

МИНОБРНАУКИ РОССИИ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ Н.Г.ЧЕРНЫШЕВСКОГО»**

Кафедра нефтехимии и техногенной безопасности

**Сравнительный анализ пленочной колонны для работы в составе  
установки первичного разделения нефти**

АВТОРЕФЕРАТ БАКАЛАВРСКОЙ РАБОТЫ

студента (ки) 4 курса 431 группы  
направления 18.03.01 «Химическая технология»  
код и наименование направления, специальности  
Института химии

Жалпаковой Альбины Имангалиевны

Научный руководитель  
д.х.н., профессор  
должность, уч. ст., уч. зв. \_\_\_\_\_ подпись, дата \_\_\_\_\_  
И.А.Никифоров  
инициалы, фамилия

Заведующий кафедрой  
д.х.н., профессор  
должность, уч. ст., уч. зв. \_\_\_\_\_ подпись, дата \_\_\_\_\_  
Р.И. Кузьмина  
инициалы, фамилия

Саратов 2021 год

## **Введение**

**Актуальность темы** обусловлена значимостью уровня оптимизации конструктивного исполнения установок первичной переработки нефти для получения углеводородных фракций, от чистоты которых зависит эффективность последующих процессов и качество товарных продуктов.

Нефть состоит из множества фракций, которые различаются по свойствам, областям применения и применяемым технологиям переработки. Выбор направления переработки нефти зависит, прежде всего, от химического и фракционного состава нефти.

Современное нефтепромысловое производство располагает технологическим оборудованием для первоначальной подготовки или стабилизации нефти до требований ГОСТ к товарной нефти для дальнейшей ее перекачки и переработки .

В настоящее время переработка нефти на НПЗ основана, в первую очередь, на процессе разделения бинарных, многокомпонентных или непрерывных смесей на практически чистые компоненты или их смеси (фракции), отличающиеся температурами кипения (для бинарных и многокомпонентных смесей) или интервалами выкипания (для непрерывных смесей) .

**Целью работы** является исследование первичной переработки нефти, а также разных видов контактных устройств ректификационных колонн, выявление достоинств и недостатков каждого вида, рассмотрение оборудования, используемое в процессе ректификации, проведение сравнительного анализа двух методов ректификации барбатажной и пленочной.

**Структура и объем работы.** Автореферат состоит из введения, основного содержания работы и заключения. Текст сопровождается 5 рисунками.

## **Основное содержание работы**

### ***Пленочная колонна***

Пленочная тепло- и массообменная аппаратура наиболее перспективна для проведения процессов ректификации под вакуумом, смесей, обладающих малой термической стойкостью при нагревании (например, различные мономеры полимеры, а также другие продукты органического синтеза), так как она проста в конструктивном исполнении, обладает низким гидравлическим сопротивлением, высокой массообменной эффективностью, малым временем пребывания обрабатываемого продукта в аппарате, что позволяет значительно сократить застойные зоны и тем самым уменьшить накопление отложений в аппарате[31]. Все это вызывает определенный интерес к их применению. Недостатки пленочных колонн: ограниченность их высоты и диаметра (из-за сложности изготовления), а также высоки эксплуатационные расходы.

Принцип работы пленочной установки следующий : жидкость стекает по стенкам канала под действием силы тяжести, а газ (пар) поднимается по каналу снизу вверх, контактируя с наружным слоем жидкости.

Осуществление термической ректификации в пленочных аппаратах позволяет интенсифицировать исчерпывание легколетучего компонента из жидкости не только за счет массообмена между фазами, но и путем целенаправленного воздействия на процесс термическими эффектами, вызванными испарением и конденсацией. Ранее термическую ректификацию исследовали в пленочных аппаратах путем проведения парциальной конденсации паров на пленкообразующей поверхности, схема такого аппарата представлена на рис. 1.7 а. Известны установки , в которых для интенсификации процесса термической ректификации использовали дополнительный подвод пара (теплоносителя) со стороны пленкообразующей поверхности, рис. 1.,7 б.[32]

Дополнительный подвод теплового потока через стенку пленкообразующей поверхности интенсифицирует массообмен, как в паровой,

так и в жидкой фазе обеспечивая увеличение эффективности процесса разделения, которая возрастает с уменьшением разности температуры между кипением стекающей пленки температурой теплоносителя [34]. В этой связи при разработке исчерпывающей пленочной колонны целесообразно осуществлять парциальную конденсацию на поверхности стекающей рабочей жидкости, так и осуществлять испарение, вызванное при контакте поднимающихся в колонне паров на ректификацию и дополнительных паров испарения, полученных при подводе теплового потока с противоположной стороны пленкообразующей поверхности, схема такой пленочной колонны представлена на рис. 1.7 в [35].

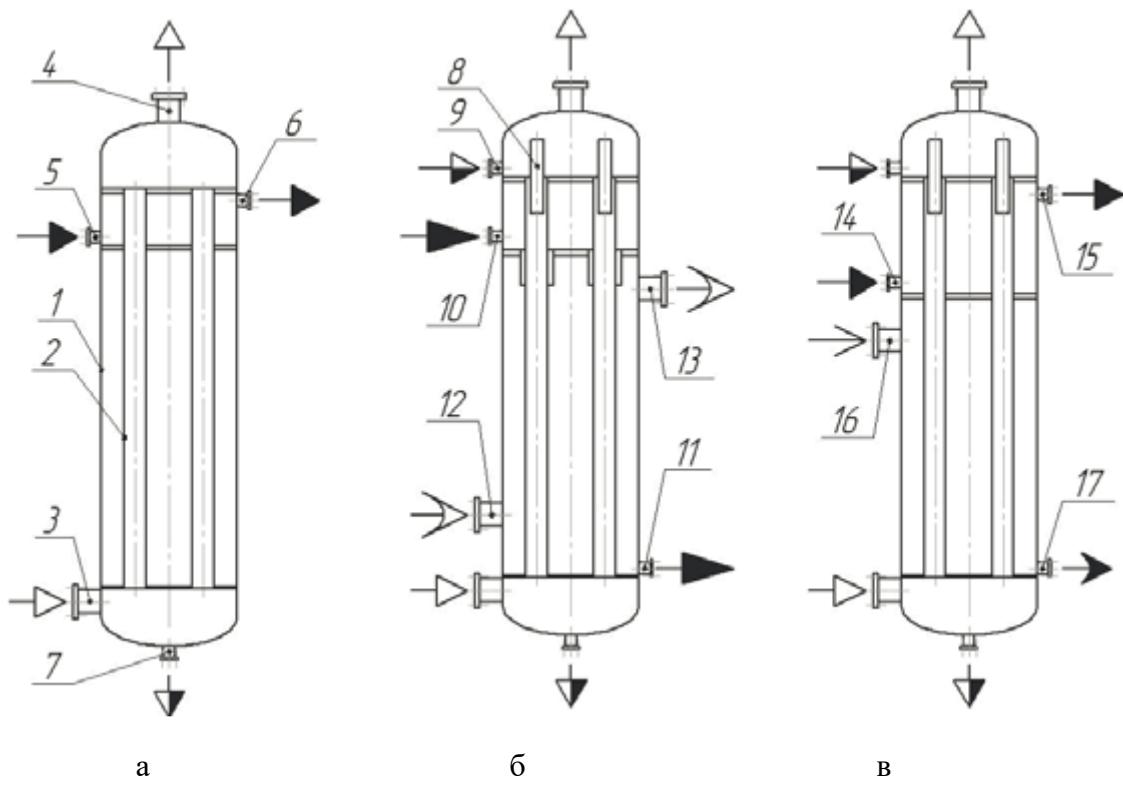


Рис. 1.7 Схемы пленочных колонн: 1 –корпус; 2 – труба; 3 –штуцер ввода пара на ректификацию; 4 –штуцер вывода пара; 5 –штуцер ввода охлаждающей воды; 6 –штуцер вывода воды; 7 –штуцер вывода рабочей смеси; 8 –газовый патрубок; 9 –штуцер ввода рабочей смеси; 10, 11, 12, 13 –штуцера ввода и вывода теплоносителей; 14, 15 –штуцера ввода и вывода охлаждающей воды; 16 –штуцер ввода дополнительного пара; 17 –штуцер вывода конденсата; → – вода; → – пар; → – рабочая смесь; → – конденсат; → – жидкостной теплоноситель; → – теплоноситель; → – дополнительный пар

## ***Технология и состав оборудования современного НПЗ***

Комплекс мини-НПЗ предназначен для первичной переработки углеводородного сырья. В результате переработки нефти на установке могут быть получены следующие продукты:

- прямогонная бензиновая фракция;
- прямогонное дизельное топливо;
- топливный мазут.

Процесс переработки нефти на установке осуществляется путем непрерывной ректификации сырья в ректификационных колоннах. В качестве ректификационных колонн, используемых на установке, были выбраны колонны насадочного типа с регулярной насадкой типа Mellapak, которые имеют значительные преимущества:

- высокая эффективность,
- большой диапазон производительности,
- низкое гидравлическое сопротивление насадки.

Оборудование установки выполнено в виде блочно-модульных конструкций в максимальной заводской готовности и состоит из следующих технологических блоков:

- блок теплообменников, предназначенные для нагрева нефти и охлаждения дизельной фракции и мазута;
- блок конденсации, предназначенный для конденсации пара светлых нефтепродуктов;
- ректификационная колонна К-1, предназначенная для разделения нефти, поступающей от нагревательной печи на два продукта - пары светлых нефтепродуктов (идущих верхом колонны) и мазут (жидкость, идет низом колонны);
- ректификационная колонна К-2, предназначенная для разделения светлых нефтепродуктов, поступающих из колонны К-1 на два продукта - пары бензиновой фракции (идущих верхом) и фракции дизельного топлива (жидкость, идет низом колонны);

- блок холодильников, предназначенный для конденсации углеводородных паров, охлаждения фракций бензина, дизельного топлива и мазута;
- блок испарителя, предназначенный для отпарки бензиновой фракции из дизельного топлива;
- блок технологических насосов, предназначен для подачи нефти на установку, перемещения нефти и нефтепродуктов в пределах установки, откачки нефтепродуктов по установке;
- блок испарительных колонн, предназначенный для стабилизации нефти, путем удаления растворенных газов и легкой бензиновой фракции. А также создание запаса нефти для подачи его на переработку.

### *Описание колонны К1 мини НПЗ*

Для подробного анализа рассмотрим установку ЭЛОУ-АВТ-6 Саратовского НПЗ, которая предназначена для переработки сырой нефти с целью получения продуктов первичной переработки сырья:

- установок каталитического риформинга,
- гидроочистки,
- производства битума и компонентов товарных нефтепродуктов.

В качестве сырой нефти используется смесь нефтей: нефть, поступающая по трубопроводу «Самара-Лисичанск», саратовская нефть, поступающая по трубопроводу, а также, дозируемые с установки ЭЛОУ-5, легкая нефть (нефть) и газовый конденсат, поставляемые железнодорожным транспортом, и ловушечный продукт.

При производстве авиационного топлива наличие в составе сырой нефти продуктов деструктивной переработки и ловушечных нефтепродуктов не допускается.

Из сырой нефти, поступающей на установку ЭЛОУ-АВТ-6, на блоке обессоливания удаляются хлористые соли, вода и механические примеси.

Обессоленная и обезвоженная нефть с блока ЭЛОУ по схеме прямого питания поступает на атмосферный блок установки, где отбираются светлые фракции бензина, керосина, дизельного топлива, а мазут подается на вакуумный блок для получения вакуумного газойля и гудрона.

Отбираемые на блоке АТ, с верха колонн К-1, К-2, бензиновые фракции направляются на блок стабилизации. Получаемый углеводородный газ подвергается очистке от сероводорода раствором МЭА в абсорбере К-12 и используется в качестве технологического топлива.

### *Расчет колонны К1*

#### ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ РАСЧЕТА

Проведём технологический расчет отбензинивающей колонны мощностью 6 млн т в год по нефти, разгонка (ИТК) которой представлены в табл.1. В качестве дистиллята предусмотрим отбор фракции легкого бензина Н.К.-85оС. Плотность нефти  $\rho_4^{20} = 0,8393$ .

#### МИНИМАЛЬНОЕ ЧИСЛО ТЕОРЕТИЧЕСКИХ ТАРЕЛОК

Определяем минимальное число теоретических тарелок в колонне:

$$N_{\min} = \frac{\lg \Psi_3}{\lg \alpha_3} = \lg(31,60878)/\lg(1,35547) = 11,35433$$

#### СОСТАВ ДИСТИЛЛЯТА И ОСТАТКА

Рассчитываем составы дистиллята и остатка по формулам:

$$X'_{Di} = \frac{X'_{Fi} \cdot \Psi_i}{1 + E'(\Psi_i - 1)}$$

$$X'_{Wi} = \frac{X'_{Fi}}{1 + E'(\Psi_i - 1)}$$

При верном подборе ТЕ выполняются условия:

$$\sum_{i=1}^n X'_{Di} = 1$$

$$\sum_{i=1}^n X'_{Wi} = 1$$

## МАТЕРИАЛЬНЫЙ БАЛАНС КОЛОННЫ

Таблица 1.7 Материальный баланс колонны

<b>ФРАКЦИЯ</b>	<b>СЫРЬЁ</b>				
	% мольн.	кмоль/ч	% масс.	кг/ч	тыс т/г
28-58	5,62427	236,04052	2,08843	15356,08824	125,30568
58-72	5,12050	214,89827	2,12898	15654,26471	127,73880
72-85	4,45738	187,06836	1,98705	14610,64706	119,22288
85-102	5,74712	241,19664	2,76767	20350,54412	166,06044
102-140	14,03947	589,21173	7,77585	57175,33824	466,55076
140-180	13,00545	545,81585	8,72882	64182,48529	523,72908
180-240	16,11139	676,16674	13,64575	100336,38235	818,74488
240-350	19,44219	815,95470	23,55057	173165,98529	1413,03444
350-К.К.	16,45224	690,47140	37,32688	274462,38235	2239,61304
Итого	100	4196,82420	100	735294,11765	6000
<b>ФРАКИЯ</b>	<b>ДИСТИЛЛИАТ</b>				
	% мольн.	кмоль/ч	% масс.	кг/ч	тыс т/г
28-58	36,99471	236,02893	33,51556	15355,33404	125,29953

58-72	33,44424	213,37665	33,92609	15543,42239	126,83433
72-85	24,92262	159,00811	27,10663	12419,05000	101,33945
85-102	4,62866	29,53116	5,43842	2491,64030	20,33178
102-140	0,00984	0,06277	0,01329	6,09086	0,04970
140-180	0	0	0	0	0
180-240	0	0	0	0	0
240-350	0	0	0	0	0
350-К.К.	0	0	0	0	0
Итого	100	638,008	100	45815,538	373,855
ФРАКЦИЯ	О С Т А Т О К				
	% мольн.	кмоль/ч	% масс.	кг/ч	тыс т/г
28-58	0,00033	0,01159	0,00011	0,75419	0,00615
58-72	0,04276	1,52162	0,01608	110,84232	0,90447
72-85	0,78847	28,06025	0,31786	2191,59706	17,88343
85-102	5,94764	211,66547	2,59020	17858,90382	145,72866
102-140	16,55463	589,14896	8,29166	57169,24738	466,50106
140-180	15,33700	545,81584	9,30884	64182,48519	523,72908
180-240	18,99976	676,16674	14,55250	100336,38235	818,74488
240-350	22,92769	815,95470	25,11550	173165,98529	1413,03444
350-К.К.	19,40171	690,47140	39,80724	274462,38235	2239,61304
Итого	100	3558,817	100	689478,580	5626,145

## ОПТИМАЛЬНОЕ ФЛЕГМОВОЕ ЧИСЛО. ОПТИМАЛЬНОЕ ЧИСЛО ТЕОРЕТИЧЕСКИХ ТАРЕЛОК

Приведём два способа расчёта оптимального флегмового числа.

Графический способ Джиллиленда

- а) Задаёмся коэффициентом избытка флегмы  $\sigma_i = (1,1 \dots 1,8)$ .
- б) Рассчитываем флегмовые числа:

$$R_i = \sigma_i \cdot R_{\min}$$

Например,  $R_1 = 1,1 \cdot 2,997 = 3,2967$ .

в) Находим параметр  $X_i$ :

$$X_i = \frac{R_i - R_{\min}}{R_i + 1}$$

$$X_1 = \frac{3,2967 - 2,997}{3,2967 + 1} = 0,06975$$

Например,

г) Находим параметр  $Y_i$ :

$$Y_i = 1 - \exp \left[ \left( \frac{1 + 54,4 \cdot X_i}{11 + 117,2 \cdot X_i} \right) \left( \frac{X_i - 1}{\sqrt{X_i}} \right) \right]$$

$$Y_1 = 1 - \exp \left[ \left( \frac{1 + 54,4 \cdot 0,06975}{11 + 117,2 \cdot 0,06975} \right) \left( \frac{0,06975 - 1}{\sqrt{0,06975}} \right) \right] = 0,58551$$

Например,

д) Находим число теоретических тарелок  $N$  из уравнения:

$$N_i = \frac{Y_i + N_{\min}}{1 - Y_i}$$

$$N_1 = \frac{0,58551 + 11,35433}{0,58551} = 28,80615$$

Например,

е) Находим величину  $N_i(R_i+1)$ .

Например,  $N_1(R_1+1) = 28,80615 \cdot (3,2967+1) = 123,7701$

Расчёты приведены в таблице 1.11

Таблица 1.11 Расчёт параметров  $R_{\text{опт}}$  и  $N_{\text{опт}}$

$\sigma_i$	$R_i$	$x_i$	$y_i$	$N_i$	$N_i(R_i+1)$
1,1	3,2967	0,0698	0,5855	28,8061	123,7701
1,2	3,5964	0,1304	0,5236	24,9345	114,6078
1,3	3,8960	0,1836	0,4747	22,5177	110,2480
1,4	4,1957	0,2307	0,4348	20,8571	108,3680
1,5	4,4954	0,2727	0,4015	19,6433	107,9485
1,6	4,7951	0,3103	0,3734	18,7153	108,4577
1,7	5,0948	0,3442	0,3491	17,9813	109,5928
1,8	5,3945	0,3749	0,3280	17,3851	111,1697

ж) Строим график  $N_i(R_i+1)=f(R_i)$ :

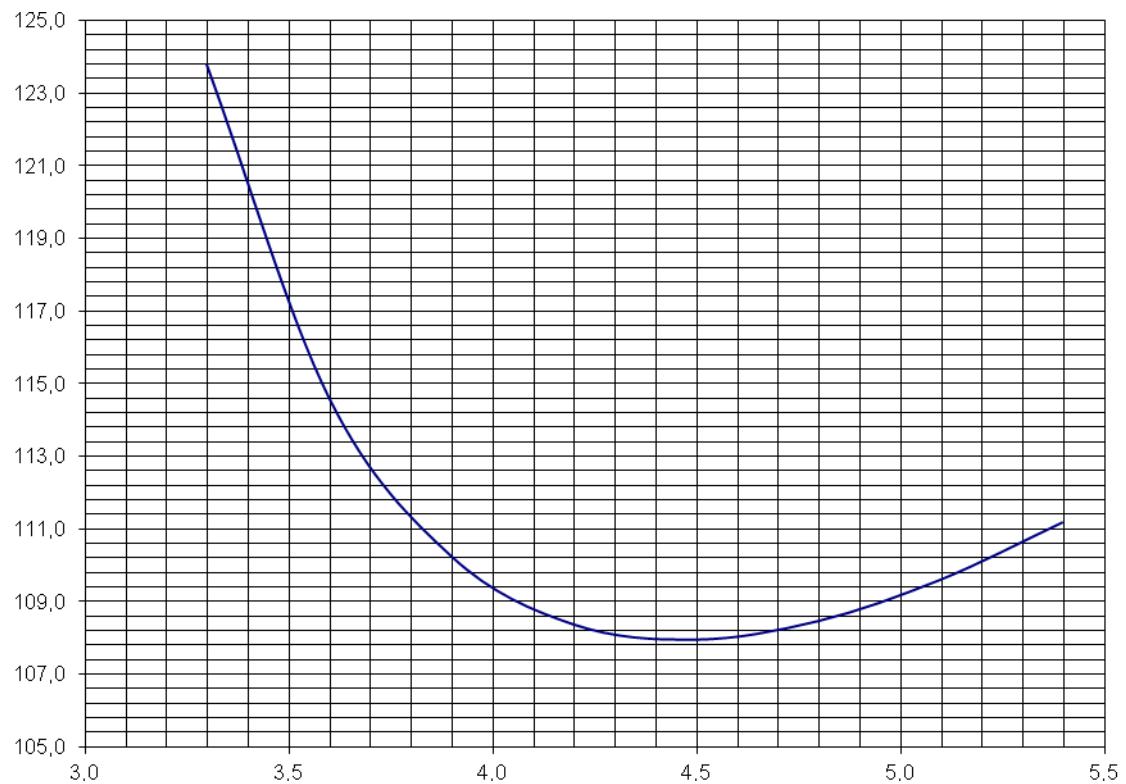


Рис.1.10 График зависимости параметра  $N_i(R_i+1)$  от флагмового числа

Минимум на полученной кривой соответствует искомым параметрам:  
 $R_{\text{опт}}=4,45$ ;  $N_{\text{опт}}=19,65$ ;  $\sigma_{\text{опт}}=1,5$ .

Аналитический вариант расчёта (по приближённым уравнениям):

$$R_{\text{опт}} = 1,35 \cdot R_{\text{min}} + 0,35$$

$$R_{\text{опт}} = 1,35 \cdot 2,9967 + 0,35 = 4,3959$$

$$N_{\text{опт}} = 1,7 \cdot N_{\text{min}} + 0,7$$

$$N_{\text{опт}} = 1,7 \cdot 11,35433 + 0,7 = 20,0024$$

Таким образом, оба способа дают довольно близкие результаты. Принимаем к дальнейшим расчётам данные более точного графического способа.

## ДИАМЕТР КОЛОННЫ

Диаметр колонны рассчитывается по наиболее нагруженному сечению по парам. В нашем случае в верхней части колонны расход паровой фазы больше в  $7,8327/2,5964 = 3,02$  раза, чем в нижней (см. раздел 11).

Примем расстояние между тарелками 600 мм, затем проверим соответствие этой величины и рассчитанным диаметром колонны.

Диаметр рассчитывается из уравнения расхода:

$$D_K = \sqrt{\frac{4 \cdot V_{\Pi}}{3,14 \cdot W_{\max}}} \text{, м}$$

где  $V_{\Pi}$  – объёмный расход паров, м<sup>3</sup>/с;

$W_{\max}$  – максимальная допустимая скорость паров, м/с

$$W_{\max} = 8,47 \cdot 10^{-5} \cdot C_{\max} \sqrt{\frac{\rho_{\text{ж}} - \rho_{\text{п}}}{\rho_{\text{п}}}}, \text{ м/с}$$

где  $C_{\max}$  – коэффициент, зависящий от типа тарелки, расстояния между тарелками, нагрузки по жидкости;  
 $\rho_{\text{ж}}$  и  $\rho_{\text{п}}$  – плотность жидкой и паровой фазы, кг/м<sup>3</sup>.

$$C_{\max} = K_1 \cdot K_2 \cdot C_1 - K_3(\lambda - 35)$$

Значение коэффициента  $C_1$  определяем по графику в зависимости от принятого расстояния между тарелками (см. приложение).  $C_1 = 1050$ .

Коэффициент  $K_3 = 5,0$  для струйных тарелок, для остальных тарелок  $K_3 = 4,0$ .

Коэффициент  $\lambda$  находится по уравнению:

$$\lambda = \frac{0,655 \cdot L_{\text{ж}}}{\rho_{\text{ж}}} \sqrt{\frac{K_1 \cdot C_1}{V_{\text{п}} \cdot 3600}} \sqrt{\frac{\rho_{\text{ж}} - \rho_{\text{п}}}{\rho_{\text{п}}}},$$

где  $L_{\text{ж}}$  – массовый расход жидкой фазы в верхней части, кг/ч;

Коэффициент  $K_1$  принимается в зависимости от конструкции тарелок.

Клапанная тарелка~1,15

$$\lambda = \frac{0,655 \cdot 203879}{593,26} \sqrt{\frac{1,15 \cdot 1050}{7,8327 \cdot 3600}} \sqrt{\frac{593,26 - 8,86}{8,86}} = 132,75$$

Ч1 Разработан чертеж пленочной колонны с учетом эффективности работы колонн разной конструкции

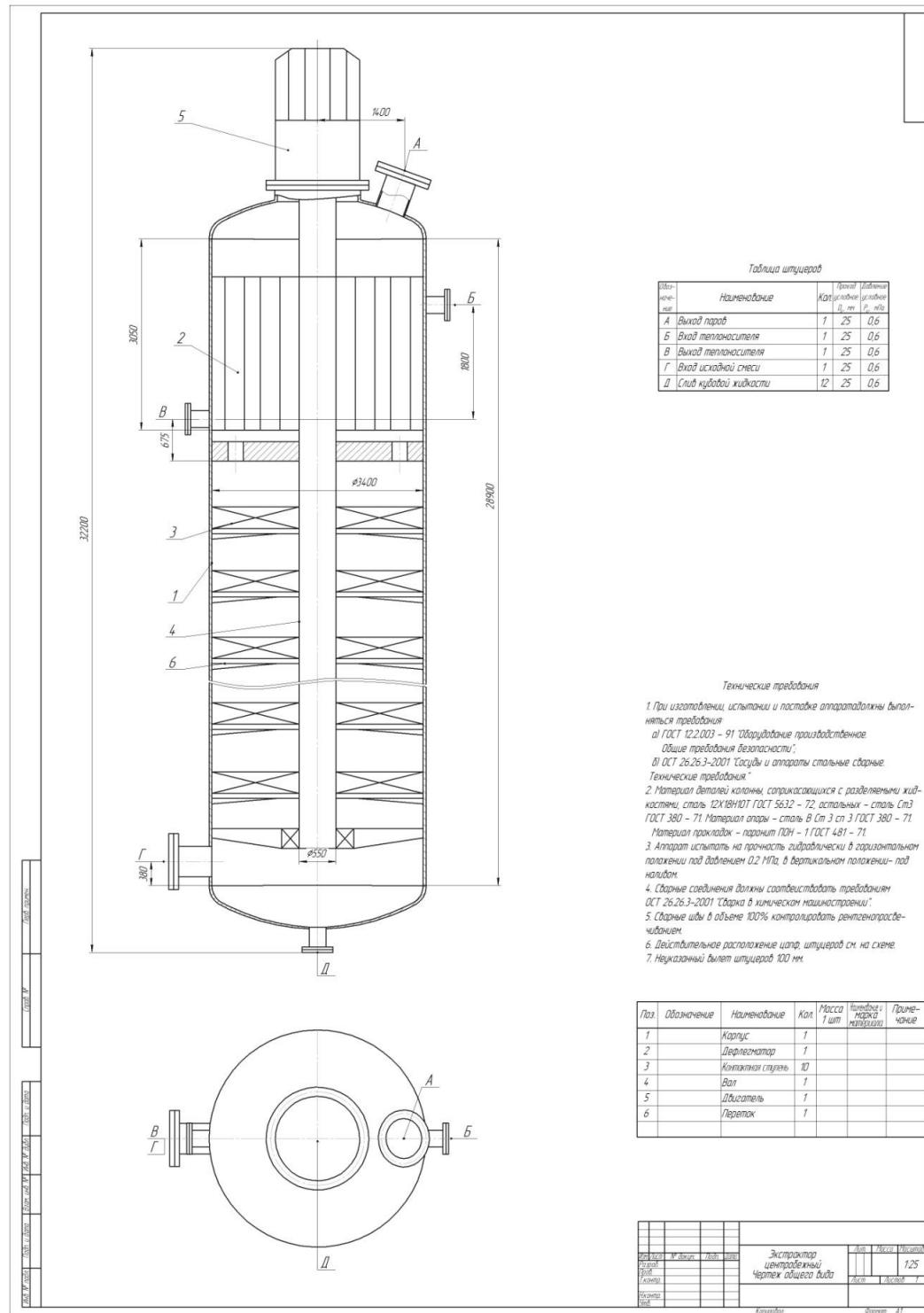


Рис. 1.12 Чертеж пленочной ректификационной колонны

## **ВЫВОД:**

- 1) проведен обзор литературы современных и перспективных ректификационных колонн с новыми контактными устройствами, выявили их преимущества и недостатки.
- 2) Разработали предложение по замене тарельчатой ректификационной колонны на пленочную ректификационную колонну  
Разработали пленочную ректификационную колонну с диаметром 3,4 м. и высотой 32,2 м и сделали чертеж.
- 3) Проведен сравнительный анализ габаритов колпачковой и пленочной колонны, показано, что пленочные колонны имеют меньше габариты, большую производительность при одинаковых условиях, но требуют работу электродвигателя и содержат движущиеся части, что приведут к меньшему сроку службы.