

# **СПЕЦИАЛЬНОЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ПРЕДПРИЯТИЙ ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

## **МОДУЛЬ 1 ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ВЕДЕНИЯ ТЕПЛО-МАССООБМЕННЫХ ПРОЦЕССОВ**

### **Лекция 6 ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ПРОЦЕССА РЕКТИФИКАЦИИ СПИРТА**

*Лозовая Светлана Юрьевна, д.т.н., проф. кафедры  
механического оборудования*

*г. Белгород,  
2011 г.*

# **ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ПРОЦЕССА РЕКТИФИКАЦИИ СПИРТА**

***Изучить самостоятельно:***

***Основные понятия и определения.***

***Научное обеспечение процесса ректификации  
спирта.***

***Классификация оборудования.***

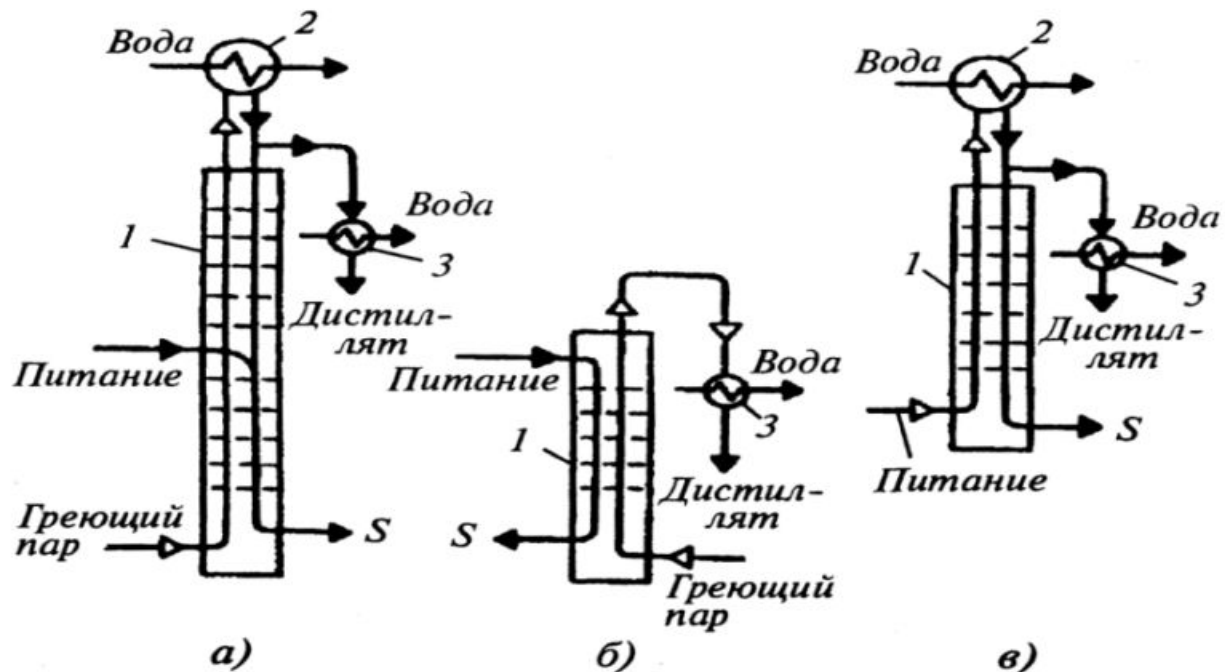
***Машины и аппараты пищевых производств. В 2  
кн.: Учебник для вузов [Текст]/С.Т.Антипов, И.Т.  
Кретов, А.Н.Остриков и др.; Под ред.акад. РАСХН  
В.А.Панфилова. – М.: Высшая школа, 2001.***

# УСТАНОВКИ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ НАСТОЕК И МОРСОВ

**Полная колонна 1 (а)** состоит из отгонной (исчерпывающей) и концентрационной частей, в состав которых входит дефлегматор 2 и холодильник дистиллята 3. Греющий пар подводится в нижнюю часть колонны, а вода проходит через дефлегматор и холодильник. Питание в полную колонну вводится в среднюю часть (на верхнюю тарелку отгонной части колонны). Дистиллят отводится из холодильника дистиллята.

**Отгонная колонна 1 (неполная) (б)** имеет только отгонную часть, в ней отсутствует дефлегматор 2, а питание подается на ее верхнюю тарелку. В этой колонне поступающее питание истощается низкокипящим компонентом.

**Концентрационная колонна 1 (неполная) (в)** снабжена дефлегматором 2, а питание поступает под нижнюю тарелку в парообразном виде.



**В полной ректификационной колонне 1 создается возможность для получения в чистом виде обоих компонентов разделяемой бинарной смеси. В неполной отгонной колонне из нижней части отводится чистый труднолетучий компонент, а из верхней – пар, несколько обогащенный легколетучим компонентом.**

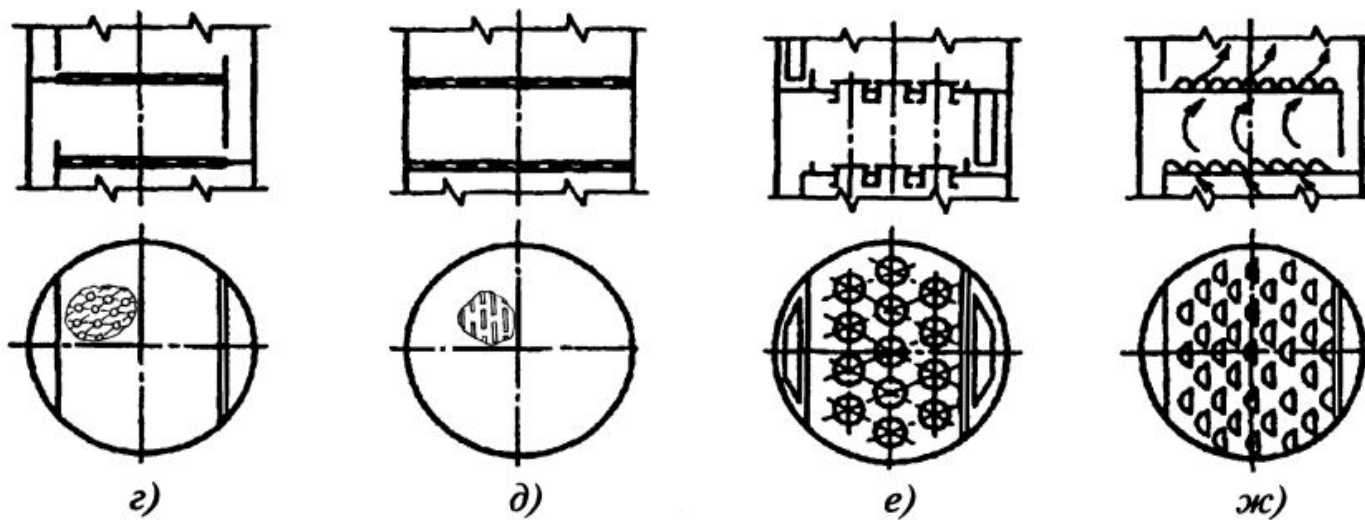
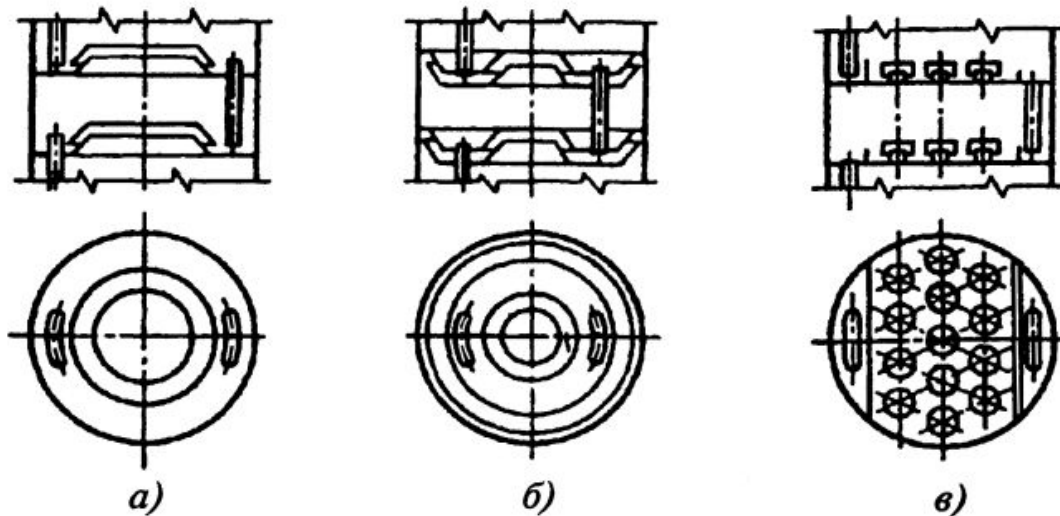
**Контактное устройство** – основной элемент ректификационной колонны. Интенсивный массообмен на контактном устройстве достигается путем создания развитой поверхности контакта фаз и активной гидродинамической обстановки.

**В спиртовой промышленности применяют тарельчатые контактные устройства, на которых осуществляется последовательно ступенчатый контакт фаз.**

**Тарелки ректификационных колонн могут быть:**

- колпачковыми,**
- сетчатыми (решетчатыми),**
- клапанными,**
- чешуйчатыми,**
- ситчатоклапанными,**
- жалюзийно-клапанными.**

**Во всех случаях на тарелке удерживается слой жидкости, через который проходит пар, в результате чего осуществляется массообмен.**



### **Тарелки ректификационных колонн:**

**а – одноколпачковая одинарного кипячения; б – одноколпачковая двойного кипячения; в – многоколпачковая; г – ситчатые (решетчатые); д – провальная; е – клапанная; ж – чешуйчатая**

**Одноколпачковая тарелка одинарного кипячения** используется в установках малой производительности (для разделения жидкостей со взвешенными частицами или способных выделять осадки). Барботаж происходит из под краев колпачка и воротника. Благодаря этому создаются встречные потоки пара, улучшающие его контакт с жидкостью.

**Многоколпачковые (капсульные) тарелки** применяют для разделения жидкостей, не содержащих взвешенных частиц. Они имеют большой периметр барботажа и более эффективны.

**Ситчатые (решетчатые) тарелки** с отверстиями диаметром 2,5...3,5 мм (для разгонки жидкостей, способных выделять осадки) и 8...12 мм (для разгонки жидкостей со взвешенными частицами).

**В провальной тарелке (решетчатого типа)** нет сливных стаканов и жидкая фаза сливается через те же отверстия, через которые поступает на тарелку пар. Тарелки изготавливаются из стальных или медных листов толщиной 2,5...6 мм. Щели тарелки выполняются штамповкой или фрезеровкой с живым сечением 10...15%. Расстояние между тарелками составляет 300...600 мм. Такие тарелки применяются в бражных колоннах при перегонке паточной и зернокартофельной бражки.

**В клапанных тарелках** распределительным устройством для пара являются клапаны (пластины той или иной формы), которые перекрывают отверстия тарелки и под давлением пара поднимаются, пропуская пар. Предельная высота подъема клапана определяется высотой ограничительного устройства. Клапанные тарелки обладают способностью к самоочищаемости. Они используются в ректификационных и э्यूрационных колоннах.

**Чешуйчатые тарелки** относятся к группе однонаправленных, где пар и жидкость движутся в одном направлении, причем пар способствует движению жидкости. Их целесообразно устанавливать в бражных колоннах, работающих на паточной и зернокартофельной бражке. Они обеспечивают высокую эффективность и производительность при работе в струйном режиме, когда скорость пара в щелях превышает 12 м/с.

**Работу тарелок оценивают:**

- по пропускной способности;
- по пару и жидкости,
- по способности разделять рабочую смесь,
- по диапазону устойчивой работы,
- по гидравлическому сопротивлению и др.

**Пропускная способность по пару и жидкости характеризует производительность колонн (удельный объем конечного продукта с единицы поперечного сечения колонны).**

**Способность разделять перегоняемую смесь называют эффективностью контактного устройства или колонны в целом. Определяют число теоретических тарелок (ступеней изменения концентраций) или число единиц переноса и по нему оценивают эффективность тарельчатых колонн.**

**Под теоретической тарелкой понимают такое устройство, которое обеспечивает контакт пара и жидкости, в результате покидающие его потоки, достигают фазового равновесия. На реальных тарелках такое равновесие почти никогда не достигается. Теоретическая тарелка служит эталоном для установления эффективности реальных тарелок.**

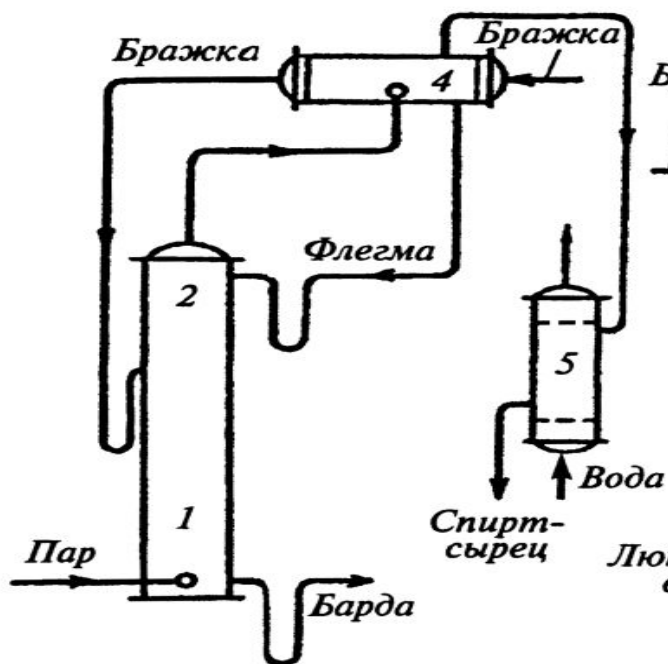
## **БРАГОПЕРЕГОННЫЕ УСТАНОВКИ**

**В спиртовой промышленности применяются брагоперегонные установки двух типов – одноколонные и двухколонные. В одноколонной установке бражка, предварительно подогретая в дефлегматоре 4, поступает на верхнюю тарелку колонны 1. Нижняя часть колонны называется бражной, куда снизу подводится греющий пар. Из бражной колонны водно-спиртовые пары направляются в нижнюю часть спиртовой колонны 2; здесь пары укрепляются. Из колонны 2 укрепленные пары поступают в межтрубное пространство дефлегматора 4.**

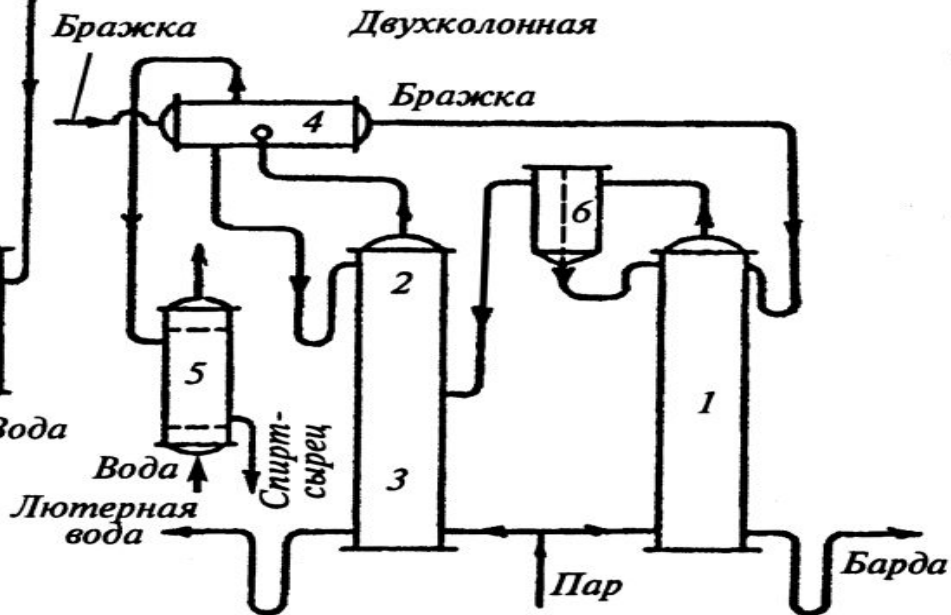


**В двухколонной установке** подогретая в дефлегматоре 4 бражка поступает в бражную колонну 7, где из бражки испаряется спирт. Водно-спиртовые пары через ловушку 6 попадают во вторую колонну. В ловушке из пара отделяется жидкость, откуда она возвращается в колонну 1. Верхняя часть колонны 2 служит для укрепления паров спиртом; нижняя часть колонны 3 предназначена для истощения (вываривания) стекающей флегмы, откуда отводится лютерная вода. Таким образом, в этой установке из бражки и флегмы спирт испаряется отдельно, вследствие чего повышается концентрация сухих веществ в барде. Гидравлический предохранитель 6 предотвращает образование в колонне вакуума. Жидкость из пробного холодильника поступает в сборник 3. Колонна изготавливается из меди.

Одноколонная



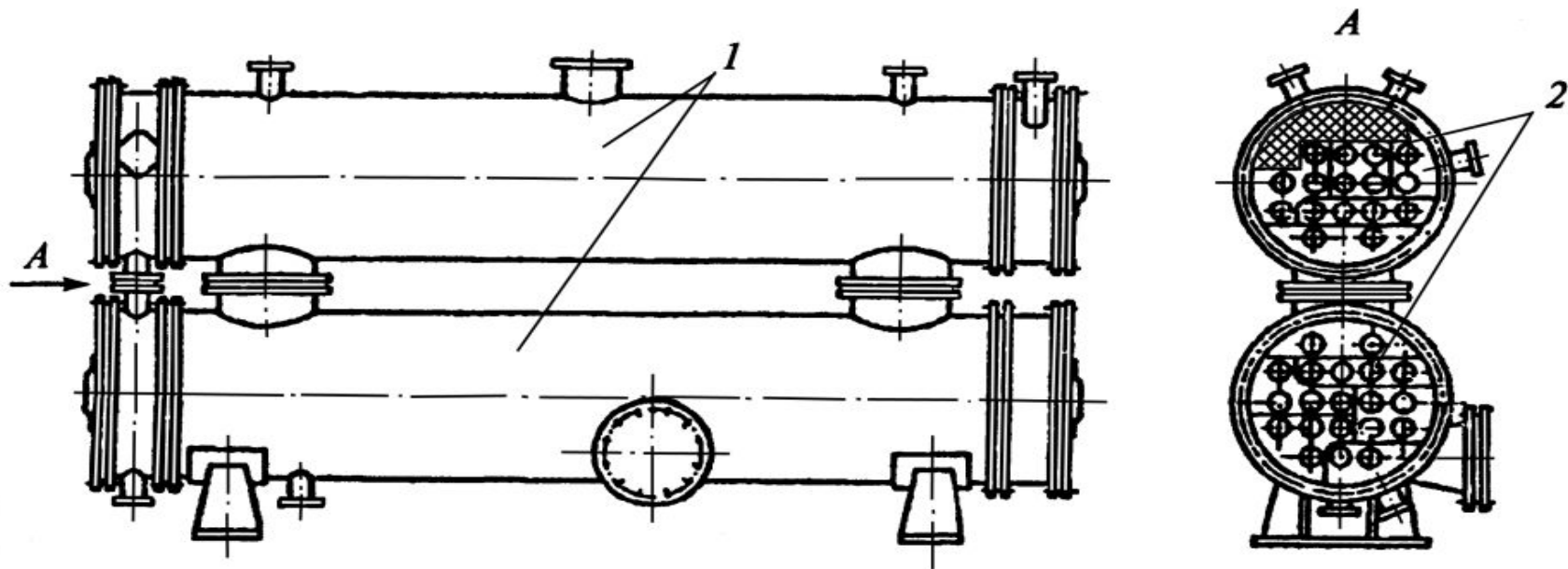
Двухколонная

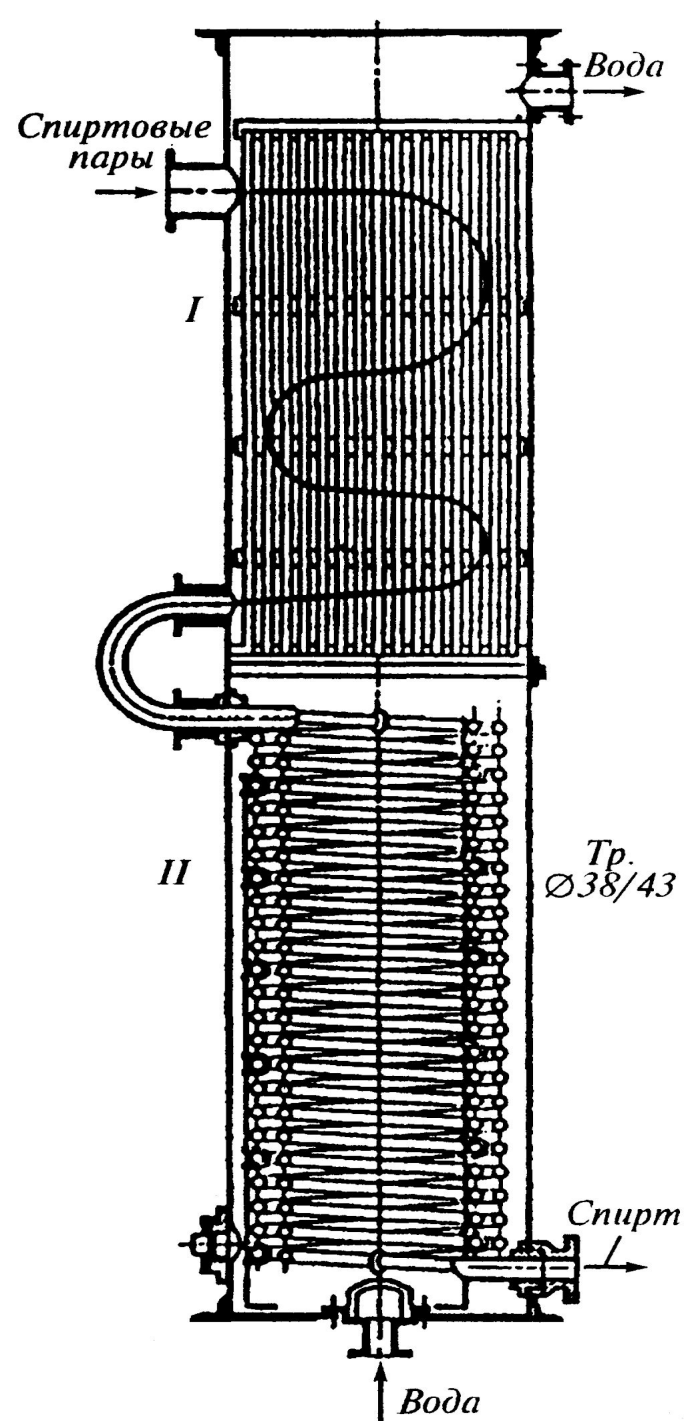




**Горизонтальный дефлегматор** состоит из двух барабанов 1. Он имеет две трубчатые многоходовые поверхности охлаждения 2. В одной из них по трубам протекает бражка, в другой – охлаждающая вода. Бражка и вода делают в дефлегматоре несколько ходов, что обеспечивается соответствующим расположением перегородок в распределительных коробках.

Для направления потока пара в межтрубном пространстве дефлегматора установлены поперечные перегородки. Бражные трубы дефлегматоров изготавливают из меди, водяные трубы – из стали. Дефлегматор испытывают гидравлическим давлением 0,4 МПа для трубного пространства и 0,15 МПа для межтрубного пространства. Корпус дефлегматора, коробки, крышки, решетки, фланцы, патрубки и трубы водяной секции изготавливаются из углеродной стали; трубы бражной секции – из меди; обечайки, фланцы, днище и решетки – из стали



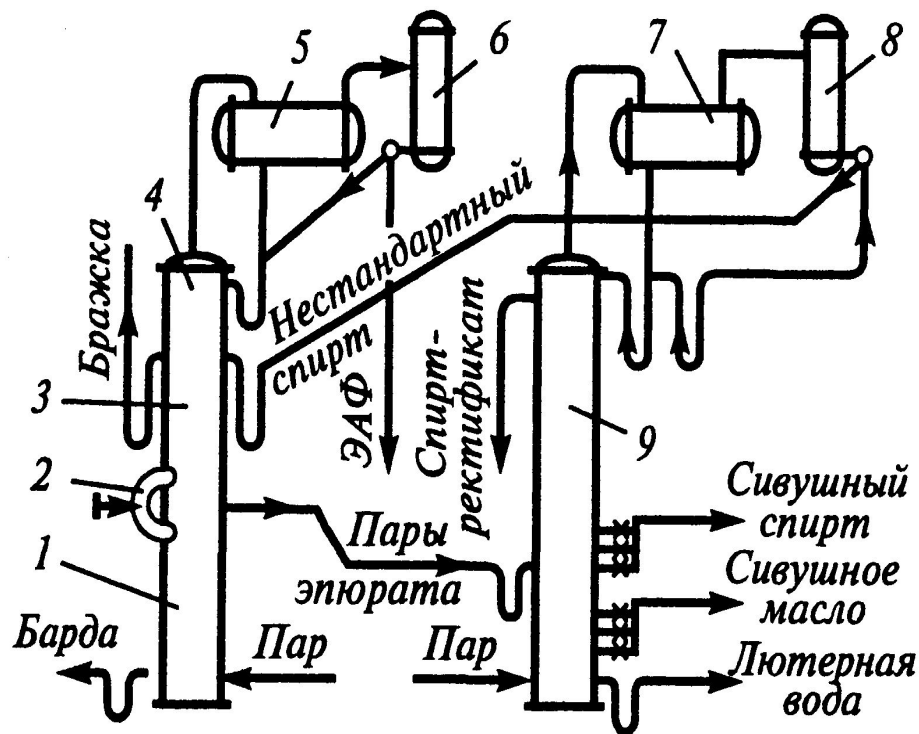


**Комбинированный холодильник** предназначен для конденсации и охлаждения спирта-сырца в верхней части I имеет прямые медные трубы, по которым движется вода; в нижней части холодильника II установлены медные змеевики. Вода поступает сначала в нижнюю часть холодильника и омывает наружную поверхность змеевиков, затем она направляется в межтрубное пространство верхней части. Трубы змеевиков имеют малое сечение, поэтому скорость конденсата в них и коэффициент теплопередачи значительны.

# БРАГОРЕКТИФИКАЦИОННЫЕ УСТАНОВКИ НЕПРЕРЫВНОГО ДЕЙСТВИЯ

Предназначены для получения спирта-ректификата из бражки. Брагоректификационные установки непрерывного действия являются основным типом оборудования для выделения и очистки спирта на предприятиях спиртовой промышленности. Бражка в этих установках разделяется на спирт-ректификат, эфиральдегидную фракцию, сивушное масло и барду. В них же отбираются промежуточные продукты (сивушные спирты). Брагоректификационные установки бывают прямого, полупрямого и косвенного действия.

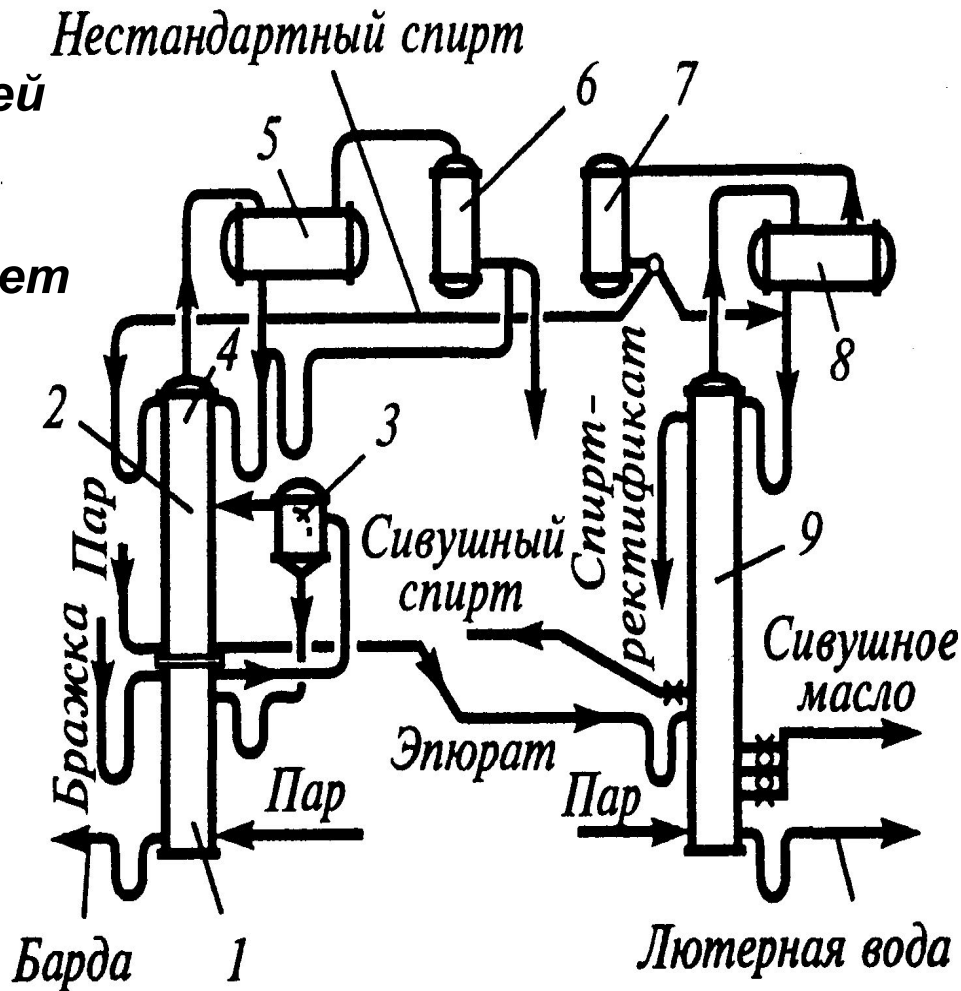
В установках прямого действия элюрации (выделению головных примесей) подвергается бражка. Бражка представляет собой слабоконцентрированный раствор спирта и примесей. При низких концентрациях спирта коэффициенты ректификации примесей имеют большие значения; следовательно, их удаление будет более интенсивным.



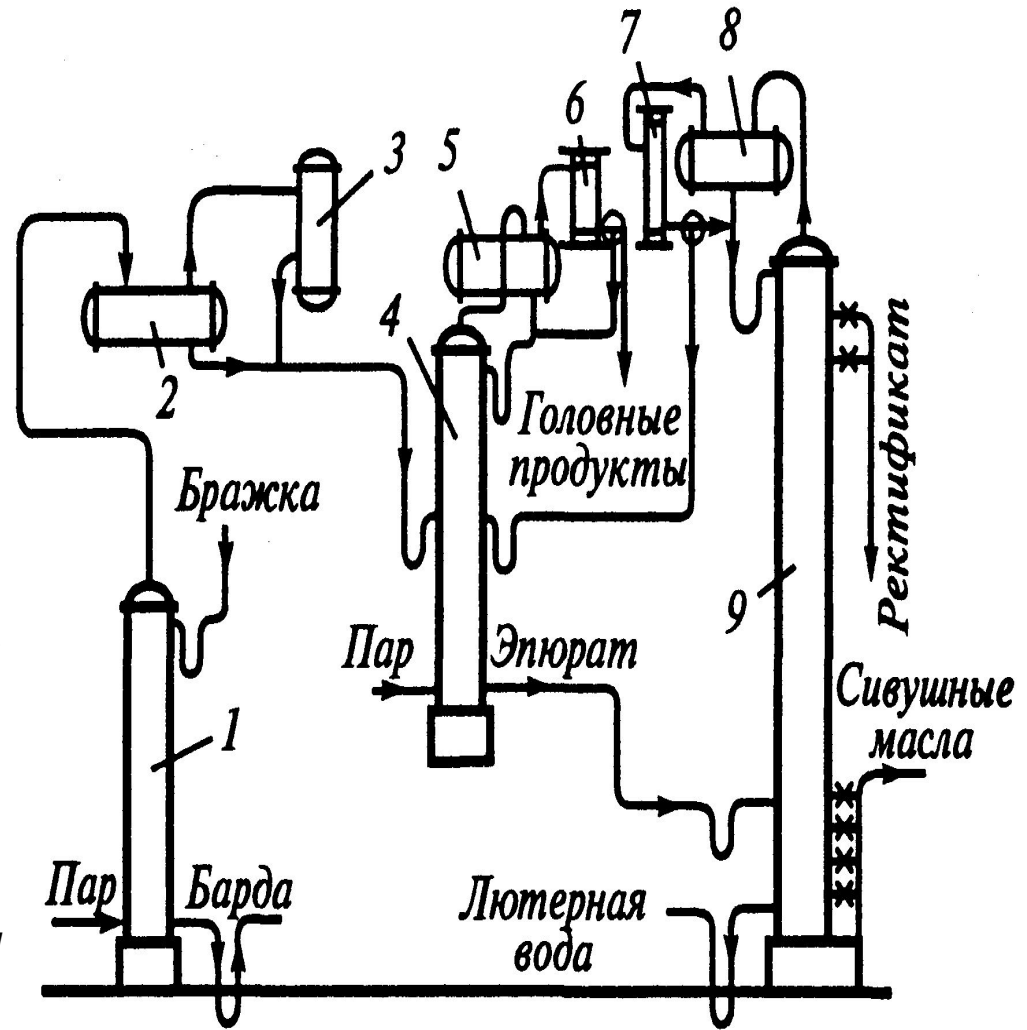
**Установка состоит из эшюрационной колонны 3 с концентрационной частью 4 и ректификационной колонны 9, в состав которых входят дефлегматоры 5 и 7, а также конденсаторы 6 и 8. Бражка поступает в бражную колонну 1. Здесь из бражки выделяются этиловый спирт, хвостовые примеси и остатки головных и промежуточных примесей. Основную массу паров из бражной колонны 1 направляют в ректификационную колонну 9. Некоторая часть паров из бражной колонны 1 поступает в эшюрационную колонну 3 для ее обогрева. Для этой цели служит труба 2, снабженная дроссельным клапаном. Количество пара, поступающего в эшюрационную колонну, регулируется дроссельным клапаном. Хвостовые и промежуточные продукты, а также остатки головных продуктов отбирают в ректификационной колонне. Ректификат отводят в жидком виде с одной из верхних тарелок ректификационной колонны.**

**В установке полупрямого действия бражка, не подвергаясь предварительной эюрации, поступает непосредственно в бражную колонну 1. В этой колонне выделяются спирт и все примеси. Пары направляются через ловушку-сепаратор 3 в эюрационную колонну 2 с концентрационной частью 4, дефлегматором 5 и конденсатором 6, где из них выделяются головные примеси.**

**Очищенный от головных примесей спирт, содержащий хвостовые и промежуточные примеси (эюрат), в жидком виде поступает в ректификационную колонну 9, снабженную дефлегматором 8 и конденсатором 7. Отбор спирта-ректификата, сивушного масла и промежуточных продуктов производится так же, как и в аппаратах прямого действия.**



**В установках косвенного действия водно-спиртовые пары, поднимающиеся из бражной колонны 7, полностью сгущаются в дефлегматоре 2 и конденсаторе 3, после чего в жидком виде поступают на эюрацию в эюрационную колонну 4 с дефлегматором 5 и конденсатором 6. Эпюрат направляется в ректификационную колонну 9, снабженную дефлегматором 8 и конденсатором 7, где выделяются промежуточные продукты, сивушное масло и спирт-ректификат. Данная установка принята как типовая из-за высоких эксплуатационных показателей.**





**Общий расход теплоты  $Q_{\text{общ}}$  (кДж/ч) определяется из теплового баланса ректификационной колонны**

$$Q = G_{\text{д}}(R+1)r_{\text{д}} + G_{\text{к}}c_{\text{к}}t_{\text{к}} - G_{\text{р}}c_{\text{р}}t_{\text{р}} - RG_{\text{д}}c_{\text{д}}t_{\text{д}},$$

где:  $r_{\text{д}}$  – теплота парообразования смеси, кДж/кг ( $r_{\text{д}} = 850$  кДж/кг);  $c_{\text{к}}$ ,  $c_{\text{р}}$  и  $c_{\text{д}}$  – соответственно удельные теплоемкости кубового остатка, поступающего на ректификацию раствора и дистиллята, кДж/(кг·К) [ $c_{\text{к}} = 4,19$  кДж/(кг·К);  $c_{\text{р}} = 4,31$  кДж/(кг·К);  $c_{\text{д}} = 3,6$  кДж/(кг·К)];  $t_{\text{к}}$ ,  $t_{\text{р}}$  и  $t_{\text{д}}$  – соответственно температуры кипения кубового остатка, поступающего на ректификацию раствора и дистиллята, °С ( $t_{\text{к}} = 95^{\circ}\text{C}$ ;  $t_{\text{р}} = 87^{\circ}\text{C}$ ;  $t_{\text{д}} = 78^{\circ}\text{C}$ ).

Потери теплоты  $Q_{\text{п}}$  (кДж/ч) принимают в количестве 3...5% общего расхода теплоты

$$Q_{\text{п}} = 0,03Q,$$

Тогда  $Q_{\text{общ}} = Q + Q_{\text{п}}$ .

Расход греющего пара  $D$  (кг/ч) определяют по формуле

$$D = Q_{\text{общ}} / (i'' - i')$$

где:  $i''$  и  $i'$  – энтальпии греющего пара и конденсата, определяемые по давлению насыщенного водяного пара, кДж/кг ( $i'' = 2730$  кДж/кг и  $i' = 558,9$  кДж/кг).

# **УСТАНОВКИ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ АБСОЛЮТНОГО СПИРТА**

**Абсолютный спирт вырабатывают в небольших количествах для промышленности органического синтеза и для лабораторных работ. Абсолютный спирт образует устойчивые смеси с бензином и в ряде стран его используют как добавку к моторному топливу.**

**Спирт можно абсолютировать связыванием воды твердыми или жидкими материалами (например, негашеной известью, глицерином) и ректификацией под вакуумом или в присутствии солей, при этом азеотропная точка смещается в сторону большего содержания спирта.**

**В промышленности для абсолютирования обычно пользуются методом тройных нераздельно кипящих (азеотропных) смесей. Суть его заключается в следующем. К ректифицированному спирту прибавляют бензол. Тройная смесь этанол-вода-бензол образует азеотропную смесь, состоящую из 19,5% (масс.) этанола, 7,4% (масс.) воды и 74,1% (масс.) бензола и кипящую при 64,85°C. Азеотропная смесь ведет себя в колонне как легколетучий компонент (ЛЛК), при охлаждении она разделяется на два слоя: верхний, состоящий в основном из бензола, и нижний – из смеси этанола и воды. При температуре 15°C в верхнем слое содержится (% масс): бензола 85, этилового спирта 13,3 и воды 1,7; в нижнем – спирта 49,7, воды 41,3 и бензола 9.**

**Абсолютный спирт может быть получен из ректификованного спирта и из бражки для этого их вводят в дегидратационную колонну 1, в которой отгоняется тройная азеотропная смесь, содержащая большее количество воды, чем исходная жидкость. Обезвоженный спирт отводят снизу колонны. Дегидратационная и спиртовая колонны имеют 60...65 многоколпачковых тарелок, в том числе десять в концентрационной части и 40...43 в концентрационной части соответственно.**

**Азеотропная смесь после охлаждения поступает в декантатор 3, где расслаивается: верхний слой возвращается в колонну, а нижний поступает в спиртовую колонну 2. Здесь**

**спирт концентрируется и вместе с бензолом возвращается в колонну, а вода отводится из нижней части. В установке постоянно циркулирует бензол, который выполняет функцию переносчика воды из дегидратационной колонны в декантатор. При получении абсолютного спирта непосредственно из бражки установку для абсолютирования связывают в единую систему с брагоректификационной установкой, в которой получают ректификованный спирт и без охлаждения сразу же вводят в дегидратационную колонну.**

