

Содержание

ВВЕДЕНИЕ	7
1 ОПИСАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СХЕМЫ УСТАНОВКИ.....	8
2 ОБЗОР КОНСТРУКЦИЙ ОБОРУДОВАНИЯ.....	11
3 ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ	15
3.1 Исходные данные к расчету.....	15
3.2 Расчет материального баланса.....	17
3.3 Расчет давления в емкости орошения	17
3.4 Расчет температуры верха колонны	18
3.5 Расчет температуры низа колонны.....	19
3.6 Расчет температуры в секции питания	20
3.7 Расчет числа единиц переноса и высоты насадки	22
3.8 Расчет теплового баланса	23
3.9 Расчет диаметра колонны.....	27
3.10 Определение высотных размеров колонны.....	29
3.11 Расчет диаметров основных штуцеров колонны	32
4 РАСЧЕТ ВСПОМОГАТЕЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ.....	33
4.1 Расчет насоса для подачи флегмы вверх колонны	33
4.2 Расчет испарителя для кубовой жидкости.....	35
5 РАСЧЕТНО-КОНСТРУКТОРСКИЙ РАЗДЕЛ	37
5.1 Разработка и описание конструкции проектируемого оборудования.....	37
5.2 Выбор конструкционных материалов.....	37
5.3 Расчет на прочность и устойчивость.....	38
5.4 Расчет аппарата на действие ветровой нагрузки	43
6 МОНТАЖ ОБОРУДОВАНИЯ.....	49
6.1 Выбор схемы транспортировки оборудования	49
6.2 Выбор транспортных средств	49
6.3 Обоснование выбора схемы монтажа	51
6.4 Расчет такелажной оснастки	53
6.5 Расчет якоря.....	55
6.6 Выверка и испытание оборудования.....	56
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	57
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	58

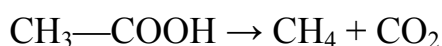
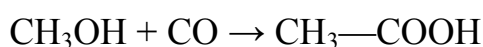
					КП МАХП МД-021 НКР 00.00.00 ПЗ		
					Насадочная колонна ректификации уксусной кислоты		
							НТИ СевКавГТУ Кафедра МАХП

1 ОПИСАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СХЕМЫ УСТАНОВКИ

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.

Для производства уксусной кислоты принимаем следующую технологическую схему [1, стр. 527], изображенную на рисунке 1.1.

деляется на две жидкие фазы в сепараторе 11. Верхняя фаза, представляющая собой водный раствор, служит флегмой колонны 8, а тяжелая фаза, состоящая в основном из CH_3I , 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 HI , для облегчения чего на одну из тарелок подается метанол, дающий с HI летучий CH_3I . Часть паров дистиллята после конденсации и охлаждения до $30\dots40\text{ }^\circ\text{C}$ 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.

В тарельчатых аппаратах (см. рисунок 2.1, 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 2.1, 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 2.2, а), либо укладывают правильными рядами, сдвинутыми друг относительно друга (см. рисунок 2.2, б). Такая правильная укладка практически возможна только при загрузке колец диаметром более 50 мм. Кольца изготовляют из антикоррозионных материалов (керамика, фарфор), реже — из стали.

Широко применяют также хордовую насадку (см. рисунок 2.2, в), которая представляет собой ряд решеток из досок, поставленных на ребро, причем решетки сдвинуты друг относительно друга на 45 или 90°.

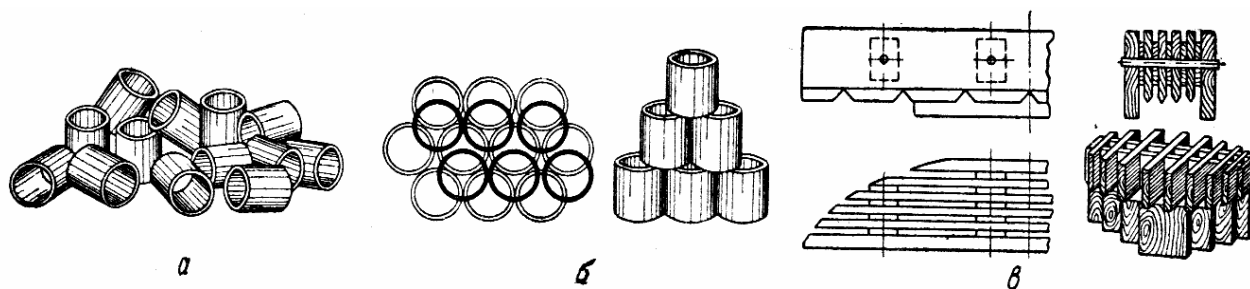


Рисунок 2.2 – Насадки:

а – кольцевая навалом; б – кольцевая, правильно уложенная; в – хордовая

В качестве насадок применяют также кокс и дробленый кварц, засыпаемые в виде кусков размером 25—100 мм. Основными характеристиками насадок являются удельная поверхность и свободный объем.

Насадка 1 опирается на решетки 2, в которых имеются отверстия для прохождения газа и стока жидкости. Газ поступает в колонну снизу и движется вверх противотоком по отношению к жидкости. Подаваемая на насадку жидкость должна быть равномерно распределена по сечению колонны. Для подачи жидкости применяют желоба, дырчатые трубы и другие устройства.

Жидкость подается на насадку при помощи распределительного стакана 3, в котором имеется большое количество отверстий диаметром 3–6 мм. Жидкость поступает в распределительный стакан из напорного бака или подается непосредственно насосом и вытекает из отверстий стакана отдельными струями.

Чтобы предотвратить растекание жидкости к стенкам, иногда насадку засыпают не сплошь на всю высоту, а в виде отдельных слоев. Высота отдельных слоев 1,5–3 м. Для перераспределения жидкости и отвода ее от стенок под каждым слоем насадки, кроме нижнего, устанавливают направляющий конус 4.

Насадочные колонны — достаточно распространенный тип аппаратов. Преимуществом их является простота устройства, особенно важная при работе с агрессивными средами, так как в этом случае требуется защита от коррозии только корпуса колонны и поддерживающих насадку решеток, насадка же может быть выполнена из химически стойкого материала (керамика, фарфор). Другое преимущество насадочных колонн — более низкое, чем в барботажных абсорберах, гидравлическое сопротивление.

Однако насадочные колонны мало пригодны при работе с загрязненными жидкостями, а в случае малых количеств орошающей жидкости не дают удовлетворительных результатов, так как при низкой плотности орошения не достигается полная смачиваемость насадки.

На основании рекомендаций [3] принимаем в качестве насадки правильно уложенные керамические кольца $50 \times 50 \times 5$.

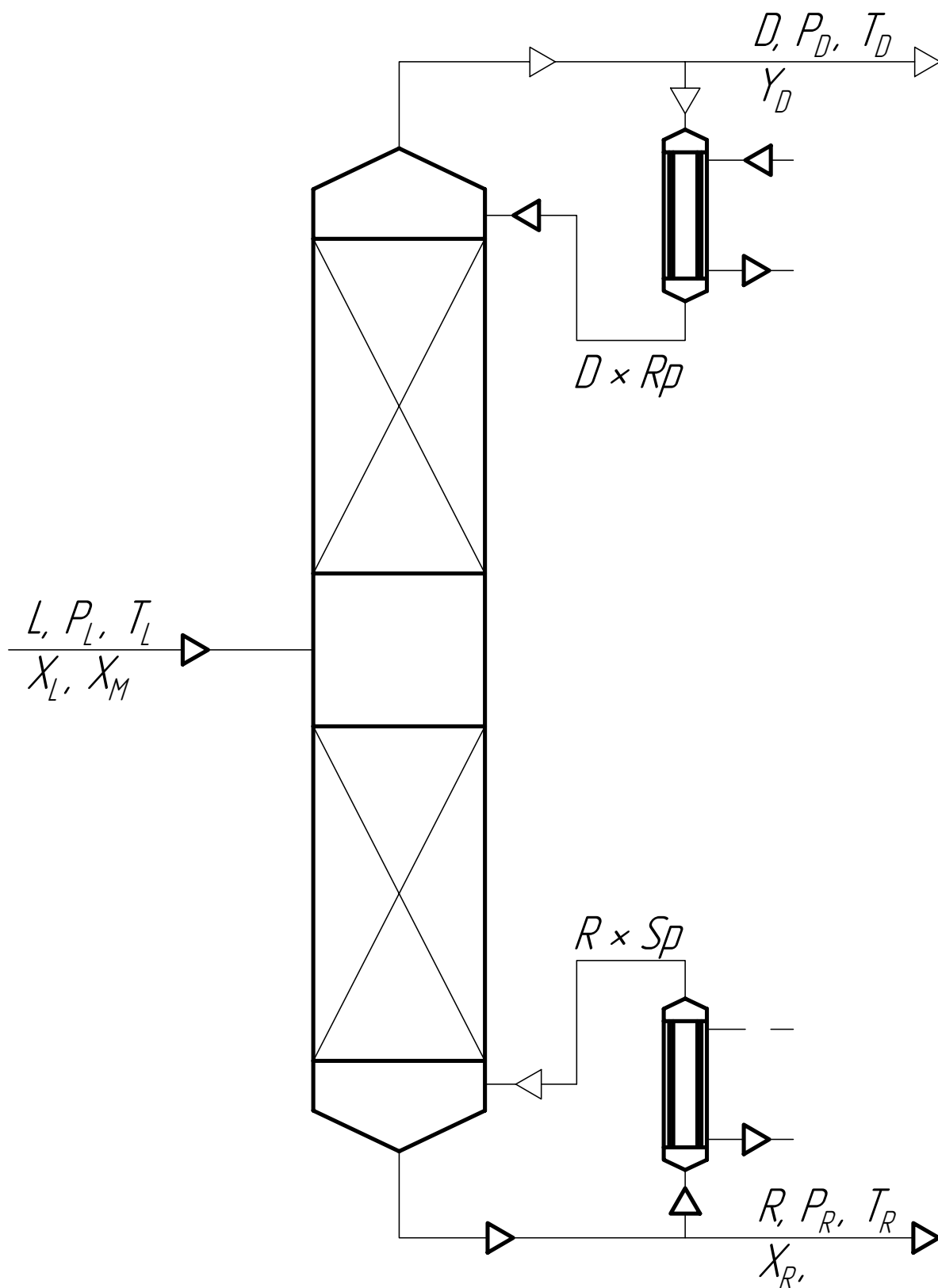


Рисунок 3.1 – Схема к технологическому расчету ректификационной колонны

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

Для уксусной кислоты

$$T = t_0 + 2173.15 = 40.00 + 273.15 = 403.15 \text{ K}$$

$$\tau = 403.15 / 594.40 = 0.678$$

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

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

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

Для пропионовой кислоты

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

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

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

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

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

$$P_o = 0.140 \text{ МПа}$$

3.4 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:

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

пературы и расчет повторяют снова. Вычисления продолжаются до тех пор, пока не будет достигнута заданная точность. Опуская процесс подбора значения температуры, приведем результаты расчета последней итерации:

$$t_R = 169.00 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_R = t_R + 273.15 = 442.15 \text{ K}$$

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

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

Проверка условия (2)

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

Условие выполняется с приемлемой точностью.

3.6 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]

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

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

Принимаем рабочее флегмовое число

$$R_p = 2.20$$

Паровое число

$$S_p := \frac{D \cdot R_p + (1 - e) \cdot L - R}{R} = \frac{10.35 \times 2.20 + (1 - 0.85) \times 12.00 - 1.65}{1.65} = 13.88$$

3.7 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 α – коэффициент относительной летучести, в первом приближении усредняемый по колонне:

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

где α_D и α_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.

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

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

Расчет всех указанных величин выполним по алгоритму, описанному в [4]. Вследствие большого количества однотипных вычислений напишем программу для MathCAD, реализующую математические выражения на языке, понятном ЭВМ.

Программа содержит ряд функций, применяемых при расчете энтальпий жидкости и газа, теплоты испарения и теплоемкости.

Теплоемкость компонента в состоянии идеального газа в зависимости от температуры (К) и коэффициентов уравнения теплоемкости

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

Скрытая теплота парообразования жидкости

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

Энтальпия дистиллята

$$h_D := F_h(t_D, Y_D) = 1.948 \times 10^4 \text{ кДж/кмоль}$$

$$L_{испD} := F_{L_{исп}}(t_D, Y_D) = 3.738 \times 10^4 \text{ кДж/кмоль}$$

$$H_D := h_D + L_{испD} = 1.948 \times 10^4 + 3.738 \times 10^4 = 5.686 \times 10^4 \text{ кДж/кмоль}$$

Энтальпия остатка

$$h_R := F_h(t_R, X_R) = 1.910 \times 10^4 \text{ кДж/кмоль}$$

Тепловая нагрузка конденсатора-холодильника

$$Q_D := (H_D - h_D) \cdot g$$

где g – количество флегмы

$$g = D R_p = 10.35 \times 2.20 = 22.78 \text{ кмоль/ч}$$

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]

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

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

Тепловая нагрузка кипятильника

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

Потери тепла

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

3.11 Расчет диаметров основных штуцеров колонны

Определим диаметр штуцера ввода горячего орошения. Расход смеси из предыдущих расчетов

$$V = V_c = 0.338 \text{ м}^3/\text{с}$$

Расчетный диаметр штуцера определяется следующим образом:

$$D_{\text{шп}} = \sqrt{\frac{4V}{\pi\omega_p}}$$

где ω_p – рекомендуемая скорость среды в штуцере, $\omega_p = 8..15 \text{ м/с}$ [4].

$$D_{\text{шп}} = \sqrt{\frac{4 \times 0,338}{3,14 \times 10}} = 0,207$$

Принимаем стандартное значение

$$D_{\text{шп}} = 0,200 \text{ м}$$

Тогда действительная скорость среды в штуцере

$$\omega = \frac{4V}{\pi D_{\text{ш}}^2} = \frac{4 \times 0,338}{3,14 \times 0,200^2} = 10,8 \text{ м/с}$$

Расчетная скорость движения среды не выходит за рекомендуемые пределы. Остальные штуцера рассчитываются аналогично.

Тогда диаметр трубопровода

$$d = \sqrt{\frac{4 \times 0,00113}{3,14 \times 2}} = 0,0268 \text{ м}$$

Принимаем трубу с внутренним диаметром 25 мм и толщиной стенки 2 мм.

Тогда действительная скорость флегмы в трубопроводе

$$w = \frac{4L}{\pi d^2} = \frac{4 \times 0,00113}{3,14 \times 0,025^2} = 2,30 \text{ м/с}$$

Определим критерий Рейнольдса

$$Re = \frac{w \rho d}{\mu}$$

где μ – вязкость уксусной кислоты при 15 °С [6, т. V].

$$\mu = 0,8937 \times 10^{-3} \text{ Н} \times \text{с} / \text{м}^2$$

Тогда

$$Re = \frac{2,30 \times 997 \times 0,025}{0,8937 \times 10^{-3}} = 64146$$

Режим течения турбулентный. Принимаем стальные новые трубы, для которых абсолютная шероховатость внутренней стенки [6]

$$\Delta = 0,08 \text{ мм} = 8 \times 10^{-5} \text{ мм}$$

Тогда относительная шероховатость трубы

$$e = \frac{\Delta}{d} = \frac{0,08}{25} = 0,0032$$

В рассматриваемом случае имеем зону смешанного трения, поскольку

$$100/e < Re < 560 / e$$

$$100 / 0,0032 < 64146 < 560 / 0,0032$$

$$31250 < 64146 < 175000$$

Для этой зоны значение коэффициента трения [6]

$$\lambda = 0,11 (e + 68 / Re)^{0,25} = 0,11 \times (0,0032 + 68 / 64146)^{0,25} = 0,0281$$

Определим сумму коэффициентов местных сопротивлений [2]

1. выход из штуцера в аппарат: $\xi = 1$
2. колено с углом 90° при $d = 25$ мм (два поворота): $\xi = 2 \times 2 = 4$
3. вентиль прямооточный при полном открытии для $d = 25$ мм: $\xi = 1,04$

менивающимися средами Δt_{cp} и коэффициенте теплопередачи K поверхность теплообмена определяется из уравнения

$$F = \frac{Q_R}{K \Delta t_{cp}}$$

Для тонкой стенки коэффициент теплопередачи определяется из уравнения

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \sum \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}}$$

где α_1 и α_2 — коэффициенты теплоотдачи с каждой стороны стенки Вт/(м²·К); δ — толщина отдельных слоев стенки, м; λ — коэффициент теплопроводности слоев стенки, Вт/(м·К).

Для ориентировочных расчетов можно воспользоваться справочными данными по коэффициентам теплопередачи [3]. Для органических жидкостей и кислот

$$K = 300..450 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \times \text{К}).$$

Принимаем

$$K = 375 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \times \text{К}).$$

В качестве теплоносителя принимаем водяной пар с температурой $t_{п} = 190$ °С. За счет конденсации этого пара происходит испарение кубовой жидкости. Следовательно, средняя разность температур составит

$$\Delta t_{cp} = t_{п} - t_{R} = 190 - 164 = 26 \text{ °С}.$$

Тогда значение требуемой поверхности теплообмена кипятильника

$$F = \frac{362\,000}{375 \times 26} = 137 \text{ м}^2$$

По справочным данным, приведенным в [2], выберем вертикальный одноходовый теплообменник со следующими параметрами: поверхность теплообмена $F = 154 \text{ м}^2$, наружный диаметр кожуха $D = 600$ мм, тип труб $d \times s = 25 \times 2$ мм, число ходов по трубному пространству $n = 2$, общее число труб $N = 448$, высота теплообменника $H = 4$ м.

Общая оценка коррозионной стойкости в агрессивных средах следующая: сталь характеризуется большой коррозионной стойкостью и окалиностойкостью во многих агрессивных средах, она отличается повышенной стойкостью против межкристаллической коррозии ножевого типа [8].

5.3 Расчет на прочность и устойчивость

Все справочные величины, табличные значения и методика расчета взяты из литературы [7, 8].

5.3.1 Расчет корпуса аппарата на прочность

Рассчитаем отгонную часть корпуса колонны, диаметром $D = 1,0$. Рабочее давление $p = 0,22$ МПа, расчетная температура среды $t_p = 164$ °С, так как температура среды положительна, высота слоя жидкости $h = 1,39$ м. Расчетная схема приведена на рисунке 5.1.

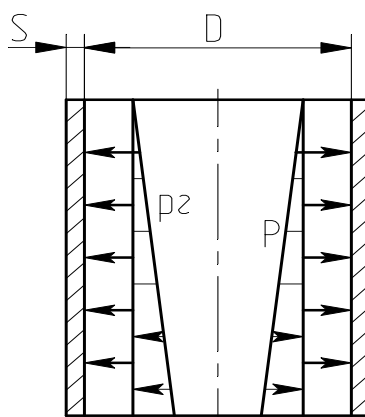


Рисунок 5.1 – Расчетная схема цилиндрической обечайки корпуса:

D – внутренний диаметр; s – толщина стенки;
 p_2 – гидростатическое давление; p – рабочее давление.

Допускаемое напряжение в рабочем состоянии $[\sigma]$, МПа

$$[\sigma] = \eta \cdot \sigma^*$$

где η – поправочный коэффициент, учитывающий вид заготовки;

σ^* – нормальная допускаемое напряжение при расчетной температуре, $\sigma^* = 144$ МПа – для температуры $t = 164$ °С и стали 12Х18Н10Т, табличное значение;

принято, что швы с двусторонним сплошным проваром выполняются автоматической сваркой. Прибавка к расчетной толщине стенки s , мм: Для компенсации коррозии:

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

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

τ_B – срок службы аппарата, $\tau_B = 15$ лет.

$$c_k = 0,1 \cdot 15 = 1,5 \text{ мм.}$$

Принимаем, что $s = c_k = 1,5$ мм.

Расчетная и исполнительная толщины s_p, s , мм стенки обечайки

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

$$s_p = \max \left\{ \begin{array}{l} 0,341 \cdot 1,0 / (2 \cdot 1 \cdot 144 - 0,341) = 2,9 \cdot 10^{-3} \\ 0,577 \cdot 1,0 / (2 \cdot 1 \cdot 200 - 0,57) = 2,6 \cdot 10^{-3} \end{array} \right\} = 2,9 \text{ мм.}$$

$$s = s_p + c + c_0,$$

где $c_0 = 0,6$ мм – из условия округления толщины стенки до ближайшей стандартной толщины.

Тогда $s = 2,9 + 1,5 + 0,6 = 5$ мм.

Допускаемое давление в рабочем состоянии, $[p]_p$, МПа:

$$[p]_p = 2 \cdot \varphi \cdot [\sigma] \cdot (s - c) / (D + s - c),$$

Тогда $[p]_p = 2 \cdot 1 \cdot 144 \cdot (5 - 1,5) / (1000 + 5 - 1,5) = 0,56$ МПа

Допускаемое давление при гидроиспытаниях, $[p]_и$, МПа:

$$[p]_и = 2 \cdot \varphi \cdot [\sigma]_и \cdot (s - c) / (D + s - c),$$

Получаем $[p]_и = 2 \cdot 1 \cdot 200 \cdot (5 - 1,5) / (1000 + 5 - 1,5) = 0,78$ МПа

$$p_p = 0,22 \text{ МПа} < [p]_p = 0,56 \text{ МПа}$$

$$p_p = 0,22 \text{ МПа} < [p]_и = 0,78 \text{ МПа}$$

Так как $(s - c) / D = (5 - 1,5) / 1000 = 0,002 < 0,1$, условие применимости формул выполняется. Таким образом, при толщине стенки $s = 5$ мм обеспечивается прочность обечайки как в рабочем состоянии так и при испытаниях.

При расчете аппарат разбивается на некоторое число вертикальных элементов и для каждого определяется действующая на него сила от ветра. Затем рассчитывается момент, воспринимаемый опорой.

Поскольку расчет достаточно трудоемок, выполним его с применением ЭВМ. Далее описывается методика расчета, реализованная в программе MathCAD и дается сводная таблица результатов вычислений. Схема к расчету аппарата приведена на рисунке 5.4.

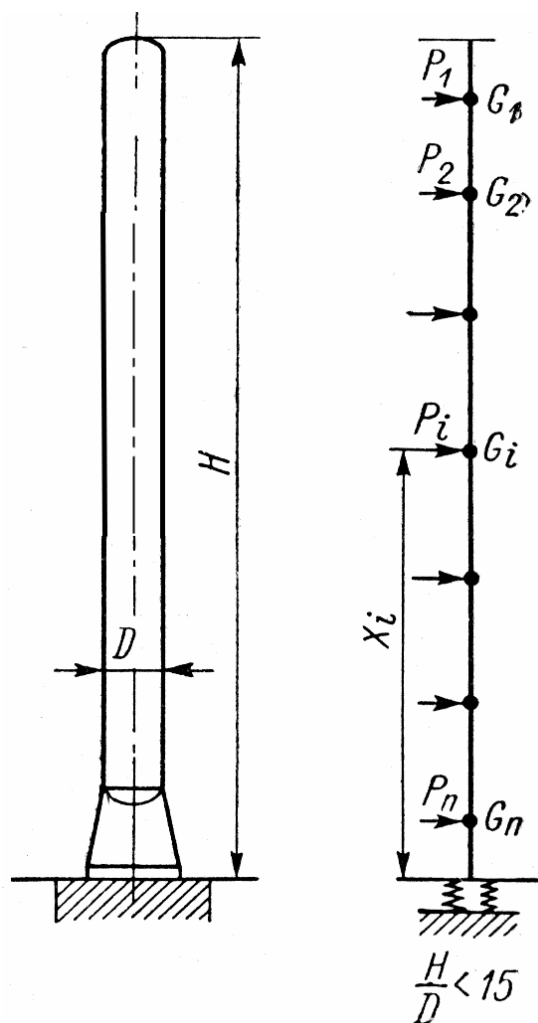


Рисунок 5.4 – Схема к расчету аппарата на ветровую нагрузку

Определение массы аппарата

Массу аппарата определяют для двух случаев: при монтаже и в рабочих условиях. Масса аппарата при монтаже

$$G_{\text{монт}} = G_{\text{об}} + G_{\text{нас}} + G_{\text{вы}}$$

$$m(h) := \begin{cases} 0.35 & \text{if } h < 20\text{м} \\ 0.21 & \text{if } h > 100\text{м} \\ 0.35 + (h - 20\text{м}) \cdot \frac{0.21 - 0.35}{100\text{м} - 20\text{м}} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Момент инерции колонны

$$J_K := \frac{\pi}{8} \cdot (D + 2s)^3 \cdot s$$

Момент инерции подошвы фундамента

$$J_\phi := 1.3J_K$$

Угол поворота опорного сечения

$$\varphi_0 := \frac{1}{C_\phi \cdot J_\phi}$$

где C_ϕ – коэффициент неравномерности сжатия грунта, $C_\phi = 50 \text{ МН/м}^3$ [6].

Период колебаний аппарата для $H/D = 21400/1000 = 21.4 > 15$

$$T := 1.79 \cdot H \cdot \sqrt{\frac{G}{g} \cdot \left(\frac{H}{E_t \cdot J_K} + 4 \cdot \varphi_0 \right)}$$

Интерполяция кубическим сплайном графической зависимости [6, рис. 29.16]

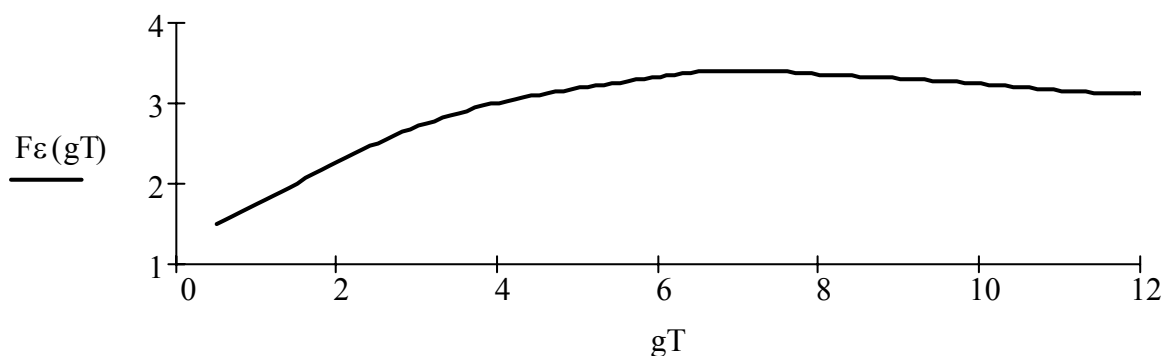
$$vT := (0.5 \ 1.5 \ 2.5 \ 4.0 \ 5.5 \ 7.0 \ 8.0 \ 9.0 \ 11.0 \ 12.0)c^T$$

$$v\varepsilon := (1.50 \ 2.00 \ 2.50 \ 3.00 \ 3.25 \ 3.40 \ 3.35 \ 3.30 \ 3.15 \ 3.10)^T$$

$$v\varepsilon T := \text{cspline}(vT, v\varepsilon)$$

$$F\varepsilon(T) := \text{interp}(v\varepsilon T, vT, v\varepsilon, T)$$

$$gT := 0.5, 0.6.. 12$$



Наружный диаметр опорного кольца

$$D_1 = D + 2s + 0.3 = 1,00 + 2 \times 0,01 + 0,3 = 1,25 \text{ м}$$

Площадь опорной поверхности

$$F := \frac{\pi}{4} \cdot (D_1^2 - D_2^2) = 3.14 / 4 \times (1.25^2 - 0.90^2) = 1.391 \text{ м}^2$$

Момент инерции опорного кольца

$$W := \frac{\pi}{32} \cdot \frac{D_1^4 - D_2^4}{D_1} = \frac{3.14}{32} \frac{1.25^4 - 0.95^4}{1.25} = 0.754 \text{ м}^3$$

Напряжение в материале фундамента

$$\sigma := \frac{G_{\max}}{F} + \frac{M_{\max}}{W} = \frac{0.1699}{1.394} + \frac{34.235}{0.754} = 45.525 \text{ МПа}$$

Выбираем установку опоры на стальной фундамент, для которого допускаемое напряжение $[\sigma]_{\phi} = 200 \text{ МПа}$ [6, табл. 29.1]

Проверка устойчивости аппарата

$$\sigma_x := \frac{G_{\max}}{F} - \frac{M_{\max}}{W} = \frac{0.1699}{1.394} - \frac{34.235}{0.754} = -45.281 \text{ МПа} < 0 \text{ МПа}$$

Т.к. получено отрицательное значение, то аппарат неустойчив, значит необходима его фиксация фундаментными болтами. Нагрузка на фундаментные болты

$$P_{\phi} := \frac{\pi}{4} \cdot (D_1^2 - D_2^2) \cdot \sigma = 3.14 / 4 \times (1.25^2 - 0.90^2) \times 45,525 = 63,315 \text{ МН}$$

Принимаем число болтов $z = 22$. Тогда нагрузка на один болт

$$P_{\phi 1} := \frac{P_{\phi}}{z} = 63,315 / 22 = 0.791 \text{ МН}$$

Расчетный диаметр болтов

$$d_{\phi} := \sqrt{\frac{4P_{\phi 1}}{\pi \sigma_{\phi}}} + 2\text{мм} = \sqrt{\frac{4 \times 0.791}{3.14 \times 537}} + 0.002 = 0.0208 \text{ мм}$$

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

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

Тогда уточненный наружный диаметр опорного кольца

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

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 выбранного 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];

η – 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];

φ – 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.

Усилие от стропа, действующее на каждый монтажный штуцер:

$$N = G_0/2$$

где G_0 — масса поднимаемого оборудования,

$$G_0 = G_{\text{монт}} = 0.1430 \times 10^6 \text{ МН} = 143 \text{ кН}$$

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 см^3 .

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

$$\frac{N_r}{\beta h_{\text{ш}} l_{\text{ш}}} + \frac{M}{\beta h_{\text{ш}} \pi r^2} \leq m R_y^{\text{св}}$$

где β - коэффициент, учитывающий глубину провара (для автоматической сварки $\beta = 1,0$ [9, с. 68]);

r – радиус штуцера, $r = 50$ см;

$h_{\text{ш}}$ —толщина шва, $h_{\text{ш}} = 12$ мм [9, с. 68];

N_r – горизонтальная составляющая усилия N ,

$$N_r = N \sin(15) = 71,5 \times 0,259 = 23,3 \text{ кН}$$

Итого

6.6 Выверка и испытание оборудования

Выверкой называют процесс установки оборудования в положение, предусмотренное проектом, с помощью специальных выверочных опорных элементов, центровочных приспособлений и грузоподъемных средств, включая операции измерения и контроля.

Выверку оборудования производят в плане, по высоте и по горизонтали (вертикали), а также относительно ранее установленного оборудования с контролем отклонения от соосности перпендикулярности и параллельности в зависимости от требований технической документации завода-изготовителя и проекта производства работ [12].

Предварительную выверку в плане осуществляют путем совмещения отверстий в опорной части оборудования с ранее установленными фундаментными болтами. При окончательной выверке оборудование устанавливают в проектное положение относительно осей фундаментов или строительных конструкций путем перемещения оборудования грузоподъемными механизмами, домкратами или монтажными приспособлениями с проверкой положения относительно ранее выверенного смежного оборудования.

Положение оборудования при выверке контролируют оптикогеодезическими способами, а также с помощью специальных инструментов, приборов, шаблонов, 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].

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Лебедев Н. Н. Химия и технология основного органического и нефтехимического синтеза: Учебник для вузов. 4-е изд., перераб. и доп. – М. Химия, 1988. – 592 с, ил.
2. Основные процессы и аппараты химической технологии: Пособие по проектированию / под ред. Ю. И. Дытнерского. – М.: Химия, 1983. – 272 с.
3. Скобло А. И., Молоканов Ю. К., Владимиров А. И., Щелкунов В. А. Процессы и аппараты нефтегазопереработки и нефтехимии. Учебник для вузов. – 3-е изд., переаб. и доп. – М.: ООО «Недрабизнесцентр», 2000. – 677 с. ил.
4. методичка
5. Плановский А. Н., Рамм В. М., Соломон З. К. Процессы и аппараты химической технологии, М.: Химия, 1967. – 848 с.
6. Павлов К. Ф., Романков П. Г., Носков А. А. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии, М.: Химия, 1970. – 624 с.
7. Лацинский А. А., Толчинский А. Р. Основы конструирования и расчета химической аппаратуры. Л.: Машиностроение, 1970 г. – 752 стр.
8. Расчет и конструирование машин и аппаратов химических производств: Примеры и задачи: Учебное пособие для студентов вузов /под редакцией Михалева М. Ф. Л.: Машиностроение, 1984. – 301 с., ил.
9. Матвеев В.В., Крупин Н.Ф. Примеры расчета такелажной оснастки.– Л.: Стройиздат, 1987. – 320 с.