

**Лекція:3.** Випарювання. Способи випарювання. Конструкції випарних апаратів і їх експлуатація.  
Багатокорпусні випарні установки.

**Мета:** ознайомитися з різними способами випарювання, з конструкцією випарних апаратів та особливостями їх експлуатації.

План лекції

Вступ

1. Способи випарювання.
2. Конструкції випарних апаратів і їх експлуатація.
3. Області застосування і вибір випарних апаратів.

Висновки

Література

Питання

**Вступ**

Процес концентрування розчинів, який полягає у видаленні розчинника шляхом випарювання при кипінні називається випарюванням. в більшості випадків з розчину видаляють лиш частину розчинника, так як у випарних апаратах звичайних конструкцій випарений розчин повинен залишатися у текучому стані. Повне видалення розчинника в таких апаратах можливе тільки тоді, коли розчинена речовина є або рідкою (наприклад випарювання розчинів гліцерину), або при температурі процесу знаходиться у розплавленому вигляді (наприклад, випарювання розчинів аміачної селітри або їдкого натру).

У ряді випадків при випарюванні розчинів твердих речовин досягається насичення розчину, при подальшому видаленні розчинника з такого розчину відбувається кристалізація, тобто виділення з нього розчиненої твердої речовини.

Випарювання широко застосовується для підвищення концентрації розбавлених розчинів, або виділення з них розчиненої речовини шляхом кристалізації.

**Способи випарювання.**

Для обігріву випарних апаратів як і для нагрівання теплообмінників застосовують:

- водяну пару;
- нагрівання парами високо киплячих рідин;
- паливні гази;
- електричний обігрів.

Нагрівання розчину, що випарюється, проводиться шляхом передачі тепла від нагріваючого агента через стінку, яка розділяє обидві речовини, або шляхом безпосереднього стикання речовин.

Випарювання ведуть як при атмосферному, так і під пониженим або підвищеним тиском.

При випарюванні розчину під атмосферним тиском утворений так званий вторинний (соковий) пар випускається в атмосферу. Такий спосіб випарювання є найбільш простим.

При випарюванні при пониженому тиску (при розрідженні) в апараті створюється вакуум шляхом конденсації вторинної пари в спеціальному конденсаторі і відсмоктування із нього газів, що не конденсуються, з допомогою вакуум-насосу. Вакуум-випарка дозволяє знизити температуру кипіння розчину і застосовується для випарювання чутливих до високої температури розчинів (наприклад, розчинів органічних речовин), а також високо киплячих розчинів, коли температура нагріваючого агента не дає можливості вести процес під атмосферним тиском. Використання вакууму дозволяє також збільшити різницю температур між нагріваючим агентом і киплячим розчином, і, відповідно, зменшити поверхню теплообміну. Недоліком випарювання у вакуумі є подорожчання установки (додаткові затрати на конденсаційний пристрій) і її експлуатації (розхід води на конденсатор, затрати енергії на вакуум-насос, витрати на обслуговування, амортизація конденсаційного пристрою).

При випарюванні під підвищеним тиском вторинна пара може бути використана, як нагріваючий агент в підігрівачах, для опалення і т.п., а також для різних технологічних потреб. Випарювання під тиском зв'язано з підвищенням температури кипіння розчину, тому застосування даного способу обмежене властивостями розчину і температурою нагріваючого агента.

Установки, які складаються з одного апарату, вторинна пара з якого не використовується (при випарюванні під атмосферним тиском, або при розрідженні), або використовується поза апаратом називаються однокорпусними випарними установками.

Багатокорпусні випарні установки включають декілька з'єднаних одне з одним апаратів (корпусів), які працюють під тиском, що знижується в напрямку від першого корпусу до останнього. В таких установках можна застосовувати вторинну пару, яка утворюється в кожному попередньому корпусі, для обігріву послідуєчого корпусу. При цьому свіжою парою обігрівається тільки перший корпус; вторинна пара, яка утворюється в першому корпусі направляється на обігрів другого корпусу, в якому тиск нижчий і т.д. Вторинна пара з останнього корпусу поступає в конденсатор (якщо цей корпус працює при розрідженні), або використовується поза установкою (якщо останній корпус працює при підвищеному тиску). Таким чином в багатокорпусних випарних установках здійснюється багатократне

використання однієї і тієї ж кількості тепла (тепла, яке віддається гріючою парою в першому корпусі), що дозволяє зекономити значну кількість споживаної свіжої пари.

Багатократне використання тепла можливе також в однокорпусних випарних установках, якщо стиснути вторинну пару при допомозі компресора або паро струминного інжектора, який дозволяє застосовувати пару для обігріву того ж апарату, в якому ця пара утворилася.

Випарні установки зі стисненням вторинної пари, називаються апаратами з тепловим насосом (або з термокомпресією).

### **Конструкції випарних апаратів і їх експлуатація.**

Найбільше поширення дістали випарні апарати з паровим обігрівом, які мають поверхню теплообміну виконану з труб.

Випарні апарати з паровим обігрівом складаються з двох основних частин:

а) кип'ятильник (гріюча камера), в якому розміщена поверхня теплообміну і відбувається випарювання розчину;

б) сепаратор – простір, в якому вторинна пара відділяється від розчину.

Необхідність в паровому просторі (сепараторі) складає основну конструктивну відмінність випарних апаратів від теплообмінників.

В залежності від характеру руху киплячої рідини у випарному апараті розрізняють:

1. Випарні апарати з вільною циркуляцією.
2. Випарні апарати з природною циркуляцією.
3. Випарні апарати з примусовою циркуляцією.
4. Плівкові випарні апарати.

#### *Випарний апарат з центральною циркуляційною трубою.*

Випарний апарат з центральною циркуляційною трубою представлений на рис. 1.1. В міжтрубний простір нагрівальної камери 2 подається гріюча пара. Розчин поступає в апарат над верхньою трубною решіткою і опускається по циркуляційній трубі 4 вниз, потім піднімається по кип'ятильних трубах з і на деякій відстані від нижнього краю закипає. Тому на більшій частині довжини труб відбувається рух ввєрх парорідинної суміші, вміст пари в якій зростає по мірі її руху. Вторинна пара поступає в сепаратор 5, де з допомогою бризкоуловлювача, який змінює напрям руху парового потоку, від пари, під дією інерційних сил, відділяється винесена нею волога. При цьому вторинна пара видаляється через штуцер зверху апарата. Випарений розчин видаляється через нижній штуцер кінцевого дна апарату в якості проміжного або кінцевого продукту.

Циркуляція розчину в апараті відбувається внаслідок різниці густин розчину в циркуляційній трубі і парорідинної суміші в кип'ятильних трубах.

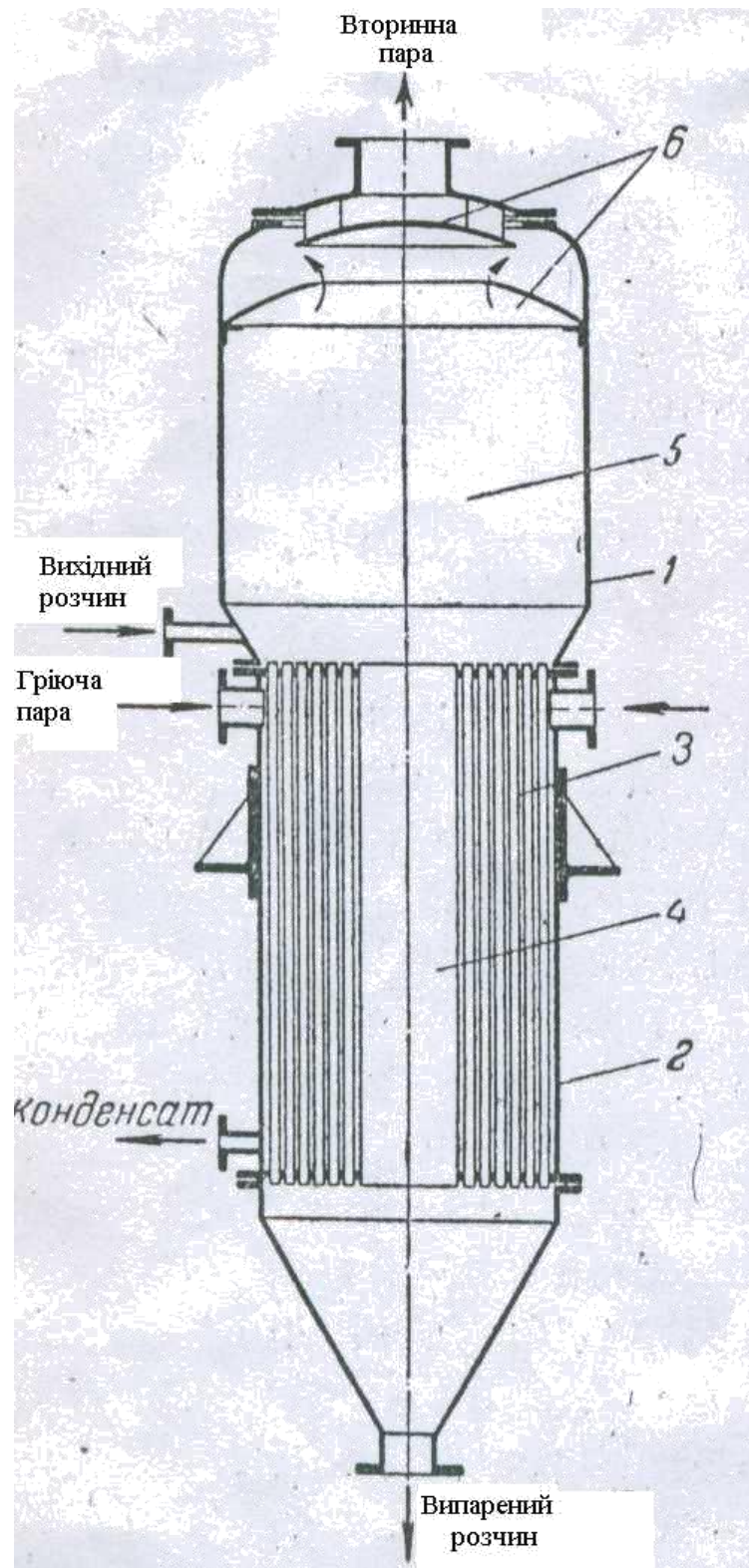


Рис.1.1. Випарний апарат з центральною циркуляційною трубою.  
 1 – корпус; 2 – нагрівальна камера; 3 – кип'ятильні труби; 4 – циркуляційна труба; 5 – сепараційний (паровий) простір; 6 – бризкоуловлювач.

*Випарний апарат з виносною циркуляційною трубою.*

Випарний апарат з виносною циркуляційною трубою представлений на рис. 1.2.

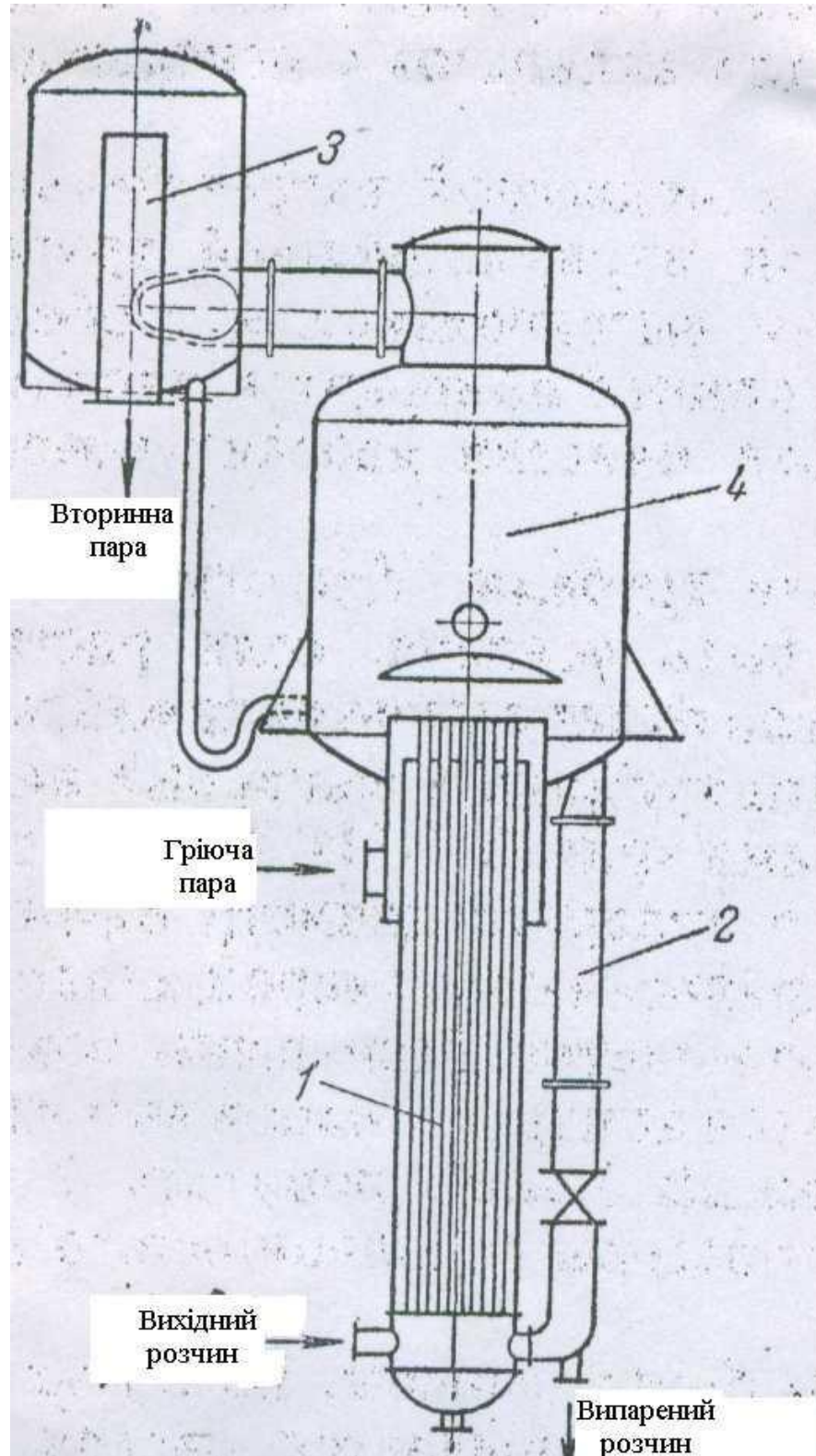


Рис.1.2. Випарний апарат з виносною циркуляційною трубою.  
1 – нагрівальна камера; 2 – циркуляційна труба; 3 – відцентровий бризкоуловлювач; 4 – сепараційний (паровий) простір.

Штучна циркуляція розчину може бути посилена, якщо розчин на



опускній ділянці циркуляційного контуру буде краще охолоджуватися. В даному випадку циркуляційна труба 2 не нагрівається паром, як в апараті з центральною циркуляційною трубою і створюються кращі умови для циркуляції.

*Випарний апарат з примусовою циркуляцією.*

Випарний апарат з примусовою циркуляцією представлений на рис. 1.3.

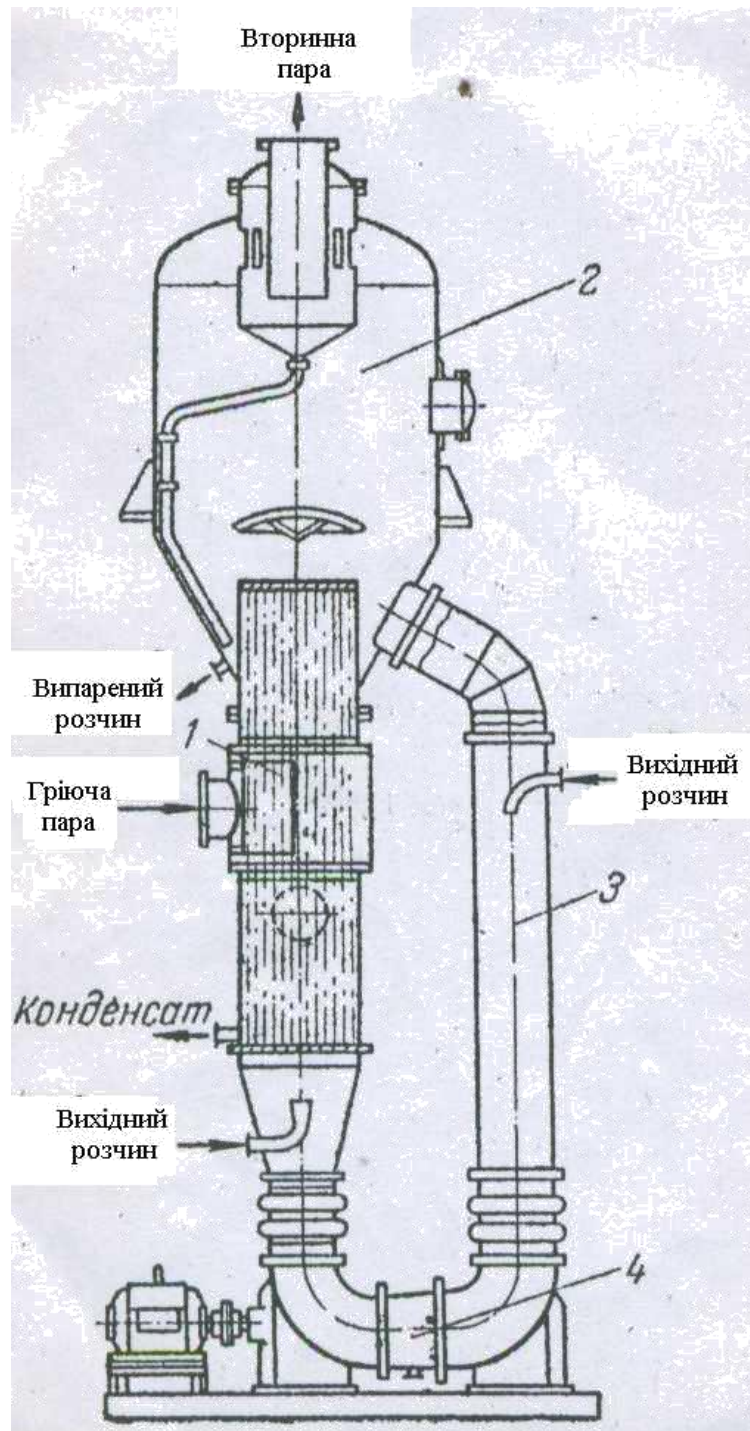


Рис. 1.3. Випарний апарат з примусовою циркуляцією.

1 – нагрівальна камера; 2 – сепаратор; 3 – циркуляційна труба; 4 – циркуляційний насос.

Ці апарати застосовують для підвищення інтенсивності циркуляції розчину і збільшення коефіцієнта теплопередачі.

Розрізняють ще такі види випарних апаратів:

- випарний апарат з виносною нагрівальною камерою;
- випарний апарат з виносною зоною кипіння;
- випарний прямотечійний апарат з піднімаючою плівкою;
- роторний прямотечійний випарний апарат;
- випарна установка з тепловим насосом;
- барботажний випарний апарат;
- випарний апарат з зануреним пальником.

### **Області застосування і вибір випарних апаратів.**

Конструкція випарних апаратів повинна задовольняти ряду загальних вимог, до числа яких відносяться:

- висока продуктивність, інтенсивність теплопередачі при можливо менших об'ємах апарату і розходу металу на його виготовлення;
- простота будови;
- надійність в експлуатації;
- легкість очистки поверхні теплообміну;
- зручність огляду, ремонту і заміни окремих частин.

Для випарювання розчинів невисокої в'язкості ( $8 \cdot 10^{-3}$  Н с/м<sup>2</sup> = 8 спз), без утворення кристалів частіше всього використовують вертикальні випарні апарати з багатократною природною циркуляцією. З них найбільш ефективні апарати з виносною нагрівальною камерою і з виносними не обігрівальними циркуляційними трубами.

Випарювання некристалізуючих розчинів високої в'язкості (100 спз) проводять в апаратах з примусовою циркуляцією, рідше – в прямоотечійних апаратах з падаючою плівкою або в роторних прямоотечійних апаратах.

Апарати з примусовою циркуляцією застосовуються також для випарювання кристалізуючих або в'язких розчинів. Подібні розчини можуть ефективно випарюватися і в апаратах з винесеною зоною кипіння, які працюють при природній циркуляції.

Для розчинів, що сильно піняться, рекомендують прямоотечійні апарати з піднімаючою плівкою.

#### *Багатокорпусні випарні апарати.*

В багатокорпусній випарній установці вторинна пара кожного корпусу (крім останнього) використовується для обігріву наступного корпусу. Тиск від корпусу до корпусу зменшується так, щоб температура кипіння розчину в кожному корпусі була нижча температури насичення пари, яка обігріває цей корпус.

Застосування багатокорпусних випарних установок дає значну економію пари. Наприклад, розхід граючої пари на 1 кг води, що випарюється в середньому складає:

- в однокорпусній випарній установці – 1,1;
- в двокорпусній випарній установці – 0,57 в трьохкорпусній випарній установці – 0,40;
- в чотирьохкорпусній випарній установці – 0,30;
- в п'ятикорпусній випарній установці – 0,27;

Вторинну пару, що утворюється в кожному корпусі, можна не цілком направляти на обігрів наступного корпусу, а частково відводити на сторону і використовувати для попереднього підігріву розчину, який поступає на випарювання або для інших технологічних цілей не зв'язаних з випарюванням. Вторинну пару, яку відводять на сторону називають екстра-парою. Екстра-



пара може бути відібрана з любого корпусу, крім останнього. З останнього корпусу не проводять відбору екстра-пари, так як вторинну пару звідти направляють в конденсатор; якщо ж випарювання ведеться під тиском, вторинну пару можна повністю використовувати поза випарною установкою.

Схема з прямотечійним живленням.

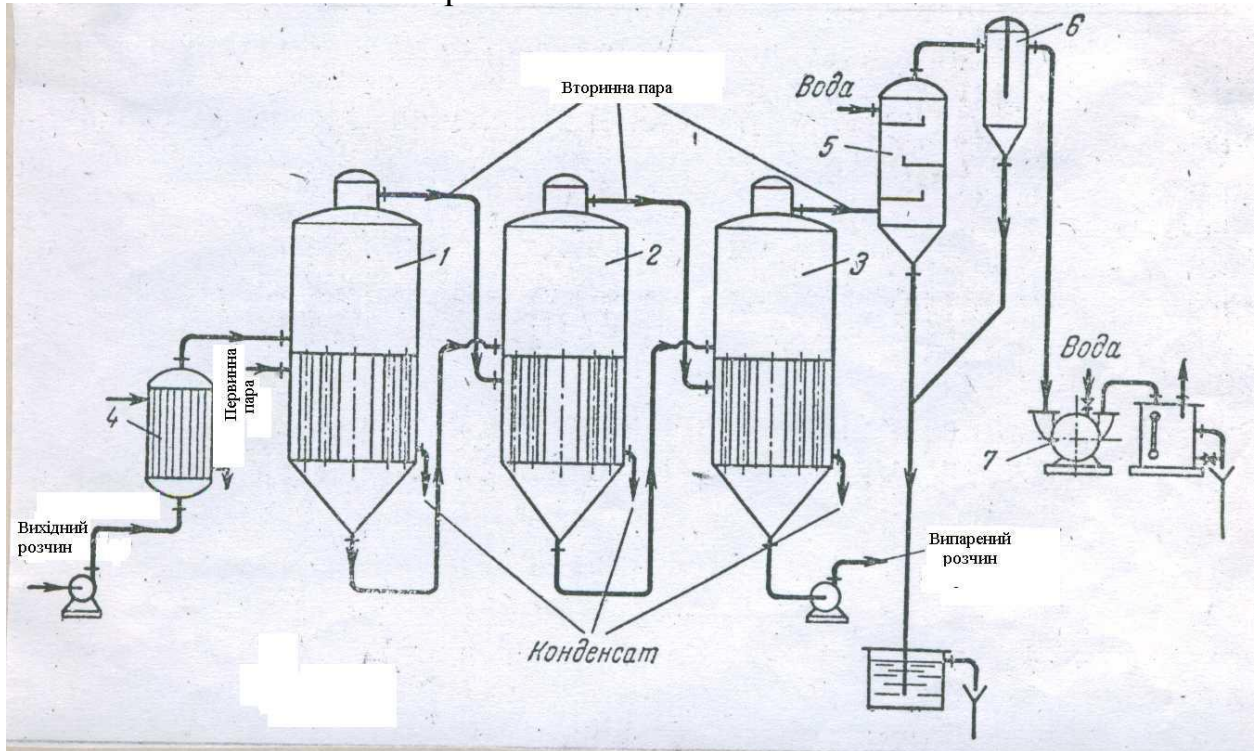


Рис. 1.4. Багатокорпусна прямотечійна вакуум-випарна установка 1 – 3 – корпуси установки; 4 – підігрівач вихідного розчину; 5 – барометричний конденсатор; 6 – лопушка; 7 – вакуум-насос.

Ця схема має найбільше поширення. Слабкий розчин подається в I-ий корпус, з нього поступає у II-ий, з другого в III-ій і т.д. Вторинна пара також направляється з I-го корпусу в II-ий, з II-го в III-ій і т.д. Таким чином, розчин і вторинна пара рухаються в одному напрямку. Розчин переходить з одного корпусу в другий внаслідок різниці тисків в корпусах. Так як температура кипіння в кожному послідовному корпусі знижується, то розчин поступає у всі корпуси (крім першого) з температурою більш високою ніж температура кипіння. В результаті розчин охолоджується і за рахунок тепла, що віддається при цьому, випаровується деяка кількість води (самовипарювання). Однак при живленні I-го корпусу холодним розчином значна кількість гріючої пари в цьому корпусі витрачається на підігрів розчину. Тому при прямотечійному живленні доцільно подавати в I-й корпус підігрітий розчин (шляхом установки підігрівачів 4, які обігріваються екстра-парою або конденсатом).

Недолік схеми з прямотечійним живленням полягає в тому, що в останньому корпусі, де температура кипіння найбільш низька, випарюється найбільш концентрований розчин. Одночасне пониження температури і

підвищення концентрації розчину приводить до підвищення в'язкості і зниженню коефіцієнта теплопередачі; тому в даній схемі коефіцієнт теплопередачі зменшується від першого корпусу до останнього.

Схема з протитечійним живленням.

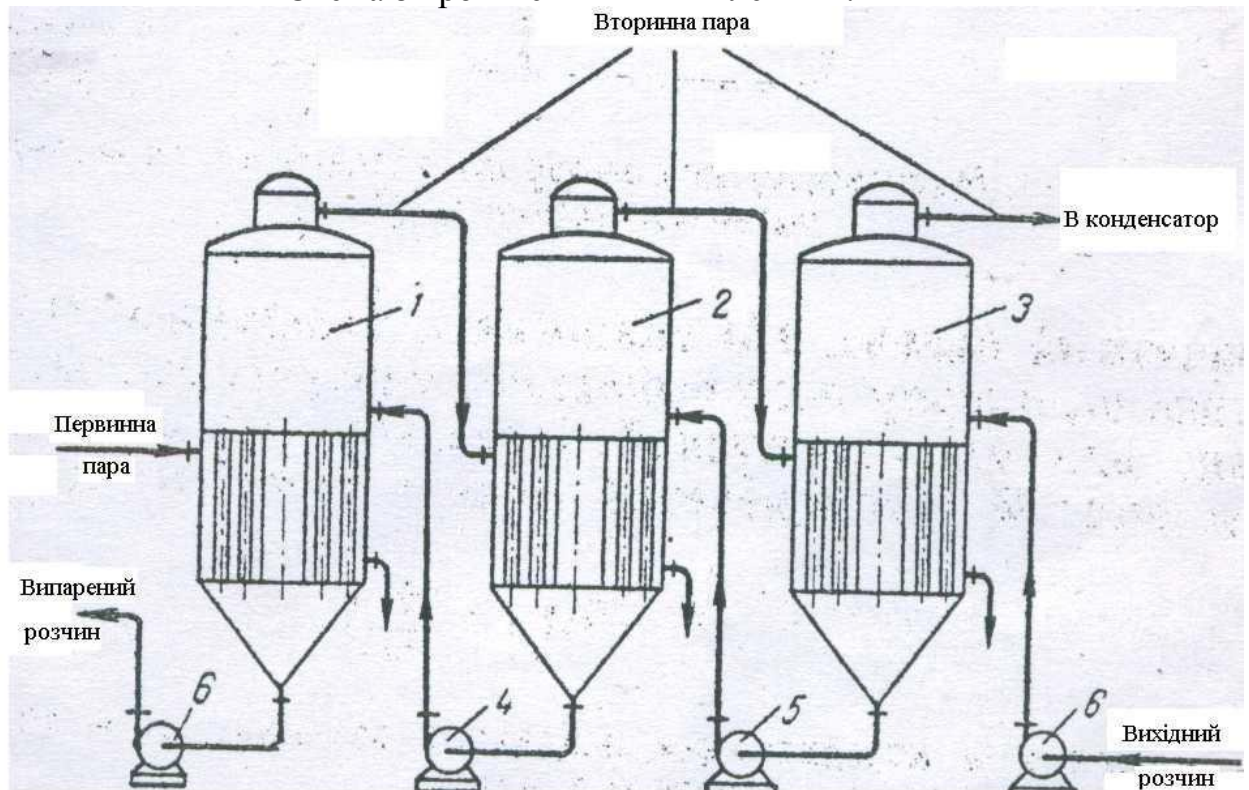


Рис. 1.5. Багатокорпусна протитечійна вакуум-випарна установка.

1-3 – корпуси установки; 4-6 – вакуум-насос.

Слабкий розчин подається в останній корпус, з нього в передостанній і т.д. Вторинна пара навпаки направляется з I-го корпусу в II-й, з II-го в III-й і т.д. Отже розчин і вторинна пара рухаються з корпусу в корпус в протилежних напрямках. Так як в цьому випадку розчин поступає з корпусу з меншим тиском в корпус з більш високим тиском, то для передачі розчину між корпусами встановлюються насоси.

При протитечійному живленні найбільш висока концентрація розчину досягається в I-му корпусі, де і температура кипіння невисока. Тому значного падіння коефіцієнта теплопередачі в корпусі з найбільш концентрованим розчином не відбувається і він мало змінюється по корпусах. Це є найбільш суттєва перевага протитечійного живлення перед прототечійним. Крім того при протитечійному живленні кількість води, яка випарюється в останньому корпусі менша, ніж при прототечійному живленні, що зменшує навантаження на конденсатор (при випарюванні у вакуумі).

Основний недолік протитечійної схеми є необхідність в установці насосів між корпусами, що зв'язано з додатковою витратою електроенергії, ускладнює установку і утруднює її регулювання.



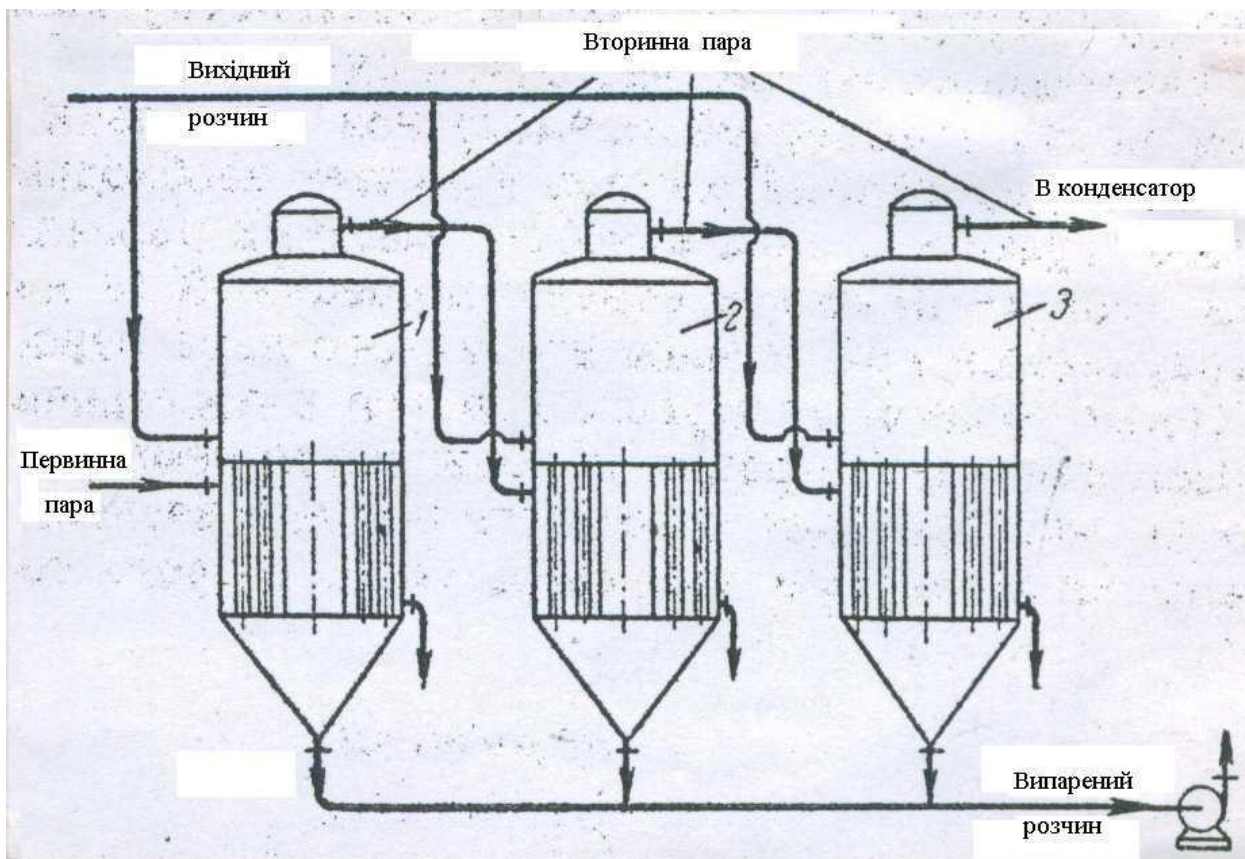


Рис. 1.6. Схема з паралельним живленням.

1-3 – корпуси установки.

Згідно цієї схеми слабкий розчин подається одночасно у всі корпуси, а випарений розчин відбирається також з всіх корпусів. Вторинна пара рухається від I-го корпусу до послідуєчих. Ця схема застосовується рідко, головним чином при незначному підвищенні концентрації розчину і при випарюванні розчинів, що кристалізуються.

#### Висновки

1. Найбільш простим є спосіб випарювання, при якому випарювання розчину відбувається при атмосферному тиску, а утворений при цьому так званий вторинний (соковий) пар випускається в атмосферу.
2. При випарюванні при пониженому тиску (при розрідженні) в апараті створюється вакуум шляхом конденсації вторинної пари в спеціальному конденсаторі і відсмоктування із нього газів, що не конденсуються, з допомогою вакуум-насосу, що дозволяє знизити температуру кипіння розчину і застосовується для випарювання чутливих до високої температури розчинів (наприклад, розчинів органічних речовин).
3. При випарюванні під підвищеним тиском вторинна пара може бути використана як нагрівачий агент.

#### Література

1. Касаткин А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии. Химия, 1973.
2. Плановский А.Н., Рамм В.М., Каган С.З. Процессы и аппараты химической технологии. Химия, 1968.
3. Перри Дж. Справочник инженера-химика. Химия, 1969.
4. Чернобыльский И.И., Бондарь А.Г., Гаевский Б.А. и др. Машины и аппараты химических производств. Химия, 1962.
5. Кутателадзе С.С. Основы теории теплообмена Наука, 1970.
6. Романков П.Г., Рашковская Н.Б. Сушка в кипящем слое Химия, 1964.
7. Романков П.Г., Рашковская Н.Б. Сушка во взвешенном состоянии Химия, 1968.

#### Питання

1. Які способи нагрівання використовують для випарювання?
2. Які є способи випарювання?
3. Яка будова випарного апарату з центральною циркуляційною трубою?
4. Яка будова випарного апарату з виносною циркуляційною трубою?
5. Яка будова випарного апарату з примусовою циркуляцією?
6. Яка різниця між багатокорпусною прямотечійною та протитечійною вакуум-випарною установкою?