

Тоді число труб у батареях

$$n_{\text{тр.Б}} = L_{\text{Б}} / (l_{\text{Б}} \cdot n_{\text{Б}}) = 96 / (2 \cdot 4) = 12.$$

Характеристики оребрених труб для виготовлення батарей та повітроохолоджувачів наведено в Додатку 8.

Для практичних розрахунків теплообмінних апаратів парокомпресорних холодильних машин значення основних показників, що характеризують процеси теплообміну, можна взяти з Додатку 6, наведеного в підручнику [1].

## **6. АВТОМАТИЗАЦІЯ СУДНОВОЇ ХОЛОДИЛЬНОЇ УСТАНОВКИ**

Автоматизація СХУ забезпечує заданий технологічний режим обробки та зберігання вантажів, які перевозяться, з мінімальними експлуатаційними витратами та поліпшенням умов праці обслуговуючого персоналу. У залежності від свого рівня автоматизація може бути повною чи частковою. Повна автоматизація вирішує завдання автоматичного регулювання, автоматичного захисту, сигналізації та контролю. До головних завдань автоматичного регулювання відносяться:

- підтримка заданої температури в охолоджуємому приміщенні, що є основним завданням автоматизації;
- регулювання подачі холодоагенту у випарники;
- регулювання холодопродуктивності компресора.

До допоміжних завдань автоматизації відносяться: регулювання відносної вологості повітря в приміщенні, що охолоджується; підтримка різних температур кипіння у випарниках і тиску конденсації; автоматизація процесів відтанення інею тощо.

Система автоматичного захисту (САЗ) забезпечує вимикання компресора у випадку досягнення граничних значень контрольованих па-

раметрів. САЗ працює разом із системою автоматичної сигналізації (САС), що у залежності від ступеня відхилення регульованого параметра видає попереджувальний сигнал у світловій і звуковій формі.

### **6.1. Схеми і способи регулювання температури в приміщеннях**

У приміщеннях, що охолоджуються, встановлюють датчики температурних реле ТР, що керують соленоїдними вентилями (СВ) подачі холодоагенту до приладів охолодження. ТР малих ХМ (для провізійних камер) може безпосередньо керувати пуском і зупинкою компресора. У великих установках продуктивність компресорів змінюють за сигналом датчика тиску усмоктування. Зменшення теплового навантаження на об'єкт охолодження приводить до зниження тиску усмоктування і регулятор компресора так зменшує його продуктивність, щоб тиск усмоктування залишився тим же.

Деякі засоби регулювання температури в приміщеннях при безпосередньому охолодженні наведено на рис. 12.

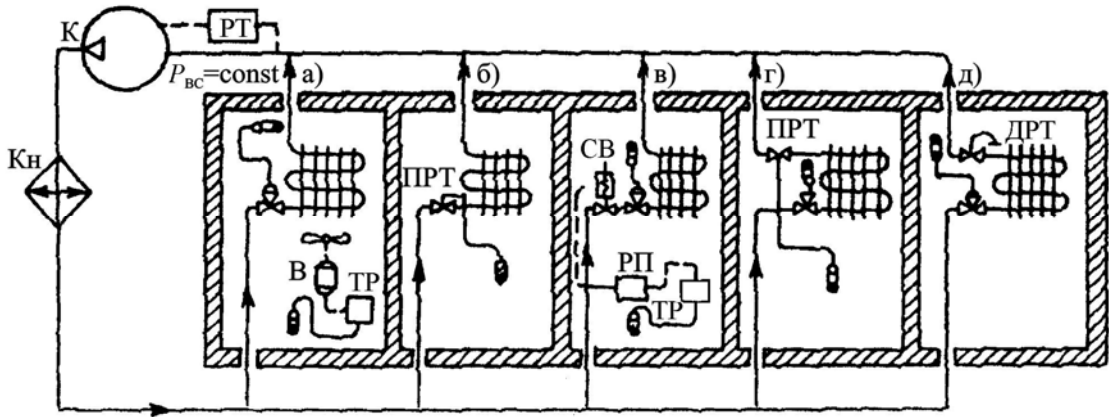
Двопозиційна зміна коефіцієнту теплопередачі випарника за рахунок пуску і зупинки вентилятора В (рис. 12, а) дозволяє зменшувати холодопродуктивність у 3...4 рази шляхом зміни коефіцієнта робочого часу вентилятора.

Плавна зміна витрати рідкого холодоагенту здійснюється пропорційним регулятором температури ПРТ (рис. 12, б), у результаті чого змінюється рівень киплячої рідини у випарнику і, отже, зменшується площа поверхні ефективного теплообміну батареї.

На рис. 12, в наведено схему двопозиційної зміни ефективної поверхні теплообміну випарника соленоїдним вентилем СВ на вході, що отримала найбільше поширення. СВ закривається за сигналом від камерного реле температури ТР через проміжне реле РП при досягненні заданої температури у приміщенні, що охолоджується. Після закриття СВ рідина википає, поверхня теплообміну зменшується до нуля. Три-

валість википання залежить від співвідношення ємності випарників і продуктивності компресора, а межі коливання температури в охолоджуваному приміщенні – від настроювання ТР.

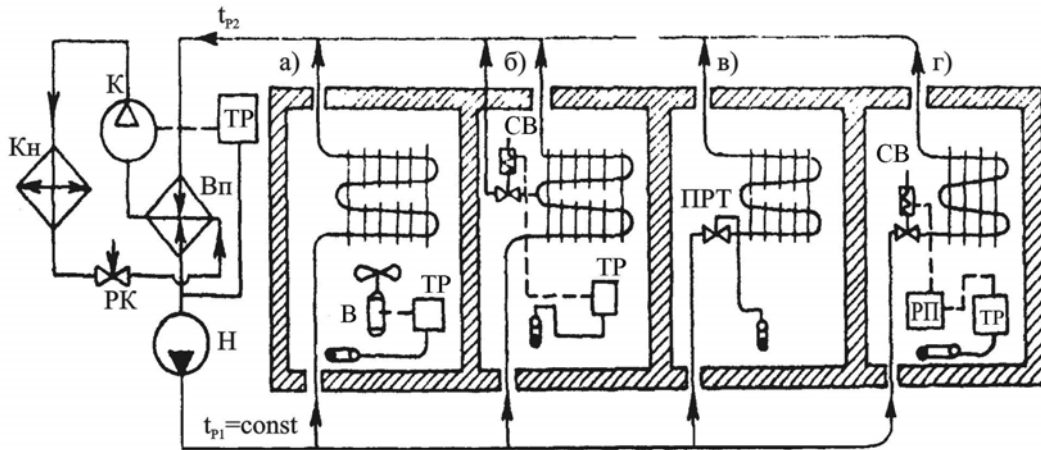
Більш точне регулювання температури досягається плавною зміною температури кипіння дроселюванням пари на виході з випарника за допомогою ПРТ (рис. 12, г).



**Рисунок 12 – Схеми способів регулювання температури в камерах безпосереднього охолодження [2]**

Непряме регулювання температури у приміщенні, що охолоджується (рис. 12, д) здійснюється двопозиційним регулятором тиску ДРТ, що перекриває вихід з випарника при зниженні температури в охолоджуваному приміщенні. Тиск і температура кипіння підвищуються, а холодопродуктивність випарника знижується. При цьому способі виникають великі коливання температури в камері.

На рис. 13 показані способи регулювання температури в камерах (охолоджуємих приміщеннях) при розсільній системі охолодження.



**Рисунок. 13 – Способи регулювання температури в камерах при розсільному охолодженні [2]**

Зміна коефіцієнта теплопередачі залежить від коефіцієнта робочого часу вентилятора (рис. 13, а), зміна площі поверхні теплообміну відбувається при відключенні частини батареї (рис. 13, б), зміна різниці температур – у випадку зміни витрати розсолу (рис. 13, в). Найбільш часто застосовують схему двопозиційної зміни кількості розсолу (рис. 13, г), при цьому середня кількість розсолу, що надходить, залежить від коефіцієнта робочого часу соленоїдного вентиля.

Регулятор ТР змінює продуктивність компресора так, щоб температура розсолу на виході з випарника залишалася незмінною.

Більш докладно аналіз способів і засобів регулювання температури, подачі холодоагенту у випарники і холодопродуктивності компресора представлено у [5], а прилади автоматики наведено у [11].

На рис. 14 наведено схему системи автоматичного захисту та сигналізації. До складу суднової холодильної установки входять безсальниковий компресор К, конденсатор Кн, регулювальний клапан РК і розсільний випарник Вп. На схемі зв'язки між елементами, розташованими на пульті та щиті, та датчиками на устаткуванні розімкнуті та позначені відповідними цифрами (1...8).

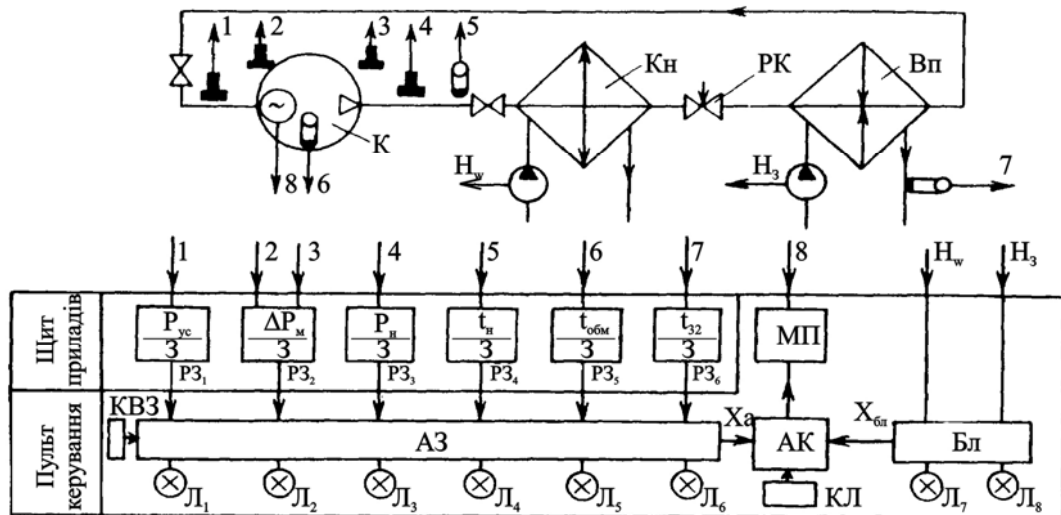


Рисунок. 14 – Схема системи автоматизованого захисту і сигналізації СХУ [2]

У САЗ входять шість реле захисту РЗ, що контролюють наступні параметри:

РЗ<sub>1</sub> – тиск усмоктування  $P_{yc}$ . Сигнал подається при надмірному зниженні тиску усмоктування (закриття усмоктувального клапана, забруднення фільтрів і відсутність циркуляції холодоагенту, відсутність теплового навантаження на випарник тощо);

РЗ<sub>2</sub> – різницю тисків мастила  $\Delta P_M$  на вході в мастильний насос і на виході з нього. Сигнал подається при винесенні мастила з картера компресора (під час запуску компресора РЗ<sub>2</sub> автоматично відключається);

РЗ<sub>3</sub> – тиск нагнітання  $P_H$ . Сигнал подається при надмірному підвищенні тиску нагнітання внаслідок закриття нагнітального клапана, недостатнього охолодження конденсатора, наявності повітря в системі;

РЗ<sub>4</sub> – температуру нагнітання  $t_H$ . Сигнал подається при надмірному перегріванні пари на виході з компресора;

РЗ<sub>5</sub> – температуру обмоток  $t_{обм}$  статора убудованого електродвигуна. Сигнал подається при надмірному перегріванні обмоток;

$P_{z_6}$  – температуру розсолу  $t_{p2}$  на виході з випарника. Сигнал подається при її надмірному зниженні (унаслідок відмовлення системи автоматичного регулювання  $t_{p2}$ ).

Усі реле захисту підключаються до електричної схеми однократної дії АЗ. При спрацьовуванні будь-якого реле схема видає сигнал аварійної зупинки  $X_a$  в схему автоматичного керування АК, що відключає пускач електродвигуна компресора. Одночасно включається одна із сигнальних ламп  $L_1 \dots L_8$ , що сигналізує про аварійну зупинку та її причину (за номером лампи).

Після спрацьовування захисту компресор не може автоматично включитися в роботу.

Після усунення причини спрацьовування САЗ її можна повернути у нормальний стан кнопкою повернення КПЗ, при натисканні якої звільняється схема АК і дозволяється автоматичний пуск компресора. Сигнальна лампа гасне.

У САЗ входить схема блокування Бл, що сигналом  $X_{бл}$  дозволяє пуск компресора тільки за умови попереднього пуску насосів розсолу  $H_3$  і охолоджуючої води  $H_w$ .

У системі є ключ Кл, за допомогою якого компресор можна запустити вручну без захистів або з частиною останніх.

## **6.2. Типові схеми автоматизації**

На рис. 15 показана схема автоматизації хладонової установки холодопродуктивністю близько 4 кВт, розрахованої на безпосереднє охолодження одного чи двох приміщень (камер).

Середня температура в камерах підтримується циклічною роботою компресора, пуск і зупинка якого здійснюється за допомогою реле низького тиску  $PT_n$  (входить у блок РТ).  $PT_n$  настроюють у такий спосіб (з таким розрахунком), щоб середня температура кипіння (за весь цикл) була досить низкою і забезпечувала б підтримку необхідної тем-

ператури в найбільш холодній камері. Якщо при цьому в іншій камері потрібно підтримувати більш високу температуру, то можна зменшити поверхню охолодження в ній шляхом незаповнення випарника Вп, що досягається настроюванням ТРК на підтримку більш високого перегріву.

Тиск конденсації автоматично підтримується в заданих межах водорегулюючим вентилем ВРВ. Можлива установка соленоїдного вентиля, що перекриває подачу води при зупинці компресора К.

Захист від високого тиску здійснюється установкою реле високого тиску РТ<sub>в</sub>, змонтованого звичайно з РТ<sub>н</sub> в одному приладі (типу РТ-1). РТ<sub>в</sub> настроюють на вимикання компресора при надлишковому тиску нагнітання 1,0...1,1 МПа. У випадку відмовлення РТ<sub>в</sub> (якщо тиск продовжує підвищуватися) при  $P_k=1,6$  МПа (70 °С) розплавляється спеціальна пробка на конденсаторі і хладон виходить із системи. Захист обмоток електродвигуна від перегріву здійснюється тепловими реле в автоматичному вимикачі АВ (типу АП50-3МТ). Магнітні розціплювачі в ньому (токові реле) захищають від струмів короткого замикання.

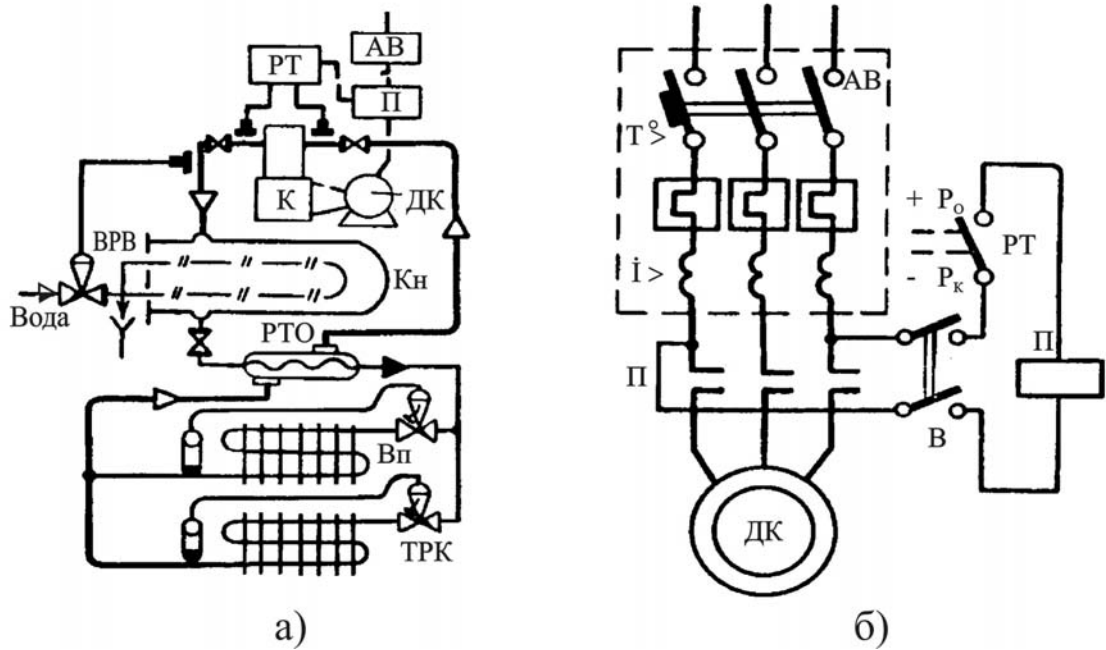


Рисунок 15 – Схема автоматизації холодильної установки [17]

а) схема установки; б) електрична схема

Особливу увагу в цій схемі варто звернути на спільну роботу ТРК і РТ<sub>н</sub>, щоб РТ<sub>н</sub> не відключило компресор раніш, ніж відкриється ТРК. Перед включенням компресора тиск у випарнику високий, перегрів майже дорівнює нулю і ТРК закритий. Після включення компресора тиск у Вп різко падає, а температура чутливого патрона ТРК ( $t_{\text{вих.в}}$ ) майже не змінюється. Коли перегрів досягає якогось значення  $\Delta t_1$ , ТРК відкривається, при цьому подача в перший момент перевищить теплове навантаження, тиск у Вп стане підвищуватися, а температура вихідної пари і чуттєвого патрона знизиться. Перегрів впаде до значення  $\Delta t_2 < \Delta t_1$  і подача буде зменшуватися. До моменту зупинки компресора перегрів поперемінно зростає та зменшується, при цьому амплітуда коливань трохи знижується, але перегрів не приймає сталого значення, тому що момент відключення настає раніше. Коливання перегріву в період пуску можна спостерігати навіть візуально: усмоктувальний трубопровід то покривається інеєм, то відтає.



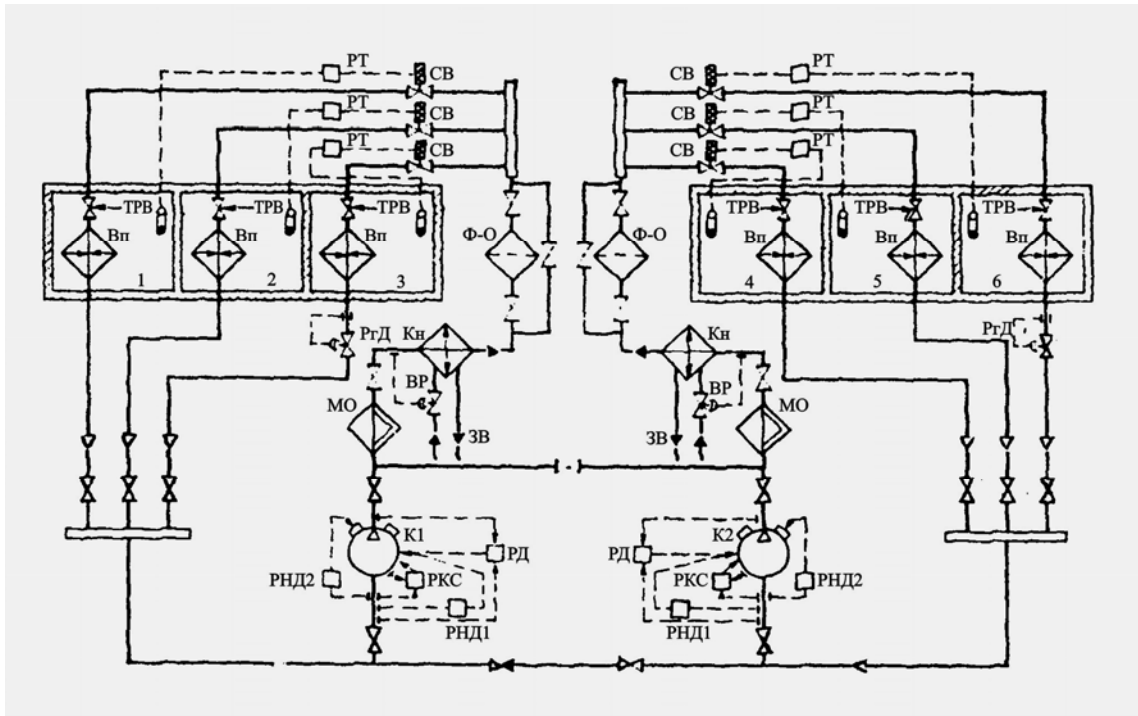
Щоб уникнути зупинки компресора до моменту відкриття ТРК реле тиску настроюють так, щоб тиск усмоктування в момент відключення компресора був хоча б на 0,03...0,04 МПа нижче, ніж тиск у момент відкриття ТРК.

Після зупинки компресора тиск у Вп швидко зростає, тому що кипіння хладону продовжується, перегрів стає рівним нулю і ТРК закривається. При тривалій зупинці тиск у патроні ТРК стає вище ніж у Вп, а, отже, і температура, і цей перегрів може відкрити ТРК і рідина переповнить випарник. Тому, коли машина розрахована на роботу з тривалими зупинками перед ТРК встановлюють соленоїдний вентиль, що закриває прохід рідини після зупинки компресора.

В установках безпосереднього охолодження трьох і більш об'єктів застосування схеми з регулюванням тільки температури кипіння, тобто без роздільного регулювання температури в охолоджуваних об'єктах, викликає звичайно значні відхилення  $t_{об}$  від своїх середніх значень унаслідок нерівномірного завантаження камер. Тому застосовують схеми з роздільним регулюванням температури.

У залежності від виду вантажу провізійні камери поділяють на низькотемпературні і високотемпературні, кожна з яких, як правило, обладнана індивідуальними холодильними машинами.

На рис. 16 наведено принципову схему автоматизованої суднової холодильної установки провізійних камер [13]. Перша, друга і третя камери представляють низькотемпературний блок, у яких, відповідно, підтримуються температури: -12, -12 і -4 °С, а четверта, п'ята і шоста камери відносяться до високотемпературного блоку з температурами в камерах 2, 2 і 10 °С. Кожна група приміщень обслуговується окремим компресором з усім необхідним устаткуванням і контрольно-вимірювальними приладами. Передбачено перемички, що з'єднують нагнітальні й усмоктувальні магістралі й забезпечують роботу всієї холодильної установки від одного компресора.



**Рисунок 16 – Принципова схема автоматизації холодильної установки провізійних камер [12]**

РНТ – реле низького тиску; МВ – мастиловідділювач; ВР – водорегулятор; Ф-О – фільтр-осушувач

Якщо одна з камер, що входять у даний контур охолодження, має більш високу температуру, чим інші, то на виході з неї встановлюють регулятор тиску Р<sub>Т</sub> "до себе". Його призначення – підняти тиск кипіння у випарнику Вп та знизити напір між температурою повітря в камері та температурою кипіння холодоагенту. При досягненні в камері заданої температури реле температури дає імпульс на закриття соленоїдного вентиля СВ і подача холодоагенту в цю камеру припиниться. Сумарна маса пари, що надходить в усмоктувальну магістраль з усіх Вп, зменшиться, і тиск в усмоктувальному колекторі почне знижуватися швидше. Коли він знизиться до  $P_{2\text{викл}}$ , реле низького тиску РНД2 дасть імпульс на відключення циліндра (чи групи циліндрів) компресора, що знизить його продуктивність. Коли в останній камері температура знизиться до заданої й її соленоїдний вентиль закриється,

тиск усмоктування різко знизиться до  $P_{1\text{викл}}$  і реле РНТ1 зупинить компресор.

У схемі автоматизації передбачено захист від високого тиску нагнітання та низького тиску усмоктування (за допомогою здвоєного реле тиску РТ), від зниження тиску в системі змащення (установкою РКС) і розвантаження компресора при його пуску.