

РОЗРОБКА СИСТЕМ ОХОЛОДЖЕННЯ ДЛЯ ПЕРВИННОЇ
НИЗЬКОТЕМПЕРАТУРНОЇ ОБРОБКИ ТА ЗБЕРІГАННЯ ЗЕРНА
ДРІБНОНАСІННЄВИХ КУЛЬТУР

Петушенко С. М., к.т.н., викл., e-mail: sergeinp1965@gmail.com

ВСП «Одеський технічний фаховий коледж ОНТУ»

Тітлов О. С., д.т.н., проф., e-mail: titlov1959@gmail.com

Одеський національний технологічний університет (ОНТУ)

Актуальність дослідження. У сучасному світі все більш затребуваними стають системи холодильної техніки, зокрема, системи безперервного холодильного ланцюга, без яких не можна в повній мірі забезпечити продовольчу безпеку. Особливий інтерес має місце до систем штучного охолодження в зерновому господарстві України, яке є однією з бюджетоутворюючих галузей країни. Зерно - це один з найважливіших основних продуктів харчування людини, для вирощування і збору якого залучаються великі ресурси. Післязбиральна обробка і зберігання - це ключова ланка у виробництві зерна. Скорочення втрат зерна на всіх етапах збирання, транспортування, зберігання і переробки і забезпечення його схоронності визначається технологією післязбиральної обробки. Слід зазначити, що серед усіх типів зернових продуктів найбільший ефект від первинної низькотемпературної обробки може бути досягнутий для сортів дрібного зерна (ріпак, льон, просо, гірчиця [1,2]).

У зв'язку з вищевикладеним **актуальною** стає розробка систем первинної низькотемпературної обробки та зберігання дрібнонасіненного зерна, в якій враховуються особливості процесів тепломасообміну між зерном і охолодженим повітрям і мінімізуються енерговитрати при виробництві штучного холоду.

Основні матеріали дослідження. Виконано теоретичні дослідження систем охолодження для первинної низькотемпературної обробки та зберігання зерна дрібнонасінених культур.

На першому етапі було виконано моделювання процесів тепломасообміну при охолодженні нерухомому шару зерна. При розробці методу моделювання було врахована односпрямованість потоків тепла і маси, на відміну від взаємодії з зерном нагрітого повітря або продуктів згоряння. Система рівнянь отримана при наступних припущеннях: нерівномірності температурного поля в елементах продукції можна знехтувати; теплофізичні властивості елементів насипу і повітря прийняті незалежними від температури; швидкість повітря незмінна по висоті насипу і в часі; внутрішній термічний опір зерна ріпаку безконечно малий; інтенсивністю дихання зерна в процесі охолодження повітрям можна знехтувати, так як при зниженні температури дихання знижується, а при температурах (від 0 до 10 °С) інтенсивність дихання зерна дуже незначна; співвідношення інтенсивності процесів конвективного теплообміну і масообміну в процесі продувки повітря через шар зерна не змінюється по висоті шару.

Проведено аналіз еколого-енергетичних характеристик сучасного холодильного обладнання на різних робочих тілах для визначення перспектив використання в польових умовах. Наведено, що найбільші перспективи в системах первинного охолодження зерна має природна робоча речовина — аміак, який володіє до того ж найкращими екологічними характеристиками. Відповідно в частині холодопродуктивності і енергетичної ефективності і незалежності від водних ресурсів можна рекомендувати аміачні парокомпресійні холодильні машини. Проведення експериментальних досліджень на установці виконувалося наступним чином [3]. Спочатку проводилося тарування швидкості руху повітря на виході з зернового шару. Для цього в експериментальний осередок містилося зерно ріпаку. Висота засипки визначалася мірною шкалою на прозорому віконці відповідно 100 мм, 200 мм і 275 мм. Отримане рівняння для визначення коефіцієнта конвективного теплообміну ріпаку матиме такий вигляд:

$$Nu = 2 + 0.2 \cdot Re_{\varnothing}^{0.5} \cdot Pr^{0.33} \cdot \left(\frac{d}{h}\right)^{1.423},$$

$$\text{Діапазон зміни симплекса: } 1,1 \leq \left(\frac{d}{h}\right) \leq 0,37$$

Обробка експериментальних результатів дозволяє отримати апроксимаційні залежність коефіцієнта масообміну від висоти шару зерна ріпаку

$$\beta^{-1} = (1,5052 + 0,9574 \cdot H \cdot \ln H - 1,3799) \cdot 10^{-10}, \text{кз} / (\text{Па} \cdot \text{с} \cdot \text{м}^2) \quad (7)$$

де H - висота шару зерна ріпаку, мм.

Аналогічний вид залежності має рушійний натиск парціальних тисків $\Delta P_{пв}$ процесі випаровування вологи з зерна в потік повітря

$$\Delta P_{п}^{-1} = \left(4,6104 \cdot 10^{-6} \cdot 0,0393 / H - 0,0024 \cdot e^{-H}\right), \text{Па}. \quad (8)$$

де H - висота шару зерна ріпаку, мм.

Розроблені перспективні схеми і конструкції систем первинної низькотемпературної обробки та зберігання зерна дрібнонасіненних культур [4].

Комбінована компресійне-абсорбційна водоаміачна холодильна машина дозволяє відмовитися від використання мережевих електричних джерел протягом 7 місяців на рік. Така холодильна машина може бути виконана в транспортному автономному виконанні і вирішувати завдання кондиціонування повітря в польових умовах. Для адаптації до польових умов абсорбер виконаний з двофазними термосифонами і з повітряним відводом тепла в навколишнє середовище.

Запропоновано дві базові конструкції систем повітряного охолодження зерна - контейнерного і підлогового типу. Обидві системи можуть вирішувати завдання первинної холодильної обробки зернової продукції і вибір будь-якої системи залежить від конкретних умов фермерського господарства: обсягу продукції, місця розташування сховища, логістики.

Висновок. Збільшення терміну якісного зберігання зерна до 1 року дозволяє фермерському господарству отримати економічний ефект від різниці закупівельних цін. Різниця закупівельних цін в період збору врожаю і посівної компанії, наприклад, для ріпаку в минулому році становить 240 доларів США за кожен тону.

Розрахунок економічних показників розробки типового фермерського господарства з урахуванням сформованих на 2021 рік ринкових цін на роботи, обладнання та комплектуючі матеріали показав, що окупність проекту складе 4,9 року при будівництві з "нульового" циклу і 4,4 року - при наявності вже існуючих будівель.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Станкевич Г. Н., Овсянникова Л. К., Кудашев С. Н., Петушенко С. Н. Анализ перспектив применения холода для хранения зерна. Научовіпраці ОНАХТ. 2009. Вип.35. Т.1. С.49-53.
2. Петушенко С. Н. Современное состояние техники и технологии низкотемпературной обработки и хранения зерна мелкосеменных культур. Холодильнатехніка і технологія. 2013. №2. С.71-74.
3. Петушенко С.Н. Результаты экспериментальных исследований процессов теплообмена при первичной холодильной обработке зерна мелкосеменных культур. Холодильнатехніка і технологія. 2013. №3. С. 64-68.
4. Петушенко С. Н., Титлов А. С. Разработка систем охлаждения для первичной низкотемпературной обработки и хранения зерна мелкосеменных культур. Восточно-Европейский журнал передовых технологий. 2015. № 3/8 (75). С. 50-56. DOI: 10.15587/1729-4061.2015.44251. Scopus.