

# **ІНТЕНСИФІКАЦІЯ ПРОЦЕСУ КОНДЕНСАЦІЇ ДВООКИСУ ВУГЛЕЦЮ В КОНДЕНСАТОРІ ТРИСТУПЕНЕВОЇ ХОЛОДИЛЬНОЇ МАШИНИ**

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

## **Анотація**

*Запропоновано метод інтенсифікації конденсації парів двоокису вуглецю в конденсаторі триступеневої холодильної машини для вироблення сухого льоду, який дозволяє в декілька разів збільшити коефіцієнт тепловіддачі.*

**Ключові слова:** двоокис вуглецю, конденсація, тепловіддача, холодильна установка.

## **Abstract**

*A method for intensifying the condensation of carbon dioxide vapors in the condenser of a three-stage refrigeration machine for the production of dry ice is proposed, which allows several times to increase the heat transfer coefficient.*

**Key words:** carbon dioxide, condensation, heat transfer, refrigeration unit.

## **Вступ**

На сьогоднішній день для стабілізації розмірів чавунного і кольорового лиття, призначеного для виготовлення станин або корпусів прецизійного (точного) обладнання і пристроїв, широко використовують холодну посадку заклепок. В процесі охолодження металів приймає участь сухий лід. Для отримання сухого льоду газоподібний  $\text{CO}_2$  за допомогою триступеневого стиснення конденсують в конденсаторі, а потім сублимують у льодогенераторі.

*Метою роботи є інтенсифікація процесу тепловіддачі від газу, який конденсується, до стінки теплообмінника.*

## **Результати дослідження**

Робота холодильного і криогенного обладнання знайшла широке застосування в різноманітних галузях промисловості. Таких, як харчова, хімічна, машино - та авіабудування, тощо. Особливий інтерес являють процеси охолодження, які використовуються для збереження пластичних властивостей конструкційних матеріалів, затримки процесів старіння заклепкових з'єднань, та інших. Суттєве охолодження дозволяє зменшувати розміри окремих деталей із метою їх холодної посадки [1].

Із багатьох граней холодильних машин відомими є одно -, двох і багатоступеневе стискання робочих тіл в замкнених і розімкнених циклах різноманітних процесів отримання холоду. Одноступеневе стиснення має суттєві обмеження з точки зору їх промислового використання. В першу чергу це пов'язано з наявністю відносно великого мертвого об'єму. Що суттєво знижує ефективність роботи обладнання і має обмеження за ступенем переохолодження робочих тіл. Для подолання цих недоліків були створені двоступеневі, багатоступеневі, а також каскадні схеми холодильних установок.

Для процесів холодної посадки деталей і заклепкових з'єднань найбільш оптимальним є застосування триступеневої схеми. Це регламентується температурним рівнем процесу і дотриманням необхідних режимних параметрів. Також на користь використання триступеневої схеми вказує відносна простота порівняно з каскадними схемами і одночасно з цим можливість досягнення необхідного ступеня переохолодження до 195 К. При цьому необхідно приймати до уваги матеріальні витрати на експлуатацію обладнання і його масо-габаритні характеристики [2].

Принцип роботи триступеневої холодильної машини полягає в наступному. Принципова схема установки зображена на Рис. 1. Вуглекислий газ подається в триступеневий компресор, де послідовно стискається в циліндрі низького тиску (ЦНТ), циліндрі середнього тиску (ЦСТ) і циліндрі високого

тиску (ЦВТ). Далі він надходить в конденсатор (К). Тут газ перетворюється в рідину, яка потім проходить в редукційний вентиль 1 (РВ1), проміжну посудину (ПС1), редукційний вентиль 2 (РВ2), проміжну посудину 2 (ПС2), редукційний вентиль 3 (РВ3) до льодогенератора (Л). Отриманий в льодогенераторі лід зберігають в ємностях з теплоізоляцією.

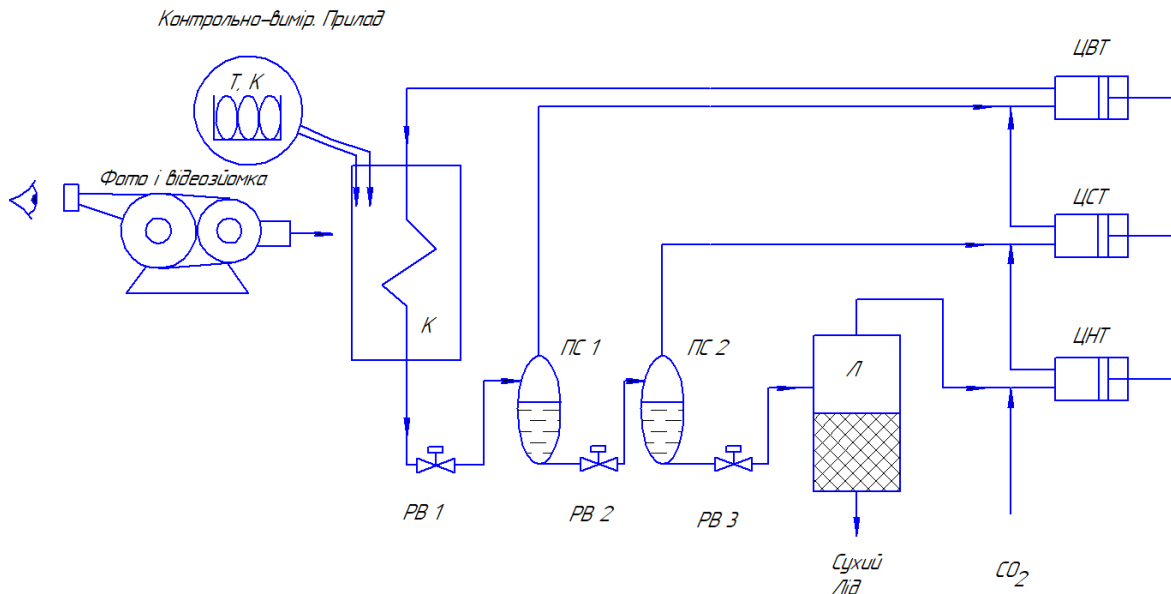


Рис. 1. Принципова схема трьохступеневої холодильної машини.

Для забезпечення кращого коефіцієнту тепловіддачі в конденсатор бажано застосовувати теплообмінні поверхні спеціального профілю. Передбачається також можливість окрім профілювання поверхні створювати захисні покриття з мінімальним термічним опором. Ці покриття можуть базуватись на використанні сучасних, так званих «розумних» нано речовин, які мають комплементарні властивості і синергетичний ефект.

Одночасне застосування таких підходів створює умови для переходу в перспективі від суто плівкової конденсації холодильних і кріо- агентів до псевдо-плівкового, псевдо-краплинного а в перспективі і до краплинного режимів конденсації. Пошук таких технічних рішень є окремою науково-технічною задачею.

На сьогодні основним методом інтенсифікації теплообміну є застосування комбінованих профільованих поверхонь. Їхньою особливістю є той факт, що вони несуть на собі специфічну форму оребрення, геометричні розміри якого будуть сумірними з мікро- характеристиками умовного циклу конденсації, такими як критичний і відривний розміри конденсатних утворень. Такий підхід дозволяє створювати комбіновані ієрархічні поверхні, на яких застосовуються одночасно ряд різних підходів із метою впливу на співвідношення балансу поверхневих натягів між газом (парою) і рідиною, між рідиною і твердою стінкою і між твердою стінкою і газом (парою). В таких випадках необхідно вирішувати комплексну науково-технічну задачу. Одним напрямком цієї задачі є інтенсифікація теплообміну. З іншого боку це повинно призвести до оптимізації масо-габаритних характеристик обладнання.

Ще одним напрямком слугує захист робочих поверхонь від можливого впливу агресивних середовищ і мінімізація корозійно-ерозійних процесів. Це дозволить збільшити інтервали між необхідними регламентними роботами з обладнанням і підвищить надійність його роботи.

При вивченні процесів, які відбуваються в триступеневій холодильній машині, найбільш вузьким місцем є визначення інтенсивності теплообміну для сконденсованого двоокису вуглецю, з цією метою пропонується застосування принципової схеми, наведеної на Рис. 2. Наявність термпарного зонду з фіксатором дозволяє варіювати просторове розташування точки вимірювання, тим самим уникнути необхідності встановлення додаткових датчиків температури.

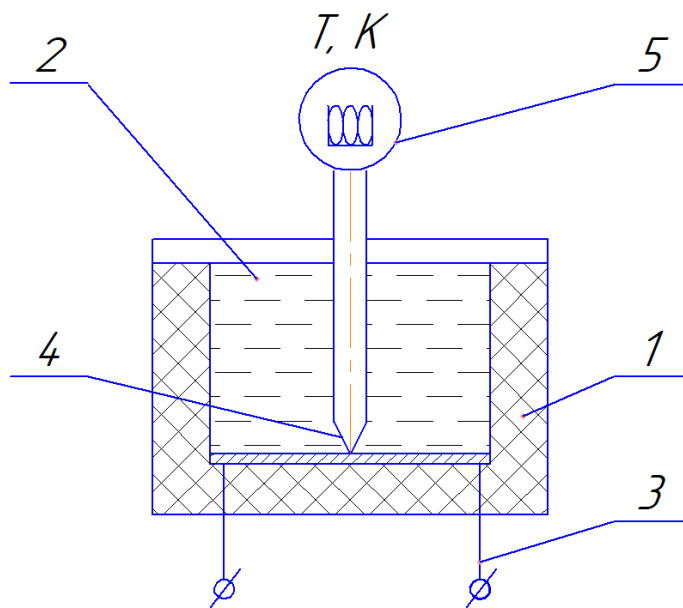


Рис. 2. Принципова схема визначення коефіцієнтів тепловіддачі: 1 – корпус; 2 – діоксид вуглецю; 3 – елемент керування; 4 – термопарний зонд з фіксатором; 5 – вимірювальний прилад.

Аналогічна схема вимірювання коефіцієнтів тепловіддачі пройшла апробацію для гранульованого діоксиду вуглецю, порівняно з сублімацією процес конденсації цієї речовини дозволяє отримати в декілька раз вищу інтенсивність теплообміну. При цьому порядок коефіцієнтів тепловіддачі підвищується з сотень до тисяч Вт / (м<sup>2</sup> К). застосування для процесу конденсації новітніх ієрархічних поверхонь забезпечує можливість зміни режиму конденсації і тим самим закладає подальші можливості для інтенсифікації тепловіддачі [3].

### Висновки

Таким чином, запропонований спосіб інтенсифікації теплообміну при конденсації із використанням новітніх ієрархічних поверхонь розкриває нові, широкі можливості в плані оптимізації масо-габаритних характеристик холодильного обладнання. Такий підхід є можливим для застосування не тільки для триступеневих холодильних машин, а і для інших конструкцій, при цьому потребує уточнення і експериментального підтвердження для кожного конкретного випадку.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Клименко А. В., Зорин В. М. Теплоэнергетика и теплотехника: в 4-х томах, МЭИ, 2017. Т. 4. 552 с.
2. Порутчиков А. Ф. Разработка и анализ эффективности холодильных машин на диоксиде углерода, работающих на уровне температур от -80 до -120 °С: дис. ... канд. техн. наук : МПУ, 2017. 93 с.
3. Ветренко А. А., Антаненкова И. С. Теплотехнические характеристики аппаратов холодильной установки системы кондиционирования воздуха на фторорганическом рабочем веществе. *Вестник Международной академии холода*. 2017. № 1. С.49-55.

**Фетов Ігор Васильович** — бакалавр кафедри теоретичної і промислової теплотехніки, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ, e-mail: igorfetov1997@gmail.com;

**Гавриш Андрій Сергійович** — канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри теоретичної і промислової теплотехніки, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ, e-mail: andrew\_gavrish@ukr.net.

**Fetov Igor Vasilievich** - Bachelor of the Department of Theoretical and Industrial Heat Engineering, National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv, e-mail: igorfetov1997@gmail.com;

**Gavrish Andrey Sergeevich** - Cand. tech. Sciences, Associate Professor, Associate Professor of Department of Theoretical and Industrial Heat Engineering, National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv, e-mail: andrew\_gavrish@ukr.net.