



## Введение

Производство органических веществ зародилось очень давно, но первоначально оно базировалось на переработке растительного или животного сырья — выделение ценных веществ (сахар, масла) или их расщепление (мыло, спирт и др.). На основных трех видах ископаемого сырья (нефть, природный газ и каменный уголь) главным образом и базируется промышленность органического синтеза. В процессах их физического разделения, термического или каталитического расщепления (коксование, крекинг, пиролиз, риформинг, конверсия) получают пять главных групп исходных веществ для синтеза многих тысяч других соединений: 1) парафины (от метана  $\text{CH}_4$  до углеводородов  $\text{C}_{15}$ — $\text{C}_{40}$ ); 2) олефины ( $\text{C}_2\text{H}_4$ ,  $\text{C}_3\text{H}_6$ ,  $\text{C}_4\text{H}_8$ ,  $\text{C}_5\text{H}_{10}$ ); 3) ароматические углеводороды (бензол, толуол, кислоты, нафталин); 4) ацетилен; 5) оксид углерода и синтез-газ.

В своем развитии промышленность органического синтеза разделилась на ряд отраслей (технология красителей, лекарственных веществ, пластических масс, химических волокон и др.), среди которых важное место занимает промышленность основного органического и нефтехимического синтеза. Термин «основной» (или «тяжелый») органический синтез охватывает производство многотоннажных продуктов, служащих основой для всей остальной органической технологии.

Одним из химических продуктов органического синтеза является уксусная кислота. Безводная (ледяная) уксусная кислота плавится при  $16,6^\circ\text{C}$  и кипит при  $118^\circ\text{C}$ , полностью смешивается с водой и многими органическими растворителями. Она является важнейшей из алифатических кислот и широко применяется в пищевых целях, в качестве растворителя, промежуточного продукта для синтеза монохлоруксусной кислоты, растворителей — сложных эфиров уксусной кислоты (этилацетат, бутилацетат), мономеров (винилацетат) и других ценных веществ.

Целью дипломного проекта является проектирование ректификационной колонны, в которой происходит очистка уксусной кислоты от тяжелой фракции (пропионовой кислоты), в конечном итоге достигается чистота продукта 99,9%.

		N				4

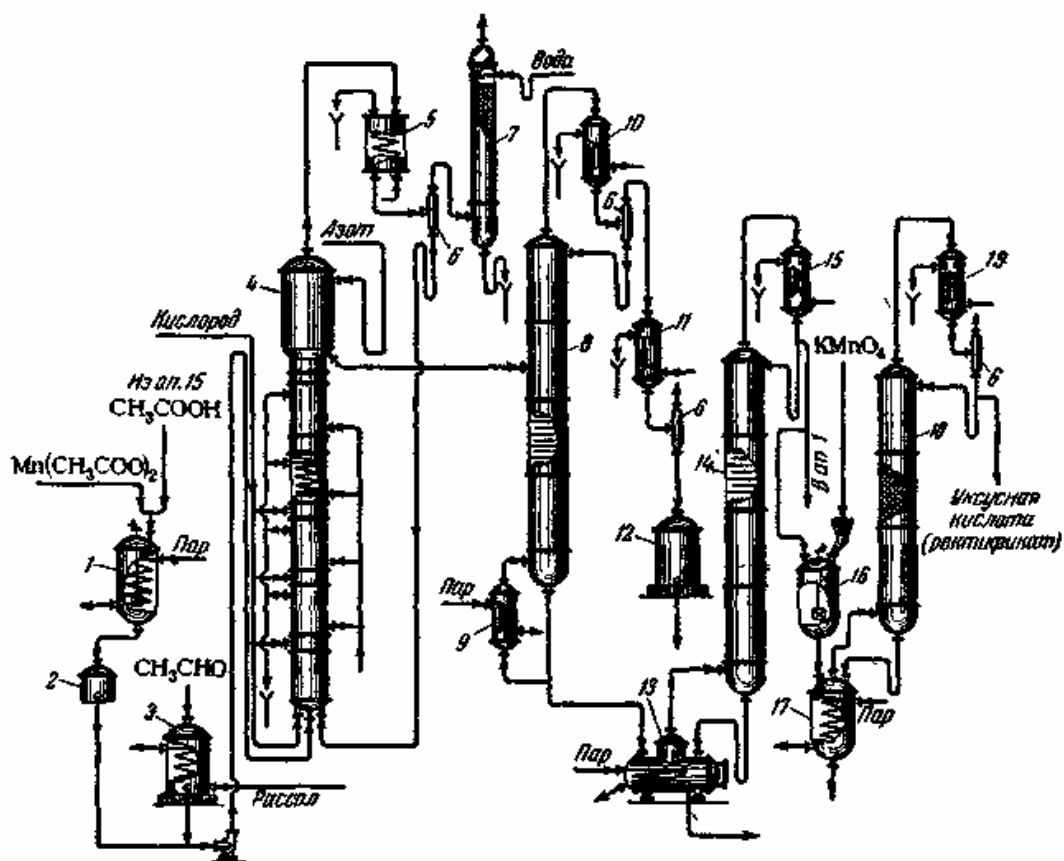


Рисунок 1.1 – Схема производства уксусной кислоты окислением ацетальдегида:

1 – аппарат для приготовления раствора катализатора; 2 – промежуточный бак; 3 – хранилище ацетальдегида; 4 – окислительная колонна; 5, 11 – конденсаторы; 6 – сепараторы; 7 – скруббер; 3, 14 – тарельчатые ректификационные колонны; 9, 13 – кипятильники; 10, 15, 19 – дефлегматоры; 12 – сборник кислоты; 16 – реактор; 17 – испаритель; 18 – насадочная ректификационная колонна.

Уксусная кислота (сырец), непрерывно отбираемая из расширенной части окислительной колонны 4, поступает в ректификационную колонну 8, в которой из сырца отгоняются низкокипящие соединения. Освобожденная от низкокипящих примесей уксусная кислота непрерывно поступает в кипятильник 13 ректификационной колонны 14, где при  $125^{\circ}\text{C}$  уксусная кислота испаряется, отделяясь от катализатора, паральдегида, кретоновой кислоты и продуктов осмоления.

Пары уксусной кислоты конденсируются в дефлегматоре 15, откуда часть кислоты возвращается на орошение колонны 14, некоторое количество направляется в аппарат 1 для приготовления катализаторного раствора, а большая часть поступает для очистки от примесей в реактор 16. Здесь уксусную кислоту обрабаты-

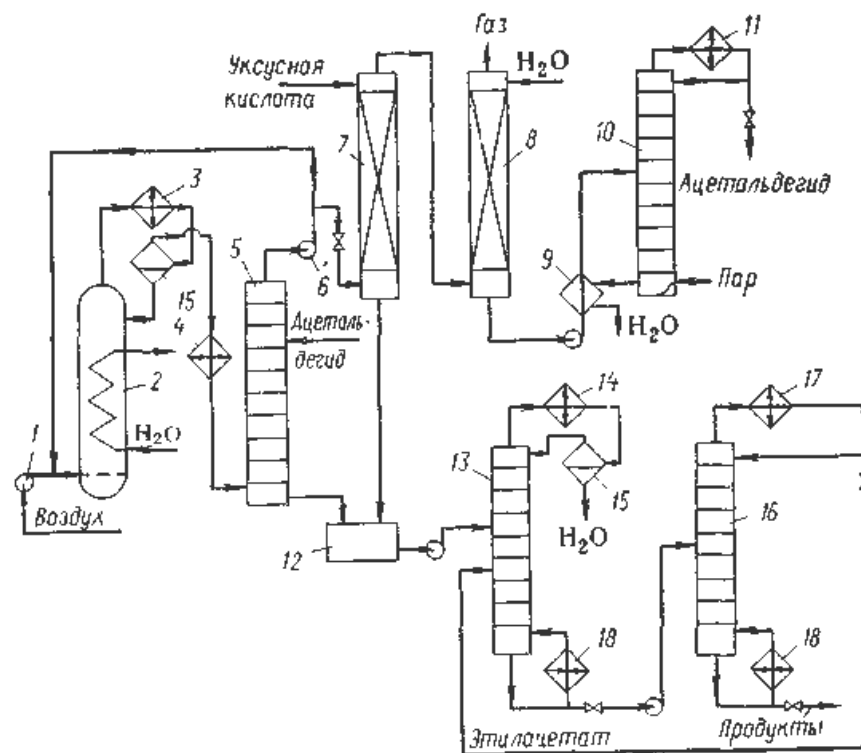


Рисунок 1.2 – Технологическая схема совместного получения уксусной кислоты и уксусного ангидрида:

1 – воздуходувка; 2 – реактор; 3, 4 – холодильники; 5 – сатуратор; 6 – газодувка; 7 – скруббер; 8 – абсорбер; 9 – теплообменник; 10, 16 – ректификационные колонны; 11, 14, 17 – дефлегматоры; 12 – сборник; 13 – колонна азеотропной осушки; 15 – сепаратор; 18 – кипятильники.

Ввиду возможности гидролиза ангидрида (особенно при повышенной температуре) в первую очередь осуществляют азеотропную отгонку воды с этилацетатом в колонне 13 с дефлегматором 14 и сепаратором 15. Затем от смеси продуктов в колонне 16 отгоняют этилацетат, возвращаемый на азеотропную отгонку. Уксусную кислоту и уксусный ангидрид получают в чистом виде после дополнительной ректификации, на схеме не изображенной. Выход продуктов 95 % от теоретического.

При окислении н-бутана жидкофазное окисление этих углеводородов при 160–170 °С в присутствии катализаторов (органические соли марганца или кобальта) протекает более избирательно с деструкцией углеродной цепи и образованием в качестве главного продукта уксусной кислоты.

Окисление бензиновой фракции более экономичен аналогичный процесс, основанный на использовании дешевой бензиновой фракции, выкипающей при 30

По типу внутренних контактных устройств различают тарельчатые, насадочные и пленочные колонные аппараты (рисунок 2.1). Области применения контактных устройств определяются свойствами разделяемых смесей, рабочим давлением в аппарате, нагрузками по пару (газу) и жидкости и т.п.

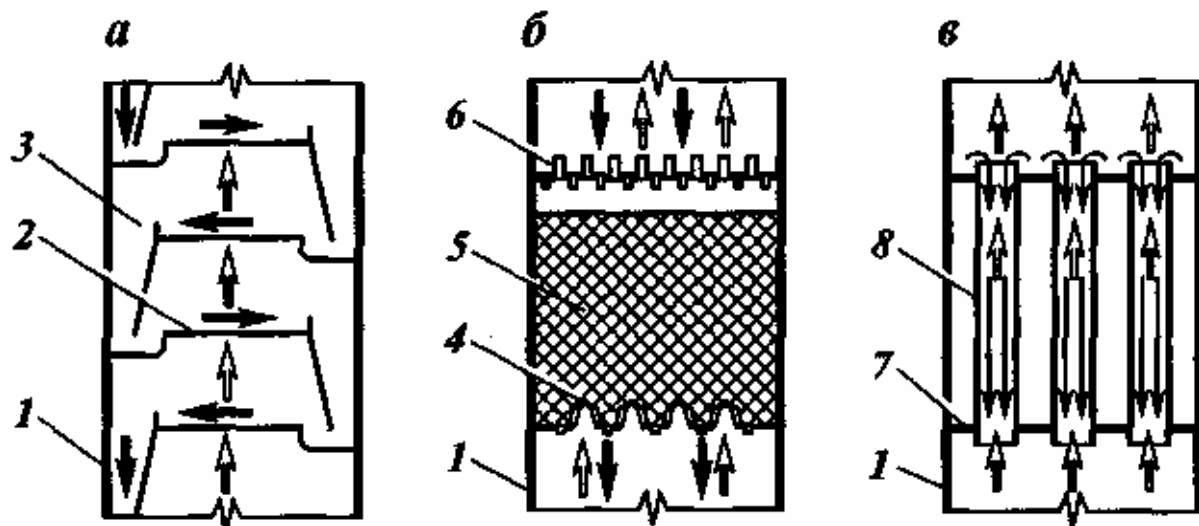


Рисунок 1.3 – Схемы основных типов колонных аппаратов:

а – тарельчатый; б – насадочный; в – пленочный; 1 – корпус колонны; 2 – полотно тарелки; 3 – переточное устройство; 4 – опорная решетка; 5 – насадка; 6 – распределитель; 7 – трубная решетка; 8 – трубка.

В тарельчатых аппаратах (см. рисунок 1.3, а) контакт между фазами происходит при прохождении пара (газа) сквозь слой жидкости, находящейся на контактном устройстве (тарелке) жидкостью осуществляется на поверхности специальных насадочных тел, а также в свободном пространстве между ними [2].

Насадочные колонны (см. рисунок 1.3, б) представляют собой аппараты, загруженные насадкой – твердыми телами различной формы; при наличии насадки увеличивается поверхность соприкосновения газа и жидкости.

Наиболее распространена насадка в виде тонкостенных колец высотой, равной диаметру, который колеблется в пределах 15–150 мм.

Кольца беспорядочно засыпают в аппарат навалом (см. рисунок 1.4, а), либо укладывают правильными рядами, сдвинутыми друг относительно друга (см. рисунок 1.4, б). Такая правильная укладка практически возможна только при нагруз-

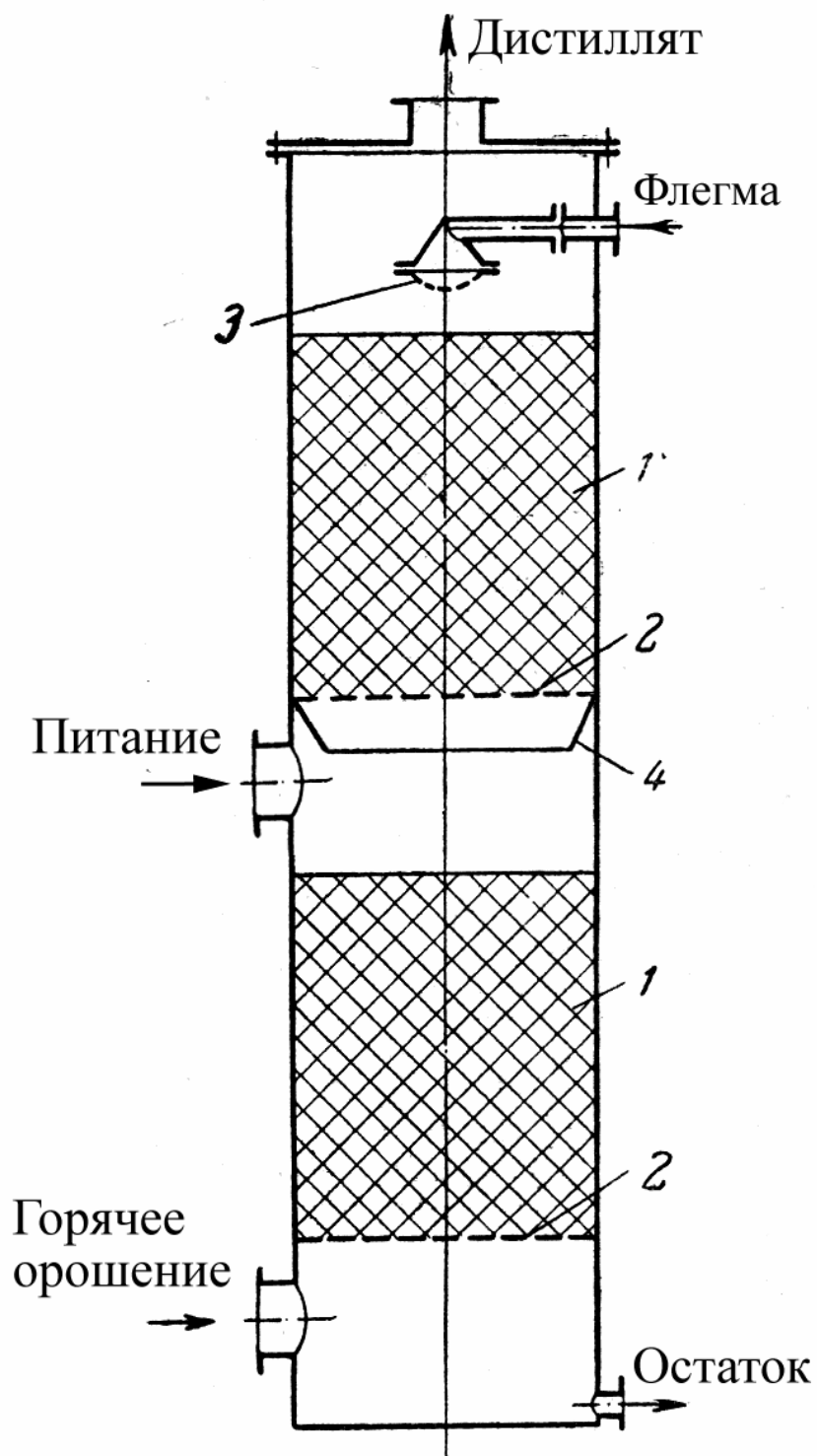


Рисунок 1.5 – Насадочная ректификационная колонна

1 – насадка; 2 – решетка; 3 – распределительный стакан; 4 – направляющий конус

Жидкость подается на насадку при помощи распределительного стакана 3, в котором имеется большое количество отверстий диаметром 3–6 мм. Жидкость по-

## 2 Технологический раздел

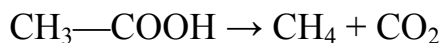
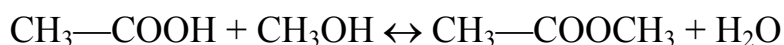
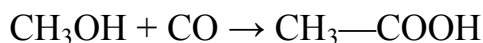
### 2.1 Описание технологической схемы и проектируемого оборудования

#### 2.1.1 Описание технологической схемы

Рассмотрим способ получения уксусной кислоты путем оксосинтеза из спиртов. Взаимодействие спиртов с окисью углерода можно осуществлять с помощью кислотных катализаторов, но они не получили практического применения, так как вызывают образование большого количества побочных веществ (простых эфиров, олефинов и их полимеров, продуктов изомеризации и т. д.).

Более удовлетворительные результаты получаются с катализаторами из металлического никеля (плюс йодистая медь или иод), из йодистого никеля с добавками металла-акцептора (Co, Cu, Fe) или его органической соли с добавкой промотора (галогениды щелочных металлов, галогены, алкангалогениды).

Взаимодействие спиртов с окисью углерода при катализе использовано в промышленности для производства уксусной кислоты из метанола. Оно сопровождается побочным образованием метилацетата, метана и двуокиси углерода:



Выход уксусной кислоты в оптимальных условиях составляет 90-98%. Этот метод синтеза позволяет базировать производство уксусной кислоты на метане (метан → синтез-газ → метанол → кислота) или на каменном угле (водяной газ → метанол → кислота) и, по некоторым данным, является самым экономичным для производства уксусной кислоты.

		N				14

Пары из сепаратора 6 поступают в колонну 8 с кипятильником 9. В ней отгоняют летучие продукты, которые конденсируются в аппарате 10, и конденсат разделяется на две жидкие фазы в сепараторе 11. Верхняя фаза, представляющая собой водный раствор, служит флегмой колонны 8, а тяжелая фаза, состоящая в основном из  $\text{CH}_3\text{I}$ , возвращается насосом в реактор. Из средней части колонны 8 отбирают сырую уксусную кислоту, а кубовую жидкость возвращают в сепаратор 6.

Сырая уксусная кислота поступает в колонну обезвоживания 12. Кроме того, уксусная кислота освобождается от  $\text{HI}$ , для облегчения чего на одну из тарелок подается метанол, дающий с  $\text{HI}$  летучий  $\text{CH}_3\text{I}$ . Часть паров дистиллята после конденсации и охлаждения до  $30 \dots 40 \text{ }^\circ\text{C}$  направляется на орошение колонны 12, а остальные пары возвращаются в реактор. Кубовая жидкость колонны 12 закачивается в среднюю часть ректификационной колонны 13, в которой отгоняется технически чистая уксусная кислота. Кубовый остаток этой колонны отправляют на сжигание.

### 2.1.2 Описание проектируемого оборудования

В разделе 1 приведен подробный обзор существующих конструкций проектируемого оборудования. Технологическое назначение колонны определяет как рабочие параметры процесса, так и особенности работы контактных устройств (паровые или газовые и жидкостные нагрузки, возможность отложения твердых осадков и т. п.), а также конструктивного оформления основных узлов колонн.

В насадочных колоннах контакт между газом (паром) и жидкостью осуществляется на поверхности специальных насадочных тел, а также в свободном пространстве между ними. В пленочной колонне фазы контактируют на поверхности тонкой пленки жидкости, стекающей по вертикальной или наклонной поверхности. В тарельчатых аппаратах контакт между фазами происходит при прохождении пара (газа) сквозь слой жидкости, находящейся на контактном устройстве.

Применительно к процессу разделения уксусной кислоты и тяжелых фракций выбираем ректификационную колонну с насадкой из колец Рашига. Колонна представляет собой цилиндрический аппарат, внутри которого находится рабочий орган – насадка.

		N				16



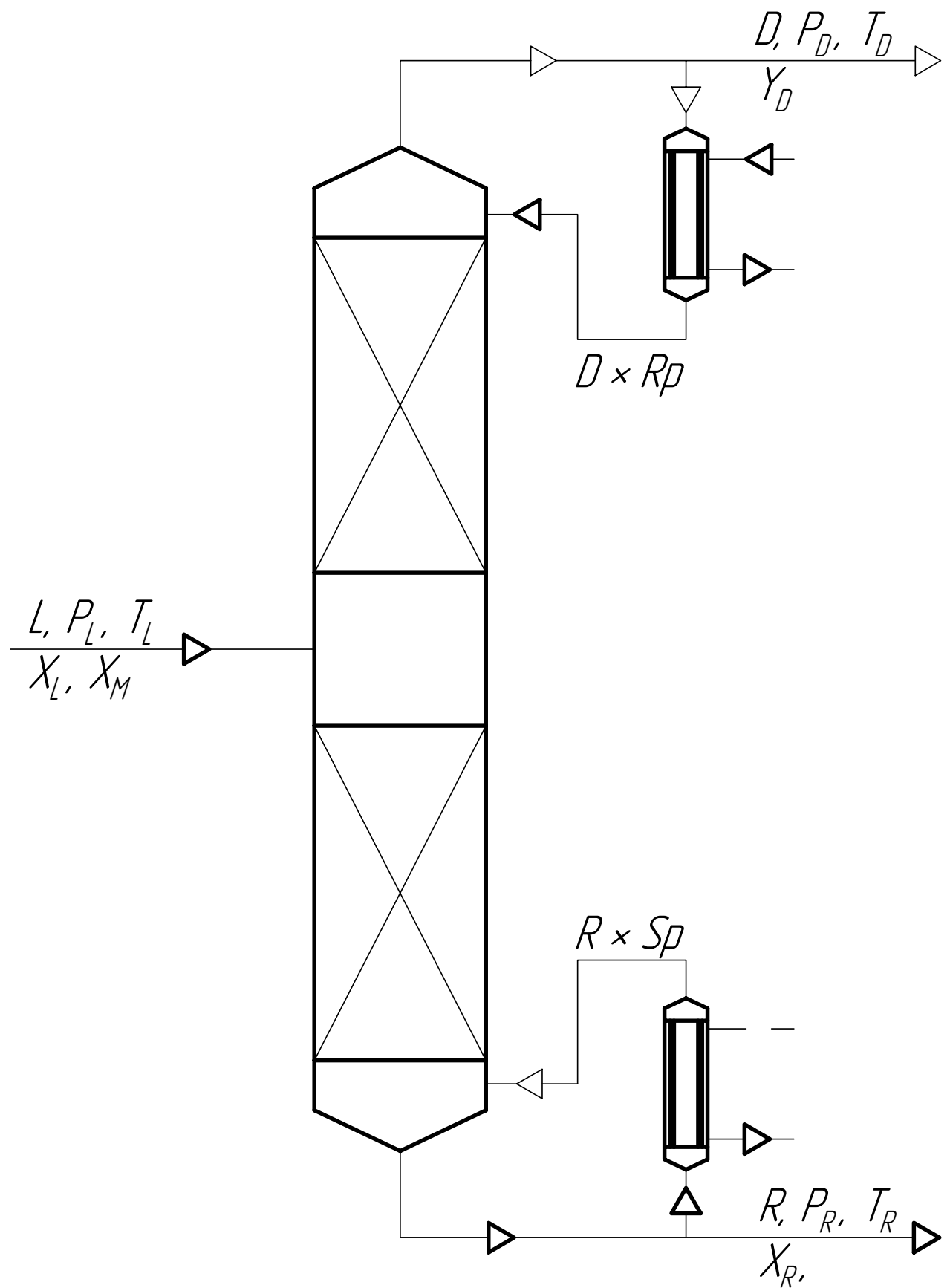


Рисунок 2.2 – Схема к технологическому расчету ректификационной колонны

Расчеты выполнены в соответствии с методическими указаниями, разработанными на кафедре МАХП [4].

		N					18

$$f_0 = 1.69347 \times 0.678^6 - 6.09648 / 0.678 - 1.28862 \times \ln(0.678) + 5.92714 = -2.545$$

$$f_1 = 0.43577 \times 0.678^6 - 15.6875 / 0.678 - 13.4721 \times \ln(0.678) + 15.2518 = -2.605$$

$$P_1 = P_v = P_{кр} \exp(f_0 + w f_1) = 5.79 \times \exp(-2.545 - 0.454 \times 2.605) = 0.139 \text{ МПа}$$

Для пропионовой кислоты

$$\tau = 403.15 / 612.00 = 0.659$$

$$f_0 = 1.69347 \times 0.659^6 - 6.09648 / 0.659 - 1.28862 \times \ln(0.659) + 5.92714 = -2.776$$

$$f_1 = 0.43577 \times 0.659^6 - 15.6875 / 0.659 - 13.4721 \times \ln(0.659) + 15.2518 = -2.903$$

$$P_2 = P_v = P_{кр} \exp(f_0 + w f_1) = 5.37 \times \exp(-2.776 - 0.563 \times 2.903) = 0.065 \text{ МПа}$$

Расчетное давление в емкости орошения

$$P_o = 0.139 \times 0.9990 + 0.065 \times (1 - 0.9990) = 0.139 \text{ МПа}$$

В соответствии с рекомендациями [4] немного увеличиваем давление в емкости орошения. Итого

$$P_o = 0.140 \text{ МПа}$$

#### 2.2.4 Расчет температуры верха колонны

Принимаем величину гидравлических сопротивлений от емкости орошения до верха колонны

$$\Delta P_1 := 0.05 \text{ МПа}$$

Определяем давление на верху колонны

$$P_D := P_o + \Delta P_1 = 0.14 + 0.05 = 0.19 \text{ МПа}$$

Температура верха колонны определяется методом последовательных приближений по условию

$$\frac{Y_D}{k_1} + \frac{1 - Y_D}{k_2} = 1, \quad (1)$$

где  $k_1$  и  $k_2$  – константы фазового равновесия для уксусной и пропионовой кислоты соответственно:

$$k_1 = \frac{P_{v1}}{P} \quad k_2 = \frac{P_{v2}}{P}$$

Давление насыщенных паров определяется так же, как и при расчете давления в емкости орошения. В первом приближении принимаем температуру верха равной 100 °С. Если условие (1) не выполняется, то корректируют значение температуры и расчет повторяют снова. Вычисления продолжают до тех пор, пока

		N				20

$$P_{v1} = 0.403 \text{ МПа}, \quad P_{v2} = 0.218 \text{ МПа}$$

$$k_1 = \frac{0.403}{0.220} = 1.831 \quad k_2 = \frac{0.218}{0.220} = 0.989$$

Проверка условия (2)

$$1.831 \times 0.0200 + 0.989 \times (1 - 0.0200) = 1.005$$

Условие выполняется с приемлемой точностью.

### 2.2.6 Расчет температуры в секции питания

Долю отгона рекомендуется принимать примерно равной значению [4]

$$D/L = 10.35 / 12.00 = 0.862$$

Принимаем долю отгона

$$e = 0.85$$

Давление в секции питания в первом приближении

$$P_L := \frac{P_D + P_R}{2} = \frac{0.19 + 0.22}{2} = 0.205 \text{ МПа}$$

Температура в питательной секции колонны определяется методом последовательных приближений по условию

$$X_C + X_{C1} = 1, \quad (3)$$

где  $X_C$  – доля уксусной кислоты в смеси после однократного испарения;

$X_{C1}$  – расчетная доля пропионовой кислоты в смеси.

Указанные доли рассчитываются по формулам [4]

$$X_C := \frac{X_L}{1 + e \cdot (k_1 - 1)}$$

$$X_{C1} := \frac{1 - X_L}{1 + e \cdot (k_2 - 1)},$$

где  $k_1$  и  $k_2$  – константы фазового равновесия для уксусной и пропионовой кислоты соответственно:

$$k_1 = \frac{P_{v1}}{P} \quad k_2 = \frac{P_{v2}}{P}$$

Давление насыщенных паров определяется так же, как и при расчете давления в емкости орошения. В первом приближении принимаем температуру питательной секции равной 150 °С. Если условие (3) не выполняется, то корректируют

		N				22

## 2.2.8 Расчет числа единиц переноса и высоты насадки

Минимальное число единиц переноса (ЧЕП) определяется по уравнению

$$N_{\min} := \frac{\ln \left[ \frac{Y_D \cdot (1 - X_R)}{X_R \cdot (1 - Y_D)} \right]}{\ln(\alpha)},$$

где  $\alpha$  – коэффициент относительной летучести, в первом приближении усредняемый по колонне:

$$\alpha = \frac{\alpha_D + \alpha_R}{2},$$

где  $\alpha_D$  и  $\alpha_R$  – значения коэффициентов относительной летучести для верха и низа колонны соответственно

$$\alpha_D = \frac{k_1}{k_2} = \frac{0.986}{0.481} = 2.050$$

$$\alpha_R = \frac{k_1}{k_2} = \frac{1.831}{0.989} = 1.851$$

$$\alpha = \frac{2.050 + 1.851}{2} = 1.951$$

$$N_{\min} = \frac{\ln \left( \frac{0.9990 \times (1 - 0.0200)}{0.0200 \times (1 - 0.9990)} \right)}{\ln(1.951)} = 16.16$$

Для определения ЧЕП в концентрационной секции рассчитаем средний коэффициент относительной летучести для этой секции.

$$\alpha_L = \frac{k_1}{k_2} = \frac{1.112}{0.557} = 1.996$$

$$\alpha_K = \frac{\alpha_L + \alpha_R}{2} = \frac{1.996 + 1.851}{2} = 1.924$$

Минимальное ЧЕП для концентрационной секции

$$N_{\min K} := \frac{\ln \left[ \frac{Y_D \cdot (1 - X_C)}{X_C \cdot (1 - Y_D)} \right]}{\ln(\alpha_K)} = \frac{\ln \left( \frac{0.9990 \times (1 - 0.7893)}{0.7893 \times (1 - 0.9990)} \right)}{\ln(1.924)} = 8.54$$

Рабочее ЧЕП больше минимального вследствие не 100% эффективности работы насадки. Поэтому рабочее ЧЕП для всей колонны [4]

$$N := 1.7 \cdot N_{\min} + 0.7 = 1.7 \times 16.16 + 0.7 = 28.18$$

		N			24

$$F_{C_{px}}(T, VC) := \begin{cases} T_x \leftarrow \frac{T}{K} \\ C_{p0} \leftarrow (VC_0 + VC_1 \cdot T_x + VC_2 \cdot T_x^2 + VC_3 \cdot T_x^3) \cdot 4.1868 \cdot \frac{\text{кДж}}{\text{кмоль} \cdot \text{К}} \end{cases}$$

Скрытая теплота парообразования жидкости

$$F_{L_{исп}}(t, Y) := \begin{cases} T \leftarrow t + 273.15\text{К} \\ T_{кр} \leftarrow T_{кр1} \cdot Y + T_{кр2} \cdot (1 - Y) \\ P_{кр} \leftarrow P_{кр1} \cdot Y + P_{кр2} \cdot (1 - Y) \\ T_{кип} \leftarrow T_{кип1} \cdot Y + T_{кип2} \cdot (1 - Y) \\ P_{кип} \leftarrow 0.1013\text{МПа} \\ \tau \leftarrow \frac{T}{T_{кр}} \\ \tau_k \leftarrow \frac{T_{кип}}{T_{кр}} \\ P_{пр} \leftarrow \frac{P_{кип}}{P_{кр}} \\ L_k \leftarrow \frac{19.68 \cdot T_{кр} \cdot (1 - P_{пр})^{0.69} \cdot \log(P_{пр})}{1 - \frac{1}{\tau_k}} \cdot \left( \frac{1}{\text{К}} \cdot \frac{\text{кДж}}{\text{кмоль}} \right) \\ L_{исп} \leftarrow L_k \cdot \left( \frac{1 - \tau}{1 - \tau_k} \right)^{0.38} \\ L_{исп} \end{cases}$$

Теплоемкость жидкости на линии насыщения в зависимости от температуры (К) и доли уксусной кислоты

$$F_{C_p}(T, X) := \begin{cases} C_{p0} \leftarrow F_{C_{px}}(T, VC_1) \cdot X + F_{C_{px}}(T, VC_2) \cdot (1 - X) \\ T_{кр} \leftarrow T_{кр1} \cdot X + T_{кр2} \cdot (1 - X) \\ \omega \leftarrow \omega_1 \cdot X + \omega_2 \cdot (1 - X) \\ \tau \leftarrow \frac{T}{T_{кр}} \\ \lg A \leftarrow 0.604 - 1.505 \cdot \omega \\ \Delta C_p \leftarrow \left( -78.4 \cdot \lg A + 30.08 \cdot \lg A^2 - 121.96 \cdot \tau^2 + 202 \cdot \tau^3 + \frac{35.91}{\tau} \right) \cdot \frac{\text{кДж}}{\text{кмоль} \cdot \text{К}} \\ C_{p0} + \Delta C_p \end{cases}$$

Соответственно

$$Q_D = (5.686 \times 10^4 - 1.948 \times 10^4) \times 22.78 = 851516 \text{ кДж/ч} = 237 \text{ кДж/с} = 237 \text{ кВт}$$

Расход парового орошения

$$V_R := R \cdot S_p = 1.65 \times 13.88 = 22.93$$

Принимаем потери тепла колонной

$$\Delta q := 0.8\%$$

Следовательно, количество тепла, вносимого в колонну [4]

$$Q_{\text{прих}} := \frac{(D + g) \cdot H_D + (R + V_R) \cdot h_R}{1 - \Delta q} =$$
$$= \frac{(10.35 + 22.78) \times 5.686 \times 10^4 + (1.65 + 22.93) \times 1.910 \times 10^4}{1 - 0.008} =$$

$$2372400 \text{ кДж/ч} = 659 \text{ кДж/с} = 659 \text{ кВт}$$

Тепловая нагрузка кипятильника

$$Q_R := Q_{\text{прих}} - L \cdot H_L - g \cdot h_D =$$
$$= 2372400 - 12.00 \times 5.186 \times 10^4 - 22.78 \times 1.948 \times 10^4 =$$
$$= 1303200 \text{ кДж/ч} = 362 \text{ кДж/с} = 362 \text{ кВт}$$

Потери тепла

$$Q_{\text{пот}} := Q_{\text{прих}} \cdot \Delta q = 659 \times 0.008 = 5.3 \text{ кВт}$$

### 2.2.10 Расчет диаметра колонны

Диаметр колонны рассчитывается в трех характерных сечениях: сверху, внизу, в питательной секции.

В качестве насадки выбираем керамические кольца  $50 \times 50 \times 5$  [3]: удельная поверхность  $f = 86 \text{ м}^2/\text{м}^2$ ; свободный объем  $V_x = 0,545 \text{ м}^3/\text{м}^3$ .

Оптимальную скорость паров, соответствующую началу эмульгирования (точка нагрузки), вычисляют по уравнению, полученному на основе анализа и обобщения результатов многих исследований [5]:

$$\lg \left( \frac{\omega_{\text{опт}}^2 f \rho_{\text{п}}}{g V_x^3 \rho_{\text{ж}}} \mu_{\text{ж}}^{0.16} \right) = A - 1.75 \left( \frac{L}{G} \right)^{\frac{1}{4}} \left( \frac{\rho_{\text{п}}}{\rho_{\text{ж}}} \right)^{\frac{1}{8}},$$

где  $\omega_{\text{опт}}$  – оптимальная скорость паров, отнесенная к полному сечению колонны, м/с;

		N				28

$$\mu_{\text{ж}} = 1,85\rho_{\text{ж}} \sqrt[3]{\frac{k T U}{\rho_{\text{ж}}}},$$

где  $k = 1,38066 \cdot 10^{-23}$  Дж/К – постоянная Больцмана;

$U$  – скорость звука в жидкости, м/с:

$$U = \frac{2,1316}{\tau^2} \sqrt{\frac{R T}{M_{\text{ж}}}},$$

где  $R = 8,314$  Дж/(моль·К) – универсальная газовая постоянная.

Расход жидкости и пара для концентрационной секции

$$L = R + V_R = 1.65 + 22.93 = 24.58 \text{ кмоль/ч} = 1671 \text{ кг/ч}$$

$$G = V_R = 22.93 \text{ кмоль/ч} = 1559 \text{ кг/ч}$$

Итого для концентрационной секции

$$\lg \left( \frac{\omega_{\text{опт}}^2 \times 86}{9.81 \times 0.545^3} \frac{1.28}{978} \times (1.75 \times 10^{-4})^{0.16} \right) = -0.125 - 1.75 \times \left( \frac{1671}{1559} \right)^{1/4} \times \left( \frac{1.28}{978} \right)^{1/8}$$

$$\lg (0,203 \omega_{\text{опт}}^2) = -1.166$$

$$\omega_{\text{опт}} = 0,580 \text{ м/с}$$

Принимаем рабочую скорость газа

$$\omega = 0,8\omega_{\text{опт}} = 0,8 \times 0,580 = 0,464 \text{ м/с}$$

Секундный расход газа

$$V_c = G / \rho_r = (1559/3600) / 1.28 = 0.338 \text{ м}^3/\text{с}$$

Расчетный диаметр концентрационной секции колонны

$$D_p = \sqrt{\frac{4 V}{\pi \omega}} = \sqrt{\frac{4 \times 0,338}{3,14 \times 0,464}} = 0,963 \text{ м}$$

Принимаем из стандартного ряда

$$D_k = 1,0 \text{ м.}$$

Для отгонной секции расчет ведется аналогично. Рассчитанный диаметр колонны

$$D_o = 0,910 \text{ м}$$

Поскольку рассчитанные диаметры отличаются незначительно, то принимаем колонну одинакового сечения по высоте.

$$D_k = 1.0 \text{ м}$$

		N				30

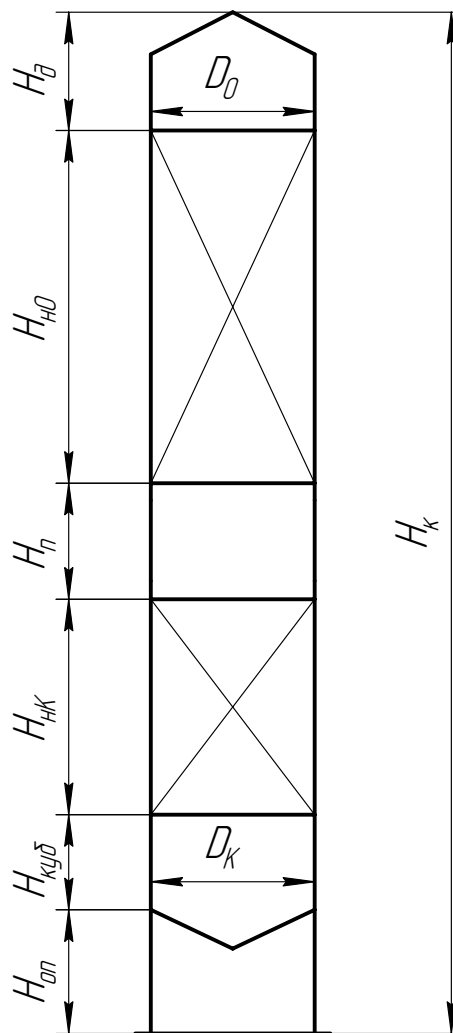


Рисунок 2.3 – Схема к определению высотных размеров колонны

Соответственно:

$$m_{pC} = \frac{0,0364 \times 10^6 \times 60}{978} = 665 \text{ м}^3/\text{кг}$$

Объемный коэффициент массопередачи

$$K_{pV} = \frac{1}{\frac{1}{\beta_{rV}} + \frac{m_{pC}}{\beta_{жV}}} = \frac{1}{0,267 + \frac{665}{39,4}} = 0.59$$

Высота ЧЭП для концентрационной секции

$$h_{0y} = \frac{G}{K_V s} = \frac{1559/3600}{0,59 \times 0,785} = 0.455 \text{ м}$$

Тогда расчетная высота насадочного слоя в концентрационной секции

$$H_{нк} = N_K h_{0y} = 16 \times 0.455 = 7.28 \text{ м}$$

Принимаем 4 насадки по 2 м.

Для отгонной секции расчет ведется аналогично.





Принимаем длину подающего трубопровода 30 м. Тогда напора от перемещения жидкости в нагнетательной линии  $h_{\text{тр+мс}}$

$$h_{\text{тр+мс}} = \left( \lambda \frac{1}{d_3} + \sum \xi_{\text{м.с.}} \right) \frac{\omega^2}{2g} = \left( 0,0281 \times \frac{30}{0,025} + 6,04 \right) \frac{2,30^2}{2 \times 9,81} = 7,69 \text{ м}$$

Необходимый напор насоса

$$H = \frac{p_2 - p_1}{g \rho} + h_{\text{тр+мс}} + h_{\text{г}},$$

где  $p_2$  – давление в абсорбере,  $p_2 = 1,47 \times 10^5$  Па;

$p_1$  – давление перед всасывающим патрубком,  $p_1 = \text{атм} = 1,01 \times 10^5$  Па;

$h_{\text{г}}$  – геометрическая высота подъема жидкости, принимаем  $h_{\text{г}} = 10$  м.

Соответственно

$$H = \frac{1,47 \times 10^5 - 1,01 \times 10^5}{9,81 \times 997} + 7,69 + 10 = 35,4 \text{ м}$$

Такой напор можно обеспечить одноступенчатым центробежным насосом.

Полезная мощность насоса

$$N_{\text{п}} = \rho g L H = 1000 \times 9,81 \times 0,00113 \times 35,4 = 2500 \text{ Вт} = 2,5 \text{ кВт}$$

Принимаем КПД

$$\eta = 0,7$$

Тогда мощность на валу двигателя

$$N_{\text{дв}} = N_{\text{п}} / \eta = 2,5 / 0,7 = 3,6 \text{ кВт}$$

В соответствии со справочными данными [2, табл. I.2] принимаем насос X20/31 с напором 31 м и мощностью двигателя 5,5 кВт.

Расчет испарителя для кубовой жидкости. Расчет испарителя ведется по алгоритму, приведенному в [2, 3]. В задачу расчета входит определение требуемой поверхности теплообмена. При известных количествах переданного тепла  $Q_R$ , средней разности температур между теплообменивающимися средами  $\Delta t_{\text{ср}}$  и коэффициенте теплопередачи  $K$  поверхность теплообмена определяется из уравнения

$$F = \frac{Q_R}{K \Delta t_{\text{ср}}}$$

Для тонкой стенки коэффициент теплопередачи определяется из уравнения

		N				36

### 3 Расчетно-конструкторский раздел

#### 3.1 Разработка и описание конструкции проектируемого оборудования

Проектируемым оборудованием является ректификационная колонна для отделения уксусной кислоты от пропионовой. Она представляет собой вертикальный цилиндрический емкостной аппарат колонного типа. Центральная часть состоит из укрепляющей, питающей и исчерпывающей части. Корпус колонны состоит из обечайки, верхнего и нижнего днища. По проведенному технологическому расчету (раздел 2) высота колонны составляет  $H = 22$  м, а диаметр  $D = 1,0$  м. В колонне имеются 7 секций насадок, 5 штуцеров для подвода исходной смеси и отвода получившихся продуктов, 9 люков.

При проектировании оборудования необходимо рассчитать толщину стенки колонны, чтобы обеспечить необходимую прочность при эксплуатации колонны, а также необходимо учитывать ветровые нагрузки, которые аппарат может испытывать, так как колонна установлена на открытой площадке.

Колонна работает под технологическим давлением  $p_T = 0,22$  МПа.

#### 3.2 Выбор конструкционных материалов

Рабочая среда в аппарате коррозионно-активная, это уксусная кислота и пропионовая кислота, поэтому необходим химически-стойкий материал как для изготовления обечайки, так и днища, фланцев и других элементов аппарата.

Выбираем сталь 12X18H10T – сталь толстолистовая (ГОСТ 7350 – 66), условия применения при температуре от минус 196 до плюс 400 ° С. Эта сталь используется для изготовления обечаек, днищ, фланцев, трубных решеток и других деталей химической аппаратуры, работающую со средами, вызывающую коррозию. Изделия из этой стали должны подвергаться стабилизирующему отжигу.

Качественная и эксплуатационная характеристика следующая: обладает удовлетворительными прочностными свойствами, хорошими пластическими свойствами и жаропрочна, обладает повышенной вязкостью и склонна к задиранию при трении о другой металл.

		N				38

Получаем

$$[\sigma] = 1 \times 144 = 144 \text{ МПа.}$$

Допускаемое напряжение при гидравлических испытаниях  $[\sigma]_{\text{И}}$ , МПа

$$[\sigma]_{\text{И}} = \sigma_{\text{T}20} / 1,1,$$

где  $\sigma_{\text{T}20}$  – минимальное значение предела текучести при температуре  $t = 20^\circ \text{C}$ .

$\sigma_{\text{T}20} = 220 \text{ МПа}$  – для стали 12Х18Н10Т, тогда:

$$[\sigma]_{\text{И}} = 220 / 1,1 = 200 \text{ МПа.}$$

Расчетное значение внутреннего избыточного давления  $p_p$ , МПа

$$p_p = p + p_r,$$

где  $p_r$  – гидростатическое давление столба жидкости, МПа

В силу конструкционных особенностей ректификационной колонны гидростатическое давление столба жидкости отсутствует, поэтому

$$p_r = 0$$

Тогда

$$p_p = 0,22 + 0 = 0,22 \text{ МПа.}$$

Пробное давление при гидравлическом испытании  $p_u$ , МПа

$$p_u = \max \left\{ \begin{array}{l} 1,5 \cdot p \cdot [\sigma]_{20} / [\sigma] \\ 0,2 \end{array} \right\},$$

где  $[\sigma]_{20}$  – допускаемое напряжение при температуре  $20^\circ \text{C}$ , МПа.

$$[\sigma]_{20} = \eta \cdot \sigma_{20}^*,$$

Тогда

$$[\sigma]_{20} = 1 \times 160 = 160 \text{ МПа, так как } \sigma_{20}^* = 160 \text{ МПа}$$

$$p_u = \max \left\{ \begin{array}{l} 1,5 \cdot 0,22 \cdot 160 / 144 = 0,57 \\ 0,2 \end{array} \right\} = 0,57 \text{ МПа.}$$

Коэффициент прочности продольных сварных швов обечайки  $\varphi = 1$ , так как принято, что швы с двусторонним сплошным проваром выполняются автоматической сваркой. Прибавка к расчетной толщине стенки для компенсации коррозии:

$$c_k = \Pi \cdot \tau_B,$$

где  $\Pi$  – проницаемость среды в материал,  $\Pi \leq 0,1 \text{ мм/год}$ ;

		N				40

### 3.3.2 Расчет днища аппарата на прочность

Рассчитаем днище отгонной части корпуса. Днище эллиптическое, так как  $D=1,2$  м. Коэффициент прочности сварных швов  $\varphi = 0,95$ . Расчетная схема эллиптического днища на рисунке 5.2.

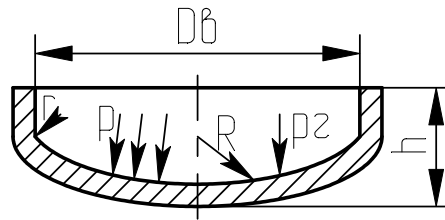


Рисунок 3.2 – Расчетная схема эллиптического днища:  $h$ – высота днища.

Расчетная и исполнительная толщина эллиптического днища  $s_{э,р}$ ,  $s_э$ , м

$$s_{э,р} = \max \left\{ \begin{array}{l} p_p \cdot D / (2 \cdot \varphi \cdot [\sigma] - 0,5 \cdot p_p) \\ p_u \cdot D / (2 \cdot \varphi \cdot [\sigma]_u - 0,5 \cdot p_u) \end{array} \right\},$$

$$s_э = s_{э,р} + c + c_0$$

$$s_{э,р} = \max \left\{ \begin{array}{l} 0,22 \cdot 1,0 / (2 \cdot 0,95 \cdot 144 - 0,5 \cdot 0,341) = 2,2 \cdot 10^{-3} \\ 0,57 \cdot 1,0 / (2 \cdot 0,95 \cdot 200 - 0,5 \cdot 0,57) = 2,6 \cdot 10^{-3} \end{array} \right\} = 2,6 \text{ мм}$$

Получим

$$s_э = 2,6 + 1,5 + 0,8 = 5 \text{ м},$$

где  $c_0 = 0,8$  мм – из условия округления толщины до ближайшей стандартной.

Толщину стенки днищ не рекомендуется делать меньше толщины стенки обечайки [8], поэтому принимаем исполнительную толщину стенки эллиптических днищ

$$s_э = 8 \text{ мм}$$

Допускаемое внутреннее давление в рабочем состоянии,  $[p]_р$ , МПа

$$[p]_р = \frac{2 \cdot \varphi \cdot [\sigma] \cdot (s_э - c)}{D + 0,5 \cdot (s_э - c)},$$

Тогда

$$[p]_р = \frac{2 \cdot 0,95 \cdot 144,32 \cdot (5 - 1,5)}{1000 + 0,5 \cdot (5 - 1,5)} = 1,46 \text{ МПа}$$

Допускаемое давление при гидравлическом испытании,  $[p]_и$ , МПа

		N			
					42

Условие укрепления отверстия накладным кольцом имеет вид:

$$\left[ (l_{1p} + s_{yp} + s - s_p - c) \cdot (s_{ш} - s_{шp} - c_{ш}) + l_{2p} \cdot (s_{ш} - 2c_{ш}) \right] \cdot \chi_1 + \sqrt{D_p \cdot (s_{yp} + s - c)} \times \\ \times (\chi_2 \cdot s_{yp} + s - s_p - c) \geq 0,5 \cdot (d_p - d_0) \cdot s_p,$$

где  $l_{1p}$  – расчетная длина внешней части штуцера, мм;

$S_{yp}$  – расчетная толщина накладного кольца, определяемое методом последовательного приближения из условия укрепления отверстия,  $S_{yp} = 4$  мм;

$l_1$  – общая длина штуцера,  $l_1 = 200$  мм;

$l_{2p}$  – длина внутренней части штуцера принимается равным нулю, считая что штуцер односторонний;

$s_{ш}$  – исполнительная толщина стенки штуцера, принимаем  $s_{ш} = 5$  мм;

$s_{шp}$  – расчетная толщина стенки штуцера, принимаем  $s_{шp} = 3,4$  мм;

$c_{ш}$  – прибавка к расчетной толщине стенки штуцера,  $c_{ш} = 1,5$  мм;

$\chi_1, \chi_2$  – отношения допускаемого напряжения материала штуцера и накладного кольца к допускаемому напряжению оболочки,  $\chi_1 = \chi_2 = 1$  т.к. в данном случае выбираем одинаковые материалы;

$D_p$  – расчетный диаметр аппарата,  $D_p = D$  для корпуса;

$d_p$  – расчетный диаметр отверстия, мм;

$d_0$  – наибольший диаметр отверстия, не требующий укрепления, мм.

$$l_{1p} = \min \left\{ l_1, 1,25 \cdot \sqrt{(d + 2 \cdot c_{ш}) \cdot (s_{ш} - c_{ш})} \right\},$$

Соответственно

$$l_{1p} = \min \left\{ 200, 1,25 \cdot \sqrt{(250 + 2 \cdot 1,5) \cdot (5 - 1,5)} = 47 \right\} = 47 \text{ мм};$$

$$d_0 = 2 \left\{ \left( (s - c) / s_p - 0,8 \right) \cdot \sqrt{D_p \cdot (s - c)} - c_{ш} \right\},$$

Тогда

$$d_0 = 2 \cdot \left\{ \left( (5 - 1,5) / 2,9 - 0,8 \right) \cdot \sqrt{1000 \cdot (5 - 1,5)} - 1,5 \right\} = 64 \text{ мм};$$

Так как  $d_p = 400$  мм  $>$   $d_0 = 64$  мм, то укрепление требуется.

Получим:

$$\left[ (47 + 4 + 5 - 2,9 - 1,5) \cdot (5 - 3,4 - 1,5) \right] \cdot 1 + \sqrt{1000 \cdot (4 + 5 - 1,5)} \times$$

		N				44

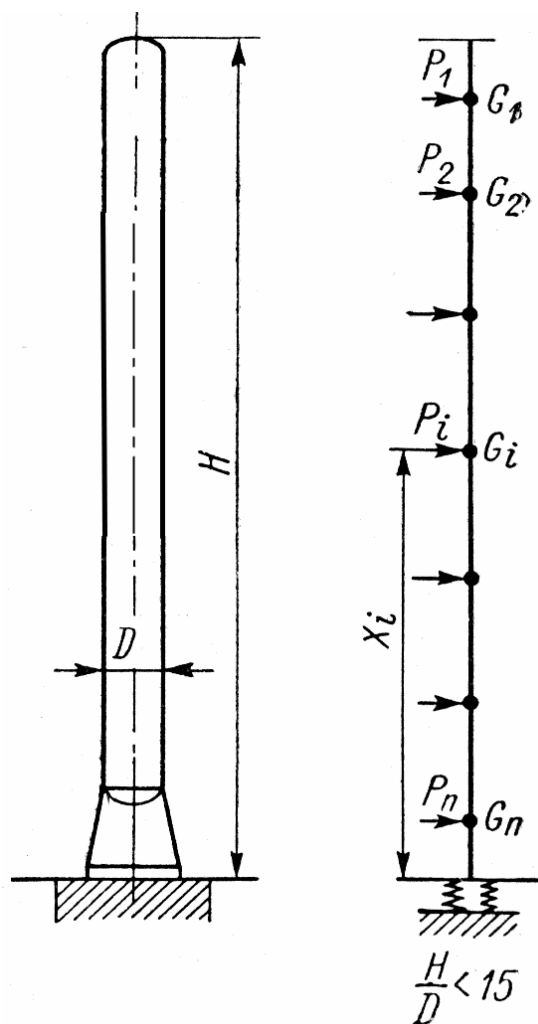


Рисунок 3.4 – Схема к расчету аппарата на ветровую нагрузку

Масса вспомогательных устройств

$$G_{\text{в.у.}} := 0.1 G_{\text{об.}}$$

Масса аппарата при рабочих условиях

$$G_{\text{раб.}} := G_{\text{монт.}} + G_{\text{ж.}}$$

где  $G_{\text{ж.}}$  – масса жидкости внутри аппарата

$$G_{\text{ж.}} = g N_{\text{T}} h_{\text{ж.}} \frac{\pi D^2}{4} \rho_{\text{ж.}}$$

где  $h_{\text{ж.}}$  – высота слоя жидкости в насадке,  $h_{\text{ж.}} = H_{\text{нас.}}$ ;

$\rho_{\text{ж.}}$  – плотность жидкости,  $\rho_{\text{ж.}} = 1287 \text{ кг/м}^3$ .

Принимаем число сегментов по высоте

$$n := 20$$

Тогда высота одного сегмента

		N				46





Расчетный диаметр болтов

$$d_{\text{б}} := \sqrt{\frac{4P_{\text{б1}}}{\pi \sigma_{\text{б}}}} + 2\text{мм} = \sqrt{\frac{4 \times 0.791}{3.14 \times 537}} + 0.002 = 0.0208 \text{ м}$$

Принимаем  $d_{\text{б}} = 22 \text{ мм}$ . Диаметр болтовой окружности для  $d_{\text{б}} < 30 \text{ мм}$

$$D_{\text{б}} := D + 2s + 4d_{\text{б}} = 1,00 + 2 \times 0,01 + 4 \times 0,022 = 1,15 \text{ м}$$

Тогда уточненный наружный диаметр опорного кольца

$$D_1 := D_{\text{б}} + 3d_{\text{б}} = 1,15 + 3 \times 0,022 = 1,22 \text{ м}$$

		N				50

Произведем поверочный расчет. Суммарное сопротивление движению всего транспорта

$$F = 10G_T f_T \pm 10(G_T + G_o) f_y,$$

где  $G_T$  – масса тягача,  $G_T = 6$  т;

$f_T$  – удельное сопротивление движению тягача,  $f_T = 0,015$  [9, т. 30];  $f_y$  – удельное сопротивление движению от уклона дороги,  $f_y = 0,15 \times 0,01 = 0,0015$  [9, с. 268].

Итого

$$F = 10 \times 6 \times 0,015 + 10 \times (6 + 1,394) \times 0,0015 = 0,100 \text{ кН.}$$

Необходимое усилие для страгивания тягача с места

$$F_T = 1,5F = 1,5 \times 0,100 = 0,150 \text{ кН}$$

Сила тяги подобранного тягача по мощности двигателя на ведущих колесах автомобиля

$$F_d = 3,67 \frac{N\eta}{v},$$

где  $N$  – мощность двигателя,  $N = 132$  кВт [9, т. 28];

$\eta$  – КПД двигателя и силовой передачи, для автомашин  $\eta = 0,85$  [9, с. 268];

$v$  – скорость движения,  $v = 75$  км/ч [9, т. 28].

Итого

$$F_d = 3,67 \frac{132 \times 0,85}{75} = 5,49 \text{ кН}$$

Сила тяги тягача по сцеплению с дорогой

$$F_c = 10G_c \varphi,$$

где  $G_c$  – сцепная масса тягача, обеспечивающая надежное сцепление его с поверхностью земли, для автомашин  $G_c = 0,65G_T = 0,65 \times 6 = 3,9$  т [9, с. 268];

$\varphi$  – коэффициент сцепления колес автомашины с покрытием дороги,  $\varphi = 0,85$  [9, т. 33]. Тогда

$$F_c = 10 \times 3,9 \times 0,85 = 33,15 \text{ кН.}$$

Условие правильности подбора тягача

$$F_d \leq F_c \text{ и } F_T \leq \min \{F_d; F_c\}$$

$$5,49 \leq 33,15 \text{ и } 0,150 \leq \min \{5,49; 33,15\}$$

Оба условия выполняются, поэтому тягач выбран верно.

		N				52

При подъеме оборудование размещается горизонтально таким образом, чтобы ось монтажных штуцеров располагалась на оси проектного положения оборудования (см. рисунок 4.1).

Кран устанавливаются на некотором расстоянии от фундамента так, чтобы в процессе подъема и установки оборудования на фундамент вылет крюка был минимальным.

При окончательной установке оборудования его нижнюю часть плавно опирают на фундамент в проектное положение.

#### 4.4 Расчет такелажной оснастки

##### 4.4.1 Выбор крана

Требуемая грузоподъемность монтажного крана определяется по формуле:

$$G_{\text{к.тр}} \geq \frac{G_0}{n_{\text{к}}},$$

где  $G_0 = 14$  т – монтажная масса оборудования;

$n_{\text{к}} = 1$  – количество кранов, участвующих в подъеме оборудования.

$$G_{\text{к.тр}} \geq 14 / 1 = 14 \text{ т}$$

Необходимая высота подъема крюка крана для установки аппарата на фундамент вычисляется по формуле:

$$h_{\text{к}} = h_{\text{ф}} + h_{\text{з}} + h_0 + h_{\text{с}},$$

где  $h_{\text{ф}} = 0,5$  м – рекомендуемая высота фундамента;

$h_{\text{з}} = 0,5$  м – рекомендуемый запас высоты оборудования над фундаментом;

$h_0 = 15$  м – высота блока оборудования от основания до места строповки, назначается по чертежу аппарата;

$h_{\text{с}} = 8,5$  м – высота стропа, назначается по конструктивным соображениям.

$$h_{\text{к}} = 0,5 + 0,5 + 15 + 8,5 = 24,5 \text{ м.}$$

По графику грузовысотных характеристик выбираем кран типа КГ-25 с длиной стрелы 30 м. При вылете крюка  $l_{\text{к}} = 17$  м, кран имеет грузоподъемность  $G_{\text{к}} = 18$  т и высота подъема крюка более 26 м, что обеспечивает подъем и установку аппарата на фундамент.

		N				54



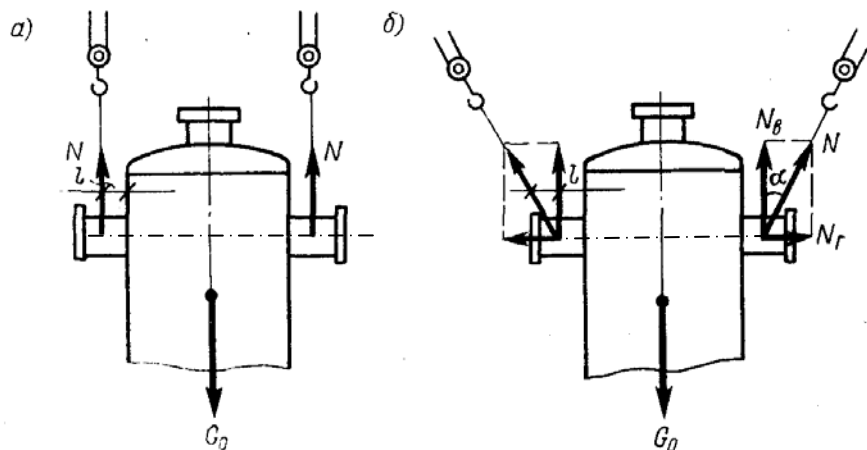


Рисунок 4.4. Схемы строповки оборудования при помощи монтажных штуцеров.

а) монтаж параллельными полиспастами; б) монтаж косыми полиспастами

Усилие от стропа, действующее на каждый монтажный штуцер:

$$N = G_0/2,$$

где  $G_0$  — масса поднимаемого оборудования,

$$G_0 = G_{\text{монт}} = 0.1430 \times 10^6 \text{ МН}$$

Следовательно

$$N = 143/2 = 71,5 \text{ кН.}$$

Определяем величину момента от усилия в стропе, действующего на штуцер:

$$M = NL,$$

где  $L$  — расстояние от линии действия усилия  $N$  до стенки аппарата,  $L = 0,3$  м. Значит

$$M = 71,5 \times 0,3 = 21,5 \text{ кН} \times \text{м}$$

Далее необходимо определить сечение штуцера, удовлетворяющее условиям прочности. Подсчитывают минимальный момент сопротивления его поперечного сечения:

$$W = \frac{M}{0,1mR} = \frac{21,5}{0,1 \times 2 \times 0,5} = 270 \text{ см}^3$$

По таблице [9, приложение V] определяем с запасом сечение патрубка для монтажного штуцера с моментом сопротивления  $290 \text{ см}^3$ .

Проверяем прочность сварного кольцевого шва, крепящего монтажный штуцер к аппарату:

		N			

нов, центровочных и других приспособлений, обеспечивающих измерение и контроль отклонений от перпендикулярности, параллельности или соосности базовых поверхностей. При установке на фундамент иногда контролируют отклонения формы рабочих и сопрягаемых поверхностей оборудования, искривление которых возможно под действием остаточных напряжений, монтажных нагрузок и процессов старения. Особенности установки и выверки оборудования зависят от способов его опирания и закрепления на фундаментах [12].

#### 4.6 Технические условия на эксплуатацию и ремонт колонны

##### 4.6.1 Организация производственной эксплуатации оборудования

Техническая эксплуатация оборудования – это совокупность всех фаз существования и использования оборудования с момента взятия его на балансовый учет до списания, включая периоды хранения, транспортирования потребителям, использования по назначению и проведения всех видов технического обслуживания и ремонта. Производственная эксплуатация – это одна из фаз технической эксплуатации, заключающаяся в использовании оборудования по назначению.

К эксплуатации технологического оборудования (колонны осушки) допускаются лица, прошедшие обучение по устройству, эксплуатации и техническому обслуживанию оборудования со сдачей экзаменов цеховой комиссии и признанные медицинской комиссией годными для выполнения данной работы. Участие в приеме экзаменов механика цеха и представителя отдела главного механика предприятия обязательно [9].

Эксплуатация оборудования должна проводиться в строгом соответствии с требованиями технической документации заводов-изготовителей. При отсутствии заводской техдокументации (паспорта, правила технической эксплуатации, руководства по эксплуатации и др.) последняя разрабатывается непосредственно в цехе для на предприятии. Кроме того, должны разрабатываться и вводиться в действие приказом по предприятию инструкции по эксплуатации, регламентирующие безотказную работу оборудования на данном предприятии.

		N				60

быть: заместитель начальника цеха, начальник отделения (установки) или начальник смены.

На основании письменного распоряжения начальника цеха ответственное лицо за вывод оборудования в ремонт подготавливает оборудование к ремонту в установленном порядке. Вывод оборудования в ремонт и все ремонтные работы должны проводиться в полном соответствии с требованиями, изложенными в инструкциях и правилах, а также в других руководящих документах, относящихся к ремонту сложного оборудования и действующих на предприятии, в частности: а) по технике безопасности, промышленной санитарии и пожарной безопасности цеха, в котором проводятся работы; б) по организации и ведению работ в газоопасных местах и порядку оформления разрешений на право выполнения этих работ на предприятии; в) о порядке проведения огневых работ; г) о порядке работы сторонних цехов и служб предприятия в технологических цехах.

Оборудование останавливают на ремонт в соответствии с действующей инструкцией по эксплуатации (пуску, обслуживанию и остановке) этого оборудования.

При подготовке оборудования к ремонту необходимо выполнить следующие работы: а) отключить электроэнергию, снять напряжение на сборках и щитах, отсоединить ремонтируемый объект от всех подходящих к объекту и отходящих от него коммуникаций с помощью заглушек; б) освободить оборудование и коммуникации от остатков технологических материалов, грязи и шлама с соответствующей уборкой от них помещения, освободить оборудование от вредных, ядовитых и горючих газов и продуктов (промыть, пропарить, продуть и проветрить); в) очистить приемки, каналы, лотки, промыть канализационные трубопроводы, очистить оборудование от осадка, накипи и твердых отложений; г) проверить содержание инертных, горючих, ядовитых газов и кислорода в ремонтируемом оборудовании, коммуникациях, колодцах и приемках путем проведения соответствующих анализов; д) подготовить места для установки заглушек и установить их.

Подготовка оборудования к ремонту производится эксплуатационным и дежурным ремонтным персоналом технологического цеха. Ответственность за подготовку мест установки заглушек, за их установку и снятие, а также за своевре-

		N				62

## 5 Автоматизация оборудования

Автоматизация – применение методов и средств автоматизации для управления производственными процессами.

Управление технологическими процессами с использованием автоматических устройств включает в себя решение следующих основных задач: контроль параметров процессов, регулирование параметров, сигнализацию об отклонениях значений за допустимые пределы, защиту оборудования в аварийных ситуациях. Автоматическое регулирование позволяет получить высокую производительность при наименьших производственных затратах и высоком качестве продуктов.

В химической промышленности комплексной механизации и автоматизации уделяется большое внимание. Это объясняется высокой скоростью протекания технологических процессов, их сложностью, а также чувствительностью их к нарушению режима, вредностью условий работы [16].

### 5.1 Выбор и обоснование параметров контроля и управления

В качестве объекта управления при автоматизации процесса ректификации примем одну из ректификационных установок для разделения уксусной кислоты и пропионовой кислоты, состоящую из насадочной ректификационной колонны, выносного кипятильника, дефлегматора и теплообменника для подогрева исходной смеси.

Показателем эффективности данного процесса является концентрация низкокипящего компонента в дистилляте и высококипящего в остатке. Значение таких параметров должно поддерживаться постоянным, что является целью управления. Задача управления процессом ректификации заключается в получении продуктов разделения дистиллята и кубового остатка определенной чистоты при заданной производительности установки и минимальном расходе греющего пара. Что касается непосредственно колонны отгонки тяжелых фракций (пропионовая кислота), то важными параметрами контроля являются параметры дистиллята (уксусной кислоты).

		N				64



дифманометром ДМ-П1, который преобразует перепад давления в стандартный унифицированный пневматический сигнал с давлением сжатого воздуха 0,02-0,1 МПа, который передается на показывающий и регистрирующий пневматический прибор ПВ10.1Э, регулирующей орган – обратный клапан.

Контроль температуры сырья, верха и куба колонны ведется с помощью хромель копелевых термопар ТХК-0515, установленных на трубопроводе подачи сырья, на верху и в кубе колонны соответственно. Индикация и регистрация осуществляется с помощью милливольтметров М64. С помощью преобразующего прибора ЭПП–63 осуществляется подача сигнала на регулирование расхода греющего пара (для сырья), захлажденной воды (для температуры вверху колоны) и греющего пара (для куба).

Уровень жидкости в кубе колонны регулируется расходом кубового остатка. Первичным прибором является буйковый уровнемер УБ-ПА для агрессивных сред с унифицированным пневматическим выходным сигналом, который подается на вторичный прибор ПВ 3.2, показывающий, регистрирующий со станцией управления. Регулирование осуществляется при помощи регулятора системы «СТАРТ» ПР 3.26. Для измерения давления вверху колонны использован сильфонный манометр с пневматическим выходным сигналом МС-П2, сигнал от которого воспринимается вторичным пневматическим прибором ПВ2.2.

Для регистрации расхода сырья используется ротаметр с процентной шкалой и унифицированным пневматическим сигналом РПФ 6, который подается на вторичный прибор ПВ10.1Э, показывающий, регистрирующий со станцией управления. Регулирование осуществляется при помощи регулятора системы «СТАРТ» ПР 3.26. Контроль концентрации паров дистиллята осуществляется с помощью газоанализатора типа ТП5501 со встроенным преобразователем, поставка его осуществляется в комплекте с вторичным прибором ЭМВ2 – 211А.

Для измерения концентрации остатка выбран датчик ИС-4М, работающий в ректификационных колоннах с агрессивными средами. Пневматический выходной сигнал воспринимается прибором ПВ2.2.

Использованные приборы являются унифицированными, что позволяет легко заменить их в случае необходимости. Все использованные приборы занесены в спецификацию (таблица. 5.1).

		N				66

Продолжение таблицы 5.1.

1	2	3	4	5	6	7
4-2				см. пункт 2-2		
4-3				см. пункт 2-3		
11-1	Температура ку-ба колонны	165 °С	В аппарате	см. пункт 2-1		
11-2				см. пункт 2-2		
11-3				см. пункт 2-3		
10-1	Давление вверху колонны	0,22 МПа	В аппарате	Манометр сильфонный с унифицированным пневматическим сигналом 0,02 – 0,1 МПа, класс точности 1	МС – П2	«Манометр» г. Москва
10-2				см. пункт 3-3		
1-1	Расход греющего пара	0,87 м <sup>3</sup> /с	На трубопроводе	Диафрагма камерная, условное давление 0,6 МПа	ДК–150	«Монометр», г. Москва
1-2			По месту	Дифманометр преобразует перепад давления и расхода газа в пневматический сигнал с дистанционной передачей 0,02–0,1 МПа	ДМ – П1	«Теплоприбор» г. Рязань
1-3			Щит оператора	Вторичный прибор, показывающий, регистрирующий со станцией управления, расход воздуха 420 л/ч	ПВ 10.1Э	«Тизприбор» г. Москва
1-4			Щит оператора	Регулятор системы «СТАРТ», объемный расход воздуха 12 л/мин	ПР 3.26	Завод приборов г. Устькаменогорск

Продолжение таблицы 5.1.

1	2	3	4	5	6	7
12-1	Расход пара	0,71 м <sup>3</sup> /с		см. пункт 1-1		
12-2				см. пункт 1-2		
12-3				см. пункт 1-3		
12-4				см. пункт 1-4		
12-5				см. пункт 1-5		
6-1	Концентрация УК в дистилляте	99,8 %	На трубопроводе	Газоанализатор в комплекте поставки: датчик, электронный прибор, стабилизатор напряжения	ТП 5501	Завод газоанализаторов г. Выру
6-2			Щит оператора	Вторичный показывающий самопишущий прибор (поставляется в комплекте с газоанализатором)	ЭМВ2 – 211А	Завод газоанализаторов г. Выру
6-3				см. пункт 1-3		
6-4				см. пункт 1-4		
9-1	Концентрация остатка		Низ колонны	Концентратомер с пневматическим выходным сигналом, предназначенный для ректификационных колонн	ИС4-М	ОКБА, г. Воронеж
9-2			Щит оператора	Вторичный показывающий прибор (величина одного параметра)	ПВ2.2	«Тизприбор» г. Москва

## 6 Безопасность и экологичность проекта

Цель дипломного проекта – разработка колонны разделения уксусной и пропионовой кислот, работающей в составе установки производства уксусной кислоты. Проектируемый аппарат позволит увеличить качество разделения кислот за счет применения насадки, отличной от существующего оборудования.

Для достижения этой цели в дипломном проекте предусмотрены следующие мероприятия:

1) проанализированы существующие схемы производства уксусной кислоты и выбрана установка, обеспечивающая наиболее полное превращение метанола в кислоту (см. раздел 1);

2) выполнены расчеты, определяющие оптимальные параметры для процесса ректификации (см. раздел 2);

3) для предотвращения разрушения аппарата в рабочих условиях выполнены соответствующие расчеты на прочность (см. раздел 3);

4) для обеспечения безопасного монтажа выполнены расчеты и в соответствии с ними выбрана такелажная оснастка (см. раздел 4);

5) разработана система контроля и автоматизации оборудования, что обеспечивает безопасность обслуживающего персонала и достижение заданной степени очистки при изменяющихся условиях работы аппарата (см. раздел 5);

6) выполнены экономические расчеты, показывающие эффективность принятых решений (см. раздел 7).

Результаты дипломного проекта будут реализованы в природно-климатических условиях города Невинномыска, где климатические факторы, влияющие на рассеивание загрязняющих веществ в атмосфере, приняты согласно данным Ставропольского краевого центра по гидрометеорологии: средняя максимальная температура наиболее жаркого месяца  $T_{л} = 29,1^{\circ} \text{C}$ ; средняя максимальная температура наиболее холодного  $T_3 = -4^{\circ} \text{C}$ .

		N				72

При попадании кислоты на тело человека ионы водорода активно отнимают воду у тканей, обезвоживание приводит к свертыванию белков, возникает так называемый сухой некроз тканей. Кроме того, под воздействием водорода расщепляется гемоглобин, что придает участкам воздействия кислоты серовато-коричневый или желтовато-коричневый цвет. В местах воздействия кислоты ткани уплотняются, а по периферии уплотнений наблюдаются воспалительные явления.

Повреждающее воздействие может возникать после употребления кислоты внутрь, при попадании их на кожу и слизистые, при воздействии концентрированных паров.

Уксусная кислота – органическая кислота, в виде растворов той или иной концентрации широко распространена в быту. 96% раствор уксусной кислоты называют ледяной уксусной кислотой, растворы концентрацией от 40% до 80% - уксусная эссенция, 3-4% - столовый уксус.

Тяжесть отравления зависит от дозы, концентрации, наполнения желудка и многих других факторов. Смертельная доза высококонцентрированной уксусной кислоты составляет 10-12 мл, эссенции - 30-40 мл.

Основные проявления воздействия уксусной кислоты отмечаются в местах ее первичного контакта с тканями тела человека, она вызывает химический ожог. Общее токсическое воздействие оказывается в основном за счет распада (гемолиза) эритроцитов.

Сразу после попадания кислоты внутрь в ротовой полости, в глотке и в пищеводе появляется резкая боль, возникает ожог слизистых поверхностей этих участков пищеварительного тракта, развивается выраженный отек. В результате передвижения кислоты далее в желудок и кишечник там тоже возникают ожоги, повреждение сопровождается резкой болезненностью в этих органах. Вследствие ожога желудка возникает рвота, рвотные массы содержат кровь. Ожоги могут быть и возле рта, если при употреблении кислоты часть жидкости попала на кожу.

Грубое воздействие на органы и ткани вызывает возникновение шока. Ввиду образования большого количества вредных веществ в местах повреждений и в

		N				74

7. Для предотвращения коррозии аппаратов и трубопроводов они изготовлены из материалов, стойких в средах, содержащих уксусную кислоту.

Для предотвращения разрушения оборудования необходимо выполнение требований «Правил устройства и безопасной эксплуатации трубопроводов пара и горячего водоснабжения» ПБ 10-573-03.

Для защиты персонала от воздействия опасных и вредных факторов предусмотрены средства индивидуальной защиты.

Для защиты от удара молнией рекомендуется устанавливать молниеотводы на высоком оборудовании. Поскольку высота реактора значительно меньше, чем другого цехового оборудования, то молниеотвод устанавливаем на колонне отгонки тяжелых фракций  $h = 23$  м с наружным диаметром 2,2 м.

Молниеотвод состоит из молниеприёмника, воспринимающего удар молнии, токоотвода, соединяющего молниеприёмник с землёй, и заземлителя, отводящего ток линии в землю. Схема к расчёту молниеотвода приведена на рисунке 6.1.

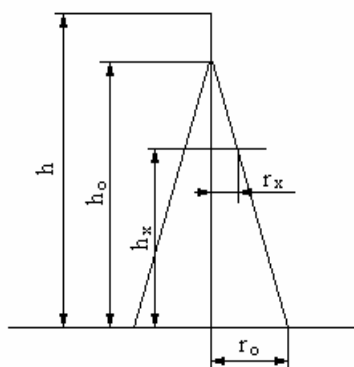


Рисунок 6.1 Схема к расчёту молниеотвода

Зона защиты одиночного стержневого молниеотвода высотой  $h$  до 150 м представляет собой конус. Вершина конуса находится на высоте зоне защиты над землёй  $h_o < h$ . На уровне земли зона защиты образует круг радиусом  $r_o$ . Горизонтальное сечение защиты на высоте защищенного сооружения  $h_x$  представляет собой круг радиусом  $r_x$ . Высоту одиночного стержневого молниеотвода определяют по формуле

$$h = \frac{r_x + 1,63h_x}{1,5},$$

В соответствии с главой 1.7.64 «Правила устройства электроустановок» сопротивление стержней заземления не должно превышать 30 Ом, соответственно один стержень не достаточно. Определим необходимое количество стержней по формуле

$$n_{CT} = \frac{R_{CTO}}{R_{CT} \cdot \eta_{CT}},$$

где  $R_{CTO} = 30$  Ом – максимально допустимое сопротивление стержня;

$\eta_{CT} = 0.86$  – коэффициент использования стержневых электродов, при расстоянии между ними 5 м. и длине  $L = 2.5$  м.

Тогда

$$n_{CT} = \frac{31.94}{30 \cdot 0.86} = 1.2$$

Выбираем ближайшее целое число – 2, то есть заземляющее устройство состоит из двух электродов длиной 2.5 м., зарытых вертикально в грунт на расстоянии друг от друга – 5 метров на глубину 1.95 м. от поверхности земли до середины электрода.

*Расчет предохранительной мембраны.* При производстве уксусной кислоты используются взрывоопасные вещества (метанол, окись углерода, природный газ), а также необходимо учесть, что процессы происходят преимущественно под давлением выше атмосферного, то мероприятия, проводимые по предупреждению взрывов на производстве являются одними из главных.

Методика расчета взята из [13]. Степень разрушения при взрыве можно охарактеризовать величиной избыточного давления ударной волны. Прежде всего необходимо рассчитать эмпирический коэффициент К:

$$K = 0,24 \cdot \frac{R}{17,3 \cdot \sqrt{Q}},$$

где  $R$  – расстояние от места взрыва до емкости со взрывчатым веществом, м;

$Q$  – количество взрывоопасной смеси, т.

Предположим, что взрыв произошел в полутора километрах ( $R = 1500$  м) от промежуточной емкости с метанолом  $Q = 60$  т. Тогда

		N				78

$$P_c = 2 \cdot \Delta_0 \cdot \sigma_{вр} \cdot r,$$

где  $\Delta_0$  – толщина материала мембраны, м;

$\sigma_{вр}$  – временное сопротивление материала при растяжении (предел прочности), МПа/м<sup>2</sup>;

$r$  – радиус купола, м.

Минимальный на пределе разрыва мембраны) радиус купола,  $r$ , м:

$$r = \frac{D}{4} \cdot \sqrt{(1 + \delta)} / (\sqrt{1 + \delta} - 1),$$

где  $D$  – рабочий диаметр мембраны, м;

$\delta$  – относительное удлинение при разрыве, %.

Принимаем материал мембраны 08X18H10T [7], тонколистовая коррозионно-стойкая сталь, исходя из этого  $\delta = 50$  % [21]. При рабочем диаметре мембраны  $D=400$  мм. Тогда:

$$r = \frac{400 \cdot 10^{-3}}{4} \cdot \sqrt{(1 + 0,5)} / (\sqrt{1 + 0,5} - 1) = 544,9 \cdot 10^{-3} \text{ м}$$

Принимаем толщину листа  $\Delta_0 = 2$  мм, также  $\sigma_{вр} = 670$  МН/м<sup>2</sup> для материала мембраны [21]. Тогда:

$$P_c = 2 \cdot 2 \cdot 10^{-3} \cdot 670 \cdot 544,9 \cdot 10^{-3} = 3,46 \text{ МПа}$$

Определим время полного раскрытия  $\tau_0$ , с:

$$\tau_0 = 0,75 \cdot a,$$

$$a = \sqrt{\frac{\pi \cdot D \cdot \rho \cdot \Delta_0}{P_c}},$$

где  $\rho$  – плотность материала мембраны,  $\rho = 7900$  кг/м<sup>3</sup> [8].

Тогда

$$a = \sqrt{\frac{3,14 \cdot 400 \cdot 10^{-3} \cdot 7900 \cdot 2 \cdot 10^{-3}}{1,46}} = 3,68$$

$$\tau_0 = 0,75 \cdot 3,68 = 2,8 \text{ с}$$

Время срабатывания мембраны составляет 2,8 с, что дает основания полагать безопасность и практичность внедрения такой степени взрывозащиты.

		N				80



## 7 Организационно-экономический раздел

### 7.1 Технико-экономическая характеристика

Экономическая эффективность определена на основе серии последовательно выполненных расчетов показателей (себестоимости продукции, срока окупаемости, прибыли, чистой дисконтированной стоимости дохода, дополнительных капиталовложений и др.).

Оценка эффективности проектных решений осуществлена путем сопоставления стоимостных и натуральных показателей, характеризующих различные варианты решений. К основным стоимостным показателям относятся себестоимость продукции, срок окупаемости, прибыль, чистая дисконтированная стоимость дохода и дополнительные капиталовложения. К натуральным показателям относятся: производительность труда, расход сырья и материалов, топлива и энергии, использование оборудования и производственных площадей и др. Стоимостные показатели дают комплексную оценку экономической эффективности производства уксусной кислоты.

### 7.2 Себестоимость продукции

Для расчета себестоимости производства уксусной кислоты использованы данные практики и проектных расчетов. Определяется полная себестоимость продукции, предназначенной к реализации. Для выявления резервов снижения себестоимости в дипломном проекте сопоставлена общая сумма и состав затрат по проектируемому оборудованию и аналогу. Себестоимость продукции – это выраженные в денежной форме затраты на производство и реализацию продукции (работ, услуг). Это один из важнейших показателей, характеризующий производство и реализацию инженерных проектов.

Для выявления резервов снижения себестоимости продукции необходимо знать не только общую сумму затрат по тому или иному продукту, но и величину расходов в зависимости от места их возникновения. Такую возможность дает

		N				82

## 7.4 Организация труда и расчет заработной платы.

Расчет штатов и фонда заработной платы произведен отдельно по:

- 1) Рабочим основного производства;
- 2) рабочим вспомогательного производства, которые включают в себя: рабочих ремонтных цехов, рабочих, обслуживающих оборудование, кладовщиков, лаборантов и т.д.

Отдельно производится расчет по инженерно-техническим работникам и служащим (по штатному расписанию).

Далее производится расчет годовой заработной платы. Для этого необходимо определить:

- 1) Дневную тарифную ставку,  $T_c$ ;
- 2) Численность рабочих,  $Ч_r$ ;
- 3) Годовой фонд времени (в днях и часах)  $\Phi_{гвр}$
- 4) Годовой фонд заработной платы по тарифу, который определяется:  

$$\Phi_{зпг} = T_c \cdot Ч_r \cdot \Phi_{гвр}$$
- 5) Премии,  $П$ ;
- 6) Оплата за работу в ночное время,  $O_n$ ;
- 7) Фонд основной заработной платы,  $\Phi_{зпо}$ , рассчитываемый по формуле

$$\Phi_{зпо} = \Phi_{зпг} + П + O_n + O_{п}$$

Данные сведены в таблицу 7.1 и таблицу 7.2.

Таблица 7.1 – Расчет годового фонда оплаты труда рабочих

Наименование	Кол-во рабочих	Средняя часовая тарифная ставка	Баланс рабочего времени	Тарифная заработная плата в месяц	Процент премии	Сумма премии	Оплата за работу в ночное время	Фонд оплаты труда за месяц	Фонд оплаты труда за год
Основные рабочие	153	10,13	188	291379	70	203966	101983	597328	7167931
Ремонтный персонал	37	12,33	166	75731	70	53012	26506	155248	1862979
Вспомогательные рабочие	29	9,85	166	47418	70	33193	16596	97207	1166480
Итого	219			414528		290170	145085	849783	10197391

Таблица 7.2 – Расчет годового ФОТ руководителей и специалистов

Наименование	Количество работников	Баланс рабочего времени	Средний оклад в месяц	ФОТ за месяц	Процент премии	Сумма премии	Фонд оплаты труда за месяц	Фонд оплаты труда за год
Руководители	24	12	5500	132000	70	92400	224400	2692800
Специалисты	4	12	4200	16800	70	11760	28560	342720
Служащие	3	12	1700	5100	70	3570	8670	104040
Итого	31			153900		107730	261630	3139560

Чистая прибыль определяется путем вычитания из балансовой прибыли налогов, отчислений, штрафов, и других первоочередных платежей.

Прибыль определяется по проектируемому цеху как разница между выручкой от реализации и себестоимостью годового выпуска:

$$B = 4900 \times 276800 = 1356320000 \text{ руб.}$$

$$C = 4382,8 \times 276800 = 1213159040 \text{ руб.}$$

$$\Pi = 1356320000 - 1213159040 = 143160960 \text{ руб.}$$

#### 7.6 Расчет эффективности использования основных средств

Основные средства – это средства труда, которые неоднократно участвуют в производственном процессе, сохраняя при этом свою натуральную форму, а их стоимость переносится на производимую продукцию частями по мере снашивания. По принципу вещественно-натурального состава они подразделяются на: здания, сооружения, передаточные устройства, машины и оборудование (рабочие и силовые машины и оборудование, измерительные и регулирующие устройства), транспортные средства, инструмент.

Фондовооруженность труда ( $W$ ) определяется:

$$W = \frac{\Phi}{N} = 660299777/250 = 2641199 \text{ руб/ч,}$$

где  $\Phi$  – среднегодовая стоимость основных фондов, руб.;

$N$  - среднегодовая численность ППП, чел.

Стоимость произведенной за год продукции

$$V = 4900 \times 276800 = 1356320000$$

Фондоотдача:

$$W = \frac{V}{\Phi} = 1359260000/660299777 = 2,06 \text{ руб/руб,}$$

где  $V$  – стоимость произведенной за год продукции в натуральном или стоимостном выражении.

		N				86

$$T_n = \frac{K}{(C_1 - C_2) \cdot V_2} = \frac{94328540}{(4501,8 - 4382,8) \times 276800} = 2,86 \text{ лет,}$$

где  $C_1$  и  $C_2$  – себестоимость уксусной кислоты до и после вложения инвестиций;

$V_2$  – объем выпуска продукции после использования капитальных вложений.

Результаты расчетов сведены в таблицу 7.4.

Таблица 7.4 – Сводная таблица экономических показателей

Наименование показателя	Ед. измерения	По аналогу	Проектное	Отклонения	
				асб	отн
Годовой выпуск продукции	т	257982	276800	18818	7,29%
	руб.	1161383368	1213159040	51775672	4,46%
Капитальные вложения	руб.	74330000	73040000	-1290000	-1,74%
Удельные капитальные вложения	руб./т	288,12	263,87	-24,25	-8,42%
Численность персонала	чел.	253	250	-3	-1,19%
Средняя заработная плата	руб./чел.	4446	4446	0	0,00%
Производительность труда	т/чел.	1020	1107	88	8,58%
Себестоимость на единицу	руб.	4501,8	4382,8	-119,0	-2,64%
Себестоимость на весь выпуск	руб.	1161383368	1213159040	51775672	4,46%
Оптовая цена реализации на единицу	руб.	4900	4900	0	0,00%
Прибыль на единицу	руб.	398,2	517,2	119	29,88%
Прибыль на весь выпуск	руб.	102728432	143160960	40432528	39,36%
Рентабельность		43%	45,1%	2%	5,26%
Срок окупаемости капитальных вложений	год	2,33	2,22	-0,12	-5,00%
Фондоотдача		2,573	2,653	0,080	3,09%
Фондовооруженность		1983766	2045120	61354	3,09%
Годовой экономический эффект	руб.		51775672		

## 7.8 Построение графика

К переменным издержкам относят те, общая сумма которых на годовой выпуск продукции изменяется, тогда как в себестоимости единицы продукции они остаются неизменными. К ним относятся затраты на материальные и топливно-энергетические ресурсы, заработную плату основных рабочих-сдельщиков с отчислениями в соцстрах по проекту:

$$ПИ = 195420800 + 148863040 + 16995520 = 361279360 \text{ руб.}$$

Удельные переменные издержки

$$ПИ_y = ПИ / ОП = 361279360 / 276800 = 1305,2$$

Постоянными (точнее условно-постоянными) называются расходы, общая сумма которых на годовой выпуск продукции не изменяется, тогда как в себестоимости единицы продукции они изменяются в обратной зависимости от изме-

## Заключение

В данном дипломном проекте была спроектирована ректификационная колонна для разделения пропионовой и уксусной кислот, работающая в составе установки производства уксусной кислоты.

В разделе, посвященном обзору и анализу состояния вопроса, выполнен краткий анализ существующих схем производства уксусной кислоты и приведены конструкции типовых колонных аппаратов, используемых на производстве. На основании анализа выбрана технологическая схема и аппарат, в котором выполняется процесс ректификации.

Технологический раздел посвящен детальному описанию выбранной схемы производства и ректификационной колонны. Раздел содержит технологические расчеты по проектируемому аппарату и вспомогательному оборудованию. Определены геометрические размеры аппарата и его составных частей.

Расчетно-конструкторский раздел содержит описание конструкции аппарата и прочностной расчет его основных элементов: обечайки, фланцевого соединения, укрепления отверстия, расчета на ветровую нагрузку.

Специальный раздел описывает выбранный способ монтажа и необходимые расчеты для безопасной установки оборудования на фундамент. Также приведены указания по безопасной эксплуатации оборудования и организации его ремонта.

Раздел, посвященный автоматизации оборудования, описывает используемые средства регулирования и контроля, применяемые в производстве для обеспечения эффективности процесса и его технологичности.

Безопасность и экологичность проекта подтверждается расчетами и указаниями соответствующего раздела. При соблюдении указанных требований гарантируется долговременная и безопасная работа колонны конденсации.

Организационно-экономический раздел содержит расчет величин, показывающих экономическую эффективность проекта.

Спроектированная ректификационная колонна удовлетворяет техническому заданию и может быть использована в производстве уксусной кислоты.

		N				90

