

СХІДНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
імені Володимира Даля

Факультет \_\_\_\_\_ інженерії \_\_\_\_\_  
(повне найменування факультету)  
Кафедра \_\_\_\_\_ хімічної інженерії та екології \_\_\_\_\_  
(повна назва кафедри)

**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА**

до дипломного проекту (роботи)

освітньо-кваліфікаційного рівня \_\_\_\_\_ бакалавр \_\_\_\_\_  
(бакалавр, спеціаліст, магістр)

напряму підготовки \_\_\_\_\_ 16 – хімічна та біоінженерія \_\_\_\_\_  
(шифр і назва напряму підготовки)

спеціальності \_\_\_\_\_ 161 – Хімічні технології та інженерія \_\_\_\_\_  
(шифр і назва спеціальності)

на тему: Проект установки отримання МТБЕ потужністю 38 тис. т/рік

Виконав: студент групи \_\_\_\_\_ ХТ-17Ді \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_ Орунбаєва Гузал \_\_\_\_\_  
(прізвище, та ініціали) (підпис)

Керівник \_\_\_\_\_ Потапенко Е.В. \_\_\_\_\_  
(прізвище та ініціали) (підпис)

Завідувач кафедрою \_\_\_\_\_ Суворін О.В. \_\_\_\_\_  
(прізвище та ініціали) (підпис)

Рецензент \_\_\_\_\_ Целіщев О.Б. \_\_\_\_\_  
(прізвище та ініціали) (підпис)

Севєродонецьк – 2021 р.

**СХІДНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
імені Володимира Даля**

Факультет \_\_\_\_\_ інженерії \_\_\_\_\_  
Кафедра \_\_\_\_\_ хімічної інженерії та екології \_\_\_\_\_  
Освітньо-кваліфікаційний рівень \_\_\_\_\_ бакалавр \_\_\_\_\_  
(бакалавр, спеціаліст, магістр)  
Напрямок підготовки \_\_\_\_\_ 16 – хімічна та біоінженерія \_\_\_\_\_  
(шифр і назва)  
Спеціальність \_\_\_\_\_ 161 – Хімічні технології та інженерія \_\_\_\_\_  
(шифр і назва)

**ЗАТВЕРДЖУЮ:**

Зав. кафедрою ХІЕ

О.В. Суворін

" \_\_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 2021р.

**ЗАВДАННЯ**

**НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ (РОБОТУ) СТУДЕНТУ**

Орунбаєвій Гузал

**1. Тема проекту (роботи):**

Проекту установки  
отримання МТБЕ  
потужністю 38 тис. т/рік

Керівник проекту (роботи) Потапенко Е.В., д.т.н., професор

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від 18.03.2021 р. №54/15.25

**2. Строк подання студентом проекту (роботи) – 14 червня 2021 р.**

**3. Вихідні дані до проекту (роботи): літературні, патентні та регламентні дані.**

**4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити):**

Вступ. 1. Стислий аналітичний огляд з обґрунтуванням методу виробництва. 2. Характеристика сировини, напівфабрикатів, готової продукції. 3. Опис технологічної схеми. 4. Матеріальні і теплові баланси. 5. Вибір і розрахунок основного апарату. 6. Вибір допоміжного обладнання. 7. Контроль роботи, норми і правила обслуговування основного апарату. 8. Ресурсозбереження і охорона навколишнього середовища. 9. Охорона праці. Висновки. Література.

**5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень):**

1. Технологічна схема (1 аркуш).
2. Креслення основного апарату (1 аркуш).
3. Креслення додаткового устаткування (1 аркуш).

6. Дата видачі завдання – 28 березня 2021 року.

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Пор №	Назва етапів дипломної роботи (проєкту)	Термін виконання етапів проєкту (роботи)	Примітка
1	Вступ	25.04.2021	
2	Стислий аналітичний огляд з обґрунтуванням методу виробництва	02.05.2021	
3	Характеристика сировини, напівфабрикатів, готової продукції	10.05.2021	
4	Опис технологічної схеми	17.05.2021	
5	Матеріальні і теплові баланси	24.05.2021	
6	Вибір і розрахунок основного апарату	31.05.2021	
7	Контроль роботи, норми і правила обслуговування основного апарату	04.06.2021	
8	Ресурсозбереження і охорона навколишнього середовища	06.06.2021	
9	Охорона праці	08.05.2021	
10	Висновки	09.06.2021	
11	Креслення технологічної схеми	10.06.2021	
12	Креслення основного апарату	12.06.2021	
13	Креслення додаткового устаткування	14.06.2021	

Студент

\_\_\_\_\_

Орунбаєва Гузал

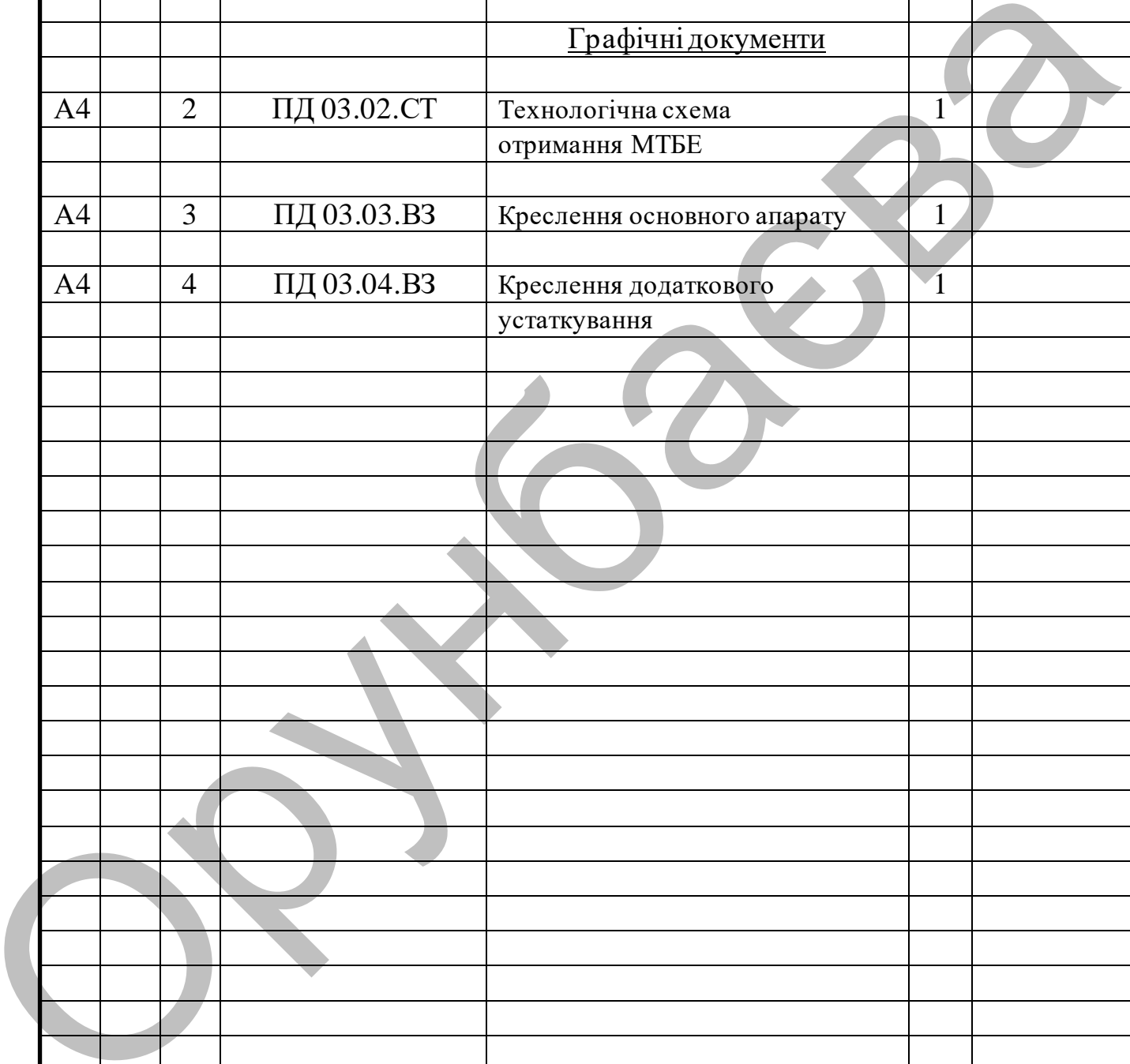
(прізвище та ініціали)

Керівник проєкту (роботи)

\_\_\_\_\_

Потапенко Е. В.

Формат	Зона	Поз.	Позначення	Найменування	Кількість	Примітка
				<u>Текстові документи</u>		
A4		1	ПД 03.01.ПЗ	Пояснювальна записка		
				<u>Графічні документи</u>		
A4		2	ПД 03.02.СТ	Технологічна схема отримання МТБЕ	1	
A4		3	ПД 03.03.ВЗ	Креслення основного апарату	1	
A4		4	ПД 03.04.ВЗ	Креслення додаткового устаткування	1	



					<i>ПД 03.01. ПЗ</i>			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	<i>Відомість</i>	Літ.	Аркуш	Аркушів
Розроб.		Орляк Баєва Гузал						
Перев.		Потопенко Е.В.						
Консульт.								
Н. Контр.								
Затв.		Суворін О.В.				<i>СНУ ім. В.Даля гр. ХТ-17ді</i>		

## Реферат

Дипломний проект з теми «Проект установки отримання МТБЕ потужністю 38 тис. т/рік» складається з пояснювальної записки, що містить 87 сторінок, 9 таблиць, 5 рисунків, використано 17 найменувань літературних джерел. Графічна частина – 3 листи.

МЕТИЛ-ТРЕТ-БУТИЛОВИЙ ЕФІР, МЕТАНОЛ, ФРАКЦІЯ С4, ІЗОБУТИЛЕН, КАТАЛІЗАТОР, ГІДРАТАЦІЯ, СУЛЬФОКАТІОНІТ, ВУГЛЕВОДНІ, РЕАКЦІЙНО-РЕКТИФІКАЦІЙНИЙ АПАРАТ

В дипломному проекті обрано процес отримання МТБЕ шляхом застосування макропористого сульфокатіоніту в Н-формі. Пропонований спосіб дозволяє скоротити кількість води, що подається на відмивання, і регламентувати різні вимоги за ступенем очищення від метанолу для потоків, що подаються на зрошення колони і виводяться з процесу.

Розроблена технологічна схема виробництва МТБЕ, виконані матеріальний і тепловий баланси, розрахунок основного апарату та допоміжного.

Представлені фізико-хімічні характеристики основних і проміжних продуктів процесу, вказані кількість джерел забруднення, їх характеристики, норми утворення відходів, надана характеристика виробничих небезпек, методи і засоби їх запобігання, а також особливі вимоги безпеки. Розглянуті питання, що стосуються автоматизації технологічного процесу та екології в проектованому виробництві.

Виходячи з проведених розрахунків можна зробити висновок, що при розсіюванні викиду навколишньому середовищу не буде причинено шкоди. Заходи по забезпеченню охорони навколишнього середовища не потрібні

## Зміст

Вступ	7
1 Стислий аналітичний огляд з обґрунтуванням методу виробництва	10
2 Характеристика сировини, напівфабрикатів, готової продукції	34
3 Опис технологічної схеми	37
4 Матеріальні і теплові баланси	39
5 Вибір і розрахунок основного апарату	45
6 Вибір допоміжного обладнання	49
7 Контроль роботи, норми і правила обслуговування основного апарату	51
8 Ресурсозбереження і охорона навколишнього середовища	61
9 Охорона праці	72
Висновки	85
Література	86

## Вступ

У сучасних умовах спостерігається неухильний ріст світового автомобільного парку. Якщо зараз у світі експлуатується більш 900 мільйонів автомобілів, то прогнозується, що до 2016 року їх число виросте до одного мільярда. У міру свого розвитку автомобільний транспорт пред'являє все більші вимоги не тільки до кількості, але й до якості моторних палив, зокрема - до бензину, а саме до октанового числа.

Коли більш ґрунтовно був вивчений процес детонації, з'ясувалося, що поряд зі зміною вуглеводневих сполук, можна застосовувати спеціальні добавки до бензинів, що руйнують перекиси. Такі добавки назвали антидетонатори, і найбільш відомим і широко застосовуваним з них став тетраетилсвинець. Тетраетилсвинець – металоорганічна сполука, яка добре розчиняється у вуглеводнях нафти. Уже при температурах 200-250°C ця речовина розпадається на свинець і чотири етильних радикала  $\cdot\text{C}_2\text{H}_5$ . Усі складові сприяють або вповільненню утворенню перекісних сполук, або швидкому їхньому розпаду.

Однак, застосовувати тетраетилсвинець у чистому виді не можна. металевий свинець, що утворюється, осаджується у вигляді нагару на стінках циліндра, поршня й незабаром робить роботу двигуна неможливою. Тому тетраетилсвинець на практиці змішують із різними алкілгалогенідами. В умовах високої температури вони розкладаються і утворюють зі свинцем летучі солі, які віддаляються із двигуна разом з вихлопними газами.

Етилування виявилось досить ефективним методом боротьби з детонацією. Добавка буквально часток відсотка етилової рідини в бензин дозволяє збільшити його октанове число на 5-10 пунктів. Але, на жаль, і свинець, і тетраетилсвинець особливо – дуже отрутні. Потрапляючи на шкіру, вони фільтруються в кров, і людина може важко занедужати. Свинцеві сполуки, що віддаляються із двигуна з вихлопними газами, осідають на ґрунті й пришляхової

рослинності. Крім того, після винаходу каталізаторів дожигу вихлопних газів автомобілів, з'ясувалося, що сполуки свинцю викликають їхнє отруєння. Тому, починаючи з 60-х років минулого століття, в усьому світі вводять усе більш тверді обмеження на етилування пального. Є території й цілі країни, у яких застосування етилованих бензинів уже заборонене повністю.

Рішення проблеми збільшення виробництва високооктанових неетилованих бензинів можливо за рахунок застосування добавок, котрі збільшують октанове число, розроблених на базі аліфатичних спиртів, діалкілових ефірів, ароматичних амінів і т.д. Використання оксигенатів у складі автомобільних бензинів досить добре відомо. Починаючи з 70-х років 20-го сторіччя основним напрямком робіт з одержання високооктанових бензинів, що задовольняють сучасним екологічним вимогам, стало використання різних оксигенатів у цілому ряді країн: Бразилія (етанол), Італія (МТБЕ), ФРН (МТБЕ й етанол), Фінляндія (МТБЕ й етанол), США (МТБЕ й етанол), Швеція (етанол), Росія (МТБЕ), Україна (МТБЕ).

На практиці, крім зазначених вище оксигенатів застосовують також: метанол, ізопропанол (ІПС), трет-бутиловий спирт (ТБС), метил-трет-аміловий ефір (МТАЕ), етил-трет-бутиловий ефір (ЕТБЕ), етил-трет-аміловий ефір (ЕТАЕ), діізопропіловий ефір (ДІПЕ).

Порівняння різних оксигенатів дає наступну картину: відомо, що практично всі нижчі кисеньвмісні сполуки мають високе октанове число – до 100 ДОЧ. А от у МТБЕ октанове число змішання доходить до 130 ДОЧ, залежно від вуглеводневої сполуки бензину, до якої додається МТБЕ. Метанол і етанол гарно розчиняються в бензині, мають непогані октанові числа змішання, але розчинні у воді. А оскільки в товарних бензинах завжди є вода, то спирт буде переходити у водну фазу й у ній відшаровуватися. У резервуарах при зберіганні він виявиться внизу. Щоб цього не відбувалося, потрібна добавка гомогенізатора, наприклад, ізобутилового спирту, а це вже дорожче. Із МТБЕ цієї проблеми немає, він



розчинний тільки в бензині. Нижчі спирти мають більш низьку теплоту згорання. Це значить, що запас палива в баку автомобіля повинен бути збільшений, або частіше треба гаяти час на заправлення. МТБЕ має рівну з бензином паливну характеристику. Мало того, наявність у ньому кисню суттєво поліпшує процес згорання палива в циліндрах, підвищуючи економічність двигуна й знижуючи зміст у вихлопі продуктів неповного згорання.

МТБЕ застосовується в якості кисневмісної високооктанової добавки при компаундуванні бензинів. Добавки МТБЕ в бензини знижують летючість палива, поліпшують горіння вуглеводневих компонентів, тим самим, знижуючи зміст у вихлопних газах оксиду вуглецю на 15-30% і вуглеводнів на 7-8%. Вони також не приводять до корозії деталей двигунів і поліпшують їх потужності й економічні характеристики. Крім чисто фізичного збільшення виробництва автомобільних бензинів застосування високооктанових кисневмісних сполук сприяє економії нафти, завдяки зм'якшенню вимог до октанового числа традиційних компонентів.

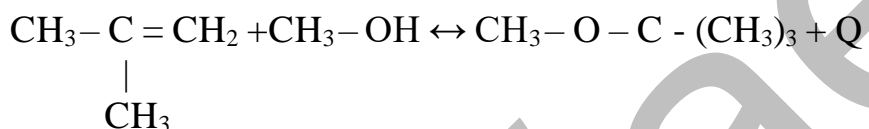
В 1990 році в США зроблені виправлення до Закону про чисте повітря, після чого хімічна й нафтохімічна промисловості зробили значні капіталовкладення у виробництво МТБЕ. Незважаючи на те, що в США розгорілася запекла боротьба з виробниками етанолу, який також широко застосовується як оксигенат у моторних паливах, вибір все-таки був зроблений на користь МТБЕ. Більш 32% бензину, вироблюваного в США, містить оксигенати. На ринку оксигенатів на частку МТБЕ доводиться 80-85%. Виробництво МТБЕ в США виросло з 34 тис. барелів/доб. в 1985 році до 216 тис. барелів/доб. в 1999 р. В 1999 р. зміст МТБЕ в кожному галоні бензину становило 3,65%. Половина необхідного МТБЕ проводиться на 33 НПЗ усередині США, це заводи фірм ARCO, BP, Citgo, Conoco, Exxon Mobil, Equilon, Chevron, Phillips, Shell, Texaco.

## 1 Стислий аналітичний огляд з обґрунтуванням методу виробництва

### 1.1 Сутність процесу виробництва МТБЕ (згідно діючого виробництва)

Метил-трет-бутиловий ефір (МТБЕ) утворюється при взаємодії метанолу та ізобутилену у присутності сульфоіонітного формованого каталізатора КІФ-Т або КУ-2ФПП (макросітчаста іонообмінна смола на основі сополімеру стиролу з дивінілбензолу, що володіє сильними кислотними властивостями) в апараті (вузлі) реакційно - ректифікаційного типу Кр-351/1 – Р-350 (Р-351) – Кр-351/2.

Реакція етерифікації екзотермічна, рівноважна, що протікає по типу електрофільного приєднання:



Ентальпія реакції при температурі 50°C в рідкій фазі становить 46 кДж/моль ( $\approx 11$  ккал/моль), в газорідинній – 65,7 кДж/моль ( $\approx 15,7$  ккал/моль).

Глибина реакції утворення МТБЕ обмежується досягненням термодинамічного рівноважного стану.

Зниження температури і збільшення мольного співвідношення метанол/ізобутилен сприяє збільшенню глибини перетворення ізобутилену, зниженню швидкості побічної реакції утворення диметилового ефіру (ДМЕ), збільшуючи, тим самим, селективність процесу.

Підвищення температури збільшує швидкість основної реакції, але при цьому також збільшується вихід побічних продуктів, знижується рівноважна ступінь перетворення.

Надмірне підвищення температури може викликати дезактивацію каталізатора і знизити глибину перетворення реагентів до мінімально допустимого рівня. При підвищенні температури відбувається десульфування каталізатора, зміна його структури (склеювання, ущільнення, руйнування), що тягне за собою зміну гідродинамічних умов протікання процесу.

У зв'язку з екзотермічним характером реакції велику роль відіграє конструкція реактора (вузла) синтезу реакційно-ректифікаційного типу, що включає систему апаратів Кр-351/1 – Р-351 (Р-350) – Кр-351/2, яка дозволяє проводити реакцію синтезу в газорідній фазі, забезпечує необхідний ефективний спосіб регулювання температури за рахунок випаровування частини суміші, що реагує, знімаючи таким чином надлишкове тепло реакції і використовуючи його на ректифікацію продуктів реакції.

Постійне видалення МТБЕ із зони реакції знімає термодинамічні обмеження, наближаючи 100% ступінь конверсії ізобутилену.

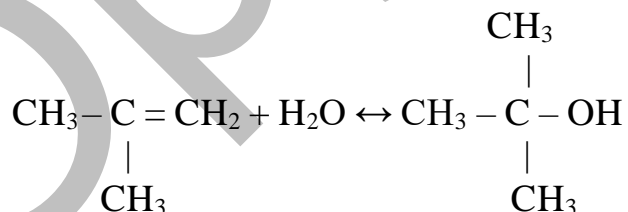
Глибина перетворення сировини зростає зі збільшенням мольного відношення метанол/ізобутилен. Але при цьому надлишок метанолу не повинен бути більше кількості, необхідного для створення азеотропної суміші з вуглеводнями С<sub>4</sub> по верху РРУ (верх колони ректифікації Кр - 351/2).

Глибина перетворення ізобутилену залежить від концентрації ізобутилену по фракції С<sub>4</sub>, що служить сировиною.

Процес проводиться при мольному співвідношенні метанол: ізобутилен = (1,1 -1,3): 1,0, при цьому зі збільшенням концентрації ізобутилену у вихідній ББФ мольне співвідношення знижується.

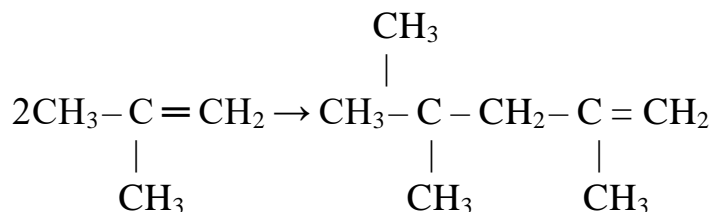
Побічними реакціями є:

1) Гідратація ізобутилену за рахунок води з утворенням триметилкарбінола (трет-бутилового спирту):



Утворення ТБС залежить від концентрації води, присутньої у вихідних продуктах, тому в умовах реакції він утворюється в невеликих кількостях і не впливає на антидетонаційні властивості одержуваного МТБЕ.

2) Димеризація ізобутилену з утворенням діізобутилену (ДІБ) або 2,2,4 – триметилпентену:



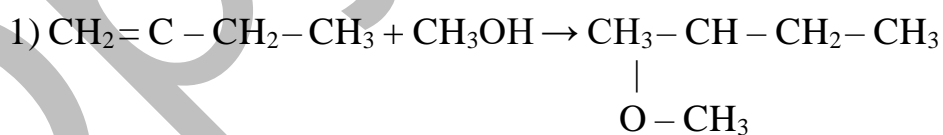
Селективність утворення ДІБ дуже мала (не більше 0,03%) за рахунок умов реакції (температура, мольне співвідношення метанол/ізобутилен, об'ємна швидкість подачі сировини) і його присутність не впливає на якість МТБЕ. При зменшенні мольного співвідношення метанол:ізобутилен та/або збільшення температури на каталізаторі вихід діізобутилену зростає, продукт затримується на каталізаторі, забиває його пори, дезактивує його, вихід основного продукту падає.

3) Міжмолекулярна дегідратація метанолу з утворенням диметилового ефіру (ДМЕ) і води:

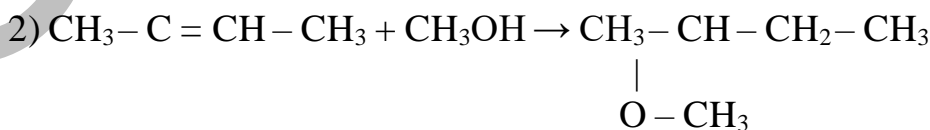


Селективність утворення ДМЕ в прийнятих умовах дуже мала, і через його відносно низької температури кипіння він іде разом з легкими вуглеводнями і не міститься в товарному МТБЕ.

4) Утворення метил-втор-бутилового ефіру (МВБЕ) з n-бутиленів

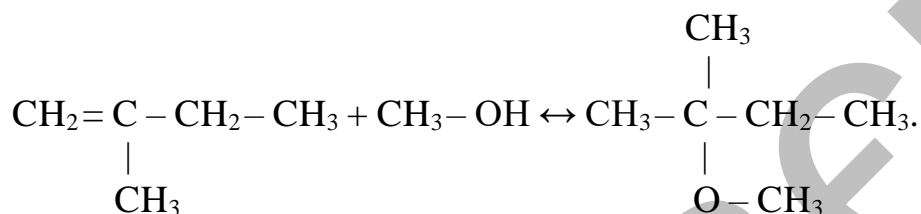


або



За певних умов, пов'язаних з підвищенням температури та/або часу перебування ББФ на каталізаторі, можливе утворення МВБЕ. Зазначений продукт не погіршує характеристик МТБЕ як високооктанового компонента, але при цьому синтез його супроводжується підвищеною димеризацією ізобутилену, порушенням гідродинамічних властивостей шару каталізатора.

5) Взаємодія ізопентена з метанолом з утворенням метил-трет-амілового ефіру (МТАЕ)



Для забезпечення жорстких обмежень по кількості побічних продуктів при синтезі МТБЕ потрібно з високою точністю підтримувати задане мольне співвідношення між метанолом і ізобутиленом у вихідній ББФ. З цією метою для отримання оперативної інформації по концентрації ізобутилену в ББФ використовується промисловий потоковий хроматограф.

Для оперативного управління технологічним режимом в реакційно-ректифікаційному вузлі, що визначає якість товарного МТБЕ додатково передбачений потоковий хроматограф на відборі проби з контрольною тарілки колони Кр-351/1.

Наявність домішок у сировині призводить до зниження терміну служби каталізатора. Будь солі, сильні основи або слабкі кислоти є каталітичними отрутами, які впливають на сульфогрупи іонообмінних смол. Вони заміщають іон водню в сульфогрупі, що призводить до втрати статичної обмінної ємності (ПСОЄ) каталізатора і зниження його активності.

До таких домішок відносяться: катіони металів  $\text{Fe}^{+2}$ , які можуть надходити з метанолом-рециклом через корозію обладнання на вузлі рекуперації метанолу,

катіони  $\text{Na}^+$ , і азотвмісні сполуки, які надходять з ББФ після вузла демеркаптанізації.

Блокування активних центрів висококиплячими домішками, які надходять з ББФ або утворюються в процесі синтезу, також призводить до втрати його активності.

Процес виробництва МТБЕ включає в себе наступні операції:

— підготовка вихідної бутан-бутиленової фракції (ББФ) (фракції вуглеводнів  $\text{C}_4\text{-C}_5$ ) - очищення від домішок основного характеру і важкого залишку в режимі форконтатора або синтезу МТБЕ (і МТАЕ) в режимі адіабатичного реактора;

— синтез і відділення МТБЕ (ВЕК) від непрореагованих вуглеводнів  $\text{C}_4$  в реакційно-ректифікаційному режимі;

— відмивання відпрацьованої ББФ від метанолу;

— рекуперация метанолу з промивної води [2].

Спосіб отримання метил-трет-бутилового ефіру

Використання: нафтохімія. Сутність полягає: проводять взаємодію метанолу і ізобутилену в складі  $\text{C}_4$ -фракцій вуглеводнів в присутності макропористого сульфокатіоніта в Н-формі при підвищеній температурі і тиску, що забезпечує рідкофазне протікання процесу, з подальшим поділом продуктів реакції в ректифікаційної колоні на товарний метил-трет-бутиловий ефір, виведений з куба, і  $\text{C}_4$ -фракції вуглеводнів і метанолу у вигляді дистиляту, екстракцією метанолу з дистиляту водою і виділенням метанолу з водного екстракту ректифікацією з подачею на зрошення колони зметанолений  $\text{C}_4$ -фракції вуглеводнів і виводом балансової кількості цієї фракції з процесу. Екстракцію метанолу з дистиляту проводять шляхом подачі водяної пари або води в потоці, що виходить з колони ректифікації парів дистиляту і після конденсації і розшарування конденсату водний шар направляють на виділення метанолу

ректифікацією, а органічний шар – на зрошення ректифікаційної колони. Технічний результат: спрощення технології процесу.

Винахід відноситься до області органічного синтезу, точніше до способів отримання метил-трет-бутилового ефіру – високооктанового компонента бензину для двигунів внутрішнього згорання.

Метил-трет-бутиловий ефір (МТБЕ) отримують взаємодією в присутності кислотних каталізаторів метанолу і ізобутилену, як правило, що входить до складу С4-фракцій вуглеводнів різного походження.

Реакція взаємодії метанолу та ізобутилену з утворенням МТБЕ має рівноважний характер, в силу чого глибина конверсії реагентів залежить від умов проведення процесу (температура і співвідношення реагентів).

При використанні в якості сировини ізобутиленвміщуючих С4-фракцій вуглеводнів глибина конверсії ізобутилену є найбільш важливим показником, оскільки визначає не тільки витрату сировини на виробництво МТБЕ, але і придатність вуглеводнів, що залишилися для подальшого використання.

Технологія виробництва МТБЕ з ізобутиленвміщуючих С4-фракцій вуглеводнів і метанолу («Виробництво метил-трет-алкілових ефірів - високооктанових компонентів бензинів», ЦНПТ Енефтехім, Москва, 1988 р. Серія «Переробка нафти», випуск №9), як правило, включає наступні стадії:

- синтез МТБЕ взаємодією ізобутилену з метанолом в присутності кислотного каталізатора в одному або декількох реакторах різної конструкції при температурі 40-100 °С і тиску, що забезпечує рідкофазне протікання процесу;
- виділення з продуктів реакції фракції вуглеводнів С4, зворотного метанолу і товарного МТБЕ з використанням ректифікації і екстракції.

Глибока конверсія ізобутилену досягається підтримкою низької температури (40-50 °С) на виході з останнього по ходу реактора (або реакційної зони) і використанням стехіометричного надлишку метанолу.

Зміст метанолу в товарному МТБЕ регламентовано ТУ 38.103704-90 (не більше 0,5%), тому надлишковий (що не прореагував) метанол повинен бути виділений і повернений в реактор.

Залежно від використовуваної кількості надлишкового метанолу змінюється не тільки глибина конверсії ізобутилену, але і схема виділення зворотного метанолу.

Відомий спосіб отримання МТБЕ, запропонований фірмою «Хюльс» (Hydrocarbon Process, 1977, 56, №11, 185) при співвідношенні метанол / ізобутилен, близькому до стехіометричного або при невеликому надлишку метанолу, що подається на синтез МТБЕ. Виділення непрореагуваного метанолу здійснюють шляхом відгону у вигляді азеотропа з вуглеводнями C4 з подальшою відмиванням (екстракцією метанолу водою) і відгонкою рециклового метанолу з промивної води. Однак конверсія ізобутилену при такому варіанті технологічного процесу складає ~95%.

Подальше збільшення конверсії ізобутилену (до 98%) може бути досягнуто за рахунок збільшення відношення метанол / ізобутилен у вихідній сировині, проте при цьому виникає необхідність в проведенні додаткової стадії виділення надлишкового метанолу, а саме використання другої колони ректифікації для відгону і рециркуляції в реактор азеотропа «метанол-МТБЕ» (10-30% метанолу), що ускладнює технологію проведення процесу.

Найбільш близьким за істотними відмітними ознаками до пропонованого способу є спосіб отримання МТБЕ з ізобутиленвміщуючих C4-фракцій і метанолу (пат. США №5414147, опубл. 09.05.1995 - прототип). Відповідно до прототипу процес проводять при підвищеній температурі (100-40 °C) в присутності кислотного каталізатора при підвищеному співвідношенні метанол / ізобутилен і тиску, що забезпечує рідкофазне протікання процесу. З продуктів реакції за допомогою ректифікації виділяють товарний МТБЕ, а, що виходять у вигляді дистилляту пари азеотропа C4-вуглеводнів і метанолу конденсують і направляють



в ємність, звідки рідкі продукти подають в екстрактор, в якому вуглеводні С4 відмивають від метанолу водою. Відмиті від метанолу вуглеводні С4 подають на зрошення колони, а їх балансову кількість виводять з процесу. Метанол з водного екстракту виділяють ректифікацією (див. рисунок 1.1).

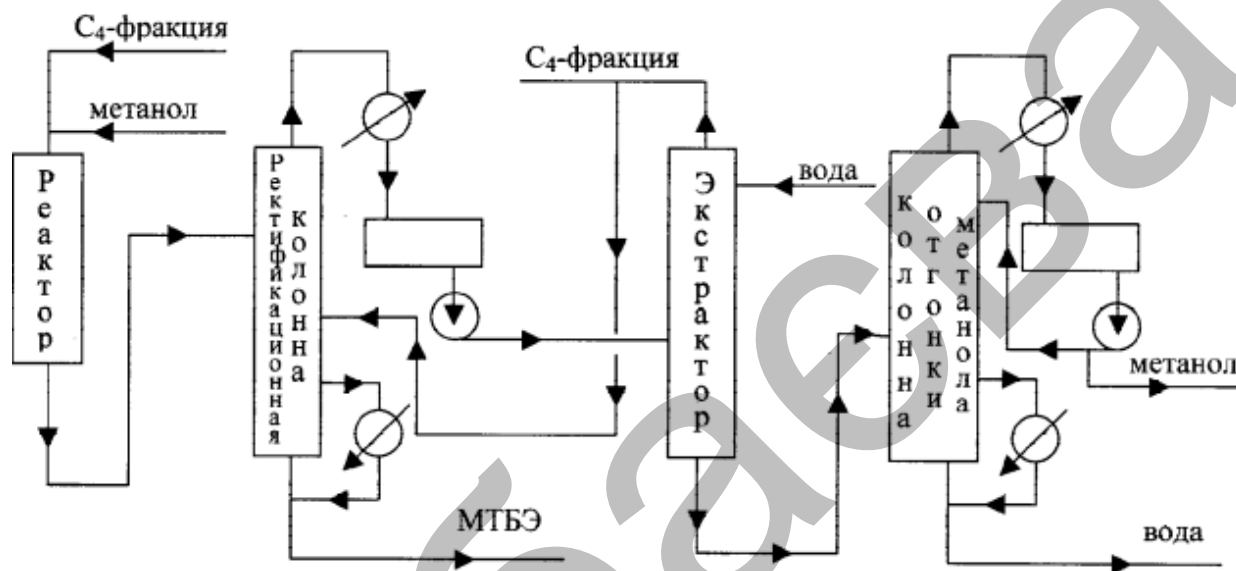


Рисунок 1.1 – Спосіб отримання метил-трет-бутилового ефіру (пат. США №5414147, опубл. 09.05.1995)

Спосіб синтезу МТБЕ по прототипу здійснюють при підвищеному співвідношенні метанол / ізобутилен (для збільшення конверсії ізобутилену без установки додаткової колони), причому збільшення виведення непрореагуваного метанолу досягається за рахунок подачі на зрошення ректифікаційної колони, призначеної для виділення МТБЕ, вуглеводнів С4 після екстракції з них метанолу. Конверсія метанолу збільшується до 98%.

Недоліком способу-прототипу є значне збільшення потоку вуглеводнів, що подаються на відмивання. Так, при роботі колони з флегмовим числом 2 кількість вуглеводнів, що подаються на відмивання від метанолу, зростає в три рази. Збільшення потоку вуглеводнів, в свою чергу, вимагає збільшення габаритних

розмірів екстрактора і діаметра трубопроводів, тобто підвищує металоємність процесу.

Глибокому очищенню від метанолу піддається весь потік вуглеводнів C<sub>4</sub>, що виходить з верху колони, що включає в себе і балансову кількість, що виводиться з системи, і потік, що повертається на зрошення колони, що вимагає збільшення витрати води, що надходить для відмивання від метанолу. Крім того, глибоке очищення від метанолу тієї частини потоку, яка повертається на зрошення колони, недоцільна.

Завдання запропонованого способу, полягала в розробці синтезу МТБЕ з метанолу та ізобутилену в складі C<sub>4</sub>-фракцій вуглеводнів, що дозволяє при високій конверсії реагентів знизити металоємність і енерговитрати процесу і спростити технологію процесу. Відповідно до зазначеної мети пропонується спосіб отримання МТБЕ шляхом взаємодії метанолу та ізобутилену в складі C<sub>4</sub>-фракцій вуглеводнів в присутності макропористого сульфокатіоніта в Н-формі при підвищеній температурі і тиску, що забезпечує рідкофазне протікання процесу, з подальшим поділом реакційної маси ректифікацією на товарний МТБЕ і фракцію вуглеводнів і метанолу (азеотроп), з екстракцією метанолу з дистилляту водою, з виділенням метанолу з водного екстракту ректифікацією і подачею на зрошення колони обезметанолої C<sub>4</sub>-фракцій вуглеводнів. Виділення метанолу з дистилляту перед подачею його на зрошення колони проводять шляхом подачі водяної пари або води в виходячому з колони потоку парів дистилляту з подальшою конденсацією парів, розшаруванням конденсата на органічний і водний шари, подачею органічного шару на зрошення колони і виводом водного шару на виділення метанолу ректифікацією (рисунок 1.2).

Виведені з процесу вуглеводні C<sub>4</sub> можна піддати повторній екстракції з метою вилучення метанолу шляхом змішування з водою, яку після розшарування в додатковій ємності подають в виходить з колони потік парів дистилляту. При такій схемі здійснення процесу зниження кількості води, яка подається на

відмивання, дещо знизить ступінь зметанолювання потоку, що надходить на зрошення колони (наприклад, з 99.9 до 99.0%, що технічно і економічно виправдано), в той же час цієї кількості води більш ніж достатньо для вичерпного зметанолювання тієї частини потоку вуглеводнів C<sub>4</sub>, яка виводиться з процесу (рисунок 1.3).

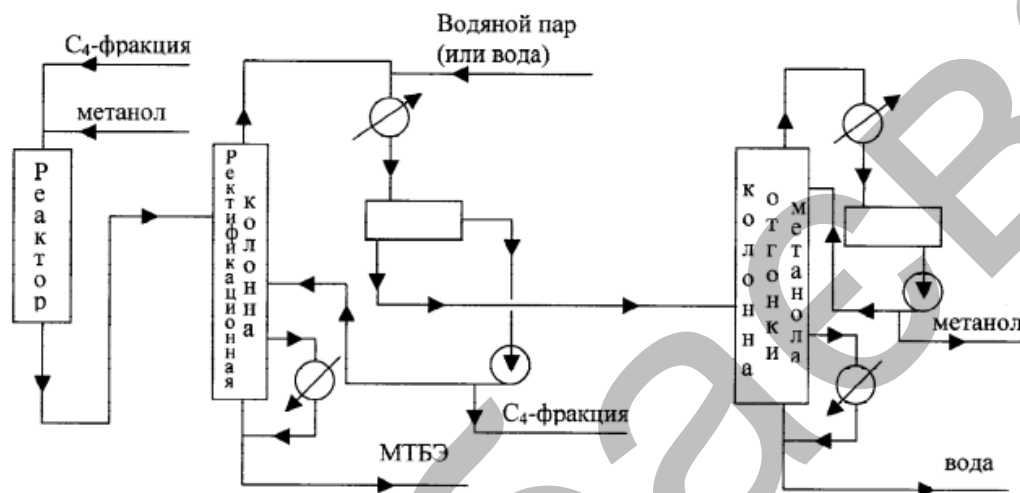


Рисунок 1.2 – Спосіб отримання метил-трет-бутилового ефіру (пат. Росія №2259992С1, опубл. 09.10.2005)

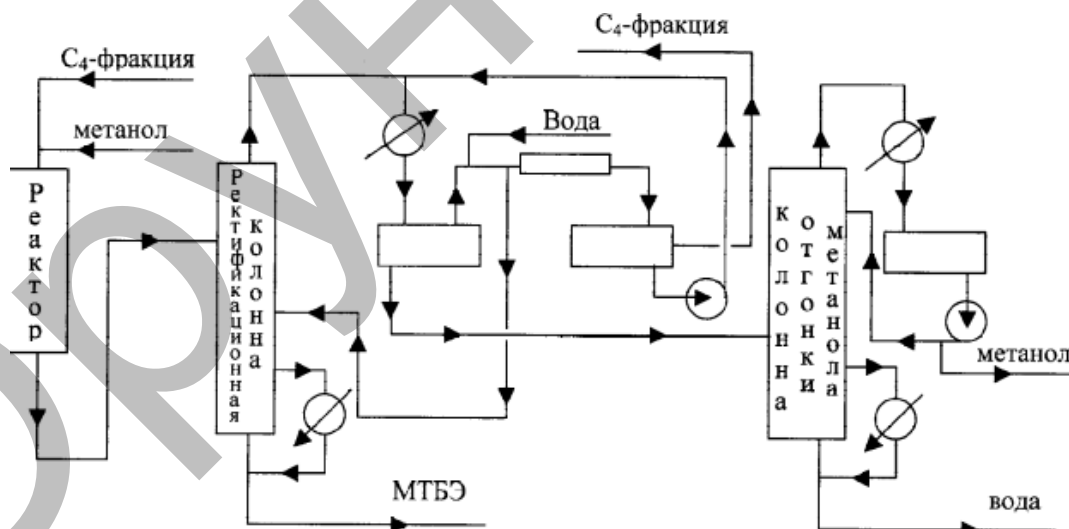


Рисунок 1.3 – Спосіб отримання метил-трет-бутилового ефіру, стадія зметанолювання.

Істотною відмінною ознакою пропонованого способу від прототипу є виділення метанолу з дистилляту перед подачею останнього на зрошення колони не в окремому екстракторі, а шляхом подачі водяної пари або води в потік парів дистилляту, що виходить з колони, що дозволяє спростити технологічну схему і знизити металоємність процесу (ліквідується вузол технологічної схеми - окремий екстрактор).

Пропонований спосіб дозволяє скоротити кількість води, яка подається на відмивання, і регламентувати різні вимоги за ступенем очищення від метанолу для потоків, що подаються на зрошення колони і виводяться з процесу.

В цілому пропонований спосіб отримання МТБЕ дозволяє в порівнянні з відомим способом-прототипом знизити металоємність обладнання процесу і енерговитрати, обумовлені перекачуванням і відмиванням збільшеного потоку С4-фракції вуглеводнів.

Промислова придатність запропонованого способу ілюструється прикладами 1-3.

#### ПРИКЛАД 1 (відповідно до рисунку 1.2)

Через реактор, заповнений макропористим сульфокатіонітом і забезпечений пристроєм для відводу тепла, що виділилося по реакції, пропускають 5294 кг/год ізобутан-ізобутиленової фракції, що містить 18.2% ізобутилену, і 601 кг/год метанолу. Молярне співвідношення метанол / ізобутилен 1.091. Об'ємна швидкість подачі сировини в реактор складає 2.0 год<sup>-1</sup>, температуру на виході з реактора підтримують на рівні не більше 40 °С. Вихідний з реактора потік направляють в колону ректифікації ефективністю 28 теоретичних тарілок, що працює з флегмовим числом 2.5.

Пари ізобутану і метанолу, що виходять з верху колони, змішують з водяною парою, що подається в кількості 1500 кг/год в шламову трубу колони, після чого пари конденсують в холодильнику-конденсаторі і сконденсовані продукти разом з водою стікають у флегмову ємність, де розшаровуються на

водний шар, що містить метанол, і органічний шар. Органічний шар, що представляє собою ізобутанову фракцію, що містить 0.4% ізобутилену і менш 0.01% метанолу, подають насосом на зрошення колони (10875 кг/год), а балансову кількість (4350 кг/год) виводять на склад.

Водний шар з флегмової ємності в кількості 1601 кг/год виводять в колону відгону метанолу. Відігнаний метанол (101 кг/год) рециркулюють в реактор синтезу МТБЕ, а воду скидають у каналізацію.

З куба колони ректифікації виводять 1444 товарного МТБЕ, що відповідає вимогам ТУ 38.103704-90 (вміст метанолу не більше 0.5%). В умовах прикладу 1 конверсія ізобутилену становить 98.2% і відпрацьована ізобутанова фракція містить 0.4% ізобутилену і менш 0.01% метанолу.

#### ПРИКЛАД 2 (відповідно до рисунку 1.2)

Через реактор, заповнений макропористим сульфокатіонітом і забезпечений пристроєм для відводу тепла, що виділилося по реакції, пропускають 5294 кг/год ізобутан-ізобутиленової фракції, що містить 18.2% ізобутилену, і 601 кг/год метанолу. Молярне співвідношення метанол / ізобутилен одно 1.091. Об'ємна швидкість подачі сировини в реактор складає 2.0 год<sup>-1</sup>, температуру на виході з реактора підтримують на рівні не більше 40 °С. Вихідний з реактора потік направляють в колону ректифікації ефективністю 28 теоретичних тарілок, що працює з флегмовим числом 2.5.

У потік парів ізобутану і метанолу, що виходить з верху колони, вводять 1000 кг/год води шляхом розпилення в шлемову трубу колони. Паро-рідинна суміш після проходження холодильника-конденсатора і конденсації парів стікає в ємність, де розшаровується на водний і органічний шари. Водний шар, що містить метанол, виводять в колону відгону метанолу. Відігнаний метанол (101 кг/год) рециркулюють в реактор синтезу МТБЕ, а воду скидають у каналізацію. Органічний шар, що представляє собою ізобутанову фракцію, що містить 0.4% ізобутилену і менш 0.1% метанолу, подають насосом на зрошення колони (10885

кг/год), а балансове кількість (4354 кг/год) повторно змішують у змішувачі з водою в кількості 1000 кг/год і знову розшаровують в другій ємності на водний і органічний шари. Органічний шар з другої ємності, що представляє собою ізобутанову фракцію, що містить менше 0.01% метанолу, виводять з процесу (на склад). Водний шар з другої ємності, що містить невелику кількість метанолу (менше 0.5%), подають на змішання з парами ізобутану і метанолу, що виходять з верху ректифікаційної колони, тобто розпилюють в шлемову трубу колони.

З куба колони ректифікації виводять 1 444 товарного МТБЕ, що відповідає вимогам ТУ 38.103704-90 (вміст метанолу не більше 0.5%).

В умовах прикладу 2 конверсія ізобутилену становить 98.2% і відпрацьована ізобутанова фракція містить 0.4% ізобутилену і менш 0.01% метанолу.

ПРИКЛАД 3. Процес проводять аналогічно прикладу 2, проте в якості ізобутиленвміщуючої фракції використовують С4-фракції каталітичного крекінгу наступного складу (% мас.):

пропілен	0.99
ізобутан	26.70
н-бутан	8.52
ізобутилен	25.36
н-бутілени	38.43

В умовах прикладу 3 конверсія ізобутилену становить 97.9% і відпрацьована ізобутанова фракція містить 0.7% ізобутилену і менш 0.01% метанолу. Якість МТБЕ відповідає вимогам ТУ 38.103704-90 (вміст метанолу не більше 0.5%).

Спосіб отримання метил-трет-бутилового ефіру шляхом взаємодії метанолу та ізобутилену в складі С4-фракцій вуглеводнів в присутності макропористого сульфокатіоніта в Н-формі при підвищеній температурі і тиску,

що забезпечує рідкофазне протікання процесу, з подальшим поділом продуктів реакції в ректифікаційній колоні на товарний метил трет-бутиловий ефір, виведений з куба, і С4-фракції вуглеводнів і метанолу у вигляді дистиляту, екстракцією метанолу з дистиляту водою і виділенням метанолу з водного екстракту ректифікацією з подальшою подачею на зрошення колони зметаноленої С4-фракції вуглеводнів і виводом балансової кількості цієї фракції з процесу, який відрізняється тим, що екстракцію метанолу з дистиляту проводять шляхом подачі водяної пари або води в вихідний з колони ректифікації потік парів дистиляту і після конденсації і розшарування конденсату водний шар направляють на виділення метанолу ректифікацією, а органічний шар - на зрошення ректифікаційної колони.

Спосіб відрізняється тим, що балансова кількість С4-фракції вуглеводнів перед виведенням з процесу піддають повторній екстракції шляхом змішування з водою з подальшим розшаруванням суміші і з подачею водного шару в який із ректифікаційної колони потік парів дистиляту.

Розглянемо існуючі пристрої

Спосіб отримання метил-трет-бутилового ефіру, етил-трет-бутилового ефіру або етил-трет-амілового ефіру і пристрій для здійснення реактивної дистиляції

Використання: в якості добавки до палива. Суть винаходу: отримання метилтретбутилового ефіру і пристрій для його здійснення. Реагент 1: метанол. Реагент 2: ізоолефінова сировина, що містить ненасичені С4 - вуглеводні. Умови реакції: реагент 1 обробляють реагентом 2 в циліндричному вертикальному апараті, що містить ректифікаційні тарілки.

Винахід відноситься до способів отримання простих трет-алкілових ефірів з ізоолефінів і аліфатичних спиртів шляхом реактивної дистиляції і до пристрою для його здійснення. Для кращого розуміння суті винаходу в даному описі згадується отримання конкретного метил-трет-бутилового ефіру (МТБЕ), таким

чином, пропонований спосіб повністю придатний для отримання інших трет-алкілових ефірів, при цьому мається на увазі, що різниця між точками кипіння компонентів і продуктів завжди являє собою величину одного порядку.

Пропонований метод можна застосовувати у всіх випадках, коли умови проведення реакції сумісні з дистиляцією і коли температури кипіння одного і більше реагентів відрізняються від температур кипіння одного або більше продуктів реакції.

Метил-трет-бутиловий ефір (МТБЕ) отримують в промисловому масштабі в результаті взаємодії ізобутилу, що міститься в потоці С4-вуглеводнів, з метанолом в присутності каталізатора, в загальному випадку представляє собою сульфовані стирол-дивініл-бензолні смоли, при температурах від кімнатної до приблизно 100°C (патент США 3979461, ІТ 1012686).

З патенту Італії 1137527 відомо проведення реакції утворення МТБЕ і відділення зазначеного МТБЕ, що є продуктом реакції, від вуглеводнів і супроводжуючих його з'єднань в одному апараті з ректифікаційними тарілками, деякі з яких забезпечені шаром каталізатора, що складається з сферичних частинок каталізатора.

Зокрема, в даному патенті показано застосування ряду каталітичних зон, в яких має місце висхідний потік рідини і пара через шар каталізатора і де каталізатор завжди покритий рідиною.

Даний спосіб має певні недоліки внаслідок того, що при проведенні процесу в певних умовах, зокрема в разі занадто товстих шарів каталізатора, можливо занадто сильне падіння тиску на шарі.

У патенті США 4847431 стверджується, що більшу частину цих пов'язаних з гідродинаміки проблем можна вирішити за рахунок спадного струму рідини через шар каталізатора при збереженні завжди висхідного руху потоку пара.

Однак незважаючи на цю доцільну міру, падіння тиску на шарі каталізатора може все ж виявитися відносно високим.



Було виявлено, що за рахунок руху потоку рідкої фази в шарі каталізатора в поперечному напрямку можна ефективно знизити падіння тиску.

Пропонований спосіб отримання простих трет-алкілових ефірів, зокрема, метил-трет-бутилового ефіру (ТМБЕ), з ізоолефінів і аліфатичних спиртів включає наступні стадії:

вуглеводневу сировину, в якому міститься ізоолефін, і можливо, частина аліфатичного спирту, подають в колону ректифікації, забезпечену тарілками, де деякі із зазначених тарілок забезпечені шаром каталізатора, що представляє собою, наприклад, сульфовані стирол-дівінілбензолні смоли, і можуть бути розділені однією звичайною дистиляційною тарілкою або їх групою (сітчасті, або перфоровані тарілки, або клапанні тарілки, або барботажні тарілки);

принаймні частина аліфатичного спирту подають окремо в колону, поблизу її головної частини;

зазначений ізоолефін взаємодіє з зазначеним спиртом на тарілках, що містять шар каталізатора, причому зазначені шари каталізатора занурені в рідку реакційну суміш;

ефірний продукт відокремлюють від інших з'єднань на дистиляційних тарілках і на тарілках, що містять шари каталізатора, причому чистий в основному ефір виходить у вигляді зібраного на дні колони потоку продуктів;

прореагувавши вуглеводні і, можливо, спирт у вигляді азеотропних сумішей з зазначеними вуглеводнями збирається зверху колони;

цей спосіб відповідно до винаходу відрізняється тим, що в зазначеній ректифікаційній колоні, забезпеченою тарілками і має в основному вертикальну циліндричну форму, всередині якої здійснюється утворення трет-алкілового ефіру і відділення зазначеного трет-алкілового ефіру від супроводжуючих його вуглеводнів та інших сполук, рідка реакційна суміш протікає через шари каталізатора, розташовані на каталітичних тарілках, в поперечному напрямку щодо осі цієї ж колони ректифікації.

Мається на увазі, що термін "поперечний" збігається також з терміном "радіальний щодо шару каталізатора". Зокрема, може мати місце потік рідкої фази зовні всередину, тобто від зовнішньої бокової стінки каталізатора у напрямку до внутрішньої стінки; або зсередини назовні, тобто від внутрішньої бокової стінки шару каталізатора у напрямку до зовнішньої; або від однієї сторони, до іншої, тобто від однієї з бічних стінок шару, ближче до якої розташована передавальна трубка, по якій рідина надходить з верхньої тарілки у напрямку до протилежної стінки того ж шару каталізатора.

Спосіб відповідно до винаходу здійснюється при тиску в діапазоні від 200 до 3000 кПа, переважно при 500-2000 кПа, і при температурі в діапазоні від кімнатної до 200°C, переважно при 45-150°C.

Флегмове число ректифікаційної колони переважно має перебувати в діапазоні 0,5-15, більш переважно 1-10.

Каталізатор використовується у вигляді зерен, циліндричних тіл, сферичних тіл і, в більш загальному випадку, складається з частинок будь-якої форми, що забезпечує найбільш оптимальне його виготовлення і застосування. Каталізатор може являти собою також частки малого розміру, такі, наприклад, як сфероїдальні частинки діаметром в діапазоні 0,5-1 мм.

Об'єктом винаходу є пристрій, який може бути використано в будь-яких процесах реактивної дистиляції, таких як, наприклад, процеси, в яких мають місце реакції, пов'язані з хімічним рівновагою, відповідно до якого реагенти і продукти реакції легко відокремлюються одна від одної, в зв'язку з тим, що їх характеристики летючості такі, що їх можна легко і успішно з промислової точки зору розділити.

Подібний пристрій, зокрема, підходить для процесів отримання простих трет-алкілових ефірів, таких як, наприклад, МТБЕ, ЕТБЕ (етил-трет-бутиловий ефір), ТАМЕ (трет-алкілметіловий ефір), для отримання кумолу з пропена і

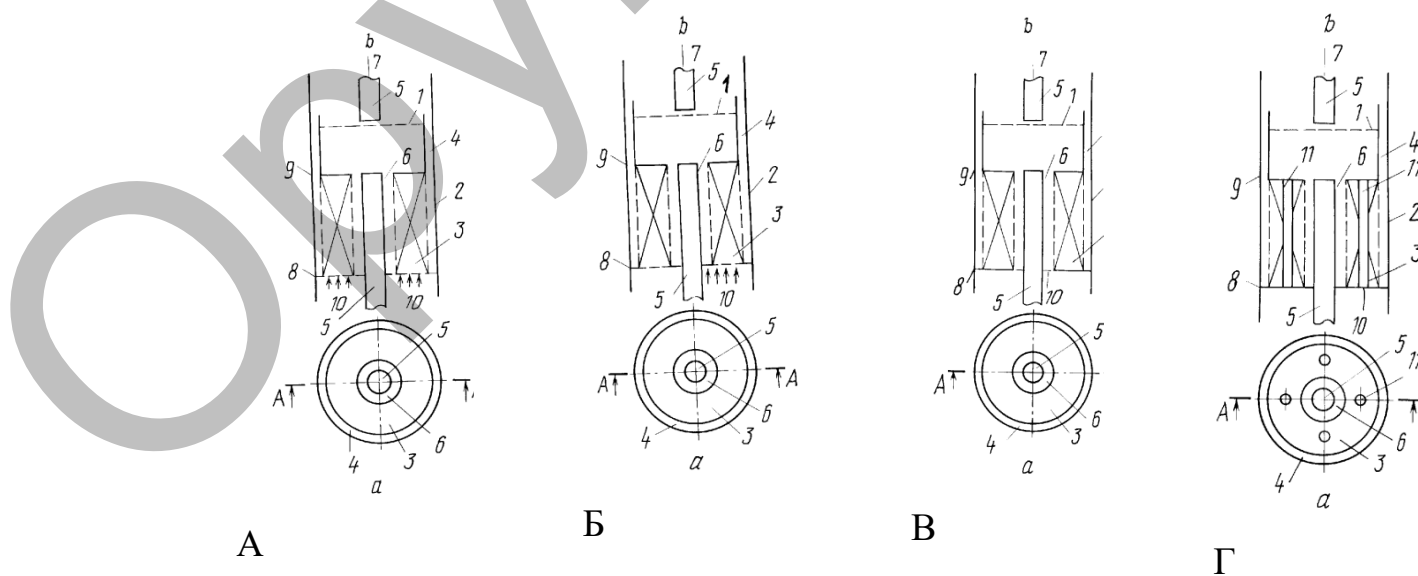
бензолу, для отримання ізобутіл з МТБЕ, для алкілування ізопарафінів олефінами.

Пристрій для реактивної дистиляції, що включає одну або більше зони, в якій розміщується в основному одна каталітична тарілка, і, можливо, традиційна дистиляційна тарілка відрізняється тим, що каталітична тарілка складається з одного або більше елементів, кожен з яких включає шар каталізатора, дві переточні трубки і не містить каталізатора камеру, причому шар каталізатора забезпечений відповідним носієм, що дозволяє протікати рідини через вказаний шар каталізатора в радіальному, перпендикулярному напрямку по відношенню до осі колони і утримує каталізатор.

Рисунки 1.4 показують що не обмежують обсяг винаходу приклади його практичної реалізації.

Рисунки 1.4 належать, зокрема, до різних форм каталітичних зон ректифікаційної колони, які повинні дозволити протікання потоку реакційної суміші в поперечному напрямку, зокрема в радіальному напрямку, через шари каталізатора.

Для простоти на рис. 1.4 наведені каталітичні тарілки, що складаються тільки з одного елемента.



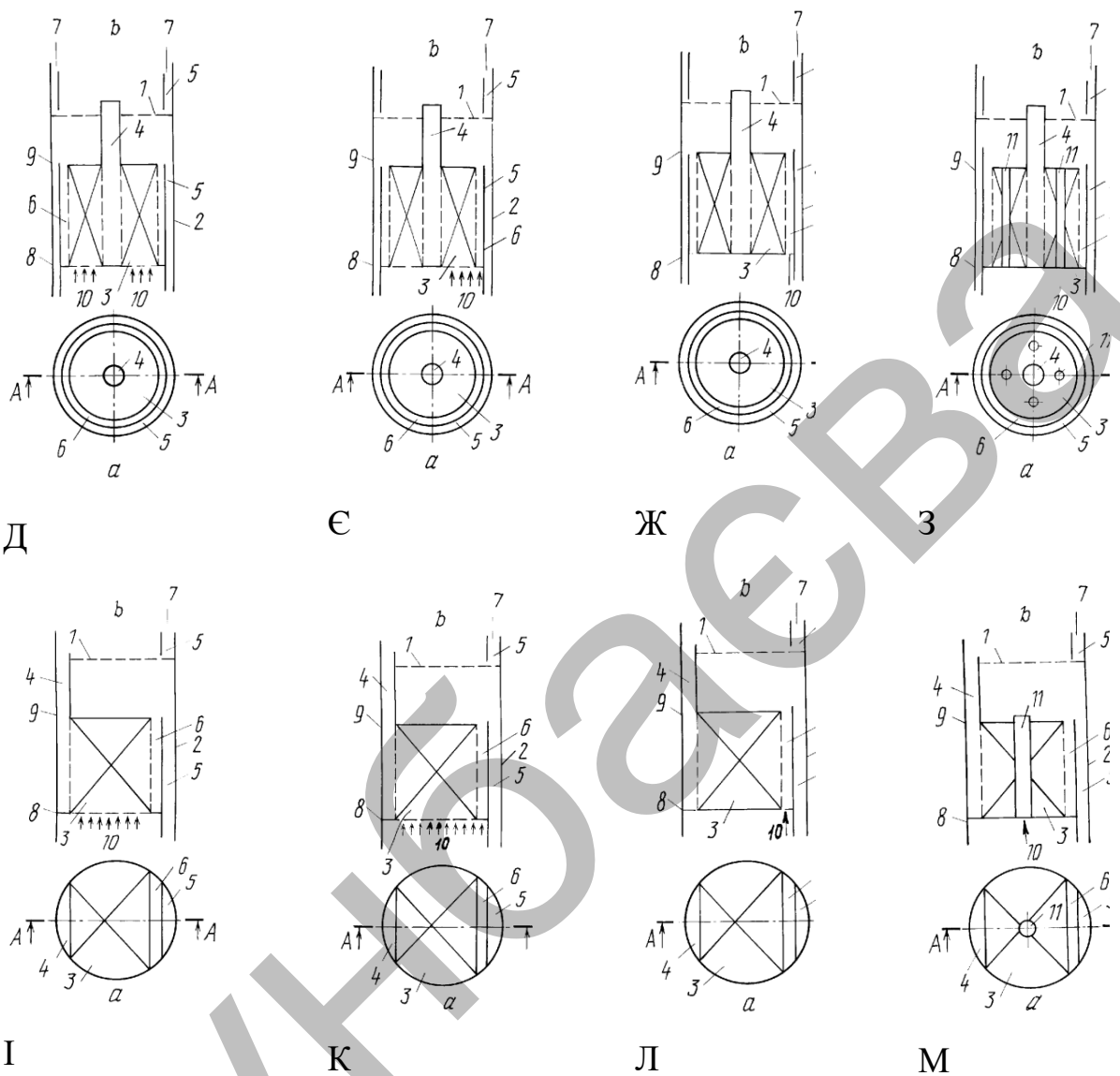


Рисунок 1.4 – Пристрої для реактивної дистиляції

На рис. 1.4А зображена частина пристрою, що включає одну дистиляційну тарілку 1 традиційного типу, яка може являти собою сітчасту, клапанну або барботажну тарілку, і одну каталітичну тарілку 2, що складається з шару каталізатора 3, двох переливних трубок 4 і 5 і не містить каталізатора камери 6.

Рідка реакційна суміш 7 стікає вниз через переливної трубку 5 на дистиляційну тарілку 1, з якої вона згодом стікає у напрямку до каталітичної тарілки 2 по переливної трубки 4, протікає через шар каталізатора 3 в напрямку,

поперечному по відношенню до осі пристрою, від зовнішньої бокової стінки вказаного шару у напрямку до внутрішньої його стінці.

Пройшовши через шар каталізатора 3, рідка реакційна суміш надходить в що не містить каталізатор камеру 6 і перетікає: по переливній трубці 5 в нижче розташовану зону пристрою, яка, в свою чергу, може бути забезпечена однією або більше дистиляційною тарілкою, або однієї або більше каталітичної тарілкою, або комбінацією однієї або більше каталітичної тарілки і однієї або більше дистиляційної тарілки.

Нижня частина 8 каталітичної тарілки перфорована тільки в тій її області, яка відповідає шару каталізатора 3, тоді як верхня частина 9 зазначеного плато переважно закрита або перфорована в області, що відповідає розташуванню що не містить каталізатора камери 6.

Потік пари 10 піднімається вгору, протікає через нижню частину каталітичної тарілки 8, вступає в контакт з частиною шару каталізатора 3, залишає яка містить каталізатора камеру 6 і досягає, нарешті, дистиляційної тарілки 1.

На рис. 1.4Б в зображена частина пристрою, аналогічна в основному тієї, яка схематично зображена на рис. 1.3А, за винятком того, що зона 8 реакторної частини тарілки 2 також перфорована в частині, що відповідає розташуванню що не містить каталізатора камери 6. При цьому частина потоку пари 10 обходить шар каталізатора.

На рис. 1.4В зображена частина пристрою, аналогічна в основному зображеної схематично на рис. 1.3Б, за винятком того, що нижня частина 8 перфорована тільки в тій її частині, яка відповідає положенням не містить каталізатора камери 6. При цьому весь пар 10 обходить шар каталізатора.

На рис. 1.4Г зображена зона пристрої, аналогічна в основному схематично показаним на попередніх рисунках, за винятком того, що всередині шару каталізатора 3 є трубки 11, за якими пар 10 піднімається з нижче розташованої

тарілки 2 у напрямку до тарілки 1. Частина 8 тарілка не перфорована, крім області, що відповідає розташуванню зазначених трубок, що дозволяє паровій фазі 10 підніматися по ним вгору.

На рис. 1.4Д-3 показані частини пристрою, в основному аналогічні схематично зображеним, відповідно, на рис. 1.3А-Г, за винятком того, що рідка реакційна суміш протікає через шар каталізатора 3 в напрямку від внутрішньої бокової стінки шару до зовнішньої бічної стінки, причому напрямок її течії поперечно по відношенню до осі цієї ж установки.

Пройшовши через шар каталізатора 3, рідка реакційна суміш потрапляє в що не містить каталізатор камеру 6 і по переливної трубки 5 стікає в нижню частину апарату, причому зазначена нижня частина апарату може, в свою чергу, включати одну або більше дистиляційну тарілку і одну або більше каталітичну тарілку і однієї або більше дистиляційної тарілки.

На рис. 1.4І-М показані частини установки, аналогічні в основному зображеним, відповідно на рис. 1.4А-Г, або на рис. 1.4Д-З, за винятком того, що рідка реакційна суміш протікає через шар каталізатора 3 в напрямку, поперечному щодо осі цієї ж установки, від бічної стінки, біля якої розташована переливна трубка, що подає рідину з верхньої частини установки, до протилежної стороні цього ж шару каталізатора.

У разі використання на одній і тій же каталітичній тарілці безлічі елементів, одна або більше переливна трубка може обслуговувати безліч зазначених елементів.

Приклад. Досягнуто конверсія ізобутіл в МТБЕ вище 95% за рахунок подачі вуглеводневої сировини, до складу якого входять насичені і ненасичені С4-вуглеводні, що містять 15 мас. ізобутіл, в установку того ж типу, що схематично зображено на рис. 1.3, забезпечену декількома каталітичними насадками і містить, як каталізатор, сульфовані стирол-дівінілбензолъну смолу, і дистиляційні тарілками, за рахунок проведення процесу відповідно до

заявляється способом при тиску приблизно 10 бар. флегмовому числі, рівному 1, і при температурах в діапазоні від 65 до 140°C.

З дна колони зібрали погон МТБЕ високої чистоти, що відводиться з верху колони продукт був, в основному, вільний від МТБЕ. Такий результат був отриманий при розміщенні між двома каталітичними тарілками однієї дистиляційної.

1. Спосіб отримання метил-трет-бутилового ефіру, етил-трет-бутилового ефіру або етил-трет-амилового ефіру реактивної дистиляцією шляхом взаємодії із оолефінової сировини, що містить ненасичені C4 і / або C5-вуглеводні, з метанолом або етиловим спиртом в вертикальному реакторі циліндричної форми, забезпеченим ректифікаційними тарілками і мають принаймні одну реакційну зону, яка містить каталізатор, наприклад сульфоновану смолу, занурену в рідку реакційну суміш, що відрізняється тим, що процес проводять в тарільчастій колоні, в реакційні зони якої подають рідку фазу через вертикальні канали з верху колони, а готовий продукт збирають в нижній її частині, тоді як парову фазу направляють через реакційні зони і зони ректифікації від низу до верху колони, звідки виділяють не прореагували частина вуглеводнів або азеотропну суміш з метанолом або етанолом, при цьому деякі з тарілок в колоні, в якій проводять процес, забезпечені одним або більше конструкційним і елементами, що включають шар каталізатора, що міститься всередині відповідного носія, два зливних склянки і камеру без каталізатора, і є частково або повністю перфорованими знизу або відокремлені один від одного однією або безліччю традиційних дистиляційних тарілок, причому принаймні частина метанолу подають в точку, що знаходиться поблизу верхньої частини зони ректифікації, а рідку суміш пропускають через шари каталізатора в напрямку, перпендикулярному осі фракційної колони, і процес ведуть при тиску 200 - 3000 кПа і температурі від кімнатної до 200°C.

2. Спосіб за п.1, що відрізняється тим, що реакційну суміш пропускають в радіальному напрямку щодо осі тієї ж колони.

3. Спосіб за п.1, що відрізняється тим, що реакційну суміш пропускають в поперечному напрямку щодо осі тієї ж колони. 4. Спосіб за п.1, що відрізняється тим, що процес ведуть при 65 - 140°C і 1000 кПа. 5. Пристрій для здійснення реактивної дистиляції, що включає колону з однієї або більше зонами, в якій розміщена каталітична тарілка і одна дистиляційна тарілка, що відрізняється тим, що каталітична тарілка складається з одного або більше елементів, кожен з яких містить шар каталізатора, дві переточні трубки і що не містить каталізатора камеру, при цьому шар каталізатора знаходиться всередині шару носія, що дозволяє рідкій реакційній суміші протікати через вказаний шар в радіальному перпендикулярному напрямку до осі колони і утримує каталізатор. 6. Пристрій за п.5, що відрізняється тим, що шар каталізатора розміщений всередині відповідного носія, що дозволяє рідкій суміші протікати через шар каталізатора від зовнішньої бокової стінки зазначеного шару до внутрішньої. 7. Пристрій за п.6, що відрізняється тим, що шар каталізатора розміщений всередині відповідного носія, що дозволяє протікати рідкій суміші через шар каталізатора від внутрішньої бокової стінки зазначеного шару до зовнішньої. 8. Пристрій за п.7, що відрізняється тим, що шар каталізатора розміщений всередині відповідного носія, що дозволяє протікати зазначеної рідкій суміші від одного кінця шару каталізатора до іншого.

## 1.2 Обґрунтування вибраного способу

У сучасний час виробництво МТБЕ на підприємствах складає приблизно 140 тис. т/рік, і воно зростає бо по словам Фарес Кільзіє власника компанії «Креон», “на даний момент попит на МТБЕ не тільки зберігає показники 2009 року, але й продовжує збільшуватися”. Підтвердженням слів Фареса Кільзіє служать аналітичні дані компанії «Креон»: у 2009 році попит на МТБЕ становив 430 тис. тонн, а до 2011 він імовірно збільшиться на 7-8% [3]. Тобто можна сміливо казати, що попит на МТБЕ буде зростати



Основною сировиною для виготовлення МТБЕ є метанол. У структурі споживання метанолу існують три основні напрями, на частку яких припадає понад 60% загального споживання даного продукту, це - виробництво формальдегіду, кислот і компонентів палива (МТБЕ). За оцінкою фахівців, подальше активне зростання виробництва метанолу буде викликане впровадженням нових технологій, що передбачають використання метанолу в якості палива для прямого спалювання, а також для виготовлення паливних елементів [4]. З цього можна зробити висновок, що виробництво метанолу буде збільшуватись, і як з цього виходить недоліку в сировині для виробництва МТБЕ не буде. МТБЕ має високі значення октанових чисел - 115-135 по дослідницькому методу і 98-100 за моторним методом, добре розчиняється в бензині в будь-яких співвідношеннях, практично не розчиняється у воді, не отруйний.

Технологія виробництва МТБЕ надзвичайно проста. Його отримують в одну стадію, приєднуючи метиловий спирт  $\text{CH}_3\text{OH}$  до ізобутилену (2-метілпропену)  $\text{C}_4\text{H}_8$ . При цьому не потрібно ні високих температур, ні високих тисків. Реакцію здійснюють на спеціальному каталізаторі (найчастіше це іонообмінні смоли) з високою селективністю та майже повною конверсією за прохід. Паливна суміш бензину з МТБЕ володіє наступними властивостями: покращуються антидетонаційні властивості легкокиплячих складових бензину, збільшується детонаційна стійкість і стабільність палива; знижується температура запуску двигуна і токсичність відпрацьованих газів; зменшується інтенсивність зношування деталей двигуна, утворення нагару і лакових відкладень; - скорочується витрата палива. Процес приготування бензинів являє собою простий процес механічного змішування низькооктанового бензину і МТБЕ. Підраховано, що найбільш економічно додавати в бензин 5-15% МТБЕ. При додаванні 10% МТБЕ октанове число отриманого бензину підвищується на 2,1 - 5,8 одиниць (по дослідницькому методу) в залежності від вуглеводневого складу вихідної сировини [5].

## 2 Характеристика сировини, напівфабрикатів, готової продукції

Метил-трет-бутиловий ефір (МТБЕ), ТУ 38.103704-90, зм. 1, 2, 3.

Метил-трет-бутиловий ефір є новим ефективним і нетоксичним висооктановим компонентом бензину, який задовольняє вимоги двигунобудівництва й не забруднює навколишнє середовище. Стабільний при зберіганні, повністю змішується з усіма вуглеводнями.

Формула МТБЕ	$C_5H_{12}O$
Структурна формула	$CH_3-O-C(CH_3)_3$
Молекулярна вага	88,146
Питома вага при $t = 15^\circ C$	0,7456 г/см <sup>3</sup>
Температура кипіння при 760 мм.рт.ст.	55°C
Температура плавлення	мінус 108,6°C
Тиск насичених пар по Рейду	55 кПа
Теплота згоряння	38220 кДж/кг
Теплота випару	337 кДж/кг
Розчинність МТБЕ на 100 г води при $t = 20^\circ C$	5,26 г
Азеотроп з водою, температура кипіння при $P = \text{атм.}$	52,2°C
Масова частка води в азеотропі	4,0%
Азеотроп з метанолом, температура кипіння при $P = \text{атм.}$	51,6°C
Масова частка метанолу в азеотропі	15%
Октанова характеристика по НИХ 115-135, по ММ 98-110.	[2].

Таблиця 2.1 Характеристика вихідної сировини, матеріалів і напівпродуктів

№ п/п	Найменування вихідної сировини, матеріалів і напівпродуктів	Стандарт, технологічні умови, сорт	Показники обов'язкові до перевірки	Норми показників
1	2	3	4	5
1.	Метанол (марка А)	ДЕРЖСТАНД-АРТ 2222-78, зм.1,2,3.	1. Зовнішній вигляд 2. Щільність при 20 <sup>0</sup> С, г/см <sup>3</sup> 3. Змішуваність із водою. 4. Температурні межі: - межа кипіння, <sup>0</sup> С - 99% продукту переганяється в межах, <sup>0</sup> С 5. Масова частка води, % 6. Масова частка вільних кислот у перерахуванні на мурашину кислоту, % 7. Масова частка альде-гідів і кетонів у перерахуванні на ацетон, % 8. Масова частка летучих з'єднань заліза в перерахуванні на залізо, % 9. Масова частка аміаку й аміносодержащих з'єднань, у перерахуванні на аміак, % 10. Масова частка хлору, % 11. Масова частка сірки, % 12. Масова частка нелетючого залишку після випару, % 13. Випробування з перманганатом калію, хв. 14. Питома електропровідність, Ом <sup>-1</sup> *см <sup>-1</sup>	Безбарвна прозора рідина без нерозчинних домішок 0,791 – 0,792 Змішується з водою без слідів помутніння. 64,0 – 65,5 не більш 0,8 не більш 0,05 не більш 0,0015 не більш 0,003 не більш 0,00001 не більш 0,00001 не більш 0,0001 не більш 0,001 не менш 60
2.	Фракція вуглеводнів С <sub>4</sub> – С <sub>5</sub> каталітичного крекінгу установки Г-43-107М/1		1. Вуглеводневий склад: - масова частка суми С <sub>3</sub> , % - масова частка суми С <sub>4</sub> , % у т.ч. масова частка дивінілу, % - масова частка суми С <sub>5</sub> , % - масова частка суми С <sub>6</sub> і вище, %	не більш 3,0 не норм. не більш 0,5 не більш 1,0

Продовження таблиці 2.1

1	2	3	4	5
3	Бутан– бутиленова фракція (ББФ) ділянки 300 установки Г-43-107М/1	ТУ 38.101498-79 . 1,2,3 (марка А)	1. Вуглеводневий склад - масова частка суми С <sub>3</sub> , % - масова частка бутіленів, % у т.ч. масова частка ізобутілену, % у т.ч. масова частка дивінілу, % - масова частка суми С <sub>5</sub> і вище, % 2. Масова частка сірководню й меркаптанової сірки, % у т.ч. Н <sub>2</sub> S, % 3. Масова частка азотовмісних з'єднань у перерахуванні на азот, % 4. Утримування вільної води. 5. Утримування лугу.	не більш 3,0 не менш 35,0  не менш 12,0 не більш 0,5 не більш 3,0  не більш 0,02 не більш 0,003  не більш 0,001  Відсутність Відсутність
4.	Каталізатор КУ – 2ФПП Марка А <sub>1</sub> (А <sub>2</sub> )	ТУ 2174-011- 05766801-93	1. Зовнішній вигляд. 2. Гранулометричний склад: а) розмір гранул - діаметр гранул, мм - діаметр отворів, мм - товщина стінки, мм - довжина гранул, мм б) масова частка робочої фракції, % 3. Повна статична обмінна ємність (ПСОЕ), мг-екв. Н <sup>+</sup> /г 4. Каталітична активність, % 5. Насипна щільність, г/см <sup>3</sup> 6. Масова частка вологи, % 7. Масова частка вільної сірчаної кислоти, %	Гранули у формі кілець ясно- сірого або ясно- жовтого кольору 9-13 (11 – 16) 3 – 6 (6 - 9) не менш 2,0 6 – 19 (8 – 20) не менш 70 2,5 не менш 55 0,4 – 0,5 не більш 30  не норм.
5.	Метил-трет- бутиловий ефір	ТУ 38.103704-90	1. Зовнішній вигляд  2. Масова частка МТБЕ, % 3. Масова частка спиртів, % 4. Масова частка вуглеводнів С <sub>4</sub> , % 5. Масова частка води, % Механічні домішки	Прозора рідина  не менш 96 не більш 2,5 не більш 1,5 не більш 0,1  відсутність

### 3 Опис технологічної схеми

Процес синтезу МТБЕ здійснюється в реакційно-ректифікаційна апараті, що складається з двох виносних взаємозамінних реакційних зон РТ1, РТ2 і двох ректифікаційних зон: нижньої - КЛ1/1 і верхньої - КЛ1/2.

Вихідна свіжа бутан-бутиленова фракція після блоку демеркаптанізації секції 300 установки Г-43-107М/1 або, міняючи блок демеркаптанізації, надходить в буферну ємність Е-1 блоку МТБЕ. З буферної ємності ББФ насосом Н-1 подається у вузол змішування з метанолом, що надходять від Н-2/1,2.

Вихідний свіжий метанол надходить з ТСБ в ємність для прийому метанолу Е-2 куди ж і подається метанол-рецикл.

З Е-2 метанол надходить на всмоктування насоса Н-2/1,2 і подається на змішування з ББФ. Після вузла змішування суміш ББФ та метанолу надходить у трубний простір теплообмінника АТ1, де нагрівається за рахунок тепла товарного МТБЕ, виведеного з куба КЛ1/1 та міжтрубний простір теплообмінника АТ4, де нагрівається водяним паром після чого подається у нижню частину адіабатного реактора РТ1.

Далі суміш ББФ+метанол+МТБЕ направляєється на розділення в реакційну колону відгонки МТБЕ КЛ1/1. Відділений МТБЕ проходить між трубний простір теплообмінників АТ1, АТ2 та виводиться з установки.

Відділена суміш ББФ+метанол з верху колони КЛ1/1 подається вниз реактору синтезу РТ2, куди подається свіжий метанол. З верху реактору РТ2 виходить суміш ББФ+метанол+МТБЕ і потрапляє в ректифікаційну колону КЛ1/2, де суміш поділяється на 2 потоки: азеотропну суміш ББФ з метанолом; воду, що містить МТБЕ.

З низу реактору суміш ББФ+метанол+МТБЕ проходячи насос Н-3 подається на верх ректифікаційної колони КЛ1/1.

#### 4.2 Блок екстракції

Балансовий надлишок азеотропної суміші (ББФ + метанол) надходить в екстрактор водного відмивання від метанолу КЛ-2, під нижню тарілку. В екстракторі КЛ-2, обладнаному ситчатими тарілками, проводиться відмивання водою відпрацьованої ББФ від непрореагуваного метанолу.

Вода на верхню тарілку КЛ-2 подається насосом Н-5 з куба колони регенерації метанолу КЛ-3.

Зверху КЛ-2 виводиться очищена від метанолу відпрацьована ББФ і надходить у відстійник Є-4, для відділення механічно віднесеної води. Відстояна вода з відстійника Є-4 періодично в міру нагромадження, виводиться в дренажну ємність.

Очищена від метанолу відпрацьована ББФ зверху відстійника Є-4 під власним тиском парк зріджених вуглеводневих газів.

Нижній продукт колони КЛ-2 – вода з метанолом під тиском системи надходить у міжтрубний простір теплообмінника АТ-8, де підігривається промивною водою з куба колони КЛ-3 до температури 70-90°C і подається в колону КЛ-3 на 28 тарілку для регенерації метанолу.

Ректифікаційна колона КЛ-3 обладнана виносним кип'ятильником ІІ-2. Температурний режим колони КЛ-3 забезпечується зміною кількості пари подаваного в кип'ятильник ІІ-2 і подаваного зрошення наверх колони.

Пари метанолу, виведені із КЛ-3, конденсуються в апараті повітряного охолодження АТ-9, потім доохолоджуються у водяному холодильнику АТ-10 і надходять у ємність Є-5. Метанол з Є-5 насосом Н-6 подається на зрошення колони КЛ-3, а надлишок метанолу – подається в сировинну метанольну ємність Є-2, тобто вертається в процес синтезу й тому називається метанол-рецикл. Вода з куба колони КЛ-3 подається насосом Н-5 у трубний простір теплообмінника АТ-8, де віддає тепло метанольній воді із КЛ-2, проохолоджується у водяних холодильниках АТ-11, АТ-12, потім надходить на 40 тарілку екстрактора КЛ-2 [2].

## 4 Матеріальні і теплові баланси

### 4.1 Матеріальний розрахунок

Вихідні дані:

Вихідні дані:

Річна потужність установки у розрахунку

на 100% метил-трет-бутиловий ефір 38 000 т;

річний фонд робочого часу 8400 год;

ступінь конверсії ізобутилену 0.98

співвідношення метанол:ізобутилен: 1,058:1

Склад бутан-бутиленової фракції:

Речовина	і-бутилен	н-бутилен	ізо-бутан	н-бутан	сума
мас. долі	0.1	0.08	0.41	0.41	1
Мі, кг/кмоль	56	56	58	58	
п <sub>i</sub> , кмоль/год	144.951	115.961	594.299	594.299	1449.510
т <sub>i</sub> , кг/год	8117.26	6493.80	34469.35	34469.35	83549.76

Склад метанолу:

Речовина	мас. долі	Мі, кг/кмоль	п <sub>i</sub> , кмоль/год	т <sub>i</sub> , кг/год
метанол	0.98	32	35.15	1124.89
вода	0.02	18	0.72	12.91
Сума:	1.00		35.87	1137.80

Годинна продуктивність по МТБЕ:

$$38000 * 1000 / 8400 = 4523,8 \quad \text{кг/год} \quad 35.870 \quad \text{кмоль/год}$$

Розхід ізобутилену з урахуванням ступені конверсії:

$$35,870 / 0,98 = 36.602 \quad \text{кмоль/год} \quad \text{або} \quad 2049.72 \quad \text{кг/год}$$

Необхідно подати з урахуванням втрат

$$(36,602 / (100 - 0,005)) * 100 = 36.6 \quad \text{кмоль/год} \quad \text{або} \quad 2049.82 \quad \text{кг/год}$$

Розхід бутан-бутиленової фракції:

36,602/0,1= 366.021 кмоль/год

По цільовій реакції:



Утворюється:

МТБЕ: 35.870 кмоль/год 3156,566 кг/год

Витрачається:

ізобутилену: 35.870 кмоль/год 2008.724 кг/год

метанола: 35.870 кмоль/год 1147.842 кг/год

Витрачається ізобутилену на побічні реакції:

36,602-35,870= 0.732 кмоль/год 40.994 кг/год

По реакції №2 реагує 33% ізобутилену:



0,33\*0,732= 0.24 кмоль/год 13.53 кг/год

Утворюється:

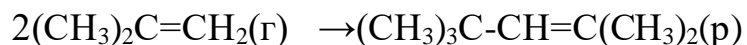
третбутанол: 0.242 кмоль/год 17.88 кг/год

Витрачається:

ізобутилену: 0.242 кмоль/год 13.53 кг/год

води: 0.242 кмоль/год 4.35 кг/год

По побічній реакції №3 витрачається 67% ізобутилену:



Утворюється:

діізобутилен: 0.490 кмоль/год 54.93 кг/год



Витрачається:

ізобутилену: 0.98 кмоль/год 54.93 кг/год

Кількість діізобутилену в продуктах:

0.734 кмоль/год 41.10 кг/год

Матеріальний баланс зводимо в таблицю:

Таблиця 4.1

Прихід	кмоль/год	кг/год	Витрата	кмоль/год	кг/год
ББФ, у т. ч.:	1341.161	78630.060	МТБЕ	35.870	3156.566
ізобутилен	36.602	3197.560	трет-бутанол	0.242	17.876
н-бутилен	115.961	6493.805	діізобутилен	0.490	54.932
ізобутан	594.299	34469.348	ізобутилен	0.734	41.097
н-бутан	594.299	34469.348	н-бутилен	115.961	6493.805
метанол	37.192	1190.129	ізобутан	594.299	34469.348
вода	1.102	19.844	н-бутан	594.299	34469.348
			вода	0.717	12.913
			метанол	35.153	1124.885
Разом:	1379.455	79840.033	Разом:	1377.765	79840.010

#### 4.2 Тепловий розрахунок

Вихідні дані:

Матеріальні потоки:

ізобутилен	0.0051 кмоль/с
метанол	0.0052 кмоль/с
вода	0.0002 кмоль/с
продукти р-ції	0.0102 кмоль/с

Температура: °С К

ізобутилен	40	313
------------	----	-----

метанол	40	313
вода	40	313
продукти р-ції	80	353

Рівняння теплового балансу в загальному вигляді:

$$Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 = Q_5 + Q_6 + Q_{\text{пот}}$$

де  $Q_1$  - тепловий потік ізобутилену, кВт;

$Q_2$  - тепловий потік метанолу, кВт;

$Q_3$  - тепловий потік води, кВт;

$Q_4$  - теплота екзотермічних реакцій, кВт;

$Q_5$  - тепловий потік продуктів реакції, кВт;

$Q_6$  - теплота, що відводиться киплячим конденсатом, кВт;

$Q_{\text{втр}}$  - тепловтрати в навколишнє середовище, кВт.

Продукти	Ентальпія утв.		$C_p$ , Дж/моль·К	$C_p^*x$ , Дж/моль·К
ізобутилен	100	-16.6	87.8	87.8
метанол	100	-234.9	80.3	80.3
вода	100	-285.84	75.31	75.31
МТБЕ	100	-333.3	206	206
трет-бутанол	100	-265.03	29.98	29.980
діізобутилен	100	-142.40	31.58	31.580
ізобутилен	100	-16.6	45.09	45.090
вода	100	-285.84	75.31	75.310
метанол	100	-234.90	80.30	80.300

Теплові потоки:

ізобутилен

$$Q_1 = 0,0051 * 87,8 * 313 = 139.705 \text{ кВт}$$

метанол

$$Q_2 = 0,0052 * 80,3 * 313 = 129.829 \text{ кВт}$$

вода

$$Q_3 = 0,0002 * 75,31 * 313 = 3.609 \text{ кВт}$$

продукти р-ції:

$$Q_5 = 0,0102 * 30 * 353 = 62.835 \text{ кВт}$$

Розраховуємо теплоти реакцій ( в кДж/моль):

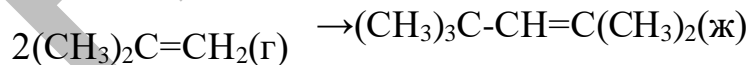
$$\Delta H_{298} = \sum (\gamma_i \Delta H_{f,i}^{\circ})_{\text{продукт}} - \sum (\gamma_i \Delta H_{f,i}^{\circ})_{\text{вих. реч.}}$$



$$\Delta H_{298} = (-333,3) - (16,6 + 234,9) = -81.8 \text{ кДж}$$



$$\Delta H_{298} = (-265,03) - (16,6 - 285,84) = 37.41 \text{ кДж}$$



$$\Delta H_{298} = -142,4 - 2 * 16,6 = -109.2 \text{ кДж}$$

Теплота екзотермічних реакцій:

$$Q_4 = 81,800 * 0,0051 * 1000 = 415.841 \text{ кДж}$$

Загальний прихід теплоти:

$$Q_{\text{прих}} = 139,705 + 129,829 + 3,609 + 415,841 = 688.984 \text{ кВт}$$

Тепловтрати в навколишнє середовище складають 5% від загального приходу теплоти:

$$Q_{\text{втр}} = 0,05 * 688,984 = 34.449 \text{ кВт}$$

Кількість теплоти, яка відводиться конденсатом:

$$Q_6 = Q_{\text{прих}} - Q_5 - Q_{\text{втр}} = 688,984 - 62,835 - 34,449 = 591.700 \text{ кВт}$$

Результати розрахунків заносимо в таблицю.

Таблиця 4.2 – Тепловий баланс

Прихід	кВт	%	Витрата	кВт	%
Теп. ізобутилену	139.705	20.277	Теплота продуктів	62.835	9.120
Теп. метанолу	129.829	18.844	Теплота, що відводиться	591.700	85.880
Теплота води	3.609	0.524	Тепловтрати	34.449	5.000
Теплота реакцій	415.841	60.356			
Разом:	688.98	100.00	Разом:	688.98	100.00

## 5. Вибір і розрахунок основного апарату

### 5.1 Визначення діаметру колони

Діаметр колони визначаємо по рівнянню:

$$D = \sqrt{\frac{V_y}{0,785 \cdot W}} \quad (5.1)$$

Витрата пари, що проходить по колоні, може бути визначена:

$$V_{\dot{o}} = \frac{G_{\dot{o}}}{\rho_{\dot{o} \text{ ср}}} = \frac{G_p \cdot (R+1)}{\rho_{\dot{o} \text{ ср}}} = \frac{2704,66 \cdot (3,47+1)}{3600 \cdot 0,8719} = 3,85 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Швидкість пари в колоні визначаємо за рівнянням (5.2). Попередньо приймаємо відстань між тарілками  $h = 300$  мм. Використовуємо раніше знайдені  $\rho_{x \text{ ср}} = 829,77 \text{ кг/м}^3$  і  $\rho_{y \text{ ср}} = 0,8719 \text{ кг/м}^3$ . Для ситчатих тарілок за графіком (рис. 5.1) знаходимо  $C = 0,032$ . Тоді швидкість пари в колоні:

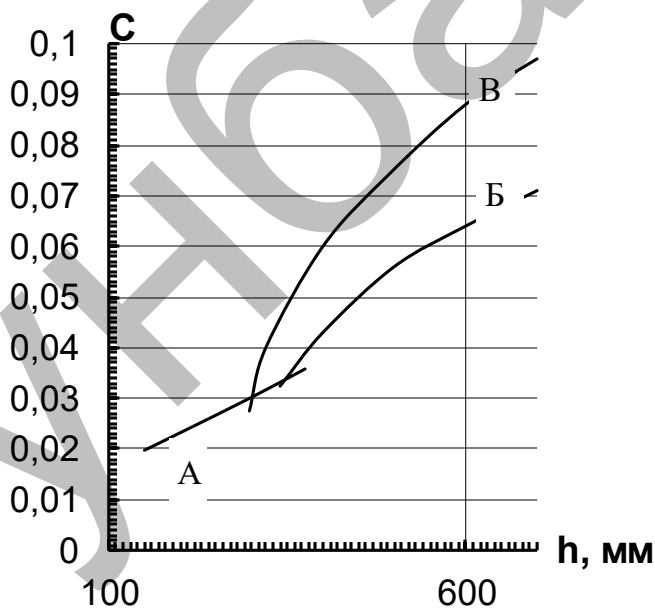


Рисунок 5.1 – До визначення коефіцієнта С:

А, Б – ковпачкові тарілки з круглими ковпачками;

В – ситчаті тарілки.

$$W = C \sqrt{(\rho_{x \text{ ср}} - \rho_{y \text{ ср}}) / \rho_{y \text{ ср}}} = 0,032 \cdot \sqrt{\frac{829,77 - 0,8719}{0,8719}} = 0,986 \text{ м/с.} \quad (5.2)$$

Тоді діаметр колони

$$D = \sqrt{\frac{V_y}{0,785 \cdot W}} = \sqrt{\frac{3,85}{0,785 \cdot 0,986}} = 2,23 \text{ м.}$$

Приймаємо стандартне значення діаметра колони  $D = 2,3 \text{ м}$  і уточнюємо швидкість пари в колоні:

$$W = \frac{V_y}{0,785 \cdot D^2} = \frac{3,85}{0,785 \cdot 2,3^2} = 0,927 \text{ м/с.}$$

## 5.2 Визначення висоти колони

Для визначення висоти колони необхідно розрахувати число дійсних тарілок. При наближених розрахунках приймають теоретично менш обгрунтований, але більш простий метод визначення числа тарілок за допомогою ККД тарілок (ККД колони) [7]:

$$N_d = \frac{N_T}{\eta} \quad (5.3)$$

де:  $N_T$  – число теоретичних тарілок – ступенів зміни концентрацій, яку знаходимо графічно,  $N_T = 18$

$\eta$  – ККД тарілки, приймаємо рівним  $\eta = 0,3$

$$N_d = \frac{18}{0,3} = 60 \text{ штук}$$

Визначаємо формулу для розрахунку висоти тарільчатої колони

$$H = (N_d - 1) \cdot h + h_1 + h_2 \quad (5.4)$$

де:  $h$  – відстань між тарілками,  $h = 300 \text{ мм}$

$h_1$  – висота сепараційної частини колони,  $h_1 = 2,42 \text{ м}$

$h_2$  – відстань від нижньої тарілки до днища,  $h_2 = 3 \text{ м}$

$$H = (60 - 1) \cdot 0,3 + 2,42 + 3 = 23,12 \text{ м.}$$

### 5.2.1 Характеристика тарілки

Приймаємо тарілки типу ТС (ОСТ 26-01-108-85) [7, с.216]:

Діаметр тарілки – 2300 мм;

Свободне січення тарілки – 3,8 м<sup>2</sup>;  
 Периметр зливу – 1,24 м;  
 Січення переливу – 0,161 м<sup>2</sup>;  
 Відносна площа переливу – 4,25%;  
 Вага – 1380 г

### 5.3 Визначення діаметру штуцерів

Діаметр штуцеру визначаємо за рівнянням:

$$d = \sqrt{\frac{V}{0,785 \cdot W}} \quad (5.5)$$

де:  $V$  – об'ємна продуктивність, м<sup>3</sup>/с

$W$  – швидкість руху потоку, м/с

Штуцер подачі флегми:

$$d = \sqrt{\frac{V_{\delta}}{0,785 \cdot W_{\delta}}} \quad (5.6)$$

$$V_{\delta} = \frac{G_{\delta}}{\rho_A} = \frac{G_{\delta} \cdot R}{\rho_A} = \frac{2704,66 \cdot 3,47}{3600 \cdot 738,54} = 3,5 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}.$$

Оскільки швидкості потоку приймаємо орієнтування, то можна прийняти густину флегми, як густину метанолу:  $\rho_A = 738,54 \text{ кг/м}^3$  при  $t = 75,515^{\circ}\text{C}$ .

Приймаємо  $W_{\phi} = 0,5 \text{ м/с}$ , тоді

$$d = \sqrt{\frac{3,5 \cdot 10^{-3}}{0,785 \cdot 0,5}} = 0,095 \text{ м}.$$

Стандартний розмір труби для виготовлення штуцеру  $\varnothing 200 \times 4 \text{ мм}$ , [7].

Штуцер подачі початкової суміші:

$$d = \sqrt{\frac{V_F}{0,785 \cdot W_F}} \quad (5.7)$$

$$V_F = \frac{G_F}{\rho_F}; \quad \rho_F = \frac{\rho_A \cdot \rho_B}{\rho_B \cdot \alpha_F + (1 - \alpha_F) \cdot \rho_A} \quad (5.8)$$

при  $t_{XF} = 86,5 \text{ } ^\circ\text{C}$

$$\rho_F = \frac{733.82 * 975.26}{975.26 * 0,2 + (1 - 0,2) * 733.82} = 915,05 \text{ кг/м}^3,$$

$$V_F = \frac{10512,8}{3600 * 781,01} = 3,73 * 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}.$$

Приймаємо  $W_F = 0,8 \text{ м/с}$ , тоді

$$d = \sqrt{\frac{3,73 * 10^{-3}}{0,785 * 0,8}} = 0,77 \text{ м}.$$

Стандартний розмір труби для виготовлення штуцера  $\varnothing 110 \times 3 \text{ мм}$ .

Штуцер виходу кубового залишку:

$$d = \sqrt{\frac{V_w}{0,785 * W_w}} \quad (5.9)$$

$$V_w = \frac{G_w}{\rho_w} = \frac{72.00}{3600 * 980} = 2,0408 * 10^{-5} \text{ м}^3/\text{с}.$$

$\rho_w = 980 \text{ кг/м}^3$  – густина пропіонової кислоти

Приймаємо  $W_w = 0,3 \text{ м/с}$ , тоді

$$d = \sqrt{\frac{2,0408 * 10^{-5}}{0,785 * 0,3}} = 0,093 \text{ м}.$$

Стандартний розмір труби для виготовлення штуцера  $\varnothing 70 \times 3 \text{ мм}$ , [7].

Штуцер виходу пари з колони:

$$d = \sqrt{\frac{V_y}{0,785 * W_y}} \quad (5.10)$$

$$V_y = 3,85 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Приймаємо  $W_y = 15 \text{ м/с}$ , тоді

$$d = \sqrt{\frac{3,85}{0,785 * 15}} = 0,326 \text{ м}.$$

Стандартний розмір труби для виготовлення штуцера  $\varnothing 89,5 \times 10 \text{ мм}$ , [7].

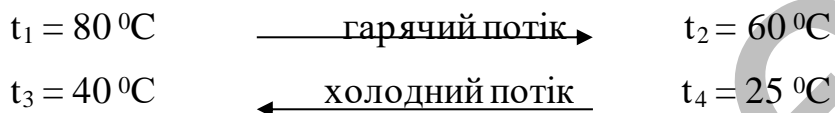


## 6 Вибір допоміжного обладнання

На заводах переробки нафти важливо використовувати в якості теплоносіїв продукти, які виходять з інших блоків. Так, наприклад для нагріву суміші ББФ+метанол ми можемо використовувати тепло товарного МТБЕ.

Гарячий МТБЕ охолоджується з 80 °С до 60 °С, а суміші ББФ+метанол нагрівається від 25 °С до 40°С.

Схема теплообміну:



$$\Delta t_B = t_1 - t_3 = 40 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\Delta t_H = t_2 - t_4 = 35 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Середню різницю температур визначаємо по формулі:

$$\tau_{\text{сер.}} = (\Delta t_B - \Delta t_H) / 2,31 \lg(\Delta t_B / \Delta t_H),$$

де  $\Delta t_B$ ,  $\Delta t_H$  – вища і нижча різниці температур між потоками у кінців теплообмінного апарату.

$$\tau_{\text{сер.}} = (40 - 35) / 2,3 \lg(40/35) = 37,49 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Поверхня теплообміну визначається за наступним рівнянням теплопередачі:

$$Q = K \times F \times \tau_{\text{сер.}},$$

звідси

$$F = Q / (K \times \tau_{\text{сер.}}),$$

F – поверхня теплообміну, м<sup>2</sup>;

K – коефіцієнт теплопередачі, Вт/(м<sup>2</sup>\* К); приймаємо K = 20,9 Вт/(м<sup>2</sup>\* К);

$\tau_{\text{сер.}}$  – середня логарифмічна різниця температур;

Q – тепло МТБЕ;

$$Q = 62835 \text{ Вт.}$$

$$F = 62835 / (20,9 \times 37,49) = 80,19 \text{ м}^2$$

Приймаємо двоходовий кожухотрубний теплообмінник з плаваючою головкою з наступними характеристиками [7]:

- діаметр корпусу – 600 мм;
- труба – 20 × 2;
- довжина труб – 4000 мм;
- поверхня теплообміну – 93 м<sup>2</sup>.

Орунбаєва

## 7 Контроль роботи, норми і правила обслуговування основного апарату

### 7.1 Технічна структура автоматичної системи керування

Сучасні хімічні й нафтохімічні виробництва відрізняються високою швидкістю протікання хімічних реакцій і технологічних процесів, складними технологічними схемами, більшою кількістю апаратів, складними умовами ведення процесу. Для ділянки синтезу мітил-трет-бутилового ефіру найбільш важливими в плані одержання якісного продукту є:

- підтримка й регулювання регламентних тиску й температури у всіх апаратах, особливо в РРВ;
- чітке регулювання витрат вихідних речовин і реагентів з метою забезпечення їх оптимального співвідношення;
- контроль і регулювання витрати теплоносія;
- підтримка в ємностях, колоннім устаткуванні й у реакторах рівнів, відповідних до регламентних норм;
- оперативний якісний аналіз сполуки вихідних продуктів, для чого використовуються потокові хроматографи.

Для забезпечення безперервності технологічного процесу в межах регламентних норм на ділянці синтезу МТБЕ в складі комбінованої установки Г-43-107М/1 у даному проекті пропонується застосувати сучасну АСУТП на базі мікропроцесорної техніки.

Автоматична система складається із двох функціональних блоків:

- розподілена автоматична система керування технологічним процесом «TOSDIC» виробництва фірми «Toshiba»;
- для керування системою блокувань і протиаварійного захисту (СБ і ПАЗ) застосовується програмувальний логічний контролер (PLC) виробництва фірми «Bonar August System».

АСУТП «TOSDIC» виконує наступні функції: приймання вхідних сигналів від контрольно-вимірювальних приладів, їх обробка, архівування, висновок значень і сигналізацій на монітор, автоматичне керування виконавчими механізмами, формування звітів, режимних аркушів і іншої сервісної інформації.

PLC виконує наступні функції: приймання вхідних сигналів від контрольно-вимірювальних приладів, їх обробка, архівування, висновок значень і сигналізації на монітор, автоматичне керування блокуваннями згідно із заданою програмою.

Основною функціональною одиницею системи керування є контролери, аналогічні Pentium-286. У даної АСУТП передбачена установка декількох сотень таких контролерів, кожний з яких працює незалежно й має дублювання. Така конфігурація називається розподіленою системою й забезпечує максимальна швидкодія й високий ступінь надійності. АСУТП працює в основному з уніфікованими електричними сигналами.

В АСУТП «TOSDIC» пропонується застосувати наступну конфігурацію:

- для забезпечення іскробезпеки ланцюгів на вхідних і вихідних ланцюгах використовуються бар'єри іскробезпеки (BR-1 і BR-2) фірми «MTL»;

- вхідні сигнали від контролюючих СТОВІВ надходять на блоки комутаторів з аналого-цифровим перетворювачем (АЦП), де відбувається перетворення аналогового або дискретного сигналу в цифровий, після чого сигнал надходить для подальшої обробки в контролер типу VPCPX2. Дані контролери мають резервування 1:1;

- вхідні сигнали від СТОВІВ, що передбачають керування виконавчими механізмами, надходять безпосередньо в контролер типу VLCPX4, що має внутрішній АЦП і цифро-аналоговий перетворювач (ЦАП). Даний контролер не тільки обробляє вхідні сигнали, але й формує керуючі сигнали для керування виконавчими механізмами. VLCPX4 має резервування 7:1;

- зв'язок контролерів з пультами керування здійснюється через мережний контролер з використанням 100 Mbs шини, яка має резервування 1:1.

В PLC пропонується застосувати наступну конфігурацію:

- для забезпечення іскробезпеки ланцюгів на входних і вихідних ланцюгах використовуються бар'єри іскробезпеки (BR-1 і BR-2) фірми «MTL», для гальванічної розв'язки використовуються вбудовані модулі гальванічної розв'язки;

- входні сигнали надходять на плати із вбудованим АЦП, а також цифро-дискретними перетворювачами (ЦДП) і дискретно-цифровими перетворювачами (ДЦП) типу CS330 Process Control System ;

- контролери об'єднані в блоки по три штуки й працює по мажоритарному принципу (працюють паралельно);

- для зв'язку контролерів з пультами керування використовується та ж високошвидкісна шина.

Робоче місце оператора технолога (PMOT) – пульт керування технологічним процесом пропонується оснастити:

- обладнаннями контролю (КК) – двома 19-дюймовими рідкокристалічними моніторами з функцією „touch”, на яких відображаються мнемосхеми блоків ділянки з даними технологічного процесу, світлова й звукова сигналізація, тренди реального часу, історичні тренди, огляди приладів по групах, стан СБ і ПАЗ, стан устаткування й отсїчників, архівні дані, прикладні (сервісні) програми;

- панелями ручного керування (РУ) – двома клавіатурами, що дозволяють виконувати наступні функції: керування зображенням на моніторах (виклик і перелист мнемосхем, трендів, оглядів і т.д.), зміна режиму роботи виконавчих механізмів (ручний або автоматичний), уведення параметрів режиму для автоматичного керування й уставок сигналізацій, подача команд на виконавчі

механізми в режимі ручного керування, включення й відключення блокувань і сигналізації;

- мишкою ( 2 шт. ).

Тому що виробництво МТБЕ є пожежно-вибухонебезпечним, для регулювання використовуються пневматичні клапани типу «МІМ». У зв'язку з тим, що вихідний сигнал АСУТП електричний, то на виході необхідно використовувати електропневматичні перетворювачі VP1-05/EXP (аналог Епп-Ех).

При впровадженні АСУТП для керування технологічним процесом скорочується собівартість продукції за рахунок зниження витратних норм сировини, матеріалів, енергоресурсів на випуск одиниці продукції, збільшується продуктивність апаратів, підвищується якість продукції, полегшує робота оперативного персоналу по веденню технологічного процесу (скорочується кількість зайнятих у виробництві людей).

## 7.2 Контроль основних технологічних параметрів процесу

Для керування технологічним процесом одержання МТБЕ оператор-технолог повинен мати можливість у будь-який час одержати повну інформацію про хід процесу. Для цього в даному дипломному проекті запропоновано вимірювати й виводити в ЦПУ, і на монітор керуючого обчислювального комплексу значення наступних технологічних параметрів:

1) Температура:

- ББФ в Е-1 (контролюється приладом поз. ТІРА-2в);
- свіжої ББФ перед вузлом змішання (контролюється приладом поз. ТІРА-5в);
- свіжого метанолу (контролюється приладом поз. ТІРА-7в);
- метанолу в Е-2 (контролюється приладом поз. ТІРА-9в);
- метанолу після підігрівника АТ-3 (контролюється приладом поз.

TIRA-12в);

- сировинної суміші після АТ-1 (контролюється приладом поз. TIRA-13в);

- сировинної суміші після АТ-4 (контролюється приладом поз. TIRA-14в);

- верхнього шару каталізатора адіабатичного реактора (контролюється приладом поз. TIRA-15в (1÷9));

- середнього шару каталізатора адіабатичного реактора (контролюється приладом поз. TIRA-16в (1÷9));

- нижнього шару каталізатора адіабатичного реактора (контролюється приладом поз. TIRA-17в (1÷9));

- верхнього шару каталізатора реактора синтезу (контролюється приладом поз. TIRA-22в (1÷9));

- середнього шару каталізатора реактора синтезу (контролюється приладом поз. TIRA-23в (1÷9));

- нижнього шару каталізатора реактора синтезу (контролюється приладами поз. TIRA-24в (1÷8) і TIRA-25в);

- харчування на 24-ю тарілку КЛ-1/1 (контролюється приладом поз.

TIRA-21в);

- верху КЛ-1/1 (контролюється приладом поз. TIRA-31в);

- на 16-й тарілці КЛ-1/1 (контролюється приладом поз. TIRA-32в);

- у кубі КЛ-1/1 (контролюється приладом поз. TIRA-33в);

- МТБЕ після АТ-1 (контролюється приладом поз. TIRA-37в);

- МТБЕ після АТ-2 (контролюється приладом поз. TIRA-38в);

- верху КЛ-1/2 (контролюється приладом поз. TIRA-42в);

- азеотропної суміші після АТ-5/1,2 (контролюється приладом поз. TIRA-44в);

- азеотропної суміші після АТ-6,7 (контролюється приладом поз.

TIRA-45в);

- азеотропної суміші в Е-3 (контролюється приладом поз. TIRA-46в);

## 2) Рівень:

- у сировинних ємностях Е-1 і Е-2 (контролюється приладами поз. LIRA-3б

і LIRA-8б відповідно);

- у ємності Е-3 (контролюється приладами поз. LIRA-47б і LIRA-48б);

- у кубі реактора РТ-2 (контролюється приладами поз. LIRA-28б і LIRA-29б);

- у кубі колони КЛ-1/1 (контролюється приладом поз. LIRA-35б).

## 3) Витрата:

- метанолу в Е-2 (контролюється приладом поз. FIRA-6в);

- ББФ на змішання (контролюється приладом поз. FIRA-4в);

- метанолу в РТ-2 (контролюється приладом поз. FIRA-11в);

- метанолу на змішання (контролюється приладом поз. FIRA-10в);

- харчування від Н-3 на 28-ю тарілку КЛ-1/1 (контролюється приладом поз. FIRA-30в);

- харчування на 24-ю тарілку КЛ-1/1 (контролюється приладом поз. FIRA-20в);

- пари в кип'ятильник ИП-1 (контролюється приладом поз. FIRA-36в);

- зрошення КЛ-1/2 (контролюється приладом поз. FIRA-43в);

- товарного МТБЕ (контролюється приладом поз. FIRA-39в).

## 4) Тиск:

- ББФ в Е-1 (контролюється приладом поз. PIRA-1б);

- тиск верху реакторів РТ-1, РТ-2 (контролюється приладами поз. PIRA-18б і PIRA-26б відповідно);

- тиск у кубі реакторів РТ-1, РТ-2 (контролюється приладами поз. PIRA-19б і PIRA-27б відповідно);

- тиск у кубі КЛ-1/1 (контролюється приладом поз. PIRA-34б);

- тиск у РРУ (контролюється приладом поз. PIRA-41б).



5) Концентрація МТБЕ в товарному продукті контролюється приладом QIRA-406.

Для виміру температури використовується термоелектричний перетворювач ТХК-0179. В основу роботи даної термопари покладений термоелектричний ефект. Якщо сплав двох різнорідних провідників помістити в апарат, у якому необхідно вимірювати температуру, то на вільних кінцях термопари з'явиться термо-ЕДС, яка пропорційна вимірюваній температурі. По величині термо-ЕДС визначають значення температури. Вихідний сигнал термопари неуніфікований, тому її використовують у комплексі з перетворювачами, що нормують, MLT-400A, якщо передбачене регулювання. Якщо ж регулювання відсутнє, сигнал у мВ надходить від термопари через бар'єр іскробезпеки й АЦП безпосередньо в контролер, який програмується на обробку такого сигналу.

Для виміру рівня використовується буйковий рівнемір ХЕ-66-2Q3Е. Чутливим елементом рівнеміра є буй, який виготовляється з нержавіючої сталі й установлюється безпосередньо в апарат. В основу роботи рівнеміра покладений закон Архімеда. При зміні рівня в апараті змінюється висота занурення буя в робочу рідину. При цьому змінюється сила, що виштовхує буй, а, отже, змінюється його вага. Вимірювальна схема рівнеміра перетворює зміну ваги буя в уніфікований електричний сигнал 4 – 20 мА, який подається на вторинний прилад – контролер системи «TOSDIC».

Для виміру витрати у всіх випадках використовується метод мінливого перепаду тиску. У трубопроводі, по якому транспортується продукт, установлюється звужуюче обладнання (діафрагма типу ДКС), на якому при проходженні потоку утворюється перепад тиску (вимірюється дифманометром типу «Сапфір 22 ДД»). Вихідний сигнал даного приладу є електричним уніфікованим. По величині перепаду тиску визначають значення витрати.

Для виміру тиску використовують вимірювальний перетворювач тиску «Сапфір 22 ДИ». В основу роботи даного перетворювача покладений тензометричний принцип. У середині перетворювача встановлений монокристал сапфіру, який деформується під впливом тиску, і при цьому змінюється його електричний опір. По величині зміни опору судять про зміну тиску. Він має уніфікований електричний вихідний сигнал 4 – 20 мА.

Для визначення якості товарного продукту (змісту метил-трет-бутилового ефіру) пропонується використовувати потоковий хроматограф типу OPTICHRON фірми Hartmann & Broun (США). В основі роботи хроматографа покладений метод хроматографічного поділу проби на розділових колонках. Проба для автоматичного аналізу надходить у пробопідготовче обладнання, яке формує властиво об'єм проби, забезпечує фільтрацію й необхідні умови аналізу – тиск і температуру. Потім проба проходить безпосередній поділ на колонках. Перетворення результатів розгону в електричний сигнал відбувається за допомогою детектора, до складу якого входить катарометр електричний сигнал, що видає, залежно від теплопровідності кожної фракції. Цей сигнал надходить в електронне обладнання – програматор, де відбувається його обробка, а потім – на плату вихідного сигналу. Тут відбувається його масштабування, посилення, сигнал перетвориться в уніфікований і надходить в АСУТП «TOSDIC».

Проходження уніфікованого електричного сигналу від датчиків по блоках АСУТП має наступну послідовність. Вихідний сигнал датчика надходить на перетворювач (якщо він необхідний), далі через вхідний бар'єр іскробезпеки BR-1 і АЦП подається в блок АЛГО – контролер. На контролері відбувається первинна обробка технологічної інформації й вироблення керуючих впливів на процес. Вимірювальна інформація з контролера через мережний контролер надходить на обладнання контролю – монітори, розташовані на робочім місці оператора-технолога.

У випадку якщо ведеться регулювання, сигнал з контролера через ЦАП і вихідний бар'єр іскробезпеки BR-2 надходить на електропневматичний перетворювач, керуючий виконавчим механізмом.

Ручне керування здійснюється із клавіатури РМОТ, сигнал від якої надходить у контролер і далі за схемою, аналогічної автоматичному регулюванню.

Усі вимірювальні прилади в системі «TOSDIC» мають можливість завдання уставок сигналізації, як по максимально, так і по мінімально припустимим значенню параметра. При досягненні параметра кожного зі значень уставок контролер видає сигналізацію про це на дисплей оператора.

При наявності блокування сигнал від дискретного приладу проходить вхідний бар'єр іскробезпеки, через ДЦП у контролер, який виробляє командний сигнал, що надходить через ЦДП і вихідний бар'єр іскробезпеки на реле виконавчого механізму.

### 7.3 Регулювання параметрів технологічного процесу

Для того, щоб вести процес синтезу метил-трет-бутилового ефіру в умовах близьким до оптимальних, у даному дипломному проекті пропонуються наступні системи автоматичного регулювання.

Витрата бутан-бутиленової фракції стабілізується автоматично за допомогою одноконтурної автоматичної системи регулювання (АСР). Регулювальний клапан поз. FCV-4д розташований на лінії подачі ББФ у вузол змішання. Витрата метанолу на змішання стабілізується за допомогою одноконтурної АСР. Регулювальний клапан поз. FCV-10д розташований на лінії подачі метанолу у вузол змішання.

Витрата метанолу в реактор поз. РТ-2 стабілізується за допомогою одноконтурної АСР. Регулювальний клапан поз. FCV-11д розташований на лінії подачі метанолу в РТ-2.

Температура метанолу в реактор поз. РТ-2 стабілізується за допомогою одноконтурної АСР, за рахунок зміни витрати парового конденсату, який подається в підігрівник поз. АТ-3. Регулювальний клапан поз. TCV-12д розташований на лінії подачі парового конденсату в АТ-3.

Температура сировинної суміші перед входом в адіабатичний реактор поз. РТ-1 стабілізується за допомогою одноконтурної АСР, за рахунок зміни витрати парового конденсату, який подається в підігрівник поз. АТ-4. Регулювальний клапан поз. TCV-14д розташований на лінії подачі парового конденсату в АТ-4.

Рівень у кубі реактора поз. РТ-2 стабілізується за допомогою одноконтурної АСР. Регулювальний клапан поз. LCV-28г розташований на лінії подачі харчування на 28-ю тарілку колони поз. КЛ-1/1. Температура на контрольній 16-й тарілці ректифікаційної колони поз. КЛ-1/1 стабілізується за допомогою одноконтурної АСР, за рахунок зміни подачі пари в кип'ятильник поз. ПП-1. Регулювальний клапан поз. TCV-32д розташований на лінії висновку парового конденсату з ПП-1. Рівень у кубі колони поз. КЛ-1/1 стабілізується за допомогою одноконтурної АСР. Регулювальний клапан поз. LCV-35г розташований на лінії висновку товарного МТБЕ з ділянки.

Тиск у РРУ стабілізується за допомогою одноконтурної АСР. Регулювальний клапан поз. PCV-41г розташований на лінії виходу пар з верхньої ректифікаційної колони поз. КЛ-1/2.

Витрата зрошення верхньої ректифікаційної колони поз. КЛ-1/2 стабілізується за допомогою одноконтурної АСР. Регулювальний клапан поз. FCV-43д розташований на лінії подачі зрошення в КЛ-1/2.

Рівень у рефлюксної ємності поз. Е-3 стабілізується за допомогою одноконтурної АСР. Регулювальний клапан поз. LCV-47г розташований на лінії відкачки азеотропа на блок екстракції й осушки метанолу.

## 8 Ресурсозбереження і охорона навколишнього середовища

### 8.1 Фізико-географічна та кліматична характеристика виробничої площадки

Територія ПрАТ «ЛИНІК» належить до східної степової зони України. Площа м. Северодонецька складає 2770 га.

В регіоні знаходяться високоякісне вугілля, вапняк, крейда, глина та інші природні будівельні матеріали.

Ґрунти – чорнозем, що привозиться з інших місць. Такий ґрунт має високу вологу, високий вміст гумінових кислот, невелику родючість. Забруднення ґрунтів відбувається через атмосферне повітря, очисні споруди ПрАТ «Азот» та інших підприємств. Промислово побутові звалища також наносять шкідливий вплив.

До поверхневих водоймищ відносять річки: Сіверський Донець і Борова, куди скидають шкідливі відходи підприємства та комунальне господарство міста. Тому весь час слідкують за вмістом води.

Підземні води також забруднені шляхом фільтрації з відстійників і очисних споруд, змиву пестицидів і мінеральних добрив.

Рослинність міста також пошкоджена через низький рівень ґрунтових вод та високий вміст діоксиду сірки.

Середньорічна швидкість вітру 3-4 м/с. Зафіксована максимальна швидкість вітру – 28 м/с.

Середньорічна кількість опадів 490-500 мм (максимальна кількість – 550 мм). Відносна вологість повітря складає 71-73 %.

### 8.2 Характеристика навколишнього природного середовища і оцінка впливу на нього

#### 8.2.1 Характеристика джерел утворення відходів, їх склад і властивості

У виробництві МТБЕ утворюються газоподібні відходи, стічні води, рідкі та тверді відходи. Перелік і властивості відходів вказані в таблицях 8.1, 8.2 і 8.3.

Таблиця 8.1 – Тверді та рідкі відходи

Найменування відходу	Місце складування, транспорт, тара	Періодичність утворення	Кількість, т/рік	Умова (метод) і місце поховання, знешкодження, утилізації.
Відпрацьований каталізатор КУ-2ФПП або П-типу	Майданчик тимчасового зберігання цеху, спецтара  Залізничний та автомобільний транспорт	1 раз на рік	36,0	1 Підлягає захороненню на полігоні твердих відходів 2 Можливе використання при отриманні портландцементної суміші 3 Можливе використання в якості компонента для формування ґрунту ґрунтових шарів при рекультивації сміттєзвалищ промислових і побутових відходів 4 За відсутності забрудненості органічними продуктами направляється на регенерацію на завод-виготовлювач.

Таблиця 8.2 – Стічні води

Найменування стоку	Кількість утворення стічних вод, м <sup>3</sup> /год	Умови (метод) ліквідації, знешкодження, утилізації	Періодичність викидів	Куди скидається	Встановлена норма вмісту забруднення в стоках
Стічні води з Е-368, К-353	2,0	Очистка на очисних спорудах	Постійно	Каналізація I системи	Метанол (CH <sub>3</sub> OH) – не більше 100 мг/л; МТБЭ (C <sub>5</sub> H <sub>12</sub> O) – не більше 47 мг/л; Форміат натрія (CH <sub>3</sub> OONa) – не більше 130 мг/л; Сульфат натрія (Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ) – не більше 3000 мг/л; PH = 7 – 8,5

Таблиця 8.3 – Викиди в атмосферу

Найменування викиду, джерело	Кількість викидів по видам, т/рік(г/сек)	Періодичність	Умови (метод) і місце ліквідації, знешкодження, утилізації	Встановлена норма вмісту забруднення в викидах, мг/м <sup>3</sup>
1	2	3	4	5
Неорганізовані викиди від устаткування зовнішньої установки - РАЗОМ: в тому числі: • метанол • МТБЕ • вуглеводні С4	18,203 2,0390 2,5850 13,5790	Розсіювання	Постійно	ПДК СН <sub>3</sub> ОН = 5,0

### 8.2.2 Характеристика небезпечних чинників, наявних у відділенні

Відділення отримання МТБЕ є небезпечним хімічним виробництвом, де переробляються і виходять шкідливі для організму людини взриво- і пожежонебезпечні гази в умовах наявності високих температур і тиску.

Відповідно до класифікації по «Загальним правилам вибухобезпеки для вибухонебезпечних хімічних, нафтохімічних і нафтопереробних виробництв» відділення синтезу відноситься до об'єкту III категорії вибухонебезпечності.

До основних небезпек стадії конверсії вугілля відносяться: високі температури (до 1800°C); застосування отруйних, горючих і вибухонебезпечних речовин, таких як метан, оксид вуглецю, водень, вугільний пил та ін.; тиск 0,1–1 МПа; рухомі механізми, а також механізми що обертаються; струм високої напруги, статична електрика.

В зв'язку з цим можливі: отруєння хімічними речовинами; термічні опіки; вибухи, пожежі; механічні травми і удари; опіки та поразки електричним струмом.

Перелік небезпечних місць на виробництві: технологічне устаткування і пристосування, розташовані на відкритих етажерках і виробничих приміщеннях; траншеї, приямки, колодязі і т.п., розташовані на території виробництва; комунікації, розташовані на естакадах території виробництва; залізничні колії, розташовані на території виробництва.

### 8.3 Токсикологічна характеристика відходів

Важка екологічна обстановка в м. Сєвєродонецьку обумовлює високий рівень розповсюдження багатьох захворювань. Рівень загальної захворюваності дітей перевищує середні обласні показники на 20-120%. Захворюваність гострими респіраторними захворюваннями на 37 – 89%, бронхіальною астмою на 30 – 40%. Питома вага хвороб органів дихання висока і складає 60 – 70%. До хронічних захворювань дітей належить цукровий діабет, бронхіальна астма та інші. Рівень захворюваності в місті вищий, ніж в середньому по Україні на 18–37%.

При конверсії вугілля використовуються та утворюються шкідливі на організм людини речовини:

1. Оксид вуглецю – володіє отруйною дією. Перешкоджає з'єднанню кисню з гемоглобіном крові. Гранично допустима концентрація в повітрі, мг/м<sup>3</sup>: робочої зони – 20,0; максимально разова – 3,0; середньодобова – 10,0.

2. Діоксид вуглецю – володіє наркотичною і задушливою дією. При великих концентраціях спостерігається головний біль, шум у вухах, прискорене серцебиття, збільшення кров'яного тиску, запаморочення, непритомність. Гранично допустима концентрація в повітрі робочої зони – 3000 мг/м<sup>3</sup>.

3. Оксид сірки – при підвищеній концентрації пилу токсична дія діоксиду сірки проявляється значно сильніше, ніж у повітрі, вільному від пилу. Комбінація діоксиду сірки з оксидами азоту значно збільшує число захворювань дихальних шляхів. При середньодобовій концентрації сірчистого газу 0,1-0,2 мг/м<sup>3</sup> у населення спостерігається загострення захворювань верхніх дихальних шляхів.



Гранично допустима концентрація в повітрі, мг/м<sup>3</sup>: робочої зони – 10,0; максимально разова – 0,05; середньодобова – 0,5.

4. Оксиди азоту. При вдиханні NO утворює з гемоглобіном нестійкі нітросполуки, які швидко переходять в метгемоглобін, при цьому залізо +2 переходить в залізо +3. Іон заліза +3 не може зв'язувати кисень і таким чином, виходить з процесу перенесення кисню. Оксид азоту діє на нервову систему людини, викликає паралічі і судоми, зв'язує гемоглобін крові і викликає кисневе голодування. Гранично допустима максимально разова концентрація в повітрі 0,085 мг/м<sup>3</sup>. NO<sub>2</sub> – особливо сильно подразнює слизові оболонки. При контакті з вологою в організмі утворюються азотиста і азотна кислоти, які роз'їдають стінки альвеол легенів. Гранично допустима максимально разова концентрація в повітрі 0,2 мг/м<sup>3</sup>.

#### 8.4 Вплив відходів на літосферу, гідросферу, атмосферу

За звичайних умов монооксид вуглецю інертний. Він хімічно не взаємодіє з водою. Розчинність CO у воді близько 1:40 за об'ємом. Не реагує CO також з лугами і кислотами. Взаємодіє з їдкими лугами тільки при підвищених температурах і високих тисках.

Спад оксиду вуглецю в навколишньому середовищі відбувається за рахунок його розкладання ґрунтовими грибами. Крім того, при надлишку кисню в ґрунтах важкого механічного складу, багатих органічними речовинами, має місце перехід CO в CO<sub>2</sub>, що може призводити до збільшення парникового ефекту. Парниковий ефект – явище в атмосфері Землі, при якому енергія сонячних променів, відбиваючись від поверхні Землі, не може повернутися в космос, оскільки затримується молекулами різних газів. У результаті на поверхні Землі підвищується температура.

Кислотний дощ утворюється в результаті реакції між водою і такими забруднюючими речовинами, як діоксид сірки (SO<sub>2</sub>) і різних оксидів азоту (NO<sub>x</sub>).

Вступаючи в реакцію з водою атмосфери, вони перетворюються в розчини кислот: сірчаної, сірчистої, азотистої й азотної. Потім, разом із снігом чи дощем, вони випадають на землю.

У водяних екосистемах кислотні опади викликають загибель риб та інших водяних мешканців. Підкислення води рік і озер серйозно впливає і на сухопутних тварин, тому що багато звірів і птахів входять до складу харчових ланцюгів, що починаються у водяних екосистемах. Разом із загибеллю озер стає очевидною і деградація лісів. Кислоти порушують захисний восковий покрив листів, роблячи рослини уразливішими для комах, грибів і інших патогенних мікроорганізмів.

#### 8.5 Методи і засоби контролю за станом повітряного басейну і дотримання нормативів ГДВ

Контроль за якістю навколишнього природного середовища забезпечує сприятливе екологічне оточення для всієї біосфери.

Нормування гранично допустимих концентрацій (ГДК) є складовою частиною основ забезпечення санітарно-епідеміологічного благополуччя населення. Нормативи ГДК речовин дають екологічну і соціально-гігієнічну оцінку стану навколишнього природного середовища, але не вказують на джерело шкідливої дії і не регулюють його поведінку. Цю функцію виконують нормативи гранично допустимих викидів (ГДВ) шкідливих речовин.

Нормативи ГДВ забруднюючих речовин у атмосферне повітря встановлюються за джерелами викидів для кожного проектованого і діючого об'єкту, що є стаціонарним джерелом забруднення повітряного басейну.

ГДВ – маса речовини, що викидається в атмосферу в одиницю часу. ГДВ встановлюють з умови, що викиди шкідливих речовин від даного джерела в сукупності з іншими джерелами не створюють приземну концентрацію, що перевищує ГДК за межами санітарно-захисної зони об'єкту.

### 8.5.1 Розрахунок ГДВ

Розрахунок ГДВ для викиду холодної газової суміші (20 °С).

Розрахунок ведемо за вмістом оксиду вуглецю (СО).

Гранично-допустимий викид ГДВ:

$$ГДВ = \frac{(ГДК - C_{\phi}) * H^{4/3} * 8 * V_1}{A * F * D * n * \eta}, \quad (8.1)$$

де ГДК – гранично-допустима концентрація шкідливої речовини в атмосферному повітрі населених місць, мг/м<sup>3</sup>; для СО складає 3 мг/м<sup>3</sup>;

C<sub>φ</sub> – фонові концентрації домішки (приймаємо C<sub>φ</sub> = 0,008), мг/м<sup>3</sup>;

A – коефіцієнт, залежний від температури стратифікації атмосфери і визначаючий умови горизонтального і вертикального розсіювання атмосферних домішок. На території України A=160;

F – безрозмірний коефіцієнт, що враховує швидкість осідання забруднюючих речовин в атмосфері. Для газоподібних речовин F = 1;

H – висота джерела викиду, м; 34 м;

D – діаметр гирла джерела викидів, м; рівний 0,1 м;

n – безрозмірний коефіцієнт, який враховує умови виходу газоповітряної суміші з джерела викиду;

η – коефіцієнт, що враховує вплив рельєфу місцевості на розсіювання домішок; для Донбасу рівний 1,0;

V<sub>1</sub> – об'єм газоповітряної суміші, м<sup>3</sup>/с.

Безрозмірний коефіцієнт n визначається в залежності від величини параметра V<sub>m</sub> за формулою:

$$V_m = 1,3 * \frac{w_0 * D}{H} \quad (8.2)$$

де w<sub>0</sub> – середня швидкість виходу суміші з джерела, м/с.

Середня швидкість виходу суміші з джерела викиду визначається за формулою:

$$w_0 = \frac{4 * V_1}{\pi * D^2} \quad (8.3)$$

$$w_0 = \frac{4 * 0,000142}{3,14 * 0,1^2} = 0,018 \text{ м/с}$$

$$V_m = 1,3 * \frac{0,018 * 0,1}{34} = 0,0001 \text{ м/с}$$

Тому що  $V_m = 0,0001 < 0,3$ , то  $n = 3$ .

$$ГДВ = \frac{(3 - 0,008) * 34^{4/3} * 8 * 0,000142}{160 * 1 * 0,1 * 3 * 1} = 0,008 \text{ г/с}$$

ГДВ належить порівняти з потужністю викидів  $M$ :

$$ГДВ \geq M \quad (8.4)$$

Потужність викиду визначається за формулою:

$$M = C * V_1, \quad (8.5)$$

де  $C$  – концентрація шкідливої речовини у газоповітряній суміші, що викидається,  $г/м^3$ .

Для даного джерела викиду концентрація  $CO$  у повітрі, що виходить, не може перевищувати  $30,5 \text{ г/м}^3$ .

Тоді потужність викиду:

$$M = 30,5 * 0,000142 = 0,0043 \text{ г/с}$$

Умова виконується:  $0,008 \text{ г/с} > 0,0043 \text{ г/с}$ .

Максимально можлива приземна концентрація шкідливої речовини:

$$C_m = \frac{A * M * F * K * n}{H^{4/3}}, \quad (8.6)$$

$$K = \frac{D}{8 * V_1} \quad (8.7)$$

$$K = \frac{0,1}{8 * 0,000142} = 88,028 \text{ с/м}^2$$

$$C_m = \frac{160 * 0,0043 * 1 * 88,028 * 3}{34^{4/3}} = 1,65 \text{ мг/м}^3$$

При цьому мають виконуватися умови:

$$C_m < \text{ГДК} \quad (8.8)$$

Умови виконуються:

$$C_m = 1,65 \text{ мг/м}^3 < \text{ГДК} = 3 \text{ мг/м}^3$$

Таким чином, за умови, що  $C_m = 1,65 \text{ мг/м}^3 < \text{ГДК} = 3 \text{ мг/м}^3$  можна зробити висновок, що при розсіюванні викиду навколишньому середовищу не буде причинено шкоди.  $\text{ГДВ} = 0,008 \text{ г/с} > M = 0,0043 \text{ г/с}$ . Додаткові заходи по забезпеченню охорони навколишнього середовища не потрібні.

## 8.6 Заходи зі зниження техногенного навантаження на навколишнє середовище

Можна виділити наступні основні напрямки в здійсненні екологічно чистих технологічних процесів, у тому числі нафтохімічних і хімічних.

1) комплексне використання і глибока переробка сировини. Виробництво повинне бути як можна менш ресурсномістким (ресурсозберігаючі технології), здійснюватися з мінімумом витрат сировини і реагентів на одиницю продукції. Напівфабрикати, що утворюються, повинні передаватися як сировину іншим виробництвам і цілком перероблятися.

2) оптимальне використання енергії і палива. Виробництво повинне здійснюватися при мінімальних витратах енергії і палива на одиницю продукції (енергозберігаючі технології) і, отже, теплові забруднення навколишнього середовища також мінімальні. Енергозбереженню сприяють: укрупнення і енерготехнологічне комбінування процесів; перехід на безперервні технології; удосконалювання процесів поділу; застосування активних і селективних каталізаторів, що дозволяють проводити процеси при знижених температурах і тисках; раціональна організація й оптимізація теплових схем рекуперації

енергетичного потенціалу потоків, що відходять; зниження гідравлічного опору в системах і втрат тепла в навколишнє середовище і т.п. Нафтопереробні і нафтохімічні підприємства є великими споживачами палива й енергії. У їхньому енергетичному балансі на долю прямого палива приходиться - 43-45%, теплової енергії - 40-42% і електричної - 13-15%. Корисне використання енергетичних ресурсів не перевищує 40-42% , що приводить до перевитрати палива й утворенню теплових викидів у навколишнє середовище;

3) створення принципово нових маловідхідних технологічних процесів. Цього можна домогтися удосконалюванням каталізаторів, техніки і технології виробництв. Маловідхідні процеси більш ефективні, чим процеси з дорогими очисними спорудженнями. Економічніше одержувати невелику кількість сильно концентрованих відходів, які можна переробляти або ліквідувати за спеціальною технологією, чим великий обсяг сильно розведених відходів, що скидаються в біосферу.

4) створення і впровадження замкнених систем водокористування, що включають (або зводять до мінімуму) споживання свіжої води і скидання стічних вод у водойми;

5) забезпечення високої експлуатаційної надійності, герметичності і довговічності функціонування устаткування і всіх систем виробництв. Зведення до мінімуму або виключення імовірності аварій, вибухів, пожеж і викидів отруйних речовин у навколишнє середовище. Розробка автоматизованих систем забезпечення екологічної безпеки виробництв і комплексів;

6) забезпечення високої якості цільових продуктів, використовуваних у народному господарстві. Екологічно чистими повинні бути не тільки самі технологічні процеси, але і товарні продукти, що випускаються в них.

Основним напрямком, що забезпечує чистоту зовнішнього середовища, повинна бути організація технологічних процесів, що включає викиди в атмосферу, відпрацьованих газів, пари.

Повітрообмін у виробничих приміщеннях цеху здійснюється припливною вентиляцією. Постійним викидом є вентиляційні викиди вуглецю оксиду з масовою концентрацією не більш 20 мг/м<sup>3</sup> із приміщення машинного залу к.851.

Видалення повітря відбувається природним шляхом через аераційні ліхтарі, фрамуги і шахти, розташовані в покрівлі корпусу, і витяжною вентиляцією "ВВ-1" і "ВВ-2".

Періодичні викиди шкідливих речовин відбуваються при планових і непланових зупинках у ремонт газових компресорів. Це газ, що залишився в комунікаціях газових компресорів після їхньої зупинки, відключення від загальних колекторів і скидання тиску з усіх ступенів на всас 1 ступені до тиску 0,0012-0,00400 МПа (120-400 мм. в. ст.).

## 9 Охорона праці

Охорона праці – це система правових, соціально-економічних, організаційно-технічних, санітарно-гігієнічних і лікувально-профілактичних заходів і засобів, направлених на збереження здоров'я і працездатності людини в процесі праці.

Головним об'єктом її дослідження є людина в процесі праці, виробниче середовище і організація праці на виробництві.

На підставі цих досліджень розроблені методи збільшення рівня охорони праці на виробництві.

Хімічне виробництво МТБЕ має цілий ряд особливостей, які вимагають підвищеної уваги. У процесах цієї галузі застосовують і одержують сировину, напівпродукти, цільові і побічні продукти, які токсичні і небезпечні в пожежному відношенні, багато з них є вибуховими речовинами.

9.1 Загальні вимоги до безпечного проведення технологічного процесу, основні заходи, що забезпечують безпечне ведення технологічного процесу та охорону праці

Відповідно до вимог ГОСТу 12.3.002 зм.2, на установці виконані наступні заходи, що забезпечують безпеку ведення технологічного процесу:

1 Для правильної організації і проведення технологічного процесу дотримуються норми технологічного режиму, згідно затвердженого технологічного регламенту, а також керуючись «Положенням про встановлення каталітичного крекінгу Г-43-107М / 1», технологічними інструкціями, робочої інструкції, «Положенням №2-ОТ про єдину систему управління охороною праці в ПрАТ «ЛІНІК», інструкцією з охорони праці, інструкціями на робочих місцях згідно з переліком обов'язкових інструкцій з установки та іншими документами.



2 Обслуговуючий персонал має професійну підготовку в об'ємі, достатньому для безпечного усунення несправностей і відмов, які виникають в процесі роботи, а також для участі в їх ремонті. Оператори 6-го (5-го) розряду мають вищу освіту, підвищення кваліфікації та стаж роботи за професією оператора технологічних установок 5-го (4-го) розряду не менше 1 року. Оператори 4-го (3-го) розряду мають повна або базова середнє професійно-технічну освіту, підвищення кваліфікації і стаж роботи за професією оператора технологічних установок 3-го (2-го) розряду не менше 1 року. Оператори технологічних установок несуть відповідальність за своєчасність і якість виконання обов'язків, покладених робочими інструкціями.

3 Робочим місцем оператора технологічної установки є територія з устаткуванням, що обслуговується з усіма комунікаціями, арматурою, електрообладнанням, приладами контролю і автоматики, водопроводами, системою теплофікації, засобами пожежогасіння. Оператор на робочому місці забезпечується згідно затвердженого переліку діючих інструкцій і нормативною документацією.

4 В процесі роботи працюючі утримують територію установки в чистоті перевіряють справність огорож, стан проходів, переходів, майданчиків, маршових спусків, перил, наявність і стан переданих по зміні матеріальних цінностей.

5 Для усунення безпосереднього контакту працюючих з шкідливими речовинами все обладнання, трубопроводи, а також імпульсні лінії з приладами герметизуються. Все обладнання, трубопроводи мають відмінні маркування.

6 Все перекриття етажерки мають відбортовку висотою 150мм з метою виключення протоки продуктів.

7 Ємності, що містять метанол, обнесені металевною огорожею, двері якого замикаються.

8 Всі трубопроводи, що мають температуру стінки вище 450С, ізолюються.

9 герметизувати обертові частини насосного обладнання.

10 Дренування конденсату проводиться в закриті ємності з наступною відкачкою в промпарк установки або по лінії некондиції в резервуари цеху №1

11 Змонтована система сигналізації та блокувань.

12 Передбачена можливість автоматичного регулювання рівня в реакторах, колонах і ємностях.

9.2 Основні відомості щодо вибухопожежонебезпечних та токсичних властивостей вихідної сировини, матеріалів, реагентів, каталізаторів, напівфабрикатів, готової продукції та відходів виробництва

В таблиці 9.1 наведена характеристика токсичних властивостей вихідної сировини, матеріалів, реагентів, каталізаторів, напівфабрикатів, готової продукції та відходів виробництва

Таблиця 9.1 – характеристика токсичних властивостей вихідної сировини, матеріалів, реагентів, каталізаторів, напівфабрикатів, готової продукції та відходів виробництва

Найменування вихідної сировини, матеріалів, реагентів, каталізаторів напівфабрикатів, готової продукції, відходів виробництва	Клас небезпечності (ГОСТ 12.1.007)	Агрегатний стан при нормальних умовах	ГДК або ОБУВ в повітрі робочої зони, мг/м <sup>3</sup> (ГОСТ 12.1.005)	Характеристика токсичності, вплив на організм людини, (НД)
1	2	3	4	5
1 Метил-трет-бутиловий ефір (МТБЭ)	4	Рідина	100	Наркотична. Гнітюче діє на нервову систему.

Продовження таблиці 9.1.

1	2	3	4	5
2 Бутан-бутиленова фракція (ББФ)	4	Газ	100	Наркотична. Викликає головний біль, блювоту, слабкість. При легких отруєннях - збудження, запаморочення, при важких - судоми, втрата свідомості. При попаданні на шкіру може викликати переохолодження
3 Метанол	3	Рідина	5	Сильна отрута, діє на нервову і судинну систему. Пари метанолу діють на слизові оболонки дихальних шляхів і очей. Отруєння можливе через органи дихання, шкіру і, особливо, при прийомі всередину. Смертельна доза 30 мл, сліпоту викликають 5÷10 мл
4 Фракція вуглеводнів C <sub>4</sub> -C <sub>5</sub>	4	Газ	100	Наркотична, отруйна дія. Викликає головний біль, сухість у роті, запаморочення, нудоту, блювоту. При високих концентраціях - судоми, втрата свідомості, смерть
5 Відпрацьована бутан-бутиленова фракція	4	Газ	300	Наркотична. Викликає головний біль, блювоту, слабкість. При легких отруєннях - збудження, запаморочення, при важких - судоми, втрата свідомості.

Таблиця 9.2 – Характеристика вибухопожежонебезпечних властивостей вихідної сировини, матеріалів, реагентів, каталізаторів напівфабрикатів, готової продукції та відходів виробництва

Найменування вихідної сировини, матеріалів, реагентів, каталізаторів напівфабрикатів, готової продукції, відходів виробництва	Відносна густина парів (газу) за повітрям	Температура, °C			Концентраційні межі поширення полум'я, (% об.)	
		самозаймання	займання	спалаху	нижній	верхній
1	2	3	4	5	6	7
1 Бутан-бутиленова фракція (ББФ)	2,0665	405	–	-69	1,8	9,1
2 Метанол	1,1	464	15	8	6	37,4
3 Фракція вуглеводнів C <sub>4</sub> -C <sub>5</sub>	–	258÷430	–	-5÷-41	0,92÷1,5	5,16÷8,5
4 Метил-трет-бутиловий ефір (МТБЕ)	–	443	–	-27	1,43	8,9
5 Відпрацьована бутан-бутиленова фракція	2,0665	405	–	-69	1,8	9,1

## 9.2 Небезпечні і шкідливі виробничі фактори на виробництві

Основними небезпечними факторами на виробництві є:

- Отруєння парою метанолу, рідким метанолом.
- Задуха азотом при недоліку кисню;
- Вибухи, пожежі при порушенні норм технологічного режиму;
- Термічні опіки газами, що запалали, розігрітими речовинами, предметами і устаткуванням з температурою більше 60°, технологічною парою, паровим конденсатом;
- Механічні травми (порізи, садно, удари, вивихи, переломи) унаслідок порушення правил техніки безпеки при обслуговуванні рухомих частин машин і механізмів, що обертаються; підйомних пристосувань і при проведенні будь-якої

роботи без дотримання правил техніки безпеки;

- Ураження електрострумом при неправильному обслуговуванні електроустаткування, при зіткненні з незахищеними струмоведучими частинами електроустаткування;
- Роботи, що проводяться на висоті вище 1,3 м;
- Небезпека попадання під залізничний і автодорожній транспорт при пересуванні по території об'єднання [20].

### 9.3 Класифікація і категорійність виробництва і його приміщень

Таблиця 9.4 – Класифікація і категорійність виробництва і приміщень [20]

Найменування цеху, відділення, установки	Категорія вибухо-небезпеки виробництва	Клас вибухо-небезпеки за ПУЕ	Клас приміщення по ступеню ураження електричним струмом	Санітарна характеристика		
				Клас	Група	Ширина санітарно-захисної зони
Машинний зал	A	B-1a	3 підвищеною небезпекою		3б	
Машинний зал	A	B-1a	3 підвищеною небезпекою		3б	
Допоміжний блок, електроустановка ЦПУ	Не вибухонебезпечний	Нормальне	Без підвищеної небезпеки		-	300м
Відкритий майданчик (реактор синтезу, збірник рідкого метанолу)	A	B-1г	Особливо небезпечне	II	3б	500м

### 9.4 Контроль чистоти повітряного середовища

Для контролю чистоти повітряного середовища є цехова лабораторія, яка включає аналітичну лабораторію, лабораторію полярографії і хроматографії, що

дозволяє своєчасно виявити і запобігти забрудненню повітря шкідливими речовинами. Контроль здійснюється періодично [21].

#### Заходи попередження забруднення атмосфери

Основним напрямом, що забезпечує чистоту зовнішнього середовища, є виключення викидів в атмосферу газів, що відходять, пари, пилу. Для цього передбачено:

- герметизація устаткування;
- установка контрольних клапанів, що скидають гази в закриту систему через сепаратор з подальшою утилізацією;
- установка газоаналізатора на діоксид вуглецю для контролю за повнотою горіння факелів [21].

#### Заходи щодо боротьби з пилом

Основним джерелом пилу на виробництві є пил каталізатора СНМ-У, він токсичний, оскільки в його склад входять: оксид алюмінію ( $Al_2O_3$ ), оксид міді ( $CuO$ ), оксид цинку ( $ZnO$ ).

Оксид алюмінію викликає катарі верхніх дихальних шляхів, екземи, дерматити; оксид міді надає різку дратівливу дію на слизисті оболонки верхніх дихальних шляхів і шлунково-кишкового тракту; пил оксиду цинку при попаданні в організм людини викликає захворювання, що протікає по типу інфекційного катару верхніх дихальних шляхів.

Основним напрямом в комплексі заходів щодо боротьби з пилом на виробництві є попередження її утворення і виключення викидів в атмосферу газів, що відходять, пари, для цього передбачено:

- герметизація апаратів;
- заміна порошків пігулками.

Оскільки пиловидаленню повністю запобігти неможливо, передбачена витяжна вентиляція.

Засобами захисту від пилу каталізатора є протизапоорошений респіратор типу «Пелюстка» (або інші, дозволені до застосування на підприємствах хімічної промисловості), захисні окуляри, рукавички, спецодяг [21].

#### 9.5 Заходи щодо боротьби з шумом і вібрацією

Для усунення або зменшення вібрації машин і устаткування і вироблюваного ними шуму передбачені наступні методи:

- установка проєктованих вентиляторів на вібропідвалинах;
- з'єднання вентиляторів з повітроводами за допомогою гнучких вставок;
- обмеження швидкості повітря у повітроводі;
- для зниження аеродинамічного опору створюваного вентилятором передбачена установка трубчастих глушників на повітроводі у межах венткамери.

Засобами індивідуального захисту від шуму є: заглушки (антифони), протигаласливі (шумозахисні) навушники і шоломи. Для захисту від вібрації передбачені віброізолююче взуття і рукавиці.

#### 9.6 Заходи захисту від статичної електрики

Джерела, які можуть мати місце в лабораторіях і виробництвах, а саме:

- Наведення статичної електрики на екранах і корпусах відеомоніторів персональних комп'ютерів.
- Поява електростатичних зарядів на платах і приладах мікроелектронної техніки в процесі їхнього взаємного переміщення при монтажі схем, ремонті й налаштуванні апаратур.
- Виникнення електричного потенціалу на незаземленому встаткуванні за рахунок електричної індукції при сильних грозових розрядах і недостатнього грозозахисту.

- Електризація рідини при наливі, зливі та перекачуванні з незаземлених резервуарів, цистерн та інших ємностей.

- Електризація рідини при її фільтруванні, розбризкуванні.

- Можливість електризації газу через присутність в ньому твердих або рідких домішок.

- Статична електрика, що накопичується на людині при носінні одягу з синтетичних матеріалів і шовку.

До заходів захисту від статичної електрики відносять:

- запобігання накопиченню зарядів на металевому устаткуванні (досягається заземленням всіх металевих частин, на яких можуть з'являтися заряди);

- послаблення генерації зарядів на твердих тілах і в рідинах (за рахунок збільшення їх поверхневої провідності шляхом підвищення відносної вологості повітря, хімічної обробки поверхні, зменшення швидкості переміщення заряджаючих матеріалів і т.д.);

- усунення вибухонебезпечної суміші горючих речовин з повітрям в місцях утворення і накопичення зарядів (за допомогою вентиляції або використання інертних газів);

- запобігання накопиченню зарядів на твердих і в рідких діелектриках (шляхом збільшення їх електропровідності за допомогою антистатичних присадок і т.п.);

- нейтралізація зарядів на поверхні твердих і рідких діелектриків в процесах їх виникнення або накопичення (шляхом іонізації навколишнього повітря або шляхом виконання поверхонь зіткнення з матеріалами з різними діелектричними проникненнями).

Для відведення статичної електрики, що накопичується на людині, передбачають:



- облаштування електропровідної підлоги або заземлених зон, підмостків і робочих майданчиків, заземлення ручок дверей, поручнів драбин або рукояток приладів, машин і апаратів;
- забезпечення працюючих струмопровідним взуттям;
- заборона носіння одягу з синтетичних матеріалів і шовку, а також обручок і металевих браслетів і ін.

### 9.7 Пожежобезпека

Пари метанолу в суміші з повітрям за наявності іскри вибухають. Кращим засобом гасіння метанолу і його фракцій є вода. Метанол можна гасити так само вогнегасником, піском, азбестовим полотном, інертними газами. Для гасіння електромоторів і струмоведучих систем користуватися тільки вуглекислотними вогнегасниками і сухим азбестовим полотном.

При виникненні пожежі необхідно діяти згідно плану локалізації аварій в цеху.

У зимовий час пожежні гідранти і під'їзди до них необхідно очищати від снігу, а кришки гідрантів від льоду. Гідранти повинні бути утеплені.

Забороняється зберігати матеріальні цінності на рамках складів, у вентиляційних камерах.

При роботі насоса не допускається витік рідини через сальник. У разі пропуску сальника, насос необхідно зупинити, скинути тиск до атмосферного, підтягти або замінити набивання сальникового ущільнення.

Не допускається проводити підтяжку набивання сальників і фланцевих з'єднань у працюючих насосів під тиском, а так само без зняття напруги з електродвигуна насоса.

Насосне відділення повинне постійно знаходитися в чистоті. Лотки приймання, фундаменти необхідно постійно очищати від продукту, що розлився,

і масла. Застосування легкозаймистих рідин (ЛЗР) для миття підлог і устаткування забороняється.

Слюсарні матеріали дозволяється зберігати (у розмірі добової потреби) в спеціальному посуді з кришкою, що щільно закривається.

Апаратник повинен знати розташування трубопроводів, засувок і їх призначення, а так само уміти чітко і швидко перекривати засувки при аваріях і пожежах.

Не допускається застосування заглушок для відключення трубопроводу, що зупиняється на тривалий термін, від іншого трубопроводу того, що знаходиться під тиском. У таких випадках необхідно передбачати зйомну ділянку трубопроводу і на кінцях діючих трубопроводів встановлювати заглушки.

Слід постійно контролювати справність теплоізоляції на гарячих трубопроводах. Не можна допускати експлуатацію гарячих трубопроводів з пошкодженою теплоізоляцією.

Розтин люків, кришок апаратів, злив і наливання продуктів через відкриті люки, а так само проведення інших операцій сприяючих утворенню концентрацій вибухонебезпечних газів в період проведення вогняних робіт на даному робочому місці забороняється.

Використання засобів пожежегасіння не по прямому призначенню забороняється. Для організації ефективного захисту виробництва синтезу метанолу слід використовувати вогнеприпинувачі.

Вогнеприпинувачами називають захисні пристрої, які вільно пропускають паро-, пило- або газоповітряну суміш, але не пропускають полум'я. Вони встановлюються на дихальних лініях резервуарів, мірників і апаратів з ЛСР і горючими газами. Вогнеприпинувачі є корпусами з металевою насадкою у вигляді гофрованих пластин, пакету металевих сіток, фольгових касет, гравію, мінеральної вати або кілець Рашига.

Принцип дії вогнеприпинувачів полягає в тому, що горюча суміш, яка проходить через них, розбивається в насадці на тонкі струмені. При окисленні горючої суміші в каналах малого діаметру можливість тепловтрат перевищує тепловиділення і горіння припиняється. Діаметр гасильного каналу насадки вогнеприпинувача приймають, виходячи з практичного досвіду або визначають розрахунком. Критичний (гасильний або тушільний) діаметр отвору полум'я гасильної сітки або струменю газу в вогнеперетворювачі визначається по формулі [21]:

$$d_{кр} = \frac{4\lambda(t_{cc} - t_n)}{\omega[q_n - C_p(t_r - t_{cn})]}, \quad M \quad (9.1)$$

де  $\lambda$  - теплопровідність горючої суміші, Дж/(м\*с\*град.);

$t_{cc}$  - температура самоспалахування пари або пилу °С;

$t_n$  - початкова температура суміші °С;

$\omega$  - швидкість горіння суміші, м/с;

$q_n$  - кількість тепла, що виділяється при згоранні 1 м<sup>3</sup> суміші, Дж/м<sup>3</sup>;

$C_p$  - теплоємність продуктів горіння, Дж/(м<sup>3</sup>\*град.);

$t_r$  - температура горіння °С.

Для підвищення надійності гасіння полум'я діаметр отвору приймається на 20-25% менше обчисленого критичного діаметру. На особливо відповідальних ділянках газопроводів, газоходів, пилопроводів в поєднанні з вогнеприпинувачами встановлюють розривні мембрани. Рекомендується також застосовувати автоматичні системи відсікання полум'я механічної або гідравлічної дії (перекриття заслінками газопроводу, подача води для охолодження) [21].

## 9.8 Індивідуальні та колективні засоби захисту

Індивідуальні засоби захисту:

1. Як індивідуальні засоби захисту органів дихання і зору від дії шкідливих

газів, пари, рідин присутніх в повітрі застосовується протигаз марки «М».

2. Для захисту від механічних травм голови застосовуються захисні каски типу «Праця» з підшоломником.

3. Для оберігання очей від пошкодження хімічними, термічними, механічними діями використовуються захисні окуляри.

4. Для захисту органів дихання від пилу використовуються респіратори.

5. Для захисту органів слуху від підвищеного рівня шуму використовуються протигаласливі навушники або «Бервуші».

6. Всі працівники забезпечуються спецодягом, спецвзуттям і іншими засобами індивідуального захисту.

Засоби колективного захисту:

1. Теплоізоляції апаратів та трубопроводів.

2. Система опалення.

3. Штучне освітлення.

4. Захисне заземлення та занулення від поразки електричним струменем.

5. Стаціонарні або пересувні майданчики для обслуговування арматури, що знаходиться на висоті більше 1,3м від підлоги.

6. Загально обмінні приточно-витяжні системи, вентиляції виробничих приміщень.

7. Аварійні системи вентиляції виробничих приміщень.

8. Системи блискавкозахисту.

9. Сховища.

## Висновки

В даному дипломному проекті було розглянуто виробництво метил-трет-бутилового ефіру (МТБЕ) потужністю 38 тисяч тон/рік

В дипломному проекті обрано процес отримання МТБЕ шляхом застосування макропористого сульфокатіоніту в Н-формі. Пропонований спосіб дозволяє скоротити кількість води, що подається на відмивання, і регламентувати різні вимоги за ступенем очищення від метанолу для потоків, що подаються на зрошення колони і виводяться з процесу. В цілому пропонований спосіб отримання МТБЕ дозволяє знизити металоємність обладнання процесу і енерговитрати, обумовлені перекачуванням та відмиванням збільшеного потоку С<sub>4</sub>-фракції вуглеводнів.

Розроблена технологічна схема виробництва МТБЕ, виконані матеріальний і тепловий баланси, розрахунок основного апарату та допоміжного.

Представлені фізико-хімічні характеристики основних і проміжних продуктів процесу, вказані кількість джерел забруднення, їх характеристики, норми утворення відходів, надана характеристика виробничих небезпек, методи і засоби їх запобігання, а також особливі вимоги безпеки. Розглянуті питання, що стосуються автоматизації технологічного процесу та екології в проектованому виробництві.

Виходячи з проведених розрахунків можна зробити висновок, що при розсіюванні викиду навколишньому середовищу не буде причинено шкоди. Заходи по забезпеченню охорони навколишнього середовища не потрібні.

## Література

1. Терентьев Г.А., Тюків В.М., Смаль Ф.В. Моторні палива з альтернативних сировинних джерел. - М.:Хімія, 1982.
2. Технологічний регламент виробництва МТБЕ й ВЕК установки каталітичного крекінгу Г-43-107М/1, 2006.
3. Інтернет сайт: [http://www.him-prom.ru/news/2009/06/11/news\\_30968.html](http://www.him-prom.ru/news/2009/06/11/news_30968.html).
4. Інтернет сайт: [http://www.metaprocess.ru/files/methanol\\_market.pdf](http://www.metaprocess.ru/files/methanol_market.pdf).
5. Інтернет сайт:  
[http://www.newchemistry.ru/letter.php?n\\_id=4958&cat\\_id=5&page\\_id=2](http://www.newchemistry.ru/letter.php?n_id=4958&cat_id=5&page_id=2)
6. Пат. 2559992 Российской Федерации. С07С41/06, С07С43/04. спосіб отримання метил-трет-бутилового ефіру. / Заявитель и патентообладатель Общество с ограниченной ответственностью "Еврохим-СПб-ТРЕЙДИНГ"(RU). - № 2004115670/04; заявл. 24.05.2004, опубл. 10.09.2005.
7. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии. К.Ф. Павлов, П.Г. Романков, А.А. Носков. Л. Хими 1987.
8. Основные процессы и аппараты химической технологии. Пособие по проектированию. Г.С. Борисов, В.П. Быков, Ю.И. Дытнерский и др. М. Химия, 1991.
9. Химия и технология топлив и масел, №2, 2001г., №6, 2001г.
10. Краткий справочник физико-химических величин: [Справочник]: [Под ред. А. А. Равделя]. – М.: Химия, 1965. – 231 с.
11. Плановский А.Н. Процессы и аппараты химической технологии / А.Н. Плановский, В.М. Рамм, С.З. Коган. – М.: Химия, 1967. – 848 с.
12. Кутепов А. М. Общая химическая технология : [Учебн. для вузов] / А. М. Кутепов, Т. И. Бондарева, М. Г. Беренгартен. – М.: ИКЦ «Академкнига», 2005. – 528 с. – ISBN 5-94628-079-1.

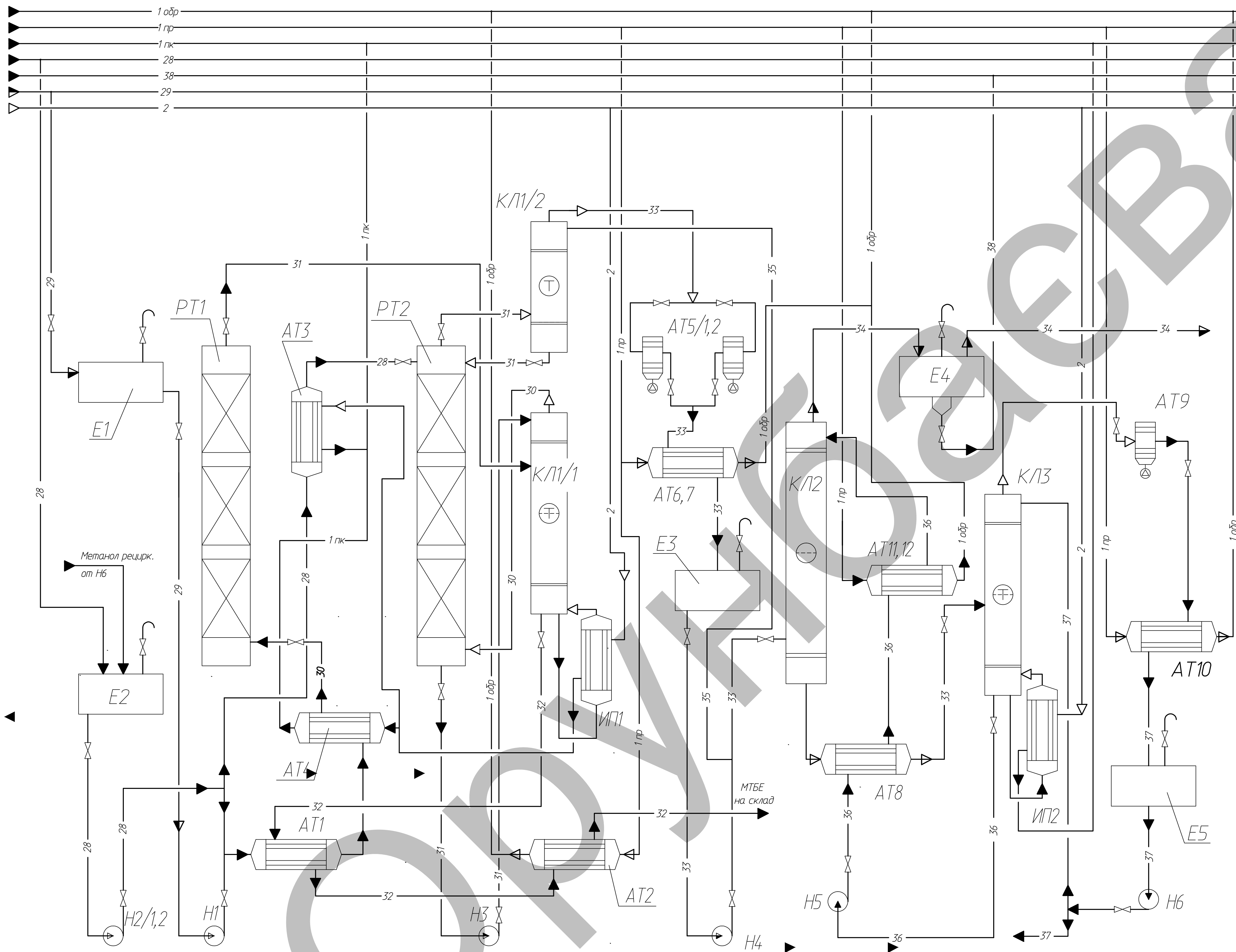
13. Генкин А. Э. Оборудование химических заводов / А. Э. Генкин. – М.: Высшая школа, 1988. – 272 с.

14. Лашинский А. А. Основы конструирования и расчёта химической аппаратуры / А. А. Лашинский, А. Р. Толчинский. – Л.: Машиностроение, 1970. – 752с.

15. Основные процессы и аппараты химической технологии : [Пособие по проектированию] / [Под ред. Ю.И. Дытнерского]. – М.: Химия, 1991. – 356 с.

16. Стенцель Й.І. Автоматика та автоматизація хіміко – технологічних процесів / Стенцель Й.І. – Луганськ, 2004. – 376 с.

17. Методичні вказівки до виконання і оформлення дипломного проекту (роботи) бакалавра для студентів спеціальності 161 "Хімічні технології та інженерія" денної та заочної форм навчання / Укладачі: І. В. Кравченко, Т. Е. Римар, - Северодонецьк: СНУ ім. Володимира Даля, 2017 – 56 стор.

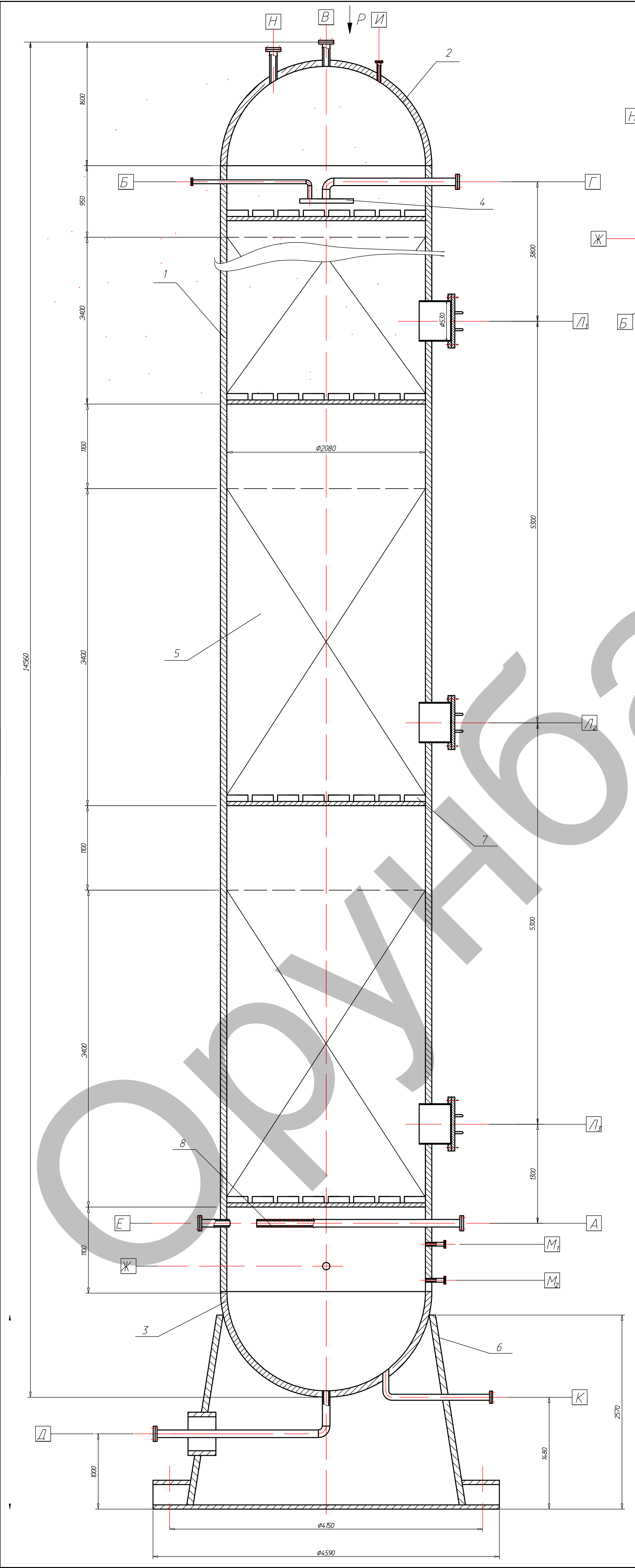


Познач. умовне	Найменування	Приміт.
— 1 пр —	Вода оборотна пряма	
— 1 обр —	Вода оборотна зворотня	
— 1 пк —	Конденсат	
— 2-2 —	Пара	
— 28-28 —	Метанол свіжий	
— 29-29 —	Бутан-бутіленова фракція	
— 30-30 —	Суміш ББФ з метанолом	
— 31-31 —	Суміш ББФ+метанолом+МТБЕ	
— 32-32 —	МТБЕ	
— 33-33 —	Азеотропна суміш ББФ з метанолом	
— 34-34 —	Відпрацьована ББФ	
— 35-35 —	Вода, що містить метанол	
— 36-36 —	Промивна вода	
— 37-37 —	Метанол циркуляційний	
— 38-38 —	Промисловістоки в дренажну систему	

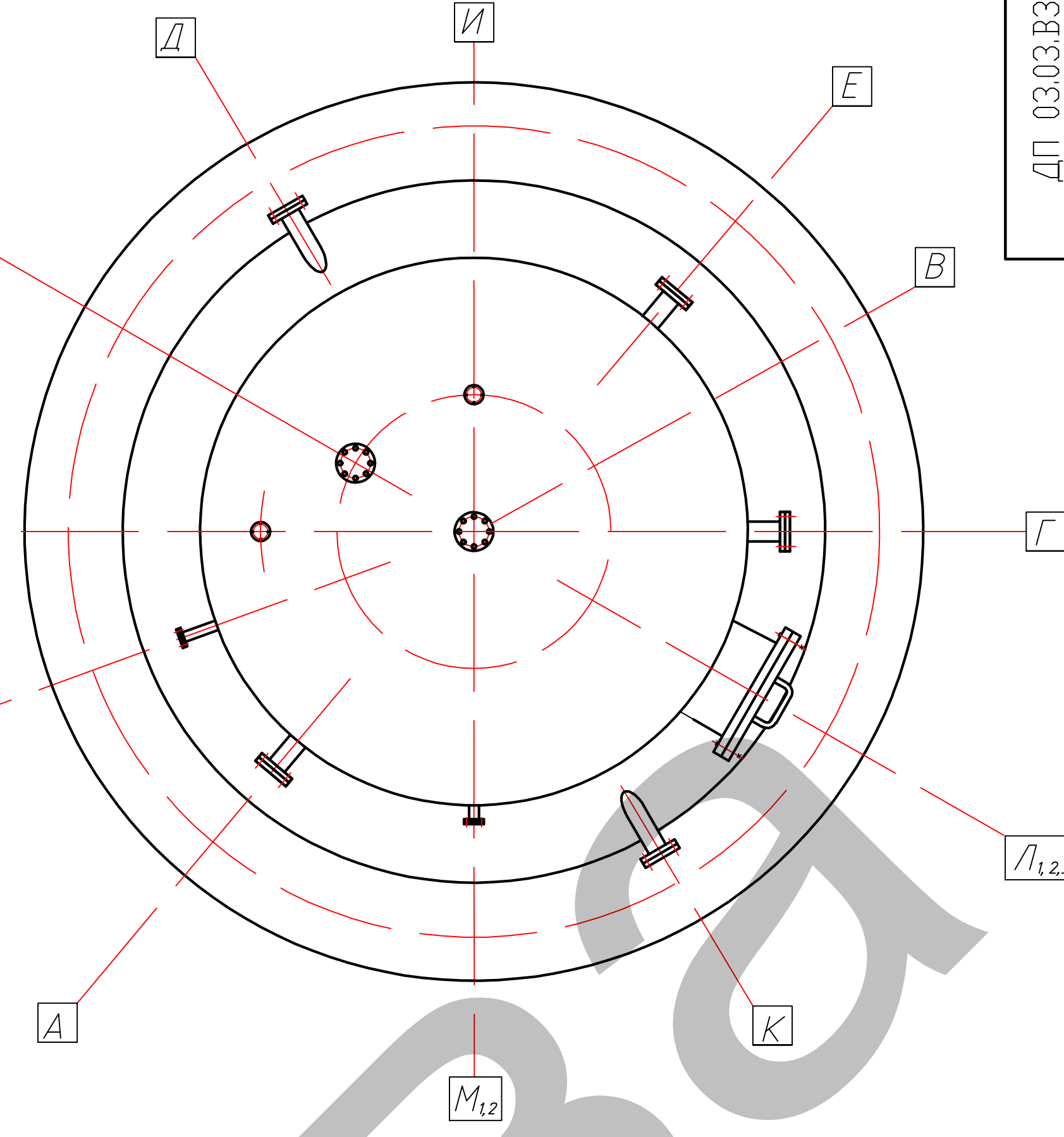
Познач.	Найменування	Кіл.	Приміт.
PT1	Реактор адабатний	1	
PT2	Реактор синтезу	1	
КЛ1/1	Ректифікаційна колона відгонки МТБЕ	1	
КЛ1/2	Ректифікаційна колона відгонки відраб. ББФ	1	
КЛ2	Екстрактор відмивання метанолу	1	
КЛ3	Ректифікаційна колона осушення метанолу	1	
E1	Сировинна емкість свіжої ББФ	1	
E2	Сировинна емкість свіжого метанолу	1	
E3	Рефлексна емкість азеотропної суміші	1	
E4	Сепаратор відпрацьованої ББФ	1	
E5	Рефлексна емкість циркуляційного метанолу	1	
AT1	Теплообмінник підігрівання сировини	1	
AT2	Холодильник товарного МТБЕ	1	
AT3	Підігрівач метанолу	1	
AT4	Підігрівач сировинної суміші	1	
AT5/1,2	АВО-охолодження азеотропної суміші	2	
AT6	Холодильник азеотропної суміші	1	
AT7	Холодильник азеотропної суміші	1	
AT8	Теплообмінник підігрівання метанольної води	1	
AT9	АВО-охолодження циркуляційного метанолу	1	
AT10	Холодильник циркуляційного метанолу	1	
AT11	Холодильник промивної води	1	
AT12	Холодильник промивної води	1	
ИП1	Кип'ятильник відгонки МТБЕ	1	
ИП2	Кип'ятильник осушення метанолу	1	
H1	Насос подачі свіжої ББФ	1	
H2/1,2	Насос подачі свіжого метанолу	2	
H3	Насос відкачки кубового продукту з реактора синтезу в колону КЛ1/1	1	
H4	Насос подачі азеотропної суміші	1	
H5	Насос подачі промивної води	1	
H6	Насос подачі циркуляційного метанолу	1	

				ДП 03.02. СТ			
Зм. Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Принципіальна технологічна схема виробництва метил-трет-бутилового ефіру	Арк.	Маса	Масшт.
Розроб.	Ознаєва				У		
Перев.	Поташенко Е.В.				Аркш 1	Аркшів 3	
Т.контр.					СНУ ім. В. Доля гр. ХТ-17Ді		
Кер.							
Н.контр.							
Затв.	Суворін О.В.						





Вид Р (1:40)



Таблиця штуцерів

Познач.	Найменування	К-ть	Ду, мм	Р <sub>р</sub> , МПа
А	Вхід фракції С <sub>4</sub>	1	100	2.5
Б	Вхід метанолу	1	20	2.5
В	Вивід парів	1	100	2.5
Г	Вхід рідини	1	100	2.5
Д	Вихід рідини	1	80	2.5
Е	Вхід парів	1	100	2.5
Ж	Вхід пари для пропарки	1	80	2.5
И	Штуцер дихання	1	50	2.5
К	Штуцер для продувки	1	80	2.5
Л <sub>1,2,3</sub>	Люк - лаз	3	500	2.5
М <sub>1,2</sub>	Для встановлення рівнеміру	2	50	2.5
Н	Для ППК	1	100	2.5

Технічна характеристика

- Апарат призначений для синтезу МТБЕ.
- Тиск: робочий - 6 кгс/см<sup>2</sup>; розрахунковий - 6,21 кгс/см<sup>2</sup>.
- Температура: - максимально допустима стінки - 95,8 °С; - мінімально допустима стінки - 45,8 °С.
- Потужність апарату - 5625 кг/год.
- Об'єм апарату - 0,958 м<sup>3</sup>.
- Середовище - пожежонебезпечне, вибухонебезпечне, токсичне, клас безпеки 3.

Технічні вимоги

- Апарат належить веденню "Правил Держакохоронраці України".
- Технічні вимоги на виготовлення, випробування апарату мають відповідати ОСТ 26-291-79 "Сосуди та апарати сталеві зварні. Технічні вимоги" та ГОСТ 12.2.003 - 74 "Обладнання виробниче. Правила безпеки".
- Апарат випробувати у горизонтальному положенні на міцність та щільність пробним гідролічним тиском 0,9 МПа.
- Зварні з'єднання повинні відповідати вимогам ОН 26-01-71-68 "Зварка в хімічному машинобудівництві".
- Дієсне розташування штуцерів, лажів дивись вид Р.
- \* Розмір для довідок.

Лоз.	Позначення	Найменування	К-ть	Маса кг	Найменування і марка матеріалу	Примітки
1		Корпус	1		сталь Х18Н10Т	
2		Кришка	1		сталь Х18Н10Т	
3		Днище	1		сталь Х18Н10Т	
4		Решітка	4		сталь Х18Н10Т	
5		Шар каталізатору	4			
6		Опора	1		сталь 3	
7		Тарілка	4		сталь Х18Н10Т	
8		Маточник	1		сталь Х18Н10Т	

ДП 03.03. В3

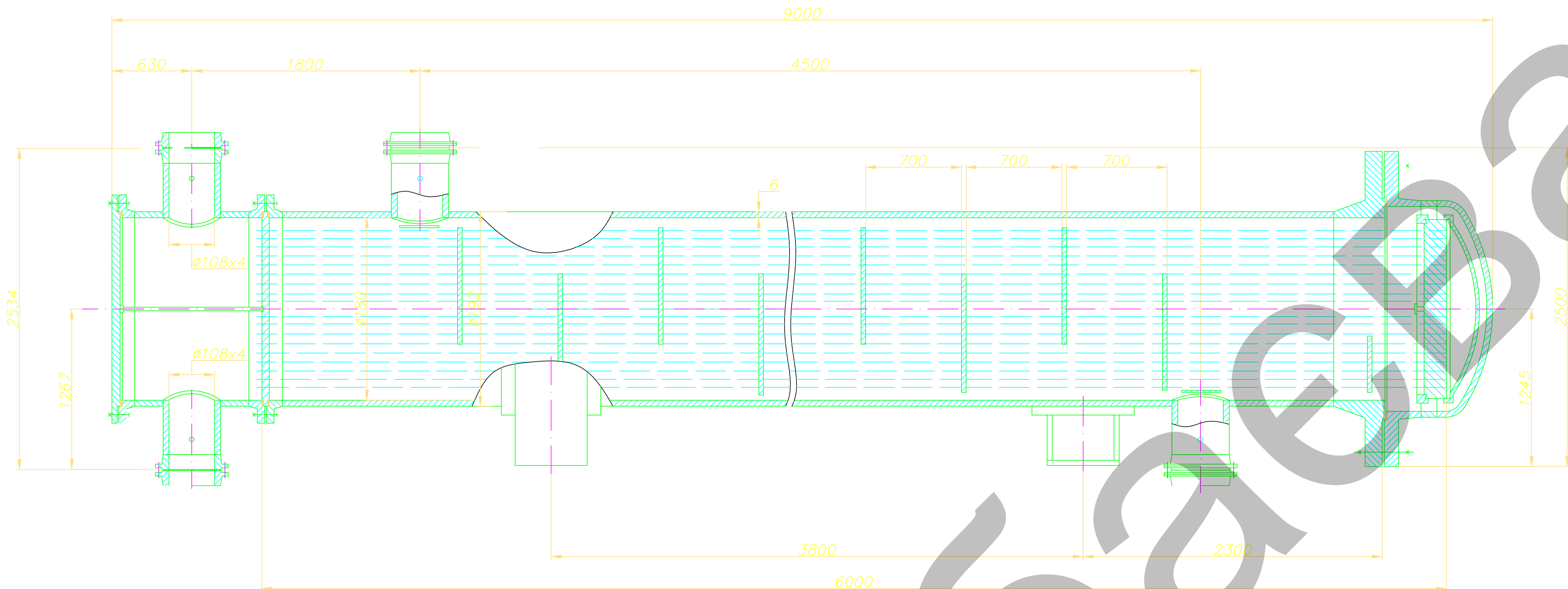
Реактор синтезу МТБЕ  
Креслення загального вигляду

Зм. Арк.	№ док.ум.	Підпис	Дата	Арк.	Маса	Масшт.
Розроб.	Об'єктова					1:25
Перев.	Потопенко Е.В.			Аркш 1	Аркшів 3	
Т.контр.						
Кер.						
Н.контр.						
Затв.	Сьворін О.В.					

Виробництво отримання МТБЕ потужністю 38000 т/рік.

СНУ ім. В. Даля гр. ХТ-17Д1

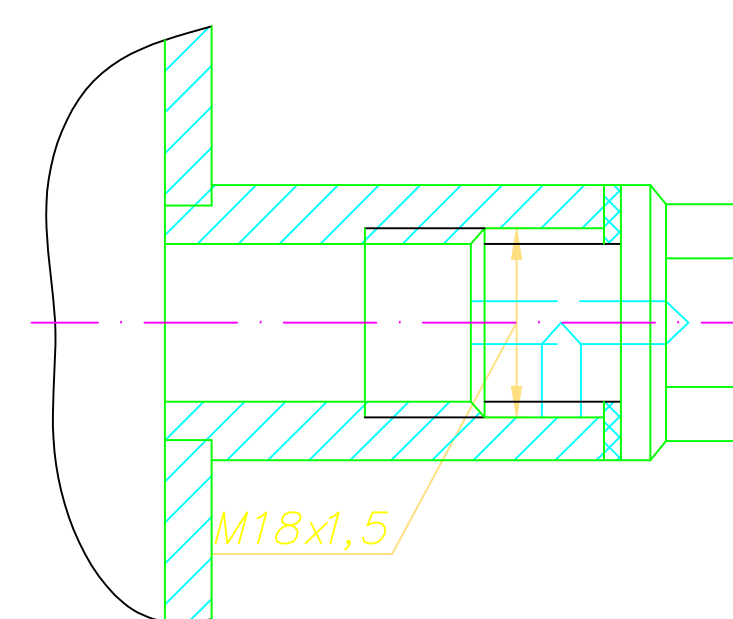
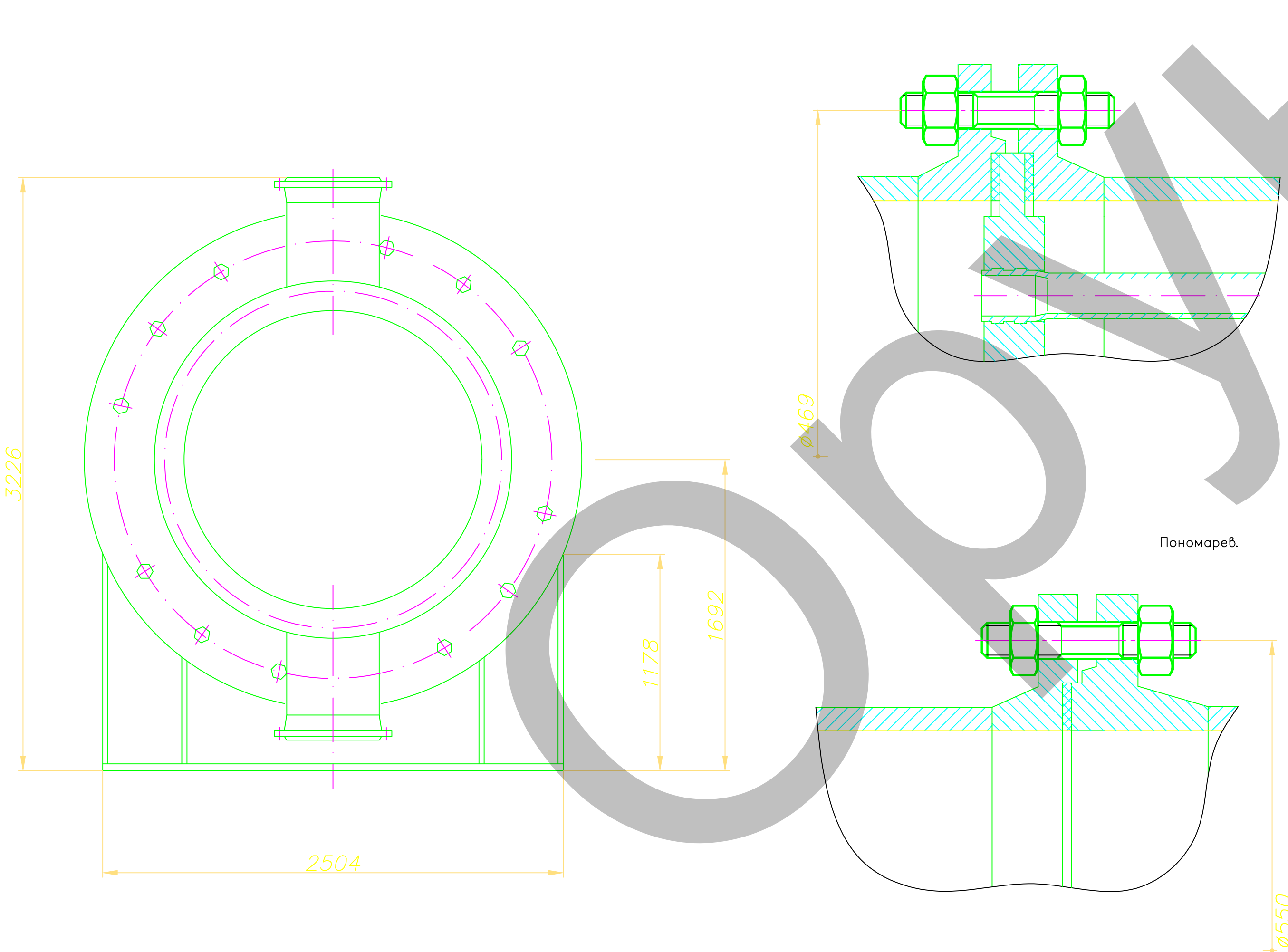
Таблиця штуцерів



Поз	Найменування	Кількість	Прокід умовний Ду, мм	Тиск умовний, МПа
А	Вхід середовища			
Б	Вихід середовища			
В	Вхід теплоносія			
Г	Вихід теплоносія			
Д 1	Воздушник			
Г	Дренаж			

Технічна характеристика

- Призначення: підігрів ББФ+метанол.
- Робочий тиск апарата, МПа:
  - в трубному просторі: 0,5
  - в міжтрубному просторі: 3,0
- Розрахунковий тиск в апараті, МПа:
  - в трубному просторі: 3,5
  - в міжтрубному просторі: 3,5
- Робоча температура в апараті, °C: 350
- Розрахункова температура в апараті, °C:
  - в трубному просторі: 300-350
  - в міжтрубному просторі: 350
- Прибавка для компенсації корозії, мм: 0,1
- Робоче середовище:
  - в трубному просторі: ББФ+метанол
  - в міжтрубному просторі: МТБЕ
- Токсичність і вивухонебезпека: токсична, вибухонебезпечна пожежебезпечна



Поз	Позначення	Найменування	Кол. шт.	Вага 1 шт.	Найменування і марка матеріалу	Прим.
<i>Сбірні оденції</i>						
1		Корпус	1			
2		Еліптичне днище	2			
3		Грубна решітка	1			
4		Опора нерухома	1			
5		Опора рухома	1			
6		Камера розподількова	1			
<i>Деталі</i>						
8		Перегородка	10			
9		Труба ?25x2	442			
10		Отійник	2			
11		Кришка	1			
12		Кришка	1			
<i>Стандартні вироби</i>						
14		Фланці по ГОСТ 12820-80 2-250-0.6 Х18Н10Т	4			
15		Прокладки ГОСТ 15180-86 А-250-0.6 ПОН-А2	4			
16		Болт ГОСТ 7798-80 М20x100.58	96			
17		Гайка ГОСТ 5915-70 М20	96			
18		Гайка М30	192			
19		Шпилька ГОСТ 22040-76 М30x150.58	96			

Технічні вимоги

- Виготовлення, випробування і приймання апарату проводити в відповідності з технічними вимогами по ОСТ 26-291-71.
- Шви зварних з'єднань, марки і типи електродів прийняти в відповідності з ОН 26-01-71-69.
- Контроль внутрішніх дефектів зварних швів проводити в відповідності з ГОСТ 3242-69 і ОСТ 26-291-71.
- Зварні шви і зони термічного впливу випробувати на міжкристалітну корозію по ГОСТ 6032-75.
- Веденню органів Держтехнагляду апарат підлягає.
- Дійсне розташування штуцерів показане в плані.

ДП 03.04. ВЗ			
Зм. Арк.	№ док-м	Підпис	Дата
Розроб.	Орнубаєва		
Перев.	Попаленко Е.В.		
Т. контр.			
Кер.			
Н. контр.			
Замб.	Сьворін О.В.		

Теплообмінник		
Арк.	Масш.	Масшт.
у		1:20
Виробництво отримання МТБЕ потужністю 38000 т/рік		
Аркуш	З	Аркушів
З		3
СНУ ім. В. Доля		
вр. КТ-17Д		