

СОГЛАСОВАНО

УТВЕРЖДАЮ

Начальник управления оборудования

Начальник Союзнефтехиммаш

СОЮЗНЕФТЕХИМПРОМ СССР



В.В. Давыдов

В. Плышевский

1983г.

1983г.



УДК \_\_\_\_\_

Группа Г47

РУКОВОДЯЩИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ МАТЕРИАЛ

КОЛОННЫ ВАКУУМНЫЕ

РТМ 26-02- 26 -83

МЕТОДЫ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО РАСЧЕТА

Взамен РТМ 26-02-26-73

Приказом по Союзнефтехиммаш от " \_\_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 1983г.

№ \_\_\_\_\_ срок введения установлен

с 1 февраля 1984г.

Настоящий руководящий технический материал устанавливает методы гидравлического расчета вакуумных колонн с клапанными прямоточными тарелками по ГОСТ-26-02-1401-76 и ГОСТ-26-02-1402-76 или по типу этих ОСтОв.

Руководящий технический материал распространяется на гидравлические расчеты вакуумных колонн нефтеперерабатывающей, нефтехимической и других смежных отраслей промышленности.

Настоящие методы гидравлического расчета включают в себя проектный и поверочный гидравлические расчеты вакуумных колонн с клапанными прямоточными тарелками.

Издание официальное

Перепечатка воспрещена

## I. ХАРАКТЕРИСТИКА ТИПОВ ТАРЕЛОК, ПРИМЕНЯЕМЫХ В ВАКУУМНЫХ КОЛОННАХ

Контактные устройства, применяемые в вакуумных колоннах, должны характеризоваться следующими основными показателями: высокой производительностью при низком гидравлическом сопротивлении, высокой эффективностью и широким диапазоном эффективной работы

Ситчатые тарелки с отбойными элементами, применяемые в колоннах вакуумной перегонки мазута, обладают высокими допустимыми скоростями паров в сочетании с низким гидравлическим сопротивлением порядка 200 - 400 Па (1,5-3 мм рт. ст.). Они применяются при умеренных нагрузках по жидкости с напряженностью слива до  $50 \text{ м}^3/(\text{м.ч})$ . Гидравлический расчет ситчатых тарелок с отбойными элементами выполняют по соответствующему действующему руководящему техническому материалу /10/.

Клапанные прямоточные тарелки характеризуются более высоким КПД и более широким диапазоном эффективной работы при гидравлическом сопротивлении порядка 400-660 Па (3-5 мм рт. ст.). Они применяются и при низких (напряженность слива 6-10  $\text{м}^3/(\text{м.ч})$ ) и при высоких (напряженность слива до 80  $\text{м}^3/(\text{м.ч})$ ) жидкостных нагрузках.

Указанные типы тарелок могут применяться в вакуумных колоннах как раздельно, так и в различных сочетаниях.

При наличии в вакуумных колоннах обоих типов тарелок, клапанные прямоточные тарелки рекомендуется устанавливать в зонах циркуляционных орошений, где имеют место высокие жидкостные нагрузки, или в секциях, где резко меняются нагрузки по высоте и требуются контактные устройства с широким диапазоном эффективной работы. В зонах с невысокими жидкостными и высокими паровыми нагрузками при необходимости обеспечения небольшого перепада давления в колонне устанавливают ситчатые тарелки с отбойными элементами.

Выбор типа контактных устройств в каждом отдельном случае обуславливается назначением колонны, ее схемой, характером перерабатываемого сырья, требованиями к получаемым продуктам, паровыми и жидкостными нагрузками и другими условиями.

## 2. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО РАСЧЕТА ВАКУУМНЫХ КОЛОНН

Специфика гидравлического расчета контактных устройств в вакуумных колоннах состоит в том, что гидравлическое сопротивление контактных устройств не должно превышать принятой в технологическом расчете величины.

Гидравлический расчет вакуумных колонн с клапанными прямоточными тарелками включает в себя проектный и поверочный гидравлические расчеты.

Назначение проектного расчета - определение основных размеров колонны ( $D$  и  $H$ ) и типоразмера тарелок, обеспечивающих требуемый диапазон эффективной работы и допустимый перепад давления в концентрационной части колонны.

Назначение поверочного расчета - определение паро-жидкостных нагрузок, диапазона эффективной работы и гидравлического сопротивления тарелок при заданных конструктивных параметрах.

При проектном расчете вакуумных колонн с клапанными прямоточными тарелками диаметр колонны и типоразмер тарелок определяют исходя из минимальных значений свободного сечения тарелки и сечения перелива и из оптимального значения периметра слива по ОСТ 26-02-1401-76 и ОСТ 26-02-1402-76.

Минимальное свободное сечение тарелки определяют по максимально-допустимому значению фактора паровой нагрузки в свободном сечении тарелки при шаге рядов клапанов 50 мм. В процессе расчета шаг рядов клапанов может быть увеличен до 75 или 100 мм в зависимости от нагрузок.

Максимально-допустимое значение фактора паровой нагрузки в свободном сечении тарелки определяется величиной межтарельчатого уноса жидкости  $0,1 \text{ кг/кг}$ .

Минимальное сечение перелива определяется максимально-допустимой скоростью жидкости в переливе.

Максимально-допустимые значения фактора паровой нагрузки в свободном сечении тарелки принимают по графику области эффективной работы клапанных прямоточных тарелок в координатах  $L_v, \frac{\Phi_0}{\pi \varphi}$

(черт. I, правая ось ординат).

Минимально-допустимые значения фактора паровой нагрузки в свободном сечении тарелок принимают по графику в координатах  $L_v, \Phi_0$  (черт. I, левая ось ординат).

Окончательный выбор свободного сечения тарелок определяется требуемыми коэффициентами уменьшения и увеличения нагрузки

$[Y_{min}]$  и  $[Y_{max}]$ , заданным гидравлическим сопротивлением тарелки  $\Delta P_3$  и допустимым перепадом давления в концентрационной части колонны  $[\Delta P_K]$ .

### 3. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ПРОЕКТНОГО РАСЧЕТА ВАКУУМНЫХ КОЛОНН С КЛАПАНЫМИ ПРЯМОТОЧНЫМИ ТАРЕЛКАМИ

Гидравлический расчет вакуумных колонн выполняют для парожидкостных нагрузок на тарелках, получаемых в результате технологического расчета колонн.

Расчет парожидкостных нагрузок в колоннах проводится для всех характерных сечений, где имеет место ввод или вывод наружных потоков. В табл. I приведены исходные данные, необходимые для выполнения проектного гидравлического расчета вакуумных колонн с клапанными прямоточными тарелками. Количество расчетных сечений принимают в каждом конкретном случае.

### 4. ПРОЕКТНЫЙ РАСЧЕТ ВАКУУМНЫХ КОЛОНН С КЛАПАНЫМИ ПРЯМОТОЧНЫМИ ТАРЕЛКАМИ

#### 4.1. Определение диаметра колонны

Проектный расчет вакуумных колонн с клапанными прямоточными тарелками выполняют одновременно по всем сечениям с учетом требуемого коэффициента увеличения нагрузки.

4.1.1. Рассчитывают коэффициент  $m_\varphi$  по уравнению

$$m_\varphi = \frac{19,8 \cdot 10^{-3} (\sigma)^{0,295} \cdot (\rho_a)^{0,205}}{(M_s)^{0,425} \cdot (\rho_{ж})^{0,075}} \quad (1)$$

Для вакуумных колонн перегонки мазута рекомендуется упрощенная формула

$$m_\varphi = 0,988 \cdot (\rho_a)^{0,205} \quad (2)$$

4.1.2. Рассчитывают оптимальную величину периметра слива при напряженности слива  $60 \text{ м}^3/(\text{м} \cdot \text{ч})$  по формуле

$$B_{\text{опт}} = \frac{[Y_{max}] \cdot Q}{60} \quad (3)$$

4.1.3. Принимают расстояние между тарелками (не менее 400 мм, так как в вакуумных колоннах меньшие расстояния не рекомендуются)

Таблица I

Исходные данные проектного гидравлического расчета вакуумных колонн с клапанными прямооточными тарелками.

Наименование величин	Обозначение	Расчетные сечения		
		I	2	3
1. Объемный расход паров, м <sup>3</sup> /с	$V$			
2. Плотность паров, кг/м <sup>3</sup>	$\rho_n$			
3. Динамическая вязкость паров, Па.с (кг.с/м <sup>2</sup> )	$\mu_n$			
4. Объемный расход жидкости, м <sup>3</sup> /ч	$Q$			
5. Плотность жидкости, кг/м <sup>3</sup>	$\rho_{ж}$			
6. Поверхностное натяжение, Н/м	$\sigma$			
7. Заданное гидравлическое сопротивление клапанных прямооточных тарелок, Па (мм рт. ст.)	$\Delta P_3$			
8. Допустимый перепад давления в концентрационной части колонны, Па (мм рт. ст.)	$[\Delta P_k]$			
9. Требуемый коэффициент увеличения нагрузки	$[Y_{max}]$			
10. Требуемый коэффициент уменьшения нагрузки	$[Y_{min}]$			
11. Коэффициент системы	$K_c$			
12. Высота сливного порога, мм	$h$			

4.1.4. По графику (черт. I) находят максимально-допустимый приведенный фактор паровой нагрузки в свободном сечении тарелки при напряженности слива  $60 \text{ м}^3/(\text{м.ч})$  и при принятом расстоянии между тарелками.

4.1.5. Рассчитывают по сечениям максимально-допустимый фактор паровой нагрузки в свободном сечении тарелки по уравнению

$$[\Phi_{0\max}] = \left[ \frac{\bar{\Phi}_0}{m_\varphi} \right]_{\max} \cdot m_\varphi \quad (4)$$

4.1.6. Рассчитывают минимальное свободное сечение тарелки по уравнению

$$S_{\min} = \frac{[Y_{\max}] \cdot V}{[\Phi_{0\max}]} \cdot \sqrt{\frac{S_n}{S_{ж}}} \quad (5)$$

4.1.7. Рассчитывают максимально-допустимую скорость жидкости в переливе по формулам:

$$[W_{ж}]_{\max} = 17 \cdot 10^{-2} \cdot K_C \quad (6)$$

$$[W_{ж}]_{\max} = 0,7 \cdot 10^{-2} \cdot K_C \cdot \sqrt{S_{ж} - S_n} \quad (7)$$

$$[W_{ж}]_{\max} = 2,53 \cdot 10^{-4} \cdot K_C \cdot \sqrt{S_{ж} - S_n} \cdot \sqrt{H} \quad (8)$$

Значения коэффициента  $K_C$  для некоторых процессов и систем приведены в табл. 2.

Из трех значений максимально-допустимой скорости жидкости в переливе принимают наименьшее.

4.1.8. Рассчитывают минимальное сечение перелива по уравнению

$$S_{\min} = \frac{[Y_{\max}] \cdot Q}{3600 \cdot [W_{ж}]_{\max}} \quad (9)$$

4.1.9. Принимают минимально возможный диаметр тарелки по ОСТ 26-02-1401-76 и ОСТ 26-02-1402-76, исходя из полученных величин  $V_{\text{опт}}$ ,  $S_{\min}$  и  $S_{2\min}$ . Поиск требуемого диаметра необходимо начинать с однопоточных тарелок ( $p=1$ ) для типов А и Б при шаге рядов клапанов  $t = 50 \text{ мм}$ , затем поиск продолжается для двухпоточных тарелок ( $p=2$ ) для обоих типов при  $t = 50 \text{ мм}$ , а затем переходят к четырехпоточным тарелками ( $p=4$ ) также при  $t = 50 \text{ мм}$ .



#### 4.2. Определение паро-жидкостных нагрузок на тарелках и диапазона эффективной работы

4.2.1. Для принятых конструктивных параметров тарелок рассчитывают следующие параметры

$$L_v = \frac{[y_{max}] \cdot Q}{B} \quad (I3)$$

$$\Delta h = 2,84 \cdot (L_v)^{2/3} \quad (I4)$$

$$\Phi_0 = \frac{[y_{max}] \cdot V}{S_0} \cdot \sqrt{\frac{\rho_n}{\rho_{ж}}} \quad (I5)$$

$$\Phi_{0пр} = \frac{V}{S_0} \cdot \sqrt{\frac{\rho_n}{\rho_{ж}}} \quad (I6)$$

$$\frac{\Phi_0}{m_{\varphi}} = \frac{Q}{B} \quad (I7)$$

На график области эффективной работы клапанных прямооточных тарелок (черт.1) наносят точки с координатами  $(L_v, \Phi_0)$ ,  $(L_{vпр}, \Phi_{0пр})$  и  $(L_v, \frac{\Phi_0}{m_{\varphi}})$ .

4.2.2. Определяют диапазон эффективной работы клапанных прямооточных тарелок по графику (черт.1). Схема расчета показана на черт.2.

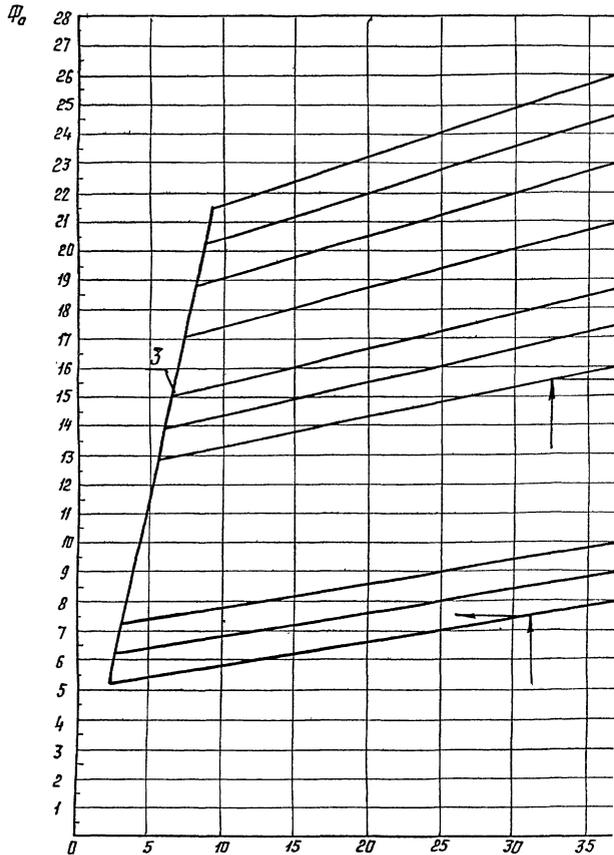
Проводят прямые (рабочие линии) через начало координат и точки с координатами  $(L_{vпр}, \Phi_{0пр})$  для всех расчетных сечений. Ординаты точек пересечения рабочих линий с линией минимально-допустимых паровых нагрузок соответствуют минимально-допустимым значениям фактора паровой нагрузки  $[\varphi_{0min}]$ .

Рассчитывают коэффициент уменьшения нагрузки по уравнению

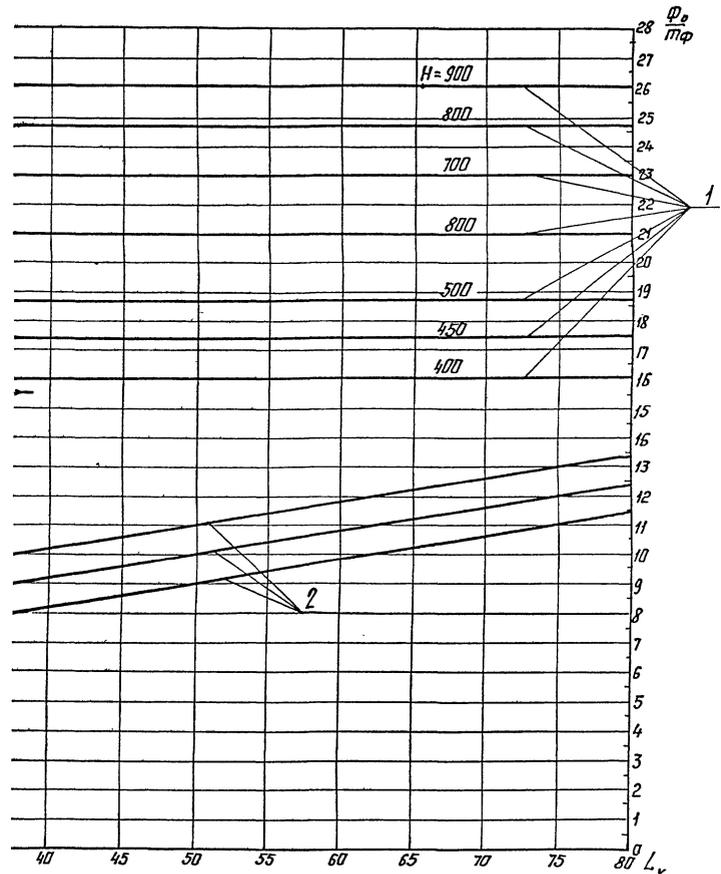
$$\varphi_{min} = \frac{[\Phi_{0min}]}{\Phi_{0пр}} \quad (I8)$$

Проверяют условие

$$\varphi_{min} \leq [\varphi_{min}] \quad (I9)$$



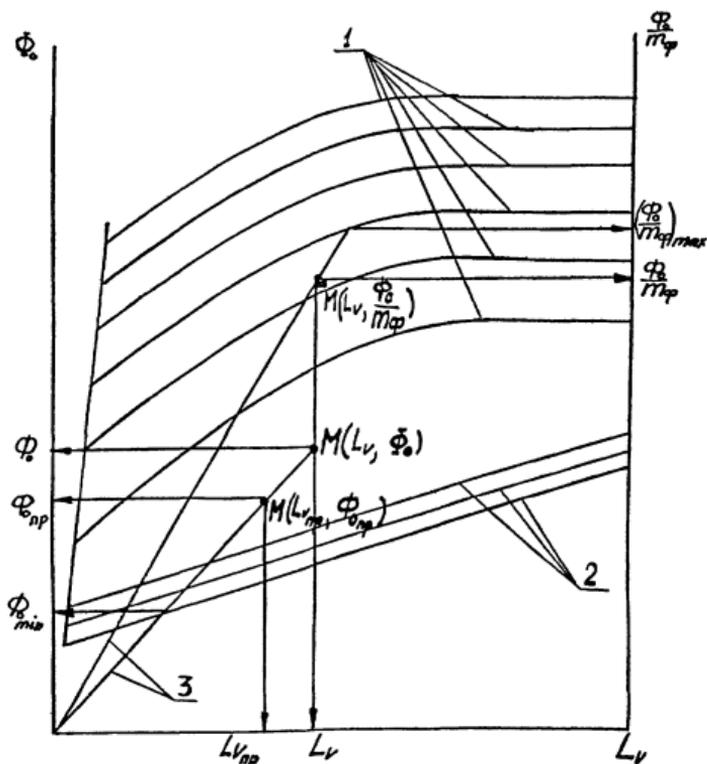
- 1 - линии максимально-допустимых паровых нагрузок
- 2 - линии минимально-допустимых паровых нагрузок
- 3 - линия максимально-допустимых жидкостных нагруз.



7к

Черт. 1

Схема определения диапазона эффективной работы клапанных прямооточных тарелок



- 1- линии максимально-допустимых паровых нагрузок  
 2- линии минимально-допустимых паровых нагрузок  
 3- рабочие линии;  $Y_{min} = \frac{\Phi_{0, min}}{\Phi_{0, np}}$ ;  $[Y_{max}] = \frac{(\frac{\Phi_0}{m_p})_{max}}{\frac{\Phi_0}{m_p}}$

Черт. 2

Если условие (19) не выполняется, необходимо уменьшить свободное сечение тарелки. Уменьшение свободного сечения тарелки данного диаметра осуществляется переходом к другой модификации тарелки, либо к ближайшему большему шагу рядов клапанов, либо уменьшением числа рядов клапанов при принятом шаге рядов клапанов 50 мм. Если требуется незначительное уменьшение свободного сечения тарелки, рекомендуется не пробивать несколько рядов клапанов со стороны входа жидкости на тарелку. Для сохранения при этом эффективной работы тарелки рекомендуется оставлять не менее 4 рядов клапанов на потоке.

4.2.3. Определяют максимально-допустимые значения паровых нагрузок для всех расчетных сечений на графике (черт. I), для чего проводят прямые (рабочие линии) через начало координат и точки с координатами  $(L_v, \frac{\Phi_0}{m_{\Phi}})$  до пересечения с линиями максимально-допустимых паровых нагрузок. Ординаты точек пересечения этих линий соответствуют максимально-допустимым значениям паровых факторов в свободном сечении тарелок  $[\frac{\Phi_0}{m_{\Phi}}]_{max}$  при выбранных конструктивных параметрах и принятом расстоянии между тарелками.

Проверяют условие

$$\frac{\Phi_0}{m_{\Phi}} \leq \left[ \frac{\Phi_0}{m_{\Phi}} \right]_{max} \quad (20)$$

Если условие (20) не выполняется, необходимо увеличить свободное сечение тарелки либо расстояние между тарелками. Увеличение свободного сечения тарелки осуществляется выбором другой модификации тарелки или переходом к большему диаметру.

В случаях, когда увеличение диаметра нежелательно, а увеличение расстояния между тарелками не дает желаемых результатов, что может иметь место при низких плотностях пара ( $\rho_n < 0,2 \text{ кг/м}^3$ ) и напряженности слива менее  $15 \text{ м}^3/(\text{м} \cdot \text{ч})$ , на клапанных прямоточных тарелках рекомендуется устанавливать отбойные элементы из просечно-вытяжного листа по типу ситчатых тарелок с отбойными элементами (ОСТ 26-02-2054). Свободное сечение просечно-вытяжного листа отбойных элементов должно быть не менее 50%. Применение отбойных элементов на клапанных прямоточных тарелках позволяет увеличить максимально-допустимые паровые нагрузки на 20-30%. При этом гидравлическое сопротивление

тарелок увеличивается на 15-20%. Фабричные элементы на клапанных прямооточных тарелках применяются при напряженности слива до  $50 \text{ м}^3/(\text{м.ч})$ .

При выборе новых конструктивных параметров тарелок должен быть повторно проведен расчет по уравнениям (13)-(20).

4.2.4. При невыполнении условия (19) выбор нового значения свободного сечения тарелок выполняют, исходя из минимально-допустимого фактора паровой нагрузки в свободном сечении тарелки  $[\Phi_{0min}]$  с учетом требуемого коэффициента уменьшения нагрузки  $[\Psi_{min}]$  и заданного гидравлического сопротивления тарелки  $\Delta P_3$ .

Рассчитывают максимальное свободное сечение тарелки, исходя из минимально-допустимой паровой нагрузки  $[\Phi_{0min}]$  и требуемого коэффициента уменьшения нагрузки  $[\Psi_{min}]$ .

$$S_{o_{max}} = \frac{[\Psi_{min}] \cdot V}{[\Phi_{0min}]} \cdot \sqrt{\frac{g_n}{S'_{xc}}} \quad (21)$$

Рассчитывают фактор паровой нагрузки в свободном сечении тарелки, исходя из заданного гидравлического сопротивления тарелки  $\Delta P_3$ .

$$\Phi_{0p} = \sqrt{\frac{\Delta P_3 - 4,176 \cdot \Delta h}{1,695 \cdot S'_{xc}}} \quad (22)$$

Рассчитывают свободное сечение тарелки, исходя из заданного гидравлического сопротивления тарелки.

$$S_{op} = \frac{S_o \cdot \Phi_o}{\Phi_{op}} \quad (23)$$

Вновь принимаемое свободное сечение тарелки  $S'_o$  должно удовлетворять условию

$$S_{op} \leq S'_o \leq S_{o_{max}} \quad (24)$$

Если окажется, что  $S_{op} > S_{o_{max}}$ , то это значит, что требуемый коэффициент уменьшения нагрузки  $[\Psi_{min}]$  и заданное гидравлическое сопротивление тарелки  $\Delta P_3$  несовместимы и необходимо откорректировать исходные данные: либо увеличить  $\Delta P_3$ , либо увеличить  $[\Psi_{min}]$ .

Для вновь принятых значений свободного сечения тарелок  $S'_0$  выполняют расчет по уравнениям (13)-(20).

4.3. Расчет гидравлического сопротивления клапанных прямооточных тарелок

Работа клапанных прямооточных тарелок характеризуется двумя гидродинамическими режимами I и II в зависимости от соотношения паровых и жидкостных нагрузок. Переход от режима I к режиму II определяется граничными условиями. Расчет гидравлического сопротивления тарелок выполняют для всех расчетных сечений.

4.3.1. Рассчитывают фактор  $F_{S_0}$

$$F_{S_0} = \Phi_0 \cdot \sqrt{\rho'_{ж}} \quad (25)$$

4.3.2. Рассчитывают гидравлическое сопротивление сухой тарелки.

При условии  $F_{S_0} \geq 13,4$

$$\Delta P_{\text{сух}} = 1,785 \cdot (F_{S_0})^2 \quad (26)$$

При условии  $F_{S_0} < 13,4$

$$\Delta P_{\text{сух}} = 168 \cdot (F_{S_0})^{0,25} \quad (27)$$

4.3.3. Проверяют граничные условия режимов I и II

$$F_{S_0} \cdot (5,2 - 0,0318 \cdot \Delta h) < h \quad (28)$$

При выполнении условия (28) на тарелке имеет место I режим, при невыполнении - II режим.

4.3.4. Для режима I рассчитывают гидравлическое сопротивление газожидкостного слоя на тарелке

При  $F_{S_0} < 8,66$

$$\Delta P_{\text{ж}} = [A - 37,7 \cdot F_{S_0} + 3,4 \cdot (h + \Delta h) + 0,41 \cdot F_{S_0} \cdot (h + \Delta h)] \cdot \rho'_{ж} \quad (29)$$

При  $F_{s_0} \geq 8,66$

$$\Delta P_{\text{ж}} = [A - 37,7 \cdot F_{s_0} + 7,0 \cdot (h + \Delta h)] \cdot \rho_{\text{ж}}' \quad (30)$$

где  $A = 19,8$  при  $t = 50$  мм  
 $A = 142,0$  при  $t > 50$  мм

4.3.5. Для режима I рассчитывают гидравлическое сопротивление тарелки

$$\Delta P = \Delta P_{\text{сух}} + \Delta P_{\text{ж}} \quad (31)$$

4.3.6. Для режима II рассчитывают гидравлическое сопротивление тарелки

При условии  $F_{s_0} \geq 13,4$

$$\Delta P = \Delta P_{\text{сух}} \cdot \left( 0,95 + \frac{2,34 \cdot \rho_{\text{ж}}' \Delta h}{(F_{s_0})^2} \right) \quad (32)$$

При условии  $F_{s_0} < 13,4$

$$\Delta P = \Delta P_{\text{сух}} \cdot \left( 0,95 + \frac{0,175 \cdot \rho_{\text{ж}}' \Delta h}{F_{s_0}} \right) \quad (33)$$

4.3.7. Рассчитывают суммарное гидравлическое сопротивление тарелок концентрационной части колонны  $\Delta P_{\text{к}}$  с учетом гидравлического сопротивления отбойников, глухих тарелок и других внутренних устройств колонны и проверяют условие

$$\Delta P_{\text{к}} \leq [\Delta P_{\text{к}}] \quad (34)$$

При невыполнении условия (34) необходимо уменьшить сопротивление тарелок за счет уменьшения высоты сливного порога, увеличения свободного сечения тарелки или увеличения диаметра. Превышение фактического перепада давления в концентрационной части колонны над допустимым на 660 - 1330 Па (5-10 мм рт. ст.) считается возможным.

4.3.8. Рассчитывают гидравлическое сопротивление перелива

$$\Delta h_n = 0,190 \cdot \left( \frac{L_v}{a_n} \right)^2 \cdot \rho_{\text{ж}} \quad (35)$$

4.3.9. Рассчитывают уровень светлой жидкости в переливе по уравнению

$$h'_{cb} = h + \Delta h + \frac{\Delta h_n + \Delta P}{9,81 \cdot \rho'_{жк}} \quad (36)$$

4.3.10. Рассчитывают коэффициент вспениваемости по уравнению

$$K = \frac{2,3}{\left[ \frac{Q \cdot \rho_{жк.}}{3600 V \rho_n} \sqrt{\frac{\rho_n}{\rho'_{жк}}} \right]^{0,125}} \quad (37)$$

4.3.11. Проверяют условие

$$h'_{cb} \leq \frac{H + h}{K} \quad (38)$$

В случае, если условие (38) не выполняется, необходимо увеличить расстояние между тарелками.

## 5. ПОВЕРОЧНЫЙ РАСЧЕТ ВАКУУМНЫХ КОЛОНН С КЛАПАННЫМИ ПРЯМОТОЧНЫМИ ТАРЕЛКАМИ

5.1. Исходными данными для поверочного расчета вакуумных колонн с клапанными прямоточными тарелками являются:

1) конструктивные параметры тарелок по ОСТ 26-02-1401-76, ОСТ 26-02-1402-76 или по типу этих ОСТов ( $D, H, S_0, S_2, B, h, \alpha_n, \ell$ );

2) парожидкостные нагрузки на тарелках и физические свойства паров и жидкости -  $V, \rho_n, Q, \rho'_{жк}, M_n, \sigma, K_C$ ;

3) требуемые коэффициенты увеличения и уменьшения нагрузки  $[Y_{max}]$  и  $[Y_{min}]$ ;

4) допустимый перепад давления в концентрационной части колонны  $[\Delta P_K]$

5.2. Рассчитывают коэффициент  $m_\varphi$  по уравнению (I) или (2) во всех расчетных сечениях колонны.

5.3. Рассчитывают величины  $L_v, \Delta h, \Phi_0, m_\varphi, \Phi_{0_{пр}}, L_{v_{пр}}$  по уравнениям (I3) - (I7);

5.4. На графике (черт. I) области эффективной работы клапанных прямоточных тарелок проводят прямые (рабочие линии) через начало координат и точки с координатами  $(L_{v_{пр}}, \Phi_{0_{пр}})$ .

Определяют по графику величины  $[\Phi_{0min}]$ , рассчитывают величины  $\mathcal{Y}_{min}$  по уравнению (18) и проверяют условие (19).

5.5. На графике (черт. I) проводят прямые (рабочие линии) через начало координат и точки с координатами  $(L_v, \frac{\Phi_0}{m_{\Phi}})$ .

Определяют по графику величины  $[\frac{\Phi_0}{m_{\Phi}}]_{max}$  и проверяют условие (20).

5.6. Рассчитывают скорость жидкости в переливе

$$W_{ж} = \frac{[\mathcal{Y}_{max}] \cdot Q}{3600 \cdot S_2} \quad (39)$$

По уравнениям (6)-(8) рассчитывают максимально-допустимую скорость жидкости в переливе  $[W_{ж}]_{max}$  и проверяют условие

$$W_{ж} \leq [W_{ж}]_{max} \quad (40)$$

5.7. Рассчитывают гидравлическое сопротивление тарелок по уравнениям (25) - (33), рассчитывают перепад давления в концентрационной части колонны с учетом всех внутренних устройств колонны и проверяют условие (34). Рассчитывают высоту газожидкостного слоя в переливе по уравнениям (35) - (37) и проверяют условие (38).

ПРИЛОЖЕНИЕ I

Рекомендуемое

Аппроксимация линий допустимых нагрузок для клапанных прямооточных тарелок

I. Линии максимально-допустимых паровых нагрузок клапанных прямооточных тарелок аппроксимируются следующими уравнениями:

При  $L_v \geq 37,6$

$$\left[ \frac{\Phi_0}{m\varphi} \right]_{max} = 2I. \left[ -0,74I. \left( \frac{H}{1000} \right)^2 + 1,9II. \left( \frac{H}{1000} \right) + 0,12 \right] \dots (41)$$

При  $L_v < 37,6$

$$\left[ \frac{\Phi_0}{m\varphi} \right]_{max} = (16 + 0,133 \cdot L_v) \cdot \left[ -0,74I. \left( \frac{H}{1000} \right)^2 + 1,9II. \left( \frac{H}{1000} \right) + 0,12 \right] \dots (42)$$

2. Линии минимально-допустимых нагрузок по пару рассчитывают по уравнению

$$\left[ \Phi_{0min} \right] = 4,5 + \ell + 0,08 \cdot L_v \dots (43)$$

Для  $\ell > 2,5$  значение минимально-допустимого фактора паровой нагрузки в свободном сечении тарелки вычисляется так же, как и для  $\ell = 2,5$ .

3. Линия минимально-допустимых жидкостных нагрузок клапанных прямооточных тарелок аппроксимируется уравнением

$$\Phi_0 = 2,3 \cdot L_v \dots (44)$$

4. Уравнение рабочей линии

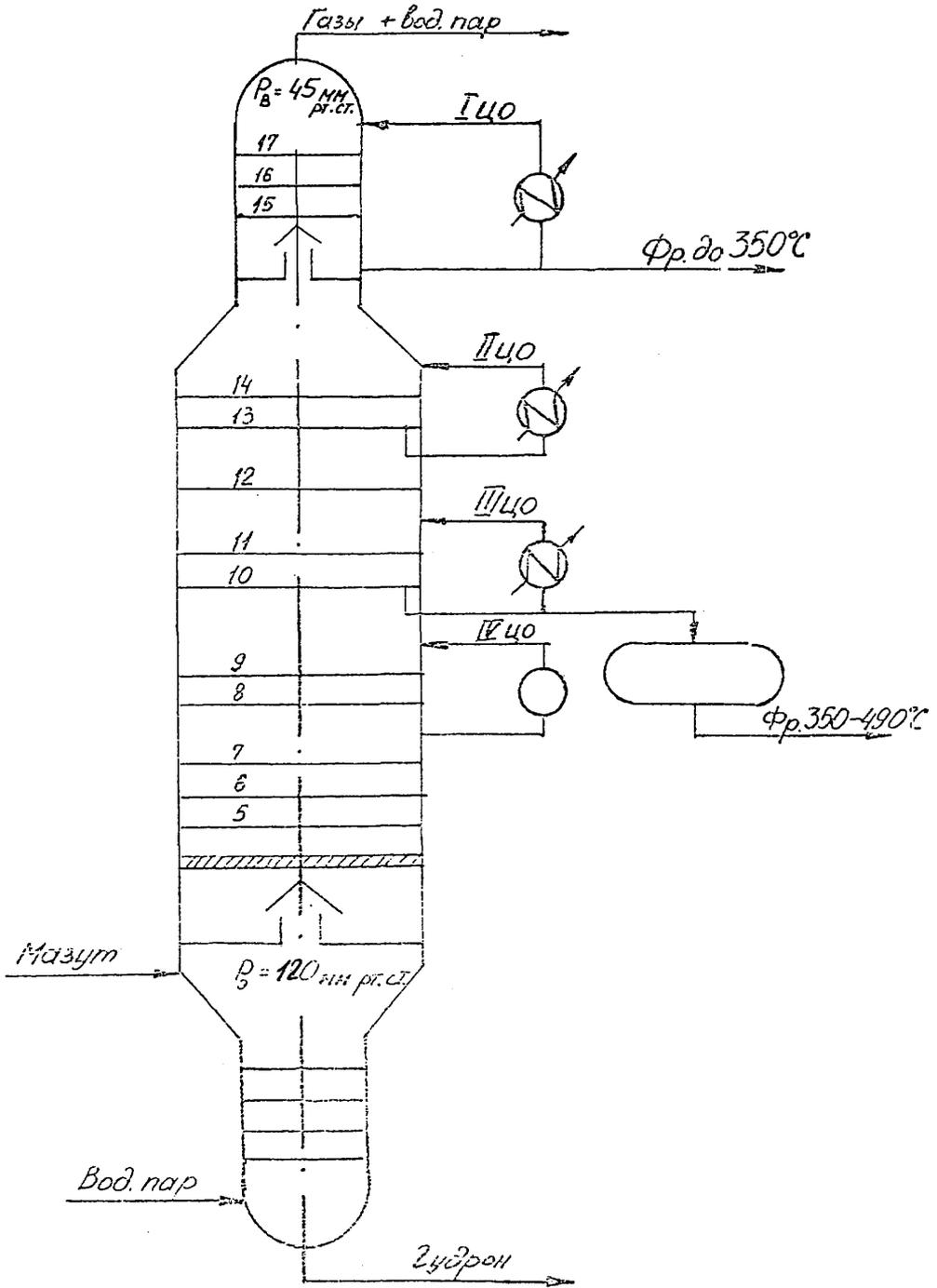
$$\Phi_0 = \left( \frac{V \cdot B}{Q \cdot S_0} \cdot \sqrt{\frac{R_n}{S_{ж}}} \right) \cdot L_v \dots (45)$$

ПРИЛОЖЕНИЕ 2  
Справочное

Пример расчета вакуумно-<sup>\*</sup> колонны перегонки мазута с клапанными прямоточными тарелками.

Наименование величин	Обозначение	Номера расчетных сечений					
		I-I (верх)	II-II	III-III	IV - IV	V-V	VI-VI
И с х о д н ы е                      д а н н ы е							
1. Объемный расход паров, м <sup>3</sup> /с	V	75,53	190,79	197,81	176,75	122,37	56,32
2. Плотность паров при рабочих условиях, кг/м <sup>3</sup>	$\rho_n$	0,134	0,465	0,645	0,720	0,760	0,338
3. Объемный расход жидкости, м <sup>3</sup> /ч	Q	132,89	650,00	575,44	373,68	196,05	379,82
4. Плотность жидкости при рабочих условиях, кг/м <sup>3</sup>	$\rho_{ж}$	790	750	735	730	740	800
5. Заданное гидравлическое сопротивление тарелки, Па	$\Delta P_z$			727,95 (5,46)			
6. Допустимый перепад давления в концентрационной части колонны, Па (мм рт. ст.)	$[\Delta P_k]$			9997,5 (75)			
7. Требуемый коэффициент увеличения нагрузки	$[\gamma_{max}]$			I, I			
8. Требуемый коэффициент уменьшения нагрузки	$[\gamma_{min}]$			0,668			
9. Коэффициент системы	K <sub>c</sub>			0,7			
10. Высота сливного порога, мм	h			40			

Схема вакуумной колонны перегонки мазута



Черт. 21.

Наименование величин	Обозначение	Номера расчетных сечений					
		I-I(верх)	II-II	III-III	IV-IV	V-V	VI-VI
Определение диаметра колонны							
Коэффициент $m_{\phi}$ по уравнению (2)	$m_{\phi}$	0,654	0,845	0,902	0,924	0,935	0,790
Принимаем расстояние между тарелками, мм	H	600	600	600	600	600	600
По графику (черт. I) при $L_v = 600$ (м.ч) определяем $\left[ \frac{\Phi_0}{m_{\phi}} \right]_{max}$		2I	2I	2I	2I	2I	2I
$[\Phi_{0_{max}}]$ по ур-ю(4)		13,73	17,75	18,94	19,40	19,64	16,59
$S_{0_{min}}$ по ур-ю(5)		2,493	9,293	10,765	9,940	6,920	2,430
$[W_{ж}]_{max}$ по ур-ю(6)		0,119	0,119	0,119	0,119	0,119	0,119
$[W_{ж}]_{max}$ по ур-ю(7)		0,138	0,134	0,133	0,132	0,133	0,139
$[W_{ж}]_{max}$ по ур-ю(8)		0,122	0,119	0,118	0,117	0,118	0,123
Принимаем максимально-допустимую скорость жидкости в перелибе, м/с	$[W_{ж}]_{max}$	0,119	0,119	0,118	0,117	0,118	0,119
Минимальное сечение перелива по ур-ю(9), м	$S'_{2_{min}}$	0,341	1,669	1,490	0,975	0,508	0,975
Оптимальная величина периметра слива по ур-ю(3)	$B_{opt}$	2,43	11,92	10,55	6,85	3,59	6,96

Наименование величин	Обозначение	Номера расчетных сечений					
		I-I(Верх)	II-II	III-III	IV-IV	V-V	VI-VI
По ОСТ26-02-1401-76 принимаем конструктивные параметры тарелок:							
Диаметр, м:	D	4500	9000	9000	9000	9000	4500
Число потоков	p	2	2	2	2	2	2
Тип/шаг рядов клапанов, мм		Б/50	Б/50	Б/50	Б/50	Б/50	Б/50
Свободное сечение тарелки/Относительное свободное сечение тарелки	$S/F_c$	2,542/ <sub>0,160</sub>	11,073/ <sub>0,174</sub>	11,073/ <sub>0,174</sub>	11,073/ <sub>0,174</sub>	11,073/ <sub>0,174</sub>	2,542/ <sub>0,160</sub>
Сечение перелива/Периметр слива	$S_2/B$	1,61/ <sub>5,34</sub>	4,97/ <sub>10,30</sub>	4,97/ <sub>10,30</sub>	4,97/ <sub>10,30</sub>	4,97/ <sub>10,30</sub>	1,61/ <sub>5,34</sub>
Длина пути жидкости, м:	$l$	1540	3320	3320	3320	3320	1540
Принимаем по табл.3 для $\varnothing 9000$ м: расстояние между тарелками	H	Расчет сделан в соответствии с таблицей					
Для $\varnothing 9000$ м: повторяем расчет по ур-ям(4)-(12)		900	900	900	900	900	
По графику(черт1)	$[\frac{\Phi}{\pi q}]_{max}$	26	26	26	26	26	
	$[\varphi_0]_{max}$	21,97	23,45	24,02	24,02	24,31	
	$S_{o,min}$	7,508	8,694	8,030	8,030	5,590	
По ур-ю (6)	$[W_{жс}]_{max}$	0,119	0,119	0,119	0,119	0,119	
По ур-ю (7)	$[W_{жс}]_{max}$	0,138	0,134	0,133	0,133	0,132	
По ур-ю (8)	$[W_{жс}]_{max}$	0,145	0,144	0,143	0,143	0,144	

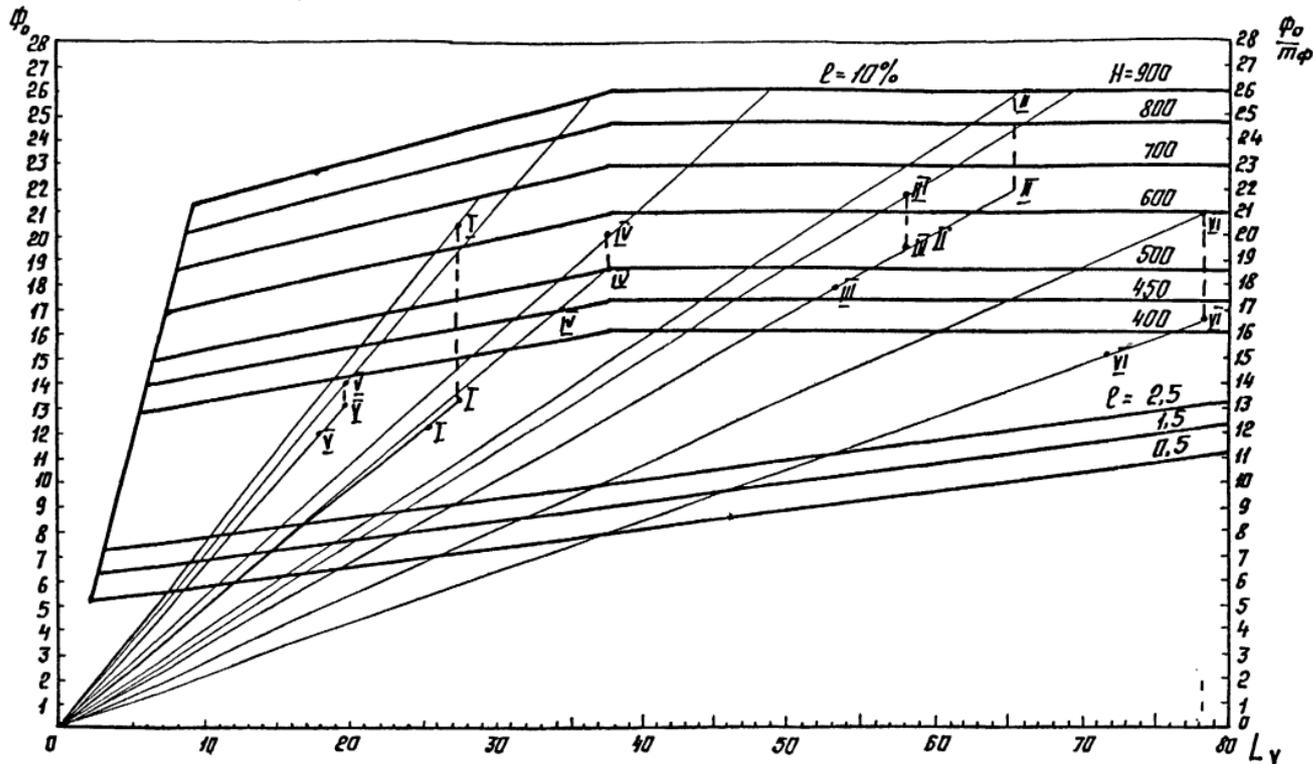
Наименование величин	Обозначение	Номера расчетных сечений					
		I-I(Верх)	II-II	III-III	IV-IV	V-V	VI-VI
Принимаем минимальную из 3-х величин	$[W_{\text{к}}]_{\text{max}}$		0,119	0,119	0,119	0,119	0,119
	$S_{2 \text{ min}}$		1,669	1,477	0,960	0,503	
По ОСТ26-02-140I-76 принимаем конструктивные параметры	D		9000	9000	9000	9000	
	p		2	2	2	2	
	$T_{\text{up}}/t$		A/50	A/50	A/50	A/50	
	$S_0/F_c$		10,375/0,163	10,375/0,163	10,375/0,163	10,375/0,163	
	$S_2/B$		6,21/10,92	6,21/10,92	6,21/10,92	6,21/10,92	
	$e$		3,140	3,140	3,140	3,140	
Расчет фактических нагрузок на тарелках							
Напряженность слива, МПа/(м.ч)	$L_v$	27,37	65,45	57,97	37,64	19,74	78,21
Подпор над сливным порогом, мм	$\Delta h$	25,79	46,15	42,46	31,86	19,96	51,97
Фактор паровой нагрузки в свободном сечении тарелки, кг/с.м <sup>2</sup>	$\Phi_0$	13,46	15,89	19,65	18,59	13,10	15,84
Фактор паровой нагрузки в свободном сечении тарелки при проектной нагрузке, кг/с.м <sup>2</sup>	$\Phi_{\text{пр}}$	12,24	14,45	17,86	16,90	11,91	14,40

Наименование величин	Обозначение	Номера расчетных сечений					
		I-I(Верх)	II-II	III-III	IV-IV	V-V	VI-VI
Приведенный фактор паровой нагрузки в свободном сечении тарелки, кг/с.м <sup>2</sup>	$\frac{\Phi_0}{m_p}$	20,57	18,81	21,78	20,12	14,01	20,02
Коэффициент уменьшения нагрузки	$\gamma_{min}$	0,589 < 0,668	0,719 > 0,668 <i>не выполняется</i>	0,513 < 0,668	0,494 < 0,668	0,668 = 0,668	0,694 > 0,668 <i>не выполняется</i>
Минимально-допустимый фактор паровой нагрузки в свободном сечении тарелки, кг/с.м <sup>2</sup>	$[\Phi_{min}]$	7,21	10,40	9,16	8,35	7,95	10,00
Максимально-допустимый фактор паровой нагрузки в свободном сечении тарелки, кг/с.м <sup>2</sup> (приведенный).	$[\frac{\Phi}{m_p}]_{max}$	19,2	26,0	26,0	26,0	25,8	21,0
Проверяем условие (20)		20,57 > 19,2 <i>не выполняется</i> Принимаем H=700мм	18,81 < 26,0	21,78 < 26,0	20,12 < 26,0	14,01 < 25,80	20,02 < 21,00
По графику (черт.1)	$[\frac{\Phi}{m_p}]_{max}$	21,50					
Проверяем условие (20)		20,57 < 21,50					
Максимальное свободное сечение тарелки по ур-ю (21), м <sup>2</sup>	$S_{o,max}$		9,656				2,445
Свободное сечение тарелки при t=75мм по ОСТ 26-02-1401-76			7,028				1,723

Наименование величин! Обозначение	Номера расчетных сечений						
	I-I(верх)	II-II	III-III	IV-IV	V-V	VI-VI	
Фактор паровой нагрузки в свободном сечении тарелки, полученный исходя из заданного гидравлического сопротивления, кг <sup>0,5</sup> /с.м <sup>0,5</sup>	$\Phi_0$	22,07				19,41	
Свободное сечение тарелки, полученной по заданному сопротивлению $\frac{\Sigma S_{0P}}{S_0}$ Принимаем	$\frac{\Sigma S_{0P}}{S_0}$	7,470 = 7,470 < 9,656				2,074 < 2,430 < 2,445	
Повторяем расчет по уравнениям (15)-(16), (18)-(20)	$\Phi_0$	22,00				16,57	
	$\Phi_{0пр}$	20,10				15,07	
	$\frac{\Phi_0}{m_{\Phi}}$	26,00				20,97	
По графику (черт.1)	$[\Phi_{0 min}]$	9,2				9,7	
	$\gamma_{min}$	0,46 < 0,668				0,65 < 0,668	
По графику (черт.1)	$[\frac{\Phi_0}{m_{\Phi}}]_{max}$	26,00 = 26,00				21,00 > 20,97	
Расчет гидравлического сопротивления							
По ур-ю (25)	$F_{\Sigma}$	11,95	19,03	16,86	15,9	11,24	14,81
По ур-ям (26), (27)	$\Delta P_{сух}$	311,96	646,57	507,56	451,35	308,03	391,61

Наименование величин	Обоз- наче- ние	Номера расчетных сечений					
		I-I	II-II	III-III	IV-IV	V-V	VI-VI
Гидравлическое сопротивление тарелки, Па (мм рт. ст.)	$\Delta P$	389,65 (2,92)	695,04 (5,21)	612,14 (4,59)	526,31 (3,94)	366,21 (2,75)	545,93 (4,1)
Перепад давления в кон- центрационной части ко- лонны, Па(мм рт. ст.)	$\Delta P_K$	3. 389,65 + 133,3 + 3. 695,04 + 2. 612,14 + 2. 526,31 + 3. 366,21 + + 133,3 + 133,3 = 7029,5 < 9997,5					
Гидравлическое сопротив- ление перелива, Па	$\Delta h_n$	31,07	169,29	130,00	54,51	15,18	257,94
Высота светлой жидкос- ти в переливе, мм	$h'_{ca}$	120,11	203,48	185,30	153,05	113,27	199,43
Коэффициент вспенивае- мости по уравнению(37)	K	2,25	2,25	2,34	2,45	2,55	2,00
Величина	$\frac{H+h}{K}$	328,9	417,8	401,7	383,7	368,6	320,00
Проверка условия(38)		120,11 < 328,9	203,48 < 417,8	185,3 < 401,7	153,05 < 383,7	113,27 < 368,6	199,43 < 320,0

Область эффективной работы клапанных прямоточных тарелок



Черт. 2.1.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. РТМ 26-02-26-73 "Колонны вакуумные.Методика гидравлического расчета".
2. ОСТ 26-02-1401-76 "Тарелки клапанные прямоточные для аппаратов колонного типа. Параметры, конструкция и основные размеры".
3. ОСТ 26-02-1402-76 "Тарелки клапанные прямоточные четырехпоточные колонных аппаратов. Параметры, конструкция и основные размеры."
4. ОН 26-02-29-66. Отраслевая нормаль. "Тарелки ректификационные клапанные прямоточные. Конструкция и основные размеры".
5. ОН 26-02-144-69. Отраслевая нормаль. "Тарелки ректификационные клапанные прямоточные четырехпоточные.Конструкция и основные размеры."
6. Методика гидравлического расчета клапанных тарелок "Глитч". Бюллетень №4900, Даллас, Техас.
7. Симонов В.А. "Исследование гидравлических характеристик тарельчатых колонн в условиях вакуумной ректификации" - кандидатская диссертация, Москва, 1981г.
8. Креймер М.Л. "Показатели работы вакуумного блока АВТ типа А-12/5 ", Нефтепереработка и нефтехимия, №6, 1975г.
9. Махтумов Д.Н., Одинцов О.К. и др. "Опыт эксплуатации клапанных прямоточных тарелок" , Эксплуатация, модернизация и ремонт оборудования, №12, 1975г.
10. РТМ 26-02- -83 "Тарелки ситчатые с отбойными элементами. Методы гидравлического расчета".

## УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

- $\Phi_0$  - фактор паровой нагрузки в свободном сечении тарелки,  $\frac{\text{кг}^{0,5}}{(\text{с.м}^{0,5})}$
- $\Phi_{0\text{пр}}$  - фактор паровой нагрузки в свободном сечении тарелки при проектных нагрузках,  $\frac{\text{кг}^{0,5}}{(\text{с.м}^{0,5})}$
- $[\Phi_{0\text{min}}]$  - минимально-допустимое значение фактора паровой нагрузки в свободном сечении тарелки,  $\frac{\text{кг}^{0,5}}{(\text{с.м}^{0,5})}$
- $\Phi_{0\text{р}}$  - фактор паровой нагрузки в свободном сечении тарелки, рассчитанный по заданному гидравлическому сопротивлению тарелки,  $\frac{\text{кг}^{0,5}}{(\text{с.м}^{0,5})}$
- $[\Phi_{0\text{max}}]$  - максимально-допустимое значение фактора паровой нагрузки в свободном сечении тарелки,  $\frac{\text{кг}^{0,5}}{(\text{с.м}^{0,5})}$
- A - численный коэффициент в уравнениях (29) и (30)
- $A_n$  - линейный размер наиболее узкого сечения в переливе, мм
- B - периметр слива, м
- $B_{\text{опт}}$  - оптимальная величина периметра слива, м
- D - диаметр колонны, м
- e - относительная величина межтарельчатого уноса жидкости, вычисляемая как отношение веса унесенной жидкости к весу паров, кг/кг
- $F_{s_0}$  - фактор скорости паров в свободном сечении тарелки,  $\frac{\text{кг}^{0,5}}{(\text{с.м}^{0,5})}$
- H - расстояние между тарелками, мм
- h - высота сливного порога, мм
- $\Delta h$  - подпор над сливным порогом, мм
- $\Delta h_n$  - гидравлическое сопротивление перелива, Па
- $h'_{c_0}$  - уровень светлой жидкости в переливе, мм
- $K_c$  - коэффициент системы (коэффициент запаса, учитывающий склонность систем к пенообразованию)
- K - коэффициент вспениваемости (безразмерный)

- $\ell$  - длина пути жидкости (одного потока), м  
 $L_v$  - напряженность слива, м<sup>3</sup>/(м.ч)  
 $L_{v_{пр}}$  - напряженность слива при проектных нагрузках, м<sup>3</sup>/(м.ч)  
 $m_{\phi}$  - коэффициент, учитывающий влияние физических свойств парожидкостной системы на величину межтарельчатого уноса жидкости  

$p$  - число потоков на тарелке  
 $\Delta P_z$  - заданное гидравлическое сопротивление тарелки, Па  
 $\Delta P$  - гидравлическое сопротивление тарелки, Па  
 $[\Delta P_K]$  - допустимый перепад давления в концентрационной части колонны, Па  
 $\Delta P_K$  - перепад давления в концентрационной части колонны, Па  
 $\Delta P_{сух}$  - гидравлическое сопротивление сухой тарелки, Па  
 $\Delta P_{ж}$  - гидравлическое сопротивление газожидкостного слоя на тарелке, Па  
 $Q$  - объемный расход жидкости при рабочих условиях, м<sup>3</sup>/ч  
 $S_0$  - свободное сечение тарелки, м<sup>2</sup>  
 $S_0^{min}$  - минимальное свободное сечение тарелки, м<sup>2</sup>  
 $S_0^{max}$  - максимальное свободное сечение тарелки, рассчитанное по требуемому коэффициенту уменьшения нагрузки, м<sup>2</sup>  
 $S_p$  - свободное сечение тарелки, рассчитанное по заданному гидравлическому сопротивлению тарелки, м<sup>2</sup>  
 $S_2$  - сечение перелива, м<sup>2</sup>  
 $S_2^{min}$  - минимальное сечение перелива, м<sup>2</sup>  
 $t$  - шаг рядов клапанов, мм  
 $V$  - объемный расход паров при рабочих условиях, м<sup>3</sup>/с  
 $W_{ж}$  - скорость жидкости в переливе, м/с  
 $[W_{ж, max}]$  - максимально-допустимая скорость жидкости в переливе, м/с  
 $\mu_n$  - динамическая вязкость паров при рабочих условиях, Па.с  
 $\rho_n$  - плотность паров при рабочих условиях, кг/м<sup>3</sup>  
 $\rho_{ж}$  - плотность жидкости при рабочих условиях, кг/м<sup>3</sup>

$\rho'_{ж}$  - относительная плотность жидкости, вычисляемая как плотность жидкости при рабочих условиях, деленная на плотность воды при 4°С ( $\rho'_{ж} = \rho_{ж} \cdot 10^{-3}$ )

$\sigma$  - поверхностное натяжение, Н/м

$[\varphi_{min}]$  - требуемый коэффициент уменьшения нагрузки

$\varphi_{min}$  - коэффициент уменьшения нагрузки

$[\varphi_{max}]$  - требуемый коэффициент увеличения нагрузки

$\frac{\Phi_0}{m_{\varphi}}$  - приведенный фактор паровой нагрузки в свободном сечении тарелки,  $\frac{\text{кг}^{0,5}}{(\text{с.м}^{0,5})}$

$\left[ \frac{\Phi_0}{m_{\varphi}} \right]_{max}$  - максимально-допустимое значение приведенного фактора паровой нагрузки в свободном сечении тарелки,  $\frac{\text{кг}^{0,5}}{(\text{с.м}^{0,5})}$

кпд - коэффициент полезного действия тарелки

## СОДЕРЖАНИЕ

1. Характеристика типов тарелок, применяемых в вакуумных колоннах . . . . .	2
2. Основные положения гидравлического расчета вакуумных колонн . . . . .	3
3. Исходные данные проектного расчета вакуумных колонн с клапанными прямоточными тарелками . . . . .	4
4. Проектный расчет вакуумных колонн с клапанными прямоточными тарелками . . . . .	4
5. Поверочный расчет вакуумных колонн с клапанными прямоточными тарелками . . . . .	15
Приложение 1 . . . . .	17
Приложение 2 . . . . .	18
Список использованных источников . . . . .	27
Условные обозначения . . . . .	28

Зам. директора института

*Мамонтов*

Г.В.Мамонтов

Зав. отделом №41

*Э.Г. Стамбулян*

Э.Г.Стамбулян

Зав. отделом №17

*В.А. Шейнман*

В.А.Шейнман

Зав. лабораторией №17Л1, к.т.н.

*Ю.Н. Лебедев*

Ю.Н.Лебедев

Зав. сектором отдела №41

*Т.В. Булчинская*

Т.В.Булчинская

Гл. конструктор проекта

*Ю.Э. Вольшонок*

Ю.Э.Вольшонок

Ответственный исполнитель, ст. науч. сотр. *Зильберберг* И.А.Зильберберг

УТВЕРЖДАЮ

Председатель ТК 260 "Оборудование  
химическое и нефтегазоперераба-  
тывающее"



И.Заваров

Лист утверждения

Изменение №1

РТМ 26-02-26-83 " Колонны вакуумные.  
Методы гидравлического расчета".

Исполнители :

АОот "ВНИИНЕФТЕМАШ"  
Заместитель генерального  
директора



Заведующий отделом №5

Заведующий отделом №3

Старший научный сотрудник

Ведущий инженер

*В. В. Гуревич*  
В.В.Гуревич

*Б. Н. Семанидо*  
Б.Н.Семанидо

*Т. В. Булчинокая*  
Т.В.Булчинокая

*В. Е. Вайсман*  
В.Е.Вайсман

*Н. Д. Джалилова*  
Н.Д.Джалилова

Извещение  
об изменении

№1

РТУ26-02-26-83

Дата введения 01.06.97

Изм.	Содержание изменения	Лист	Листов
		I	I
I			

Пункт 4.2.3. Абзац 3. Девятая строка.

После слов "Применение отбойных элементов" дополнить словами "укомплектованных насадкой из сетки рукавной по ТУ26-02-1172-96"

По всему тексту руководящего документа заменить

ОСТ26-02-1401-76 на АТК26-02-1-89

ОСТ26-02-1402-76 на АТК26-02-2-89

Пункт 4.2.3. ОСТ26-02-2054-79 заменить на АТК26-02-3-89.