

Глава VI

БРАЖНЫЕ КОЛОННЫ

Назначение бражной колонны состоит в том, чтобы выделить из бражки спирт. Вместе со спиртом выделяются и летучие примеси.

Бражная колонна брагоректификационных установок косвенного и полупрямого действия, а также двухколонных сырцовых установок представляет собой типичную открытую отгонную ректификационную колонну. Бражка подается на верхнюю тарелку при температуре 60...90 °С. Предварительно подогретая бражка пропускается через сепаратор диоксида углерода, где освобождается от значительной части CO_2 .

В установках прямого и некоторых типов полупрямого действия (см. рис. III-9, III-10, III-11, и др.) бражка перед поступлением в бражную колонну подвергается элюрации, в результате чего она освобождается от головных примесей и остатка диоксида углерода.

В сырцовых одноколонных установках бражная колонна является отгонной частью полной ректификационной колонны. Из нижней части колонны отводится барда, в достаточной мере освобожденная от этилового спирта (легколетучего компонента), из верхней части — пар, обогащенный этиловым спиртом и сопутствующими ему летучими примесями.

В брагоректификационных установках косвенного действия бражная колонна имеет связь с элюрационной колонной через поток дистиллята. В брагоректификационных установках прямого действия эта

связь осуществляется непосредственно через паровой поток. В двухколонных сырцовых установках бражная колонна непосредственно связана через паровой поток со спиртовой колонной.

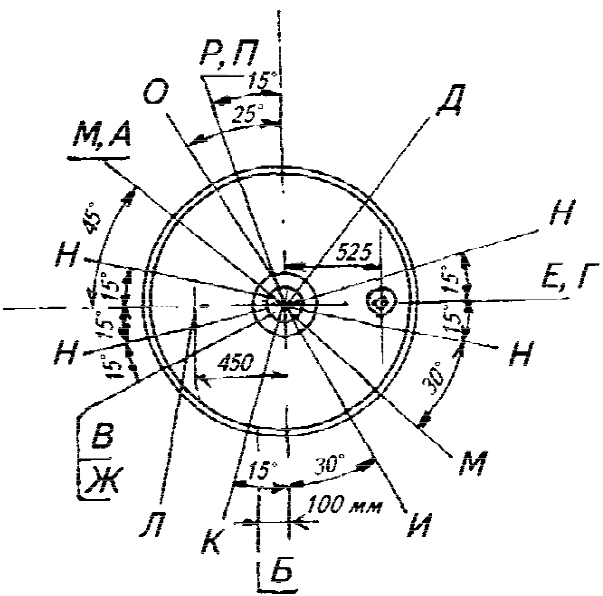
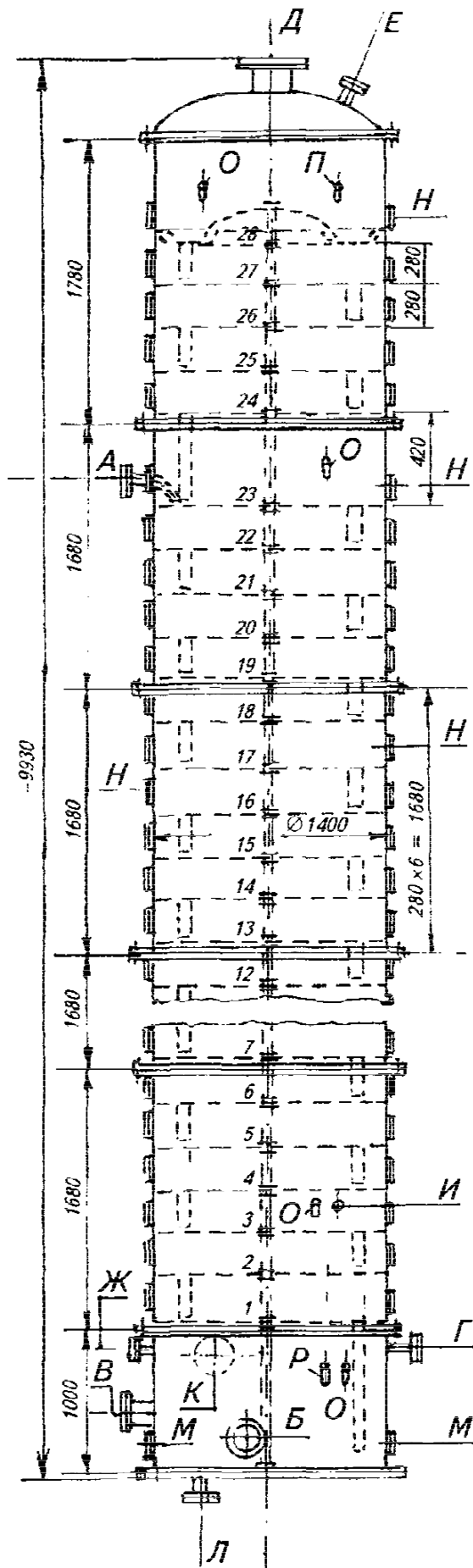
В косвенно-прямоточных брагоректификационных установках бражная колонна оснащается эюрирующей частью, в которой бражка до поступления в бражную колонну подвергается предварительной эюрации. В таком случае бражная часть колонны, обладая по пару прямой и обратной связью с эюрирующей частью, имеет еще и связь по пару с эюрационной колонной: покидая верхнюю тарелку, поток спиртоводного пара делится на два потока: один вводится в эюрирующую часть бражной колонны, другой — в эюрационную колонну.

Еще сложнее связь в брагоректификационных установках прямого действия, где бражная колонна имеет прямую и обратную связь с эюрационной и спиртовой колоннами (см. рис. III-9, III-10).

Допустимое нормативное содержание спирта в барде не более $X_s = 0,015 \% \text{ об.} = 0,012 \% \text{ мас.} = 0,004 \% \text{ мол.}$ Концентрация спиртоводного пара, отходящего из верхней части колонны, обычно составляет $Y_D = 30...60 \% \text{ об.} \approx 25...52 \% \text{ мас.} \approx 11,5...29,8 \% \text{ мол.}$ Она зависит от концентрации спирта в бражке, ее температуры и расхода пара.

Бражные колонны брагоректификационных и сырцовых установок имеют 16–26 одноколпачковых тарелок (рис. VI-1); в брагоректификационных установках большой производительности (3000 дал/сут и более) обычно монтируют ситчатые тарелки, а в последнее время — решетчатые провального типа (РПТ), чешуйчатые, а в установках, изготовленных в бывшей ГДР, — клапанные. Конструкции контактных устройств бражных колонн даны в главе IV. Расстояние между одноколпачковыми тарелками принимается равным 240, 280, 340, 500 мм, между ситчатыми, РПТ и чешуйчатыми — 500–550 мм, клапанными — 400 мм. Ситчатые и чешуйчатые тарелки устанавливаются, как правило, в колоннах диаметром 1500 мм и более, одноколпачковые двойного кипячения — от 800 до 1600 мм и одноколпачковые одинарного кипячения в колоннах диаметром 650 мм и менее. В настоящее время диаметры колонн нормализованы (см. приложения VII, VIII и IX).

Все оборудование и трубопроводы, соприкасающиеся с полупродуктами и продуктами ректификационных установок, изготавливаются из меди марки МЗ, нержавеющей стали марки 08Х18Н9Т или 12Х18Н9Т. Отдельные детали могут быть изготовлены из бронзы или латуни Л63 или ЛЖМу-59-1-1. Наружные детали (фланцы, болты, кронштейны и т. д.) — из стали. Тарелки устанавливаются в обечайках (царгах) колонн



Обозн.	Наименование	К-во	Д _у мм
А	Вход бражки	1	100
Б	Выход пара	1	150
В	Выход барды	1	125
Г	К вакуумпрерывателю	1	50
Д	Выход спиртовых паров	1	250
Е	Вход воды	1	40
Ж	От бардорегулятора	1	25
И	К пробному холодильн.	1	25
К	Вход пара от испарит.	1	250
Л	Слив	1	80
М	Люк кубовой царги	2	120
Н	Люк тарелок	56	120
О	Гильза термометра	4	25
П	Гильза термометра ТДХ-П	1	25
Р	Гильза термометра сопр.	1	25

Рис. VI-1. Бражная колонна

намертво или съемными. Толщина стенки царг 2,5–5 мм. Высота царг может быть в пределах 1–2 м и должна быть кратна межтарелочному расстоянию.

КПД тарелок бражных колонн зависит от их состояния и режима эксплуатации: для одноколпачковых он равен 0,6–0,65; для ситчатых и РПТ 0,4–0,5; для чешуйчатых 0,5–0,7. Обогреваются колонны открытым и редко закрытым паром. При закрытом обогреве также предусматривается установка барботера для обогрева колонны открытым паром при пуске, в случае чистки или ремонта теплообменников. При закрытом обогреве целесообразно применять принудительную циркуляцию барды, особенно в случае переработки зернокартофельной бражки.

При обогреве паром низкого потенциала (ретурным, или вторичным) он подается непосредственно под нижнюю тарелку (без барботера).

В соответствии с инструкцией по определению и учету производственной мощности спиртовых заводов, производительность по спирту бражных колонн с типовыми тарелками исчисляется на каждые 0,1 м² площади их поперечного сечения (в дал/сут):

— для колонн с тарелками двойного кипячения при диаметре 1000–1200 мм — 150, при диаметре более 1200 мм — 135;

— для колонн с ситчатыми тарелками диаметром 1500–2000 мм — 200.

Однако практика показывает, что фактическая производительность бражных колонн выше нормативной. Ориентировочно производительность бражных колонн (M , дал/сут) по спирту можно определить в зависимости от их диаметра (D , мм); при наличии в колонне 22 и более тарелок двойного кипячения:

а) при межтарелочном расстоянии 340 мм $M = 1370 D^2$;

б) при межтарелочном расстоянии 280 мм $M = 1111 D^2$.

Если в колонне 24 и более ситчатых тарелок, установленных на расстоянии 500 мм и более одна от другой, то $M = 2065 D^2$. При установке РПТ или чешуйчатых $M = 3000 D^2$. В случае переработки концентрированных мелассных бражек (более 8 % об.) производительность колонн может быть на 10–20 % выше.

Расход пара на перегонку бражки

Расход пара в бражной колонне определяется количеством бражки, концентрацией в ней спирта и температурой.

При работе бражной колонны основная масса пара расходуется на извлечение спирта из бражки, а часть теплоты пара — на догрев бражки

до температуры кипения на тарелке питания. В результате контакта пара с бражкой на тарелке питания повышается концентрация спирта в бражке. Такая зависимость представлена на рис. V-5.

Чтобы определить расход пара в бражной колонне, предварительно необходимо определить концентрацию спирта в паре, выходящем из бражной колонны, и его количество. Пар, выходящий из бражной колонны после конденсации, образует бражный дистиллят (конденсат). Количество бражного дистиллята определяется на основании материального баланса бражной колонны по формуле

$$D = \frac{GX_M\beta}{Y^x}, \quad (\text{VI-1})$$

где G — количество бражки, поступающей в колонну, кг; X_M — концентрация спирта в бражке на тарелке питания, % мас.; Y^x — равновесная концентрация спирта в паре над бражкой на тарелке питания, % мас. (определяется по таблице фазового равновесия в приложении V); β — избыток пара. Концентрация спирта в бражке на тарелке питания определяется по рис. V-5.

Равновесная концентрация спирта в паре над питательной тарелкой может быть достигнута только при бесконечно большом числе тарелок в колонне. Для реальных условий (колонна с конечным числом тарелок) необходимо вводить в нее некоторый избыток пара β . Он определяется на основании технико-экономического расчета. С увеличением избытка пара требуется меньшее число тарелок. Практически величина избытка пара $\beta = 1,05 \dots 1,2$. При таких условиях затраты на процесс (сумма капитальных затрат на изготовление колонны и эксплуатационных затрат) минимальны.

Расход пара P (теплоты Q) на перегонку бражки определяется из уравнения теплового баланса (см. главу V).

При расчетах можно принимать теплоемкость бражки (C_M) равной теплоемкости барды (C_S): $C_M = C_S = 4$ кДж/(кг·К). Количество барды устанавливают на основании уравнения материального баланса; температура барды t_s определяется как температура кипения воды в зависимости от давления в кубе колонны (H , м вод. ст.):

$$t_o = 100 + 2,5 H, \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Теплопотери в окружающую среду колонны с хорошей теплоизоляцией можно принять в размере 2–3 % от теплоты, внесенной греющим паром.

На расход пара значительное влияние оказывают температура поступающей в колонну бражки, концентрация спирта в бражке, количество тарелок в колонне и их КПД. Характер зависимости между отдельными параметрами работы бражной колонны приведены на рис. VI-2.

На рис. VI-2, а показана зависимость удельного расхода пара от концентрации бражки. Из графика видно, что с увеличением концентрации бражки X_M удельный расход пара на 1 дал спирта уменьшается, а на 100 кг бражки — увеличивается.

Рис. VI-2, б показывает зависимость удельного расхода пара (кг на 1 дал спирта) от температуры бражки, поступающей в колонну. С ее

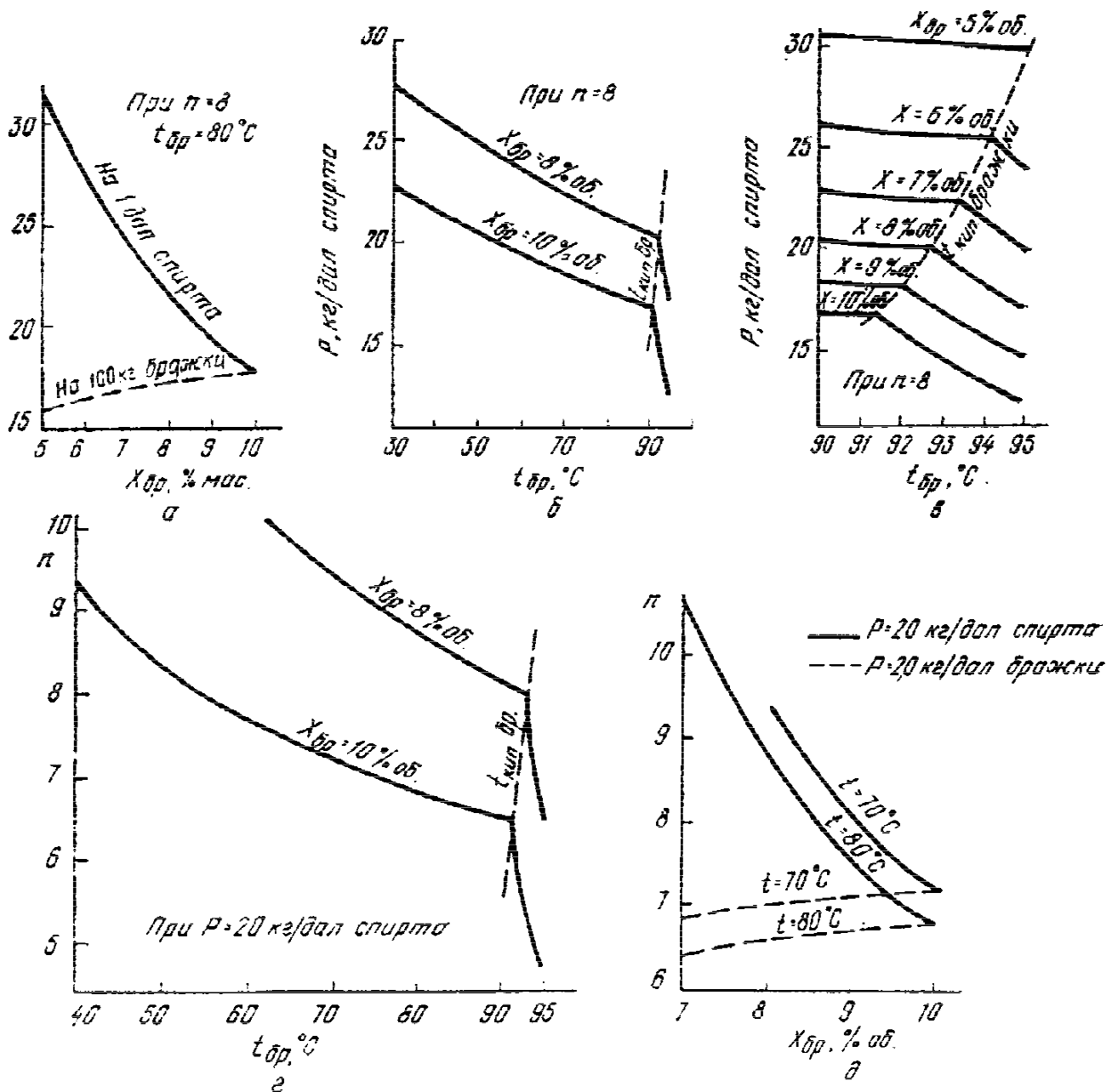


Рис. VI-2. Характер зависимости между основными параметрами процессов в бражной колонне

повышением удельный расход пара на обогрев колонны понижается, причем особенно резко при подаче перегретой бражки. На рис. VI-2, в приведена зависимость расхода пара от температуры перегрева для концентраций спирта в бражке от 5 до 10 % об.

Аналогична зависимость между необходимым числом тарелок и в колонне и температурой бражки (рис. VI-2, з).

На рис. VI-2, д дана зависимость необходимого числа тарелок от концентрации спирта в бражке. С повышением концентрации требуется меньше тарелок при постоянном удельном расходе пара, отнесенном к 1 дал спирта; если расход пара относить к массе бражки, то зависимость будет обратной.

С уменьшением удельного расхода пара увеличивается число тарелок, необходимое для достижения заданной степени извлечения спирта из бражки. Однако по достижении определенного минимума расхода пара увеличение числа тарелок в колонне не обеспечивает необходимой степени извлечения спирта.

Приведенные выше графики справедливы в случае работы бражной колонны при атмосферном давлении. С изменением давления численные значения на графиках будут иными, т.к. значительно изменится коэффициент испарения спирта (например, с понижением давления необходимое число тарелок в бражной колонне увеличивается).

Экономичность работы бражной колонны зависит также от количества теряемого с бардой спирта, т.е. от величины X_s . Расчеты показывают, что при $X_m = 10$ % об., $t_m = 70$ °С и $\beta = 1,05$ наиболее экономична работа с допустимыми потерями спирта в барде $X_s = 0,0005$ % об. при $n = 13,8$.

На стоимость отгонки спирта из бражки большое влияние оказывает температура вводимой в колонну бражки t_m . На рис. VI-3 приведены графики зависимости общей стоимости отгонки от числа тарелок в колонне при разных температурах вводимой в колонну бражки. Как и следовало ожидать, графики подтверждают экономичность работы бражной колонны при высоких температурах подогрева бражки.

Минимальные затраты на перегонку достигаются при числе теоретических тарелок в колонне 13 и более (т.е. при 26 и более реальных тарелках с КПД 0,5). При этом X_0 должно быть в пределах 0,0005–0,001 % об., что в 15–30 раз меньше, чем допускаемая нормами величина.

Выполненные расчеты показывают, что для обеспечения наименьшей стоимости перегонки бражные колонны должны работать при минимально допустимом расходе греющего пара и температуре бражки, близкой к температуре кипения. Число тарелок в колонне должно быть таким, чтобы

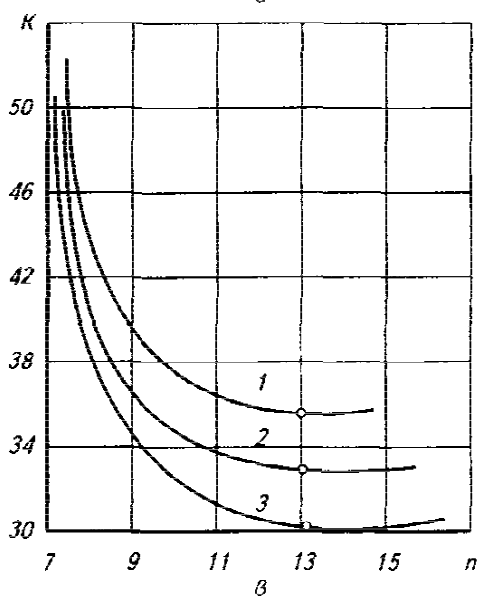
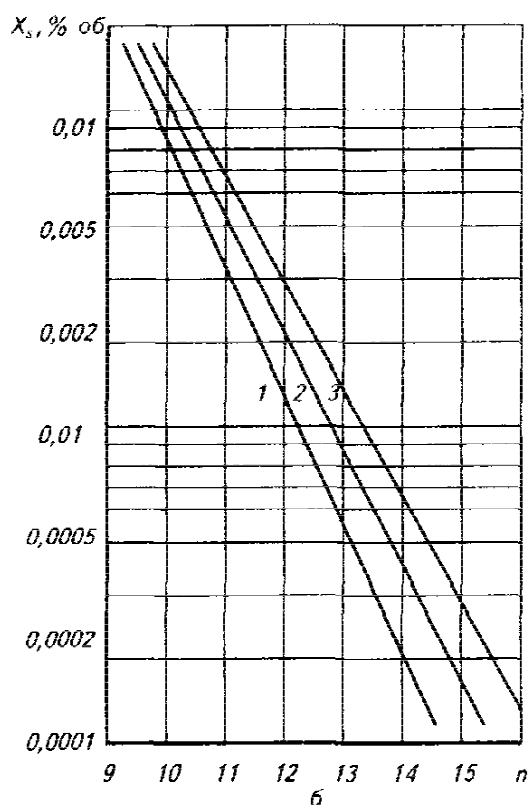
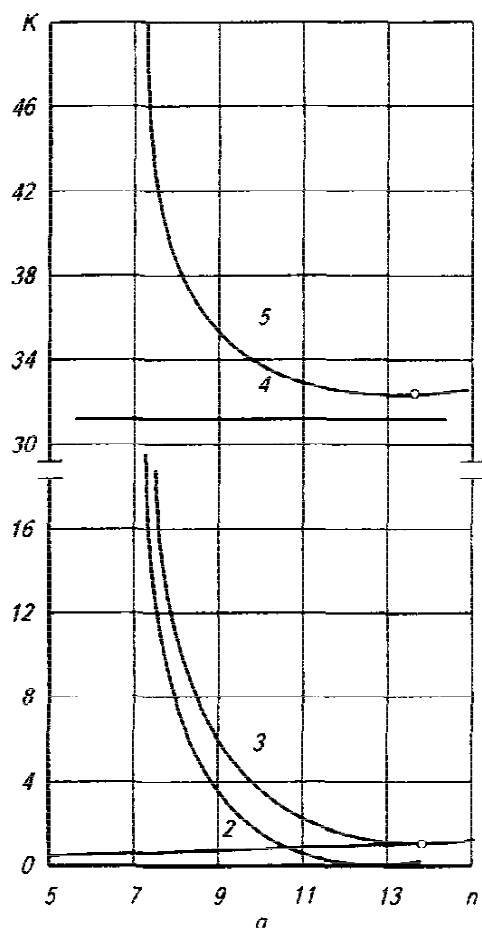


Рис. VI-3. К расчету стоимости выделения спирта из бражки:

a — суммарная стоимость процесса выделения спирта из бражки: 1 — затраты на амортизацию; 2 — стоимость спирта, теряемого с бражкой; 3 — затраты на амортизацию плюс потери спирта; 4 — стоимость пара; 5 — суммарная стоимость выделения спирта из бражки;

б — $X_n = f(n, t_m)$ (температура бражки, °C: 1 — 55; 2 — 70; 3 — 85);

в — стоимость отгонки спирта из бражки K в зависимости от t_m и n (температура бражки, °C: 1 — 55; 2 — 70; 3 — 85)

содержание спирта в барде (остатке) не превышало 0,0001 % об. Увеличение числа тарелок в колонне снижает удельный расход пара и потери спирта, а следовательно, уменьшает эксплуатационные затраты.

При эксплуатации бражных колонн для определения оптимального значения X_s необходимо исходить из фактического числа теоретических тарелок и температуры бражки.

Для ориентировочного определения расхода пара в производственных условиях можно пользоваться формулой

$$P = 18,7 + \frac{0,044X_M I_D}{Y_D} - 0,176t_M, \quad (\text{VI-2})$$

кг условного пара ($I = 2680$ кДж/кг) на 100 кг бражки.

Для расчета достаточно иметь три параметра: t_M — температура бражки, поступающей в колонну; X_M — концентрация спирта в бражке, % мас. и Y_D — концентрация спирта в дистилляте, % мас., которые легко определяются в производственных условиях. I_D — теплосодержание выходящего из колонны спиртоводного пара (кДж/кг) — табличная величина и определяется по температуре пара, выходящего из бражной колонны, или по концентрации бражного дистиллята (приложение IV).

Пример. Определить расход пара при следующих условиях:

концентрация спирта в бражке $X_M = 6$ % мас.;

температура поступающей в колонну бражки $t_M = 70$ °С;

концентрация спирта в бражном дистилляте $Y_D = 40$ % мас.

По Y_D определяем теплосодержание выходящего из колонны водно-спиртового пара, $I_D = 2088$ кДж/кг (см. приложение IV).

Расход условного пара на 100 кг бражки составит

$$P = 18,7 + \frac{0,044 \cdot 6 \cdot 2088}{40} - 0,176 \cdot 70 = 19,20 \text{ кг,}$$

а в пересчете на 1 дал спирта

$$P' = \frac{19,2 \cdot 10 \cdot 0,789}{6} = 25,25 \text{ кг/дал,}$$

где 0,789 — плотность этилового спирта, кг/дм³.

На основании данных по расходу пара можно определить коэффициент избытка пара $\beta = \frac{Y^x}{Y_D}$, который показывает эффективность использования пара колонной. Для этого необходимо определить кон-

центрацию спирта в кипящей бражке на тарелке питания ($X_{\text{пит}}$, % мас.) по рис. V-5, а затем по $X_{\text{пит}}$ определить концентрацию спирта Y^x в паре, равновесном с кипящей на тарелке питания бражкой (приложение V).

Коэффициент избытка пара при вышеприведенных условиях составит

$$\beta = \frac{Y^x}{Y_D} = \frac{48,12}{40} = 1,2,$$

что указывает на перерасход пара, вызванный или низким КПД тарелок, или вводом в колонну непроизводительного избытка пара; следовательно, работу колонны необходимо оптимизировать. Таким образом, полученные в результате расчета расхода пара по приведенной методике данные позволяют оперативно вести контроль за работой колонны с целью поддержания оптимального режима ее работы, т. е. с минимальными эксплуатационными затратами.