

10 СХЕМИ АВТОМАТИЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ ОСНОВНИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ

10.1 Регулювання витрати

Витрата є найважливішим контрольованим і регульованим параметром у всіх технологічних процесах і є одночасно основним керуючим впливом для підтримування інших параметрів і фактично визначає матеріальні та енергетичні ресурси процесу.

Системи регулювання витрати мають такі особливості: мала інерційність ОК, наявність високочастотних пульсацій у потоці, зумовлених роботою pomp і компресорів, нелінійність залежності степеня відкривання клапана (командного тиску на ВМ) і витратою, а також між витратою і перепадом тиску на звужуючому пристрої в каналі вимірювання.

Найчастіше ОК при регулюванні витрати – це ділянка трубопроводу між датчиком витрати та РО, тобто керуючий канал – це "витрата речовини через датчик (витратомір) – витрата речовини через клапан".

Наближено динаміка такого каналу описується передавальною функцією аперіодичної ланки з чистим запізненням

$$w(p) = \frac{K}{T_p + 1} e^{-\tau p} \quad (10.1)$$

Час чистого запізнення τ становить частку секунди для газу та декількасекунд для рідини, а постійна часу не перевищує декількох секунд. Це зумовлює необхідність застосування малоінерційних технічних засобів автоматизації і врахування їх динамічних характеристик при аналізі систем регулювання.

Оскільки на об'єкт керування безперервно діють високочастотні збурення, то без їх демпферування добитись якісного регулювання важко. В цих умовах найкраще використати звужуючі пристрої. Дифманометри – витратоміри також добре згладжують високочастотні складові сигналу.

Найменшу інерційність мають індукційні (електромагнітні) витратоміри, але на їх вихідний сигнал найсильніше впливають високочастотні збурення.

Таким чином, в контурах регулювання витрати доцільно застосовувати звужуючі пристрої з дифманометрами і ротаметри, а в умовах вибухо- і пожежонебезпечних виробництв їх укомплектовують пневматичними дистанційними системами передачі, що дозволяє ще крім того і додатково згладжувати високочастотні збурення.

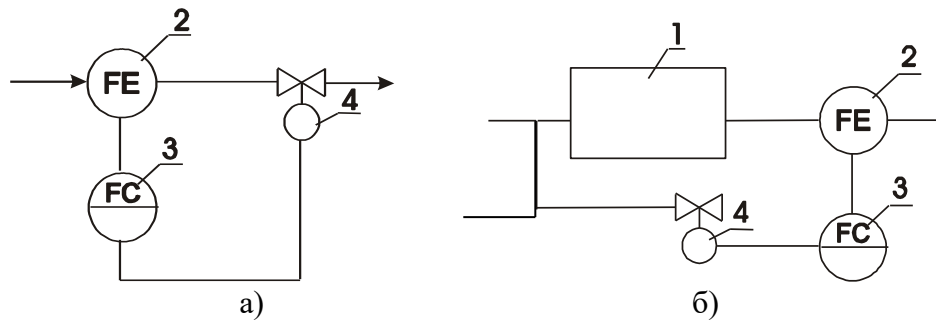
Додаткове демпферування в САР витрати може бути внесене вибором правильного закону регулювання. З цієї точки зору в контурах регулювання необхідно застосовувати регулятори з ПІ-законом регулювання (в окремих випадках допускаються ПІ-регулятори, які мають невеликі демпферні властивості). Ні в якому разі не рекомендується застосовувати ПД- або ПІД-регулятори, оскільки це призведе до виникнення в САР високочастотних коливань великої амплітуди. Коефіцієнт підсилення регулятора устанавлюють як можна меншим.

Вище підкреслювалося, що на якість роботи АСР впливають нелінійності. Так, у звужуючому пристрої (діафрагмі) вихідна величина (перепад тиску ΔP) в робочому діапазоні зв'язаний з вхідною величиною (витратою F) квадратичною залежністю: $F = k\sqrt{\Delta P}$. Ця нелінійність впливає на ступінь стійкості системи при зміні витрати. Тому виникає необхідність забезпечення значного запасу стійкості системи або використання пристроїв лінеаризації, які, крім того, покращують якість перехідного процесу. Останній шлях є найперспективнішим.

Нелінійність РО можна зменшити шляхом спеціального профілювання дросельних пристроїв РО або вибором клапанів з лінійною витратною характеристикою.

Для регулювання (стабілізації) витрати рідини в трубопроводі використовуються два типи АСР. При створенні колекторного постачання рідиною, напорі рідини за рахунок

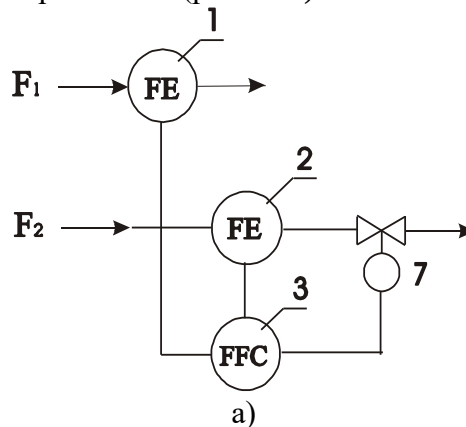
напірних ємностей і у випадку застосування центробіжних pomp і компресорів використовують АСР, схема якої зображена на рис.10.2. Керуюча дія тут – зміна гідравлічного опору трубопроводу.

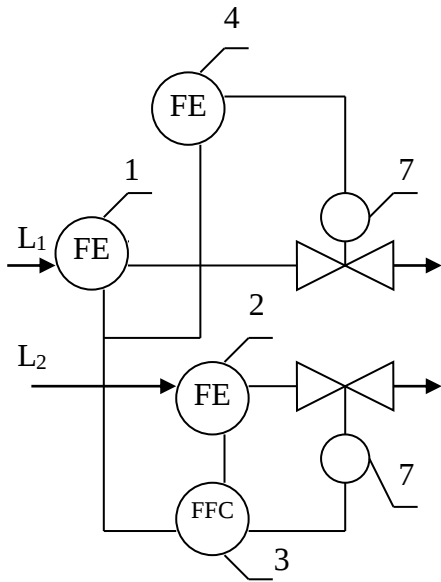


1 – поршнева помпа; 2 – датчик витрати; 3 – регулятор;
4 – виконавчий механізм і регулюючий орган
Рисунок 10.1 – Типові АСР витрати

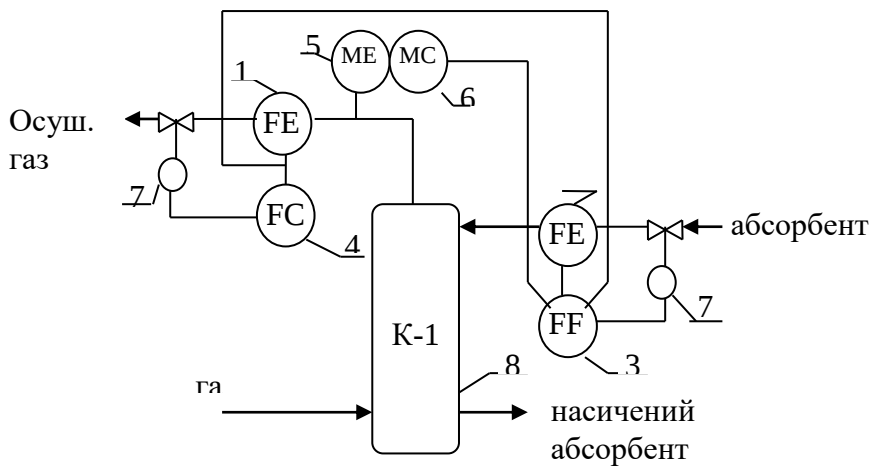
Однак при використанні поршневих і ротаційних pomp доцільно застосовувати схему приведена на рис.10.1.б АСР на рис.10.1.а. не може бути застосована, адже повне перекриття РО потоку рідини, після таких насосів створюється високий тиск, який може викликати аварійну ситуацію. Тому для регулювання витрати тут використовують схеми регулювання витрати на балінасній лінії. Недоліком такої схеми є енергетичні витрати, викликані необхідністю завищення продуктивності помпи чи компресора. Тому для потужних pomp застосовують схеми регулювання витрати шляхом зміни числа обертів приводу помпи, але це призводить до ускладнення схем керування.

Розглянемо регулювання співвідношення витрат двох речовин. Такі схеми доцільно використовувати, наприклад, для підтримування заданого співвідношення витрат газ-абсорбент в системах керування процесом абсорбційної осушки газу. АСР такого типу можна реалізувати за однією з трьох схем (рис.10.2).





б)



в)

а) з незаданою загальною продуктивністю;

б) із заданою продуктивністю;

в) із заданою продуктивністю та корекцією коефіцієнта співвідношення за третім параметром:

1 – датчик провідної витрати; 2 – датчик веденої витрати; 3 – регулятор співвідношення; 4 – регулятор провідної витрати; 5, 6 – датчик і регулятор вологості газу; 7 – регулюючий клапан; 8 – адсорбер.

Рисунок 10.2 – АСР співвідношення витрат

При незаданій загальній продуктивності двох потоків витрата однієї речовини змінюється довільно (відсутнє завдання регулятору). Ця витрата F_1 , називається провідною. Інша речовина подається з “веденою” витратою F_2 , що знаходиться з F_1 у співвідношенні $F_2 = aF_1$, (тут a – постійний коефіцієнт співвідношення) (рис.10.2.а). При заданому значенні провідної витрати F_1 , тобто при заданій загальній продуктивності, крім АСР співвідношення, застосовується і АСР провідної витрати (рис.10.2.б).

Застосовують також АСР, в яких коефіцієнт співвідношення залежить від відзначення третього технологічного параметра, тобто $F_2 = a(y)F_1$ (тут y – третій параметр). Така схема

може бути використана при регулюванні співвідношення подачі газу на осушку і абсорбента з корекцією коефіцієнта співвідношення за вологістю газу на виході з абсорбера (рис.10.2.в).

10.2 Регулювання рівня

Рівень рідини, як і витрати, є доволі поширеним вимірюваним і регульованим параметром. В багатьох рідинно-фазних апаратах, ємностях, випарювачах та інших апаратах підтримується рівень рідини, сипучих матеріалів переповнення або рівень розділу фаз з метою уникнення переповнення або спорожнення апарату, а також для забезпечення нормального технологічного режиму їх роботи.

Рівень рідини в резервуарах і ємностях є, як правило, досить інерційним параметром, тому від датчиків не вимагається значної швидкодії.

Крім того, до підтримування рівня у більшості випадків не висуваються жорсткі умови до точності, тому що рівень, у більшості випадків, - допоміжний параметр. У зв'язку з цим, АСР рівня це прості, одноконтурні системи. Це ще зумовлено і тим, що значна частина ОК мають самовирівнювання.

Однак є випадки, коли рівень рідини є відповідальним параметром і до його вимірювання і регулювання ставляться високі вимоги щодо точності. Це характерно для систем приймання, зберігання і видачі рідин з резервуарних парків, які забезпечують комерційні операції. В цих випадках вимірювання рівня поєднують з корекцією за температурою і гідростатичним розширенням стінок, а також застосовують різноманітні методи підвищення точності вимірювання (методи компенсації та інші).

Об'єкти з регулюванням рівня можна розділити на такі групи:

1. Ємності відкриті або з'єднані з атмосферою, у яких входами є подача і відвод рідини.
2. Ємності під тиском з тими ж входами.
3. Ємності, рівень в яких підтримується випарюванням рідини (випарювачі).
4. Ємності, в яких регулюється рівень розділу фаз.

Підтримування рівня рідини в резервуарі можна забезпечити, як за рахунок самовирівнювання об'єкта, так і за рахунок зовнішніх систем регулювання.

Самовирівнювання рівня рідини в ємності у більшості випадків не забезпечує необхідний діапазон зміни рівня і може застосовуватись лише на об'єктах, де допускають зміни рівня в широких межах.

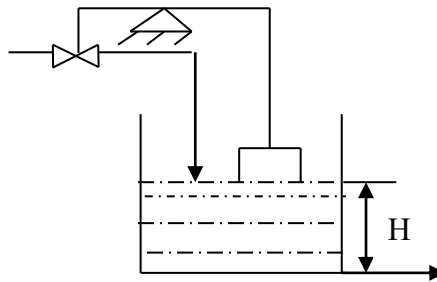
Із зовнішніх систем регулювання широко застосовуються системи з використанням регуляторів прямої дії. Вони характерні при регулюванні рівня на всіх блочних установках нафтогазового промислу, зокрема сепараторах. Типові схеми таких систем показані на рис.10.3.

Регулятори, показані на рис.10.3 функціонують за П-законом регулювання. Системи цього типу можна установлювати на мало відповідальних об'єктах з невисоким ступенем стабілізації рівня, це зв'язано з малими зусиллями, що забезпечуються поплавком – вимірювачем рівня. Для збільшення потужності вихідного сигналу потрібно збільшувати розміри поплавка – датчика, що не завжди доцільно і можливо.

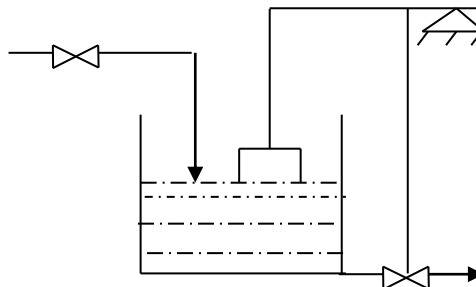
На об'єктах, де необхідна висока точність стабілізації рівня і надійність спрацювання доцільніше застосовувати системи непрямого регулювання. Оскільки серед систем непрямого регулювання найпоширенішими є АСР з регулюванням за притоком рис.10.3.а і за витоком рис.10.3.б.

В даних АСР доцільно застосовувати регулятори з ПІ-законом регулювання, що знижує залишкову нерівномірність або статичну похибку. При суттєвій інерційності ОК використовують регулятор з ПІД-законом регулювання або вводять в АСР допоміжний

контур регулювання з використанням малоінерційних параметрів. До таких параметрів відносяться: витрата рідини у каналі найімовірніших збурень або рівень рідини в першій із послідовно з'єднаних ємностей.



а)

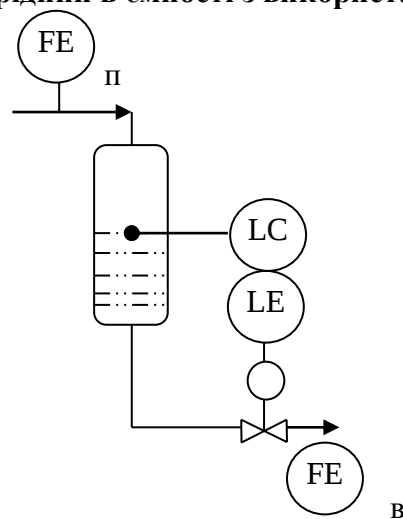


б)

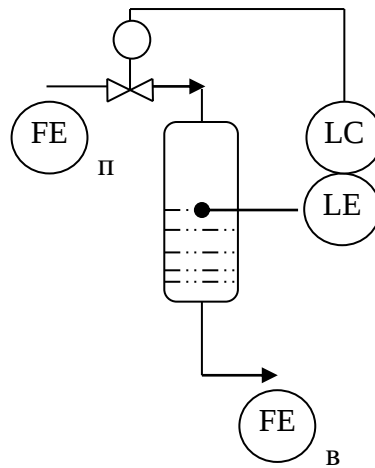
а) зі зміною витрати вхідного потоку

б) зі зміною витрати вихідного потоку

Рисунок 10.3 – АСР рівня рідини в ємності з використанням регулятора прямої дії



а)

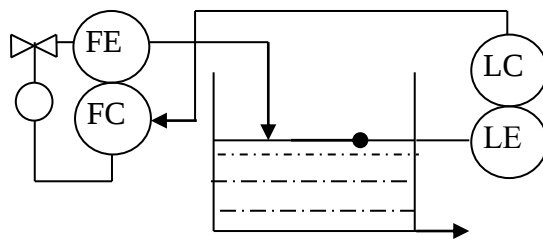


б)

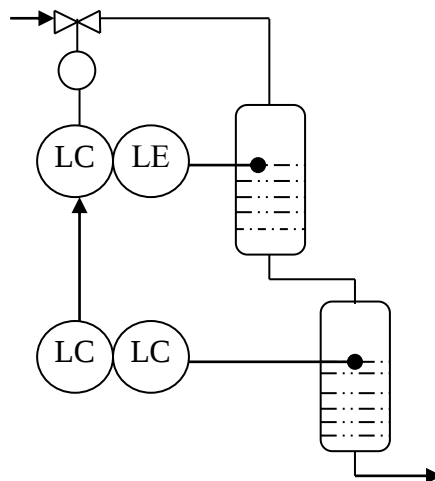
а) регулювання за притоком

б) регулювання за витоком

Рисунок 10.4 – АСР рівня з непрямым регулюванням



а)



б)

а) регулювання витрати рідини з корекцією за рівнем;

б) регулювання рівня з корекцією за рівнем;

Рисунок 10.5 – Двоконтурні АСР рівня з використанням малоінерційного параметру.

Двоконтурну АСР стабілізації рівня з використанням витрати рідини, як малоінерційного параметру регулювання показано на рис.10.5.а. Її треба розглядати як систему стабілізації витрати з корекцією за рівнем рідини в ємності. На рис.10.5.б показана двоконтурна система стабілізації рівня рідини в останній ємності ланцюжка кожній ємності з використанням малоінерційного рівня в першій ємності. Її можна трактувати як систему стабілізації рівня в першій ємності з корекцією за рівнем у проміжній (останній) ємності послідовного ланцюга.

Часто ефективною є АСР рівня з регулюванням співвідношення притоку і витоку з корекцією коефіцієнта співвідношення по рівню (рис.10.6).

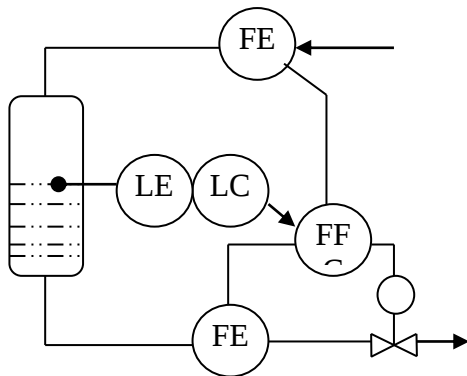


Рисунок 10.6 – АСР рівня з регулюванням співвідношення притоку і витоку.

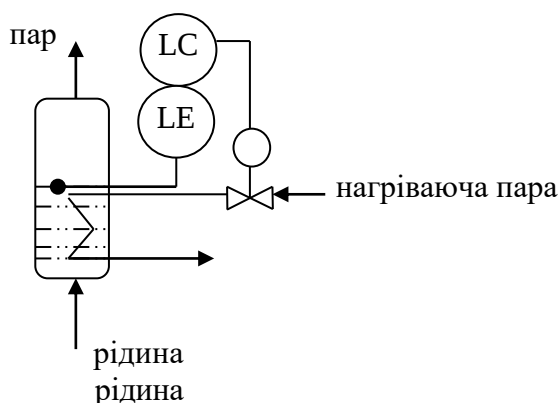


Рисунок 10.7 – АСР рівня у випарювачі

Для регулювання рівня у випарювачах застосовують АСР, показану на рис.10.7. Рівень тут підтримують за рахунок витрати пари як теплоносія.

В ємностях, де регулюється рівень розділу фаз, до них необхідно віднести сепаратори, в яких від нафти відділяється вода, застосовують системи регулювання за витоком з регуляторами прямої дії з П-законом регулювання. Хоча при необхідності можна застосувати і регулятори непрямої дії з відповідними датчиками розділу фаз.

10.3 Регулювання тиску

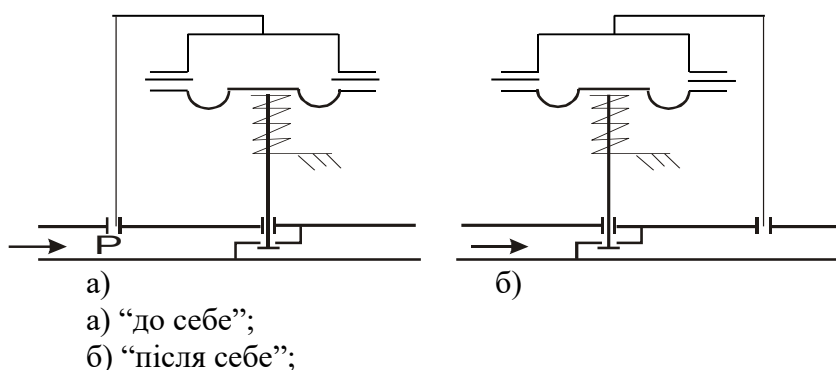
Тиск є показником співвідношення витрат газової фази на вході та виході апарата і характеризує умови збереження матеріального балансу за цією фазою. Тиск в цих апаратах, як правило, є мірою степені заповнення їх аналогічно рівню для рідинних систем.

Регулюючою дією при підтримуванні тиску є найчастіше зміна витрати вхідного або вихідного потоку. Необхідно відмітити, що газова ємність є демпфером високочастотних збурень, тому вимірний сигнал не має високочастотних складових.

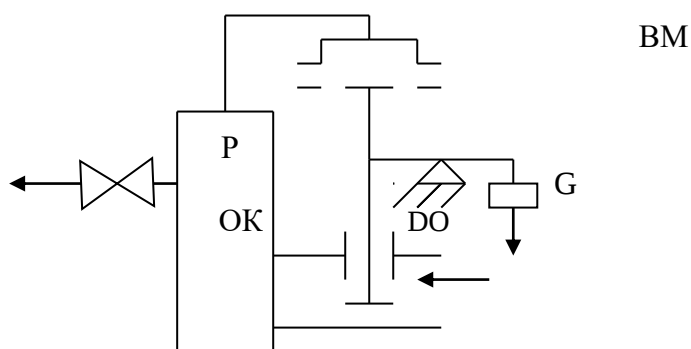
Для промислових об'єктів з регулюванням тиску характерне самовирівнювання, однак у більшості випадків інтервал підтримування тиску за рахунок сил самовирівнювання не відповідає технологічному регламенту. У зв'язку з цим, тиск в технологічних системах підтримується при допомозі зовнішніх систем регулювання.

Із зовнішніх систем регулювання велике розповсюдження одержали системи, які використовують регулятори прямої дії "до себе" і "після себе" (забезпечують підтримування тиску до регулюючого органу і після нього). Системи такого типу представлені на рис. 10.8. Діаметр мембранної коробки і зусилля, створюване пружиною, підбираються таким чином, щоб підтримувати тиск на заданому рівні.

Регулятори прямої дії, побудовані на основі П-закону регулювання. Вони мають високу стійкість, однак їм властива статична похибка. Проте їх з успіхом застосовують на блочному обладнанні нафтогазового промислу.



Якщо необхідно чітко підтримувати тиск, який змінюється у вузьких межах, використовують інтегральні регулятори тиску прямої дії. В ньому зусилля, розвинуте мембраною, урівноважується вантажем L і таким чином тиск P в ємності підтримується постійним (рис.10.9).



Однак АСР тиску з І – регулятором має низьку стійкість, оскільки при зміні тиску P повністю закривається або відкривається регулюючий орган.

Найчастіше для стабілізації тиску в ємностях і трубопроводах використовують одноконтурні АСР з регуляторами прямої дії. Типова схема такої АСР приведена на рис.10.10.

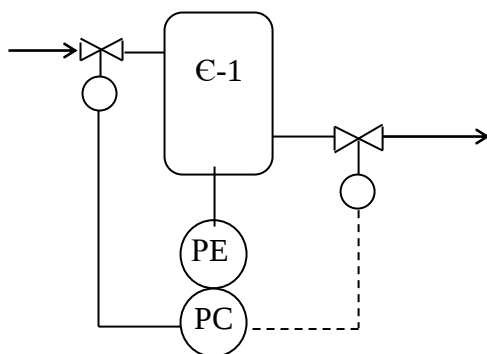


Рисунок 10.10 – Схема регулювання тиску газу в протічній ємності з регулюванням за притоком (витоком).

Регулятори в таких системах функціонують за П- або ПІ-законом регулювання. Однак при значній інерційності ОК підвищення якості регулювання можна досягти застосуванням ПД- і ПІД-регуляторів. Попереджувачі дії цих регуляторів створюють передумови високоякісного регулювання об'єктів зі значною інерційністю.

При використанні додаткових малоінерційних контурів для АСР можна рекомендувати: витрату газу по лінії можливого збурення або тиск в першій по ходу газу ємності при наявності ланцюжка послідовно включених ємностей. Двоконтурні АСР такого типу аналогічні до вже розглянутих АСР рівня.

10.4 Регулювання температури

Температура – це показник термодинамічного стану системи і використовується як вихідний параметр при регулюванні теплових процесів. Динамічні характеристики таких процесів як об'єктів керування залежать від багатьох чинників (фізико-хімічних параметрів процесу, конструкції апарата, умов теплопередачі), тому сформулювати загальні рекомендації щодо синтезу АСР важко, потрібно проводити аналіз кожного конкретного процесу. Крім того особливістю регулювання теплових процесів є їх інерційність. Інерційність теплових процесів зв'язана з теплообміном, забезпечити високу швидкість якого досить складно. В системах регулювання температури існують дві інерційні ланки: сам об'єкт керування і датчик температури.

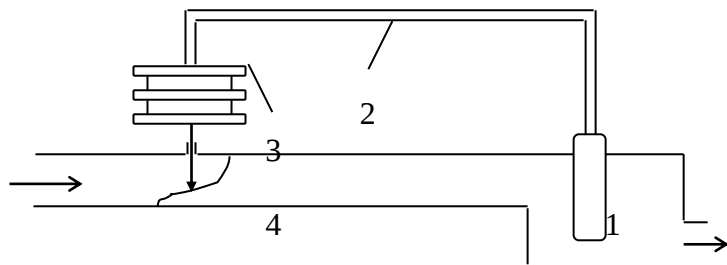


Рисунок 10.11 – Температури з регулятором прямої дії

В автоматичних системах регулювання теплообміну або температури використовують регулятори як прямої, так і непрямої дії. На рис.10.11. показана АСР температури на базі регулятора прямої дії. Вимірювачем температури є термобалон 1, заповнений робочою рідиною. При зростанні температури в ОК в термобалоні зростає тиск рідини, який через

імпульсну трубку 2 передається сильфону 3. Зміна тиску в сильфоні призводить до зміни положення регулюючого органу 4 на лінії подачі гріючого потоку. Такі ж системи можна організувати і для регулювання температури з охолоджуючим потоком. Алгоритм функціонування цих регуляторів відповідає П-закон.

Точніше регулювання (з ПІ- і іншими законами регулювання) можна реалізувати в системах з використанням регуляторів непрямої дії.

Розглянемо типові схеми регулювання процесу теплообміну в трубчатих теплообмінниках. Пунктиром показані інші можливі керуючі впливи.

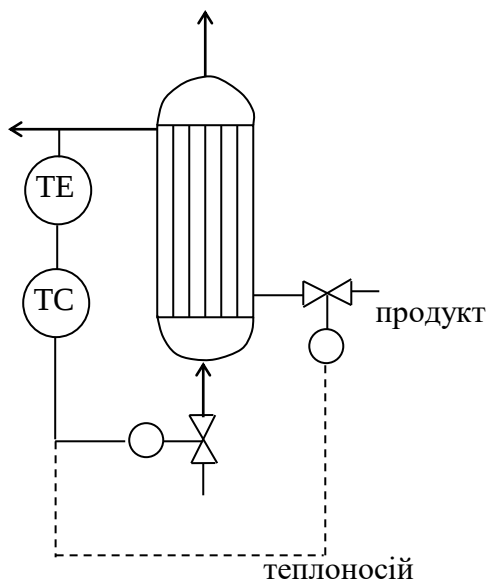
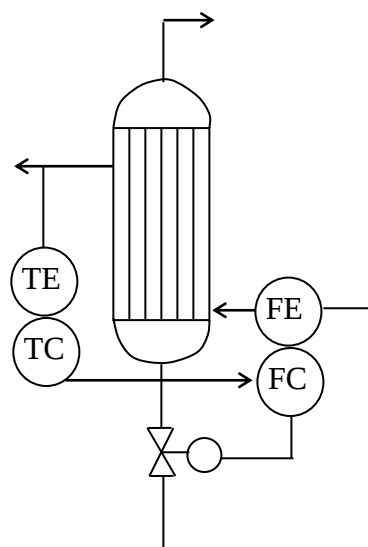
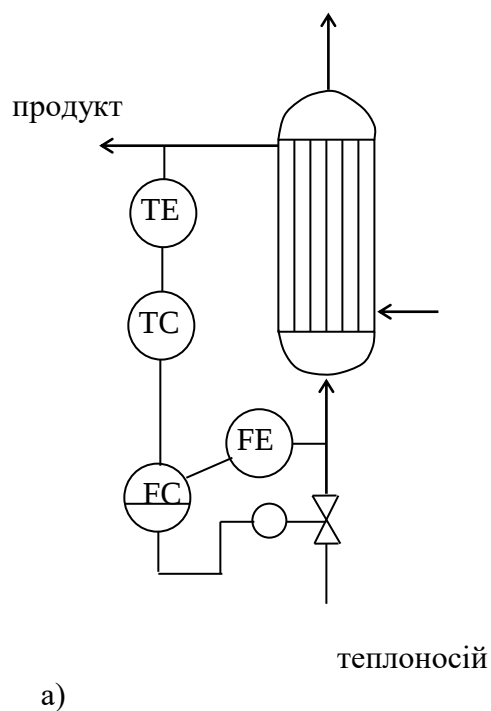


Рисунок 10.12 – Оснoконтурна АСР температури

Зображена на рис.10.12 АСР є проста і найрозповсюдженішою схемою стабілізації температури. Однак оскільки процес теплообміну дуже інерційний, якість регулювання такої АСР невисока і дозволяє лише позбутись статичної похибки, характерної для П-регуляторів. Підвищення якості можна досягти введенням Д-складової в закон функціонування регулятора або введенням додаткового контура за малоінерційним параметром.

При використанні ПД- і ПІД-регуляторів, необхідно застосовувати проміжну фільтрацію високочастотних шумів. В цифрових АСР це забезпечується спеціальними алгоритмами фільтрації, а в аналогових – шляхом демпферування сигналу датчика у вимірювальному каналі.

При введенні допоміжних контурів регулювання використовують як мало інерційний параметр витрату рідини (пари) по лінії можливих збурень. Такі схеми приведені на рис.10.13. Допоміжний мало інерційний контур регулювання забезпечує стабілізацію вибраного параметру з корекцією його за основним регульованим параметром, що значно покращує якість стабілізації основного інерційного параметра.

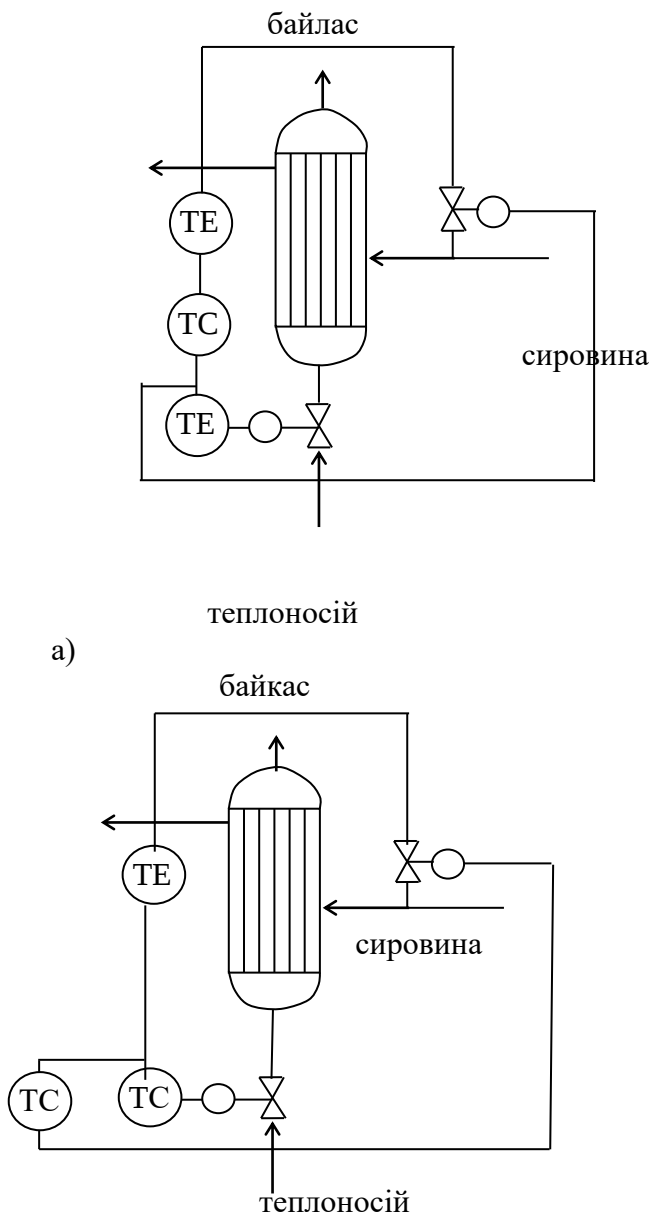


- а) при дії збурення в каналі теплоносія;
 б) при дії збурення в каналі продукту, що підігрівається;

Рисунок 10.13 – Двоконтурні АСР температури з допоміжним мало інерційним контуром.

У випадку постійних змін завдання, а також для збільшення швидкодії АСР теплообміну використовуються системи з байпасуванням частини теплоносія, минаючи теплообмінник (рис. 10.14).

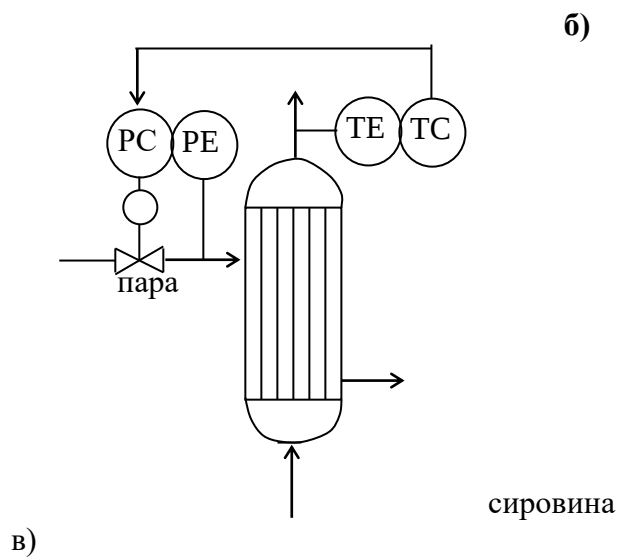
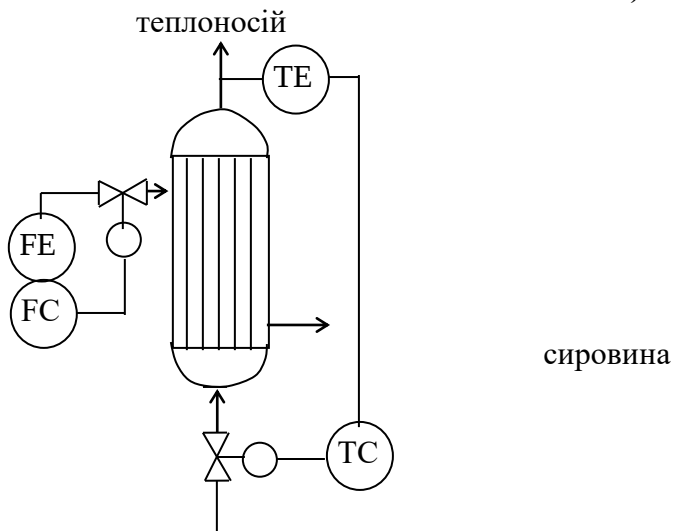
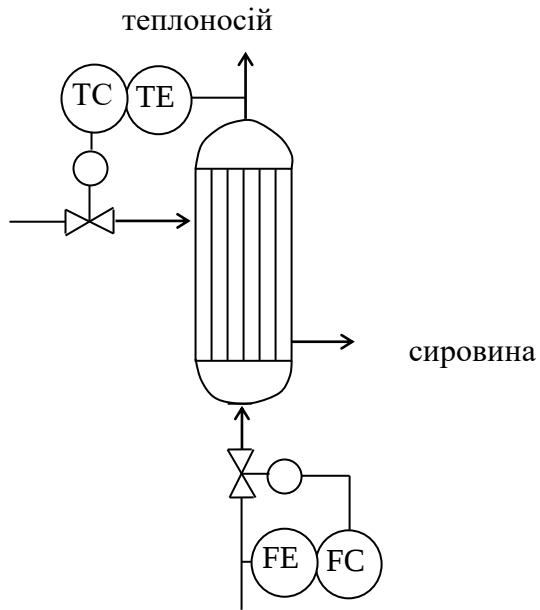
Відкриття або закриття РО на лінії байпасу приводить до швидкого реагування регульованої величини. Кінцеве регулювання температури забезпечує регулюючий орган на іншому потоці, що бере участь в теплообміні.



- б)
 а) зі взаємозв'язаними регуляторами;
 б) з незв'язаними регуляторами;

Рисунок 10.14 – АСР теплообміну з балансуванням.

При наявності неперервної дії збурюючих чинників по витратах технологічних потоків раціонально застосовувати АСР, показані на рис.10.15. В цих випадках комбінуються системи стабілізації витрати з системами стабілізації температури.



а),б) з додатковим АСР витрати на лінії дії збурень;
в) зі стабілізацією тиску пари;

Рисунок 10.15 – Комбіновані АСР теплообміну.

При використанні парового підігріву використовують систему регулювання, показану на рис.10.15.в. Тиск є менше інерційним параметром, ніж температура, а для насиченої пари (основний теплоносіє на технологічних установках) є однозначна залежність між температурою пари і тиском. Тому для таких АСР раціональніше стабілізувати не температуру, а тиск.

Очевидно, що з проведеного огляду АСР для регулювання теплообміну необхідно вибрати найраціональнішу систему, виходячи з вимог до якості регулювання, наявності збурюючих чинників, простоти реалізації, що очевидно, визначається у кожному конкретному випадку і для кожного окремого об'єкта.

10.5 Регулювання за якісними показниками

Слід відмітити, що при реалізації АСР якості та складу продуктів промислові датчики відповідних параметрів або відсутні, або характеризуються високою інерційністю, великим часом запізнення. Так, наприклад, при використанні хроматографічного методу, контроль параметра відбувається у дискретні моменти часу кратним циклу роботи хроматографа. Це характерно і для методів, побудованих на аналізі і відборі проб (титрометри, кондуктометри, рефрактометри і т.д.).

Тому на практиці часто застосовують опосередній непрямий контроль та регулювання якості за режимними параметрами з формуванням коригуючи впливів на відповідні стабілізуючі АСР.

Опосередній контроль якісних показників можливий при допомозі відповідних алгоритмів, що зв'язують контрольовані змінні з цими показниками, які можуть бути одержані на основі аналітичного чи експериментального моделювання. Ці алгоритми можна реалізувати за допомогою як аналогових обчислювачів і, ЕОМ та мікропроцесорних засобів.

У випадку неперервного потокового контролю якісних показників (наприклад, рН – показник, вологість тощо) є можливість синтезу одноконтурних і багатоконтурних АСР з їх використанням. Прикладом АСР якістю продукту (вологість газу) у процесі абсорбційної осушки газу є АСР співвідношення витрат газу і абсорбента з корекцією по вологості газу на виході абсорбера (див. регулювання витрати).