленности. Вып. V, Киев, 1959.

Гиллем, Штерн. Электронные спектры поглощения органических соединений. ИЛ., 1959.

Гладилин Н. И. Практическое руководство по ректификации спирта. Пищепромиздат, 1952.

Грязнов В. П. Идентификация альдегидов, эфиров и высших спиртов в продуктах ректификации спирта-сырца. Kvasny prumysl. 1959, № 3.

Грязнов В. П., Ржечицкая Г. В. Идентификация альдегидов в этиловом спирте. Известия высших учебных заведений. «Пищевая технология», 1959, № 3.

Грязнов В. П., Хорошкова М. П., Положенцева Н. Г., Ржечицкая Г. В. Хроматографический и спектрофотометрический анализ примесей спирта. Известия высших учебных заведений. «Пищевая технология», 1959, № 5.

Грязнов В. П. Идентификация примесей спирта. Труды Центрального научно-исследовательского института спиртовой промышленности. Вып. VII, 1959.

Грязнов В. П. Идентификация эфиров и высших спиртов в продуктах ректификации. Бюллетень научно-технической информа-

ции Центрального научно-исследовательского института спиртовой промышленности, 1958, № 5.

Грязнов В. П., Пахалов А. П. и др. Спектрофотометрический анализ альдегидов спирта при переработке дефектного крахмалистого сырья. Труды Центрального научно-исследовательского института спиртовой промышленности. Вып. XI, 1961.

Грязнов В. П. Усовершенствование ректификации спирта. Центральный институт научно-технической информации пищевой промышленности. 1961, № 4.

Грязнов В. П., Шейн А. Е., Положенцева Н. Г. Газожидкостная хроматография спирта. Центральный институт научно-технической информации пищевой промышленности, 1963, № 1.

Грязнов В. П. Изменение состава сивушного масла в зависимости от вида и степени дефектности перерабатываемого сырья. «Ферментная и спиртовая промышленность», 1964, № 6.

Грязнов В. П., Ржечицкая Г. В. Ректификация спирта при переработке дефектного крахмалистого сырья. Труды Центрального научно-исследовательского института спиртовой промышленности. Вып. VIII, 1959.

Грязнов В. П., Калунянц К. А., Ржечицкая Г. В. Способ увеличения производительности и улучшения качества ректифицированного спирта на непрерывно действующих аппаратах. «Спиртовая промышленность», 1958, № 3.

Грязнов В. П., Положенцева Н. Г., Сергеева Е. Ф. Зависимость качества спирта-ректификата от ввода лютерной воды в элюционную колонну. Центральный институт научно-технической информации пищевой промышленности. «Пищевая промышленность», 1964, № 5.

Грязнов В. П., Пахалов А. П. и др. Исследование работы пятиколонного аппарата. Центральный институт научно-технической информации пищевой промышленности. «Пищевая промышленность», 1961, № 1 (33).

Грязнов В. П., Терновский Н. С., Андреев С. В. Автоматизация работы ректификационного аппарата. Центральный институт научно-технической информации пищевой промышленности. «Пищевая промышленность», 1960, № 2.

Грязнов В. П., Положенцева Н. Г. и др. Газохроматографический метод определения микропримеси метанола в водно-спиртовых растворах. «Ферментная и спиртовая промышленность», 1966, № 5.

Егоров А. С., Висневская Г. Л., Сокольская Е. В. Азотистые соединения в продуктах ректификации спирта. Труды Украинского научно-исследовательского института спиртовой и ликеро-водочной промышленности. Вып. V, Киев, 1959.

Знаменский Г. М., Олейникова О. И. Исследование теплоемкости жидких полупродуктов спиртового производства. Труды Киевского технологического института пищевой промышленности, Киев, 1939, № 2.

Кейлеманс А. Хроматография газов. ИЛ., 1961.

Кунеевский В. С. Использование сивушной колонны пятиколонного брагоректификационного аппарата как окончательной. «Спиртовая промышленность», 1957, № 4.

Климовский Д. Н., Стабников В. Н. Технология спиртового производства. Пищепромиздат, 1952.

Малежик И. Ф., Цыганков П. С. Коэффициент избытка пара бражной колонны и флегмовое число ректификационной колонны. Известия высших учебных заведений. «Пищевая технология», 1963, № 3.

Марийе Ш. Перегонка и ректификация в спиртовой промышленности. Снабтехиздат, 1934.

Метюшев Б. Д. Фазовое равновесие этилового спирта в присутствии изоамилового спирта. «Ферментная и спиртовая промышленность», 1964, № 2.

Метюшев Б. Д., Кноготкова Е. И. Летучесть этилового спирта в водно-спиртовых растворах в присутствии отдельных спиртов сивушного масла. «Ферментная и спиртовая промышленность», 1965, № 8.

Положенцева Н. Г., Грязнов В. П. Отличие состава паточного спирта от зерно-картофельного. «Ферментная и спиртовая промышленность», 1965, № 5.

Положенцева Н. Г. Определение коэффициентов испарения и ректификации диацетила в водно-спиртовых растворах. Центральный институт научно-технической информации пищевой промышленности, 1966, № 1.

Попов В. И., Добросердов и др. Технологическое оборудование предприятий бродильной промышленности. Пищепромиздат, 1961.

Ситников А. Г. Причины плохого запаха ректфиката. «Пищевая промышленность», 1929, № 2.

Сокольская Е. В., Егоров А. С., Висневская Г. Л. Идентификация эфиров и альдегидов в спирте и продуктах ректификации. Труды Украинского н.-и. института спиртовой и ликеро-водочной промышленности. Вып. VIII. Пищепромиздат, 1963.

Стабников В. Н. Перегонка и ректификация спирта. Пищепромиздат, 1962.

Стабников В. Н., Харин С. В. Теоретические основы перегонки и ректификации спирта. Пищепромиздат, 1951.

Цыганков П. С. К анализу работы элюционной колонны. Труды Киевского технологического института пищевой промышленности, Киев, 1958, № 19.

Цыганков П. С. Анализ условий отбора сивушного масла из ректификационных колонн. «Ферментная и спиртовая промышленность», 1965, № 8.

Цыганков П. С. Примеры расчетов колонн брагоректификационных, брагоперегонных и ректификационных аппаратов непрерывного действия. Киев, 1956.

Цыганков П. С., Муравская О. Г. Примеры расчетов дефлегматоров, конденсаторов, холодильников, подогревателей и кипятильников брагоперегонных, брагоректификационных и ректификационных аппаратов непрерывного действия, Киев, 1957.

Чагин И. М. Изменение аналитической характеристики спирта при его хранении. «Спиртовая промышленность», 1954, № 2.

Четвериков Е. Ф. Влияние температуры бражки на расход пара и процесс перегонки. Труды Ленинградского технологического института пищевой промышленности. Т. III (XI), 1953.

Юдицкий Д. Г. К вопросу выбора конструкции брагоректификационного аппарата. «Спиртовая промышленность», 1958, № 6.

О Г Л А В Л Е Н И Е

Введение	3
Основные виды сырья для производства этилового спирта	6
Характеристика брагоректификационных и ректификационных аппаратов спиртовой и ликеро-водочной промышленности	7
Контактные устройства колонн, применяемых в спиртовой промышленности	13
Тарелки двойной выварки	13
Ситчатые тарелки	15
Многоколпачковые тарелки	17
Эффективность контактных устройств	19
Стандарт на спирт этиловый ректифицированный	20
Состав примесей спирта из пищевого сырья	21
Качественный и количественный состав примесей спирта в зависимости от вида и степени дефектности перерабатываемого сырья	22
Изменение состава высших спиртов при переработке дефектного сырья	26
Свойства водно-спиртовых растворов	28
Законы фазового равновесия между жидкостью и паром	31
Состав равновесных фаз в системе пар—жидкость для бинарных водно-спиртовых растворов	33
Состав равновесных фаз в системе жидкость—пар для многокомпонентных водно-спиртовых растворов	34
Физическая сущность процессов перегонки и ректификации спирта	38
Материальный баланс тарелки	38
Влияние открытого обогрева на положение рабочей линии, истощающей части колонны	42
Графическое и аналитическое определение числа тарелок в истощающей и укрепляющей частях колонны	43
Дефлегмация и конденсация	47
Дефлегматор	48
Конденсатор	50
Брагоректификационный аппарат косвенного действия производительностью 3000 дал спирта в сутки	51
Технологическая схема	51
Материальный, тепловой и конструктивный расчет аппарата	54
Бражная колонна	55
Эпюрационная колонна	65
Ректификационная колонна	75
Сивушная колонна	81
Технологический режим работы брагоректификационного аппарата	85
Пуск, наладка и остановка брагоректификационного аппарата	86

Рекомендации по усовершенствованию конструкции и технологического режима работы брагоректификационных аппаратов	90
Бражная колонна	91
Эпюрационная колонна	99
Ректификационная колонна	106
Сивушная колонна	117
Колонна окончательной очистки	119
Двухпоточный брагоректификационный аппарат производительностью 3000 дал/сутки	123
Технологическая схема и принцип работы аппарата	124
Процессы эпюрации бражки и бражного дистиллята на двухпоточном брагоректификационном аппарате	126
Материальный и тепловой балансы колонн и расчет двухпоточного брагоректификационного аппарата	137
Бражная колонна	138
Эпюрационная колонна	139
Первая ректификационная колонна	140
Вторая ректификационная колонна	141
Расчет бражной колонны	142
Расчет эпюрационной колонны	143
Расчет первой ректификационной колонны	145
Расчет второй ректификационной колонны	147
Технологический режим работы двухпоточного брагоректификационного аппарата	148
Пуск, наладка и остановка аппарата	153
Показатели работы брагоректификационных аппаратов косвенного и двухпоточного действия	155
Контроль и автоматизация работы аппаратов	157
Простейшие регистрирующие и регулирующие приборы	157
Схема автоматизации четырехколонного брагоректификационного аппарата косвенного действия	159
Схема автоматизации двухпоточного брагоректификационного аппарата	162
Монтаж и испытания брагоректификационных и ректификационных аппаратов	165
Подготовка оборудования к монтажу	165
Устройство такелажа	168
Подъем и установка теплообменников и царг колонн	170
Сборка колонн	171
Сборка трубопроводов	175
Основные требования к расположению оборудования, трубопроводов, арматуры и приборов в аппаратном цехе	176
Испытание аппарата	178
Теплоизоляция колонн, теплообменников и паропроводов	180
Приложение 1	182
Приложение 2	183
Приложение 3	184
Литература	187

Вячеслав Павлович Грязнов

ПРАКТИЧЕСКОЕ РУКОВОДСТВО
ПО РЕКТИФИКАЦИИ СПИРТА

Редактор *О. Н. Мурашева*

Художник *Л. Д. Грибков*

Худож. редактор *В. В. Водзинский*

Технич. редактор *Н. И. Усова*

Корректоры *Т. С. Сафронова, Н. П. Багма*

Т-18044. Сдано в набор 20/IX 1968 г.

Подписано к печати 13/XII 1968 г.

Формат 84×108^{1/32} Объем 6 п. л. =

= 10,08 усл. п. л. 10,50 уч.-изд. л.

Тираж 5000. Изд. № 4344. Зак. 2188. Цена 40 коп.

Тем. план 1968 г. п/№ 35. Бумага № 1.

Издательство «Пищевая промышленность»

Москва, Б-120. Мрузовский пер. 1

Московская типография № 19 Главполиграфпрома
Комитета по печати при Совете Министров СССР
наб. Мориса Тореза, 34

В. П. ГРЯЗНОВ

**ПРАКТИЧЕСКОЕ
РУКОВОДСТВО
ПО РЕКТИФИКАЦИИ
СПИРТА**

