

УДК 664.72.004:504

ОХОЛОДЖУВАЛЬНІ КОМПЛЕКСИ ЗЕРНА НА ОСНОВІ ЕКОЛОГІЧНО БЕЗПЕЧНИХ РОБОЧИХ ТІЛ

О. Тітлов, докт.техн.наук

С. Петушенко, канд.техн.наук

Одеська національна академія харчових технологій

В. Сухенко, докт.техн.наук

В. Василів, канд.техн.наук

Національний університет біоресурсів і природокористування України



Анотація. Викладені результати аналізу термодинамічних парокомпресійних циклів на екологічно безпечних холодильних агентах і тепловикористовуючих холодильних машин для роботи у складі мобільних комплексів охолодження зерна.

Ключові слова: охолодження зерна, холодильні машини, екологічна безпека

Аннотация. Приведены результаты анализа термодинамических парокомпрессионных циклов на экологически безопасных холодильных агентах и теплоиспользующих холодильных машин для работы в составе мобильных комплексов охлаждения зерна.

Ключевые слова: охлаждение зерна, холодильные машины, экологическая безопасность.

COOLING COMPLEXES OF GRAIN ON THE BASIS OF ENVIRONMENTALLY SAFE WORKING BODIES

Alexander S. Titlov (Odessa National academy of food technologies. Odessa), **Sergei N. Petushchenko** (Odessa National academy of food technologies. Odessa), **Vladislav Yu. Sukhenko** (National university of life and environmental sciences of Ukraine. Kiev), **Volodimir P. Vasiliv** (National university of life and environmental sciences of Ukraine. Kiev)

Abstract. The results of the analysis of thermodynamic vapor compression cycles on environmentally safe refrigerants and heat-using refrigerating machines for working in mobile grain cooling complexes are presented.

Key words: Cooling of grain, refrigerating machines, ecological safety.

Охолоджувальні комплекси дають змогу здійснювати безпосередню холодильну обробку сільськогосподарської сировини безпосередньо в місцях її заготівлі і сприятимуть підвищенню якості і тривалості термінів зберігання. Особливо це завдання актуальне для різних зернових продуктів.

Метод охолодження зерна штучно охолодженим повітрям сприяє зберігання зерна і насіння олійних культур з підвищеною вологістю протягом довгого часу. Крім того, що метод зберігає якість зерна і є екологічно чистим, він дає змогу зменшити енерговитрати в 2-4 рази порівняно з використанням традиційної сушки зерна.

Вирішення завдань низькотемпературного зберігання зерна пов'язане з розробкою мобільних транспортних холодильників з холодильною потужністю від 50 кВт і вище.

Ідея використання штучного холоду не нова і вже давно застосовується у багатьох зарубіжних країнах.

В середині 90-х років в Україні на Тростянецькому ХПП була впроваджена мобільна (на пересувній платформі) холодильна установка ТХУ-50-2-0 (холодопродуктивністю 37000 ккал/год) для охолодження зерна в типовому складі місткістю 3200 тонн за допомогою повітря [1].

При охолодженні порівняно з традиційною сушкою зерно виходить екологічно чистим, виключена денатурація білка, забруднення зерна вуглеводнями, сажею, окислами сіри і азоту, важкими металами, нітритом і нітратами.

Особливо важливим є застосування штучного холоду для зберігання олійних культур.

Таким чином, застосування штучного холоду при зберіганні зернових покращує смакові і хлібопекарські властивості зерна, забезпечує постачання населення здоровішою їжею, тим паче, що хліб, крупи і борошняні вироби є основними продуктами харчування в Україні.

Мета досліджень:

АНАЛІЗ ОСНОВНИХ ХОЛОДИЛЬНИХ ЦИКЛІВ З УРАХУВАННЯМ ОСОБЛИВОСТЕЙ ЕКСПЛУАТАЦІЇ.

Результати досліджень. Комплексне використання штучно охолодженого повітря при зберіганні зерна і теплоти, що виділяється при цьому в конденсаторі, для підігріву, підсушування зерна або опалення приміщень є ідеєю нині покійного академіка Міжнародної академії холоду В.Ф. Чайковського.

Нами опрацьовані схеми охолодження зерна в типових зернових складах з використанням поперечних і поздовжніх каналів. Також опрацьовані варіанти охолодження зерна в елеваторах з використанням силосів та над- і підсепараторних місткостей, питання очищення і охолодження зерна в потоці.

Зниження енерговитрат досягається внаслідок того, що установка працює в режимі теплового насоса, а це дає змогу не лише охолоджувати зерно, але й виділене тепло надалі використовувати для сушіння зерна, наприклад, для підігріву у разі використання як насінневого матеріалу або у разі переробки на борошномельних і круп'яних заводах; опалювання приміщень, теплиць тощо.

З урахуванням необхідної холодильної потужності і масогабаритних характеристик, в мобільних системах охолодження зерна найбільші перспективи мають парокомпресійні холодильні машини (ПКХМ) і газові (повітряні) холодильні машини (ГХМ).

До переваг ГХМ відносять відсутність проблем з робочим тілом – повітря вибухопожежобезпечне і може подаватися безпосередньо в охолоджувальне приміщення. ГХМ прості в експлуатації і не чинять впливу на озонний шар атмосфери.

До недоліків ГХМ відносять низьку

енергетичну ефективність при роботі на температурному рівні мінус 30 – мінус 20 °С.

Так, наприклад, при температурі мінус 30 °С дійсний холодильний коефіцієнт ПКХМ вищий, ніж ГХМ в 2,1-2,9 раза .

Проблеми використання ПКХМ в системах охолодження зерна пов'язані з переходом на озонобезпечні робочі тіла – холодагенти.

У даний час пропонується цілий спектр заміників традиційного холодагенту ПКХМ – R12 [4], у тому числі і природними, наприклад, аміаком [5].

Для визначення перспектив використання традиційних і нових холодагентів в системах охолодження в зернових господарствах проведений термодинамічний аналіз циклів ПКХМ. Характеристики холодагентів, використовуваних для аналізу, наведені в табл.1.

Розрахунок циклу ПКХМ проведений для таких умов. Температура кипіння холодагенту прийнята з урахуванням оптимального рівня температур зберігання зерна (5 °С і 10 °С [1]), температурного напору між зерном і охолодженим повітрям (10 °С і перепаду температур в типовому повітроохолоджувачі (10 °С [6]), тобто – мінус 15 °С і мінус 10 °С.



Таблиця 1

Термодинамічні властивості холодагентів, використовуваних для аналізу циклів ПКХМ [3]

Номер холодагенту	Хімічна формула, склад, торгівельна марка	μ	t_s	ODP	GWP
R22	CHCLF ₂	86,47	-40,8	0,05	1700
R134a	CH ₂ FCF ₃	102,03	-26,1	0	1300
R404A	R125/143a (44/52/4)-HP62 Fx-70	97,60	-46,5	0	3850
R407C	R-32/125/134a (23/25/52)-Klea 61	86,20	-43,6	0	1370
R410A	R-22/125 (50/50)--AZ-20	72,59	-51,4	0	1370
R507A	R-125/143a (50/50)-AZ-50	98,86	-46,7	0	3900
R717	NH ₃	17,03	-33,3	0	1

Примітка: μ – молекулярна маса, кг/кмоль; t_s – нормальна температура кипіння, °С; ODP – потенціал руйнування озонного шару; GWP – потенціал глобального потепління.



Таблиця 2

Енергетичні характеристики циклів ПКХМ при різних температурах кипіння

Номер холодагенту	q_0	l	ϵ	η
R22	168 (170)	44(38)	3,82(4,47)	81,4(85,0)
R134	152 (154)	41(39)	3,71(3,95)	79,1(75,1)
R404A	115(118)	39(34)	2,94(3,47)	62,9(66,0)
R407	160(162)	49(43)	3,27(3,77)	69,6(71,6)
R410	167(172)	55(55)	3,04(3,13)	64,7(59,5)
R507	112(116)	40(39)	2,80(2,94)	59,7(56,5)
R717	1047(1053)	278(242)	3,77(4,35)	80,3(82,7)

Примітка: 1 – в дужках вказані характеристики для температури кипіння холодагенту при мінус 10 °С; 2 – Позначення: q_0 - питома холодопродуктивність, кДж/кг; l - питома робота стискування, кДж/кг; ϵ - розрахунковий холодильний коефіцієнт циклу; η - ступінь термодинамічної досконалості, %.

Температура конденсації холодагентів (40 °С) прийнята з врахуванням експлуатації ПКХМ при температурі навколишнього середовища 32 °С і перепаду температур в типовому повітряному конденсаторі (8-10 °С [6]).

Перепад температур в регенеративному теплообміннику (РТО) прийнятий 20 °С. У схемі з R717 РТО відсутній.

Результати розрахунку енергетичних характеристик таких циклів ПКХМ наведені в табл. 2.

Аналіз результатів, наведених у табл. 2, показує, що найбільші перспективи в мобільних системах охолодження зерна має природний холодагент – аміак, що має до того ж сприятливі екологічні характеристики.

Не зважаючи на те, що в даний час найбільшого поширення набули мобільні холодильні установки з пароконденсаторними холодильними агрегатами [1, 7],

певні перспективи мають і розсольні абсорбційні холодильні машини (АХМ), та пароежекторного типу (ПЕХМ) [8].

У АХМ і ПЕХМ реалізується два цикли: прямий і зворотний. У прямому циклі тепла енергія перетворюється в механічну, а в зворотному циклі механічна енергія використовується для виробництва штучного холоду.

У цих установках прагнуть використовувати тепло низького потенціалу, зокрема, теплоту викидних газів двигунів внутрішнього згорання, скидного тепла газотурбінних установок і котельних агрегатів.

Електроенергія в АХМ і ПЕХМ витрачається лише на привід перекачуючих, циркуляційних насосів, та в системах автоматики.

У АХМ частка електроенергії в сумарному підведенні енергії складає від 0,5 % (бромистолітєві установки [9]) до 2,3 % (водоаміачні [10]). У ПЕХМ ця величина дорівнює – 0,6 %.

Бромистолітєві АХМ забезпечують охолодження об'єктів від 6 до 12 °С з тепловим коефіцієнтом від 0,64 до 0,69 [9].

Зараз серійно випускають бромистолітєві АХМ з холодопродуктивністю від 300 до 5000 кВт з джерелами енергії у вигляді [9, 11]: пари (надмірний тиск від 0,05 до 0,07 МПа); гарячої води (температура від 85,0 до 90,5 °С; природного газу і топкового мазуту).

Тепловий коефіцієнт серійних ПЕХМ в діапазоні температур охолодження від плюс 4 до плюс 8 °С становить 0,06 і 0,13, відповідно, холодопродуктивністю змінюється від 350 кВт до 1150 кВт [8].

Для порівняння з тепловикористовуючими холодильними машинами взяли сучасну велику аміачну ПКХМ з компресором П220.

У зв'язку з тим, що у всіх випадках мають місце енерговитрати на прокачування розсолу і води, що охолоджує, враховували лише витрати механічної енергії для виробництва штучного холоду: у ПКХМ – на привід компресора; у тепловикористовуючих – на привід перекачуючих насосів.

Холодильний коефіцієнт ПКХМ при температурі охолодження (кипіння) плюс 5 °С і температурі навколишнього середовища (конденсації холодагента) 30 °С – 7,5, холодопродуктивність – 650 кВт [6].

Розрахунки показують, що в ПКХМ витрати електроенергії на виробництво одиниці штучного холоду, наприклад, 1 кВт, становлять 0,13 кВт; у бромистолітєвих АХМ – 0,008 кВт, водоаміачних АХМ – 0,04 кВт; ПЕХМ – 0,1 кВт.

Ці результати розрахунків свідчать про те, що за наявності скидних джерел теплової енергії експлуатаційні витрати тепловикористовуючих холодильних машин значно нижчі, ніж в ПКХМ.

Перевагою ПЕХМ і АХМ великої холодопродуктивності є і те, що вони менш громіздкі, ніж відповідні ПКХМ.

Слід також відзначити, що у зв'язку із зростанням вартості нового холодильного обладнання на базі ПКХМ на озонобезпечних холодоагентах, застосування дешевих екологічно чистих тепловикористовуючих апаратів буде перспективним вже найближчим часом.

Великий інтерес викликають і ПЕХМ на озонобезпечному R134a. Ці установки забезпечують можливість використання низькопотенційного тепла на рівні температур плюс 70 °С, конструкції їх компактніші, а тиск в системі підтримується вище атмосферного, що виключає підсос повітря у випарник.

Ефективність використання мобільних холодильних установок визначається інтенсивністю процесів теплообміну між холодним повітрям і зерном.

У сучасних сховищах – силосах товщина зернового шару складає, не менше, 10 метрів, діаметр – 3–5 метра.

При традиційному рішенні (подача охолодженого повітря в нижню частину силосу) виникають проблеми рівномірного розподілу повітряного потоку за об'ємом зернового шару.

Ця проблема може бути успішно розв'язана за допомогою високоефективних двофазних теплових систем, наприклад, термосифонів, вбудованих до складу конструкції силосу.

Висновки

З урахуванням наведених результатів порівняльного аналізу, а також відомих переваг тепловикористовуючих холодильних машин в частині екологічної безпеки, можна рекомендувати їх як мобільні холодильні установки на елеваторах і зерноскладах України і країн СНД.

Література

1. **Петруня Б.Н., Титлов А.С., Кудашев С.Н.** Перспективы использования холодильных систем для хранения зерна // *Хранение и переработка зерна.* – 2002. – № 12. – С. 33-34.
2. **Станкевич Г.Н., Петруня Б.Н., Бичинюк И.И., Лищенко Ю.В.** Консервация зерновой массы с использованием искусственно охлажденного воздуха //

Научные работы Одесской государственной академии пищевых технологий. – Одеса: 2001. – Вып. 21. – С. 39-41.

3. **Дмитрук Е.А., Петруня Б.Н.** Использование искусственного холода при хранении зерна // *Хранение и переработка зерна.* – 2000. – № 10. – С. 27-28.
4. **Богданов С.Н.** Холодильная техника. Кондиционирование воздуха. Свойства веществ : *Справ. [Текст] / С.Н. Богданов [и др].* – 4-е изд., перераб. и доп. – СПб.: СПбГАХПТ, 1999. – 320 с.- ISBN 5-89565-028-7/
5. **Железный В.П., Жидков В.В.** Эколого-энергетические аспекты внедрения альтернативных хладагентов в холодильной технике [Текст] / В.П. Железный, В.В. Жидков. – Донецк: Донбас, 1996. – 144 с.
6. **Железный В.П., Железный П.В., Лысенко О.В., Овчаренко В.С.** Эколого-термоэкономический анализ перспектив применения аммиака в холодильном оборудовании // *Холодильная техника.* – 2000. – № 3. – С. 12-16.
7. **Чумак И.Г., Никульшина Д.Г.** Холодильные установки. Проектирование [Текст] / И.Г. Чумак, Д.Г. Никульшина. – К.: Выща шк., 1988. – 280 с.
8. **Загоруйко В.А., Голиков А.А.** Судовая холодильная техника [Текст] / В.А. Загоруйко., А.А. Голиков –К.: Наукова думка, 2000. – 607 с.
9. **Богданов А.И.** Абсорбционные бромисто-литиевые холодильные машины «ОКБ Теплосибмаш» // *Холодильная техника.* – 2002. – № 10. – С. 16.
10. **Бадьялькес И.С., Данилов Р.Л.** Абсорбционные холодильные машины [Текст] / И. Бадьялькес, Р. Данилов. – М.: Пищевая пром-сть, 1966. – 356 с.
11. *Абсорбционные холодильные машины компании Dunham-Bush International* // *Холодильная техника.* – 2000. – № 11. – С. 23-25.

