

тальных затрат на реконструкцию помещения, это делать целесообразно, так как снижается удельный расход пара, повышается производительность спиртовой колонны и снижаются общие затраты на проведение процесса ректификации.

Выше, на рис. 79 была дана зависимость числа флегмы от концентрации ректификованного спирта. При расчете принято  $R_{\text{опт}} = 1,5 R_{\text{мин}}$ .

### Расчет расхода пара на спиртовую колонну

При расчете и нормировании спиртовых колонн важно знать зависимость расхода пара от числа флегмы и концентрации ректификованного спирта (дистиллята). Наиболее достоверным методом расчета расхода пара (тепла) является составление теплового баланса.

На рис. 83 дана схема спиртовой колонны с указанием продуктовых потоков (в кг), где  $G$  — питание (эпюрат),  $D$  — дистиллят (сумма ректификованного и непастеризованного спирта),  $P$  — греющий пар,  $O$  — лютерная вода,  $R$  — число флегмы.

Через  $i$  (в кДж/кг) с соответствующими индексами обозначено теплосодержание продуктов в жидкой фазе, а через  $I$  — в паровой фазе.

Уравнение теплового баланса колонны:

$$P I_P + G i_G + R D i_D = (R + 1) D I_D + O i_O + Q_{\text{п}} \quad (95)$$

где  $Q_{\text{п}}$  — теплотери в окружающую среду и неучтенное тепло (пары сивушной фракции, догрев питания до температуры кипения).

При закрытом обогреве уравнение (95) относительно удельного расхода тепла может быть преобразовано в уравнение (96):

$$Q = 1,05 \left\{ \frac{X_{\text{э}}}{X_D} [I_D (R + 1) - R i_D - i_w] + i_w - i_{\text{э}} \right\}, \quad (96)$$

где  $Q$  — расход тепла на 1 кг введенного в колонну эпюрата; 1,05 — коэффициент, учитывающий отвод тепла с сивушной фракцией и теплотери в окружающую среду;  $X_{\text{э}}$  и  $X_D$  — соответственно концентрация спирта в эпюрате и дистилляте, % мас.

Формула (96) применима при любых давлениях в колонне.

Расчеты показывают, что  $Q_{\text{п}}$  составляют ~420 кДж на 1 кг дистиллята и распределяются следующим образом: теплотери в окружающую среду ~250 кДж/кг; тепло, отводимое с сивушной фракцией, ~130 кДж/кг; тепло на подогрев питания до температуры кипения ~40 кДж/кг.

Решая уравнение (95) относительно  $P$ , получим

$$P = \frac{RD(I_D - i_D) + DI_D + (G - D)i_0 + Gi_G + Q_n}{I_p - i_D} \quad (97)$$

но  $I_D - i_D = r$  — скрытая теплота испарения, кДж/кг.

Примем теплосодержание греющего пара  $I_p = 2682$  кДж/кг (условный пар), теплосодержание лютерной воды  $i_0 = 440$  кДж/кг, что соответствует избыточному давлению в кубе колонны 0,025 МПа (2,5 м вод. ст.), тогда удельный расход пара, отнесенный к 1 кг дистиллята, составит (в кг/кг)

$$P = \frac{Rr}{2242} + \frac{I_D + G(1844 - i_G) - 84}{2242} \quad (98)$$

Из уравнения (98) следует, что удельный расход пара зависит от числа флегмы, концентрации дистиллята  $X_D$  и питания (эпюрата)  $X_1$ .

Предварительные расчеты показывают, что концентрация питания ( $X_c = 20 \div 50$  % об.) не оказывает существенного влияния на удельный расход пара. Значительно большее влияние оказывает концентрация дистиллята.

При постоянном значении  $X_c$  уравнение (98) преобразуется в уравнение прямой:

$$P = KR + B \text{ кг/кг}, \quad (99)$$

где  $K$  и  $B$  — постоянные, зависящие только от  $X_D$  (% об.):

$$K = 1,285 - 0,009X_D; \quad (100)$$

$$B = 1,707 - 0,012X_D. \quad (101)$$

Подставляя значения  $K$  и  $B$  в уравнение (99), получим

$$P = (1,285 - 0,009X_D)R - 0,012X_D + 1,707 \text{ кг на 1 кг дистиллята}. \quad (102)$$

Анализируя уравнение (102), можно сделать вывод, что удельный расход пара при постоянной концентрации дистиллята прямо пропорционален числу флегмы; с увеличением концентрации дистиллята удельный расход пара уменьшается при  $R = \text{const}$ , так как  $r$  и  $I_D$  [см. уравнение (98)] уменьшаются с повышением  $X_D$ . Однако при эксплуатации колонн с увеличением концентрации спирта в дистилляте требуется большой расход пара, так как при постоянном числе тарелок в колонне необходимо соответственно увеличивать число флегмы, а это требует большего удельного расхода пара, что вполне согласуется с формулой (102).

*Пример.* Определить удельный расход пара на 1 дал ректификованного спирта при следующих условиях работы колонны:  $X_D = 96,5$  % об.; неастиризованного спирта отбирается 5% от количества ректификованного спирта.

Примем, что концентрация неастиризованного спирта равна концентрации ректификованного. По уравнению (102) имеем

$$P = (1,285 - 0,009 \cdot 96,5) 4,7 - 0,012 \cdot 96,5 + 1,707 = 2,502 \text{ кг на 1 кг дистиллята}.$$

лята.

Число флегмы принято по рис. 79.

В 1 кг дистиллята на долю ректификованного спирта приходится  $100 \cdot 1:105 = 0,952$  кг, следовательно, удельный расход пара, отнесенный к 1 кг, ректификованного спирта, составит  $2,502 : 0,952 = 2,63$  кг/кг. При плотности дистиллята  $0,805$  кг/л удельный расход пара на 1 дал составит  $2,63 \times 0,805 \times 10 = 21,2$  кг.

Удельный расход пара на 1 дал спирта концентрацией  $96,2\%$  об. (при  $R = 3,5$ ) равен  $18$  кг, а при концентрации  $95,5\%$   $P = 13,8$  кг/дал ( $R = 2,5$ ).

В каждом случае принималось  $R = 1,5 R_{\text{мин}}$  для заданной концентрации спирта.

Полученные аналитические зависимости дают возможность легко определить удельный расход нормального пара в зависимости от основных параметров процесса ректификации и могут быть использованы при разработке средств автоматического регулирования, при нормировании и анализе работы спиртовых колонн. Выведенные уравнения справедливы как при закрытом, так и открытом обогреве колонны в пределах изменения  $X_1$  от  $20$  до  $50\%$  об. и  $X_D$  от  $94$  до  $97,2\%$  об.

### Определение производительности спиртовых колонн

В соответствии с Инструкцией по определению производственных мощностей спиртовых заводов (М., ЦНИИТЭИпищепром, 1975) мощность брагоректификационных установок определяется в зависимости от диаметра спиртовой колонны ( $D$ , м).

При выработке спирта высшей очистки мощность ( $M$ , дал/сут) определяется по уравнению

$$M = 55D^2(26,6 - D^2). \quad (103)$$

Если колонна не типовая, а подвергалась модернизации (увеличено число тарелок), то

$$M = 380D^2(4,92 - D). \quad (104)$$

При выработке спирта первого сорта производительность установки увеличивается на  $15\%$ , а при выработке спирта экстра — снижается на  $15\%$  по отношению к производительности по спирту высшей очистки.

Для пересчета на мощность по условному спирту-сырцу полученный результат умножается на коэффициент  $1,05$ .

Производительность спиртовой колонны зависит от таких факторов, как сечение колонны, конструкция тарелок, величина межтарелочного расстояния, КПД и число тарелок, концентрация дистиллята, питания и др. Помимо этого на производительность колонны влияет целый ряд внешних факторов: величина поверхности и конструкция дефлегматора, температура флегмы, параметры греющего пара и др.

Исключив влияние внешних факторов, установим зависимость производительности колонны от основных размеров колонны и параметров процесса.

Объем пара, поднимающегося в колонне,

$$V = Fw, \quad (105)$$