

As stated in the article, the main characteristics of organizational forms in agricultural and the characteristics their conformity requirements to market conditions.

Agrarian business, reform, organizational and legal forms.

УДК 621.8.036 : 658.26 : 631.11

**ПОВТОРНЕ ВИКОРИСТАННЯ ТЕПЛОВОЇ ЕНЕРГІЇ
ЯК ІНСТРУМЕНТ ОПТИМІЗАЦІЇ ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ
СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ ПІДПРИЄМСТВ**

О. В. Калініченко, Jagiellonian University in Krakow, Poland

***А. В. Калініченко, доктор сільськогосподарських наук
Полтавська державна аграрна академія (Україна),
Opole University, Poland***

О. Г. Мінькова, Н. А. Сазонова, аспіранти*

В. М. Сакало, кандидат технічних наук

С. В. Пустовіт

Полтавська державна аграрна академія (Україна)

Представлено технологію одночасного охолодження молока та нагрівання води на основі використання спеціального енергетичного обладнання – теплового насоса. Запропоновано ефективні способи підвищення якості молока, зниження витрат при його первинній обробці та підготовці гарячої води для технологічних потреб, з одночасним отриманням екологічного ефекту за рахунок зменшення використання традиційних видів енергії і зменшення викидів теплової енергії, а також покращення мікроклімату в приміщенні.

Енергозбереження, комбіноване тепло/холодозабезпечення, тепла енергія, теплонасос.

Якість молочних продуктів залежить, значною мірою, від якості молока, що надходить до молокопереробного підприємства. Чітке дотримання режимів його первинного охолодження та проведення санітарно-гігієнічних заходів повинно забезпечуватися відповідним технологічним обладнанням. При цьому суттєво впливає на собівартість виробленої продукції (яка, у свою чергу, залежить від вартості витрачених у процесі виробництва енергоносіїв) використана технологія швидкого охолодження молока на молочній фермі, а також нагрівання води для технологічних потреб.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Як вітчизняні, так і

*Науковий керівник – доктор сільськогосподарських наук, професор А. В. Калініченко

© О. В. Калініченко, А. В. Калініченко, О. Г. Мінькова,
Н. А. Сазонова, В. М. Сакало, С. В. Пустовіт, 2014

закордонні науковці все частіше для утилізації чи повторного використання надлишкової теплової енергії пропонують використовувати теплові насоси [1–5, 9–10].

Мета дослідження – вивчення шляхів зниження витрат при первинній обробці молока та підготовці гарячої води за рахунок використання теплонасосних установок.

Виклад основного матеріалу. Зазвичай молоко на переробне підприємство транспортується не відразу. До моменту відправки воно зберігається у танках і ваннах. Танки мають подвійні стінки, простір між якими заповнено теплоізоляційним матеріалом. У них охолоджене молоко зберігають 36–48 год. Для підтримання низької температури використовують ванни ТОМ-1, ТОМ-2, ТО-2. Це двостінні резервуари, під дном яких розташовані трубчасті випарювачі, з'єднані з холодильною машиною.

На фермерських молочарнях фляги занурюють для охолодження у басейн з проточною водою з розрахунку 3–5 л води на охолодження 1 кг молока. Крім того, часто використовують лід (на 100 кг молока необхідно 10–12 кг льоду).

Перелічені вище традиційні технології об'єднує те, що низькопотенційна теплова енергія, яка відбирається в молока, розсіюється у приміщенні де стоїть холодильне обладнання, значно підвищуючи його температуру. Зазвичай, залежно від конструктивних особливостей, ККД холодильних машин коливається у межах 0,8–0,9.

Для підігріву води, що використовується для миття і дезінфекції доїльного устаткування, зазвичай застосовують електричні нагрівачі (ТЕНи). При цьому використовується значна кількість електроенергії, на яку підприємство витрачає значні кошти. Крім того, за необхідності забезпечення швидкого підігріву води, виникає потреба у встановленні достатньо потужних тепло електро-нагрівачів. У цьому випадку їх живлення також викликає додаткові проблеми, пов'язані з необхідністю облаштування ферми потужними електромережами та комутуючим обладнанням.

Дослідження доцільності, шляхів та способів комбінованого виробництва тепла й холоду здійснювалося на базі молочної ферми ТОВ «Білагро» Великобагачанського району Полтавської області. Досліджувана молочна ферма має 1000 корів, з яких 650 дійні. Середній добовий надій від однієї корови 12,045 л молока¹. Для того, щоб молокопереробне підприємство отримало молоко необхідної якості, технологічний процес потребує охолодження продукту від температури +32 °С до +4 °С. Після кожного доїння є потреба в гарячій воді для промивання технологічного обладнання (доїльні апарати, молокопроводи, посуд, охолоджувальні танки). Для процесу промивки необхідно 350 л. води², з якої 250 л мусить мати температуру +55 °С та близько 100 л – +85 °С.

Кількість енергії, яку можна отримати від молока при його

¹ 1 літр молока = 1,027–1,032 кг, тобто, на досліджуваній фермі в середньому від однієї корови отримують $\approx 12,4$ кг молока

² 1 літр води = 1 кг, тобто на досліджуваній фермі в технологічному процесі використовується ≈ 350 кг води

оохолодженні, залежить від кількості молока, його початкової температури та температури, до якої його потрібно оохолодити згідно із санітарно-технічними нормами:

$$m_{\text{молока}} = \frac{n_k \cdot G_{\text{доб}} \cdot k}{2} = 3506,1, \quad (1)$$

де $m_{\text{молока}}$ – маса молока за одну дійку, кг; n_k – кількість корів, гол.; $G_{\text{доб}}$ – середній добовий надій, кг; k – коефіцієнт нерівномірності добового надюу (0,82– 0,9).

Теоретична кількість теплової енергії ($Q_{\text{молока}}$), що вивільнюється при оохолодженні молока з +32 °С до необхідних +4 °С, становить:

$$Q_{\text{молока}} = m_{\text{молока}} \cdot c_{\text{молока}} \cdot (T_2 - T_1) = 103,1 \text{ кВт}, \quad (2)$$

де $c_{\text{молока}}$ – теплоємність молока, кВт/(кг·°С); T_1 – температура молока після оохолодження, °С; T_2 – первинна температура молока, °С.

Отже, на вищеназваній молочній фермі у процесі первинного оохолодження молока щоденно в приміщеннях розсіюється («викидається в повітря») 103,1 кВт відібраної у свіжого молока теплової енергії.

Кількість води, що використовується для миття і дезінфекції доїльних агрегатів, молокопроводу танків для оохолодження молока в цей же період становить 350 л. Особливу увагу слід приділяти чіткому дотриманню температурного режиму миття. Частина води, а саме, 100 літрів, що використовується на початку процесу миття, повинна бути підвищеної температури – +85 °С. Це обумовлено тим, що, за рахунок великої теплоємності оохолоджувальних танків та іншого обладнання, велика кількість теплової енергії витрачається на компенсацію цієї теплової ємкості обладнання. Для завершення миття та споліскування обладнання необхідно ще 250 л води, яку достатньо нагріти лише до температури +55 °С.

Отже, згідно зі стандартною технологічною процедурою, вся вода (350 л), що надходить з трубопроводу з температурою у +12 °С, нагрівається до +55 °С, а потім певна частина води (100 л) з цієї кількості відокремлюється й додатково догрівається в окремому бойлері до +85 °С.

Розрахуємо кількість теплової енергії, необхідної для першого етапу – нагрівання 350 л води (Q_g) до +55 °С:

$$Q_g^I = m_g \cdot c_g \cdot (T_4 - T_3) = 16,56 \text{ кВт}, \quad (3)$$

де m_g – маса води, кг (л); c_g – теплоємність води, кВт/кг·°С; T_3 – первинна температура води – +12 °С; T_4 – температура води після нагрівання теплонасосом – +55 °С.

$$Q_g^{II} = m_g \cdot c_g \cdot (T_5 - T_4) = 3,3 \text{ кВт}, \quad (4)$$

де T_5 – температура води після догрівання бойлером – +85 °С.

Загальна кількість тепла при цьому становитиме:

$$Q_6^{zag} = Q_6^I + Q_6^{II} = 19,86 \text{ кВт} . \quad (5)$$

Отже, з отриманих вище розрахунків можна зробити висновок, що $Q_{\text{молока}} \gg Q_6^{zag}$.

На сьогодні для розв'язання проблем комбінованого тепло-/холодопостачання, а також повторного використання надлишкової теплової енергії технологічних процесів, найбільш вдало можуть використовуватися теплові насоси (ТН).

Але на даному етапі розвитку обладнання для використання низькопотенційної теплової енергії (теплонасосів), виходячи з їхніх технологічних особливостей, ефективність процесу для нагрівання до температур, вищих за +55 °С, суттєво знижується. Тому, у нашому випадку, для підвищення ефективності загальної системи нагрівання та для підвищення швидкості нагрівання води, ми пропонуємо такий сценарій: 350 л води ми будемо нагрівати з +12 °С до +55 °С за допомогою теплонасоса типу «рідина – рідина», адже теплової енергії молока цілком достатньо для нагрівання такої кількості води. На другому етапі, відокремлені 100 л води, будемо догрівати з +55 °С до +85 °С в окремому бойлері теплоелектронагрівачами.

Крім того, підігрів води, якою напувають худобу в холодну пору року, позитивно позначається на надоях, оскільки тепліша вода потребує меншої витрати енергії корів на її нагрів до температури тіла тварини [3]. У господарстві у середньому щодоби для напування корів нагрівається близько 3000 л води. Отже, для цього знадобиться така кількість енергії:

$$Q_6^{\text{напування}} = m_6^{\text{напування}} \cdot c_6 \cdot (T_6 - T_3) = 42,9 \text{ кВт} , \quad (6)$$

де T_6 – температура води для напування тварин – +25 °С.

Технологічні вимоги процесу миття обладнання після доїння визначають проведення першого циклу миття в умовах підвищених температур (+85 °С). Це обумовлюється високою теплоємністю обладнання. Якщо починати промивку водою у +55 °С, то вона, потрапляючи в обладнання, швидко вистигає і тому якісне миття неможливе. Але, згідно з особливостями роботи ТН, при підвищенні температури вторинного контуру більше, ніж до +55 °С, ефективність насоса різко знижується. Тому ми пропонуємо використовувати в системі додаткове джерело тепла – тепловий акумулятор з ТЕНом, що буде догрівати частину води з +55 °С до +85 °С, необхідних для початкової санітарної обробки обладнання.

Потужність теплового насоса розраховується згідно з вимогами до швидкості охолодження молока. Відповідно до санітарно-гігієнічних вимог, час (t), потрібний для охолодження молока, не повинен перевищувати три години.

Розрахуємо потужність теплового насоса ($P_{ТН}$):

$$P_{ТН} = \frac{Q_{\text{молока}}}{t} = 39,5 \text{ кВт} . \quad (7)$$

У систему запроектовано тепловий насос типу «рідина – рідина». З лінійки теплових насосів українського виробника теплових насосів А&К

Medium цього типу було вибрано ТН A&K Medium 57 \ 49,1 з потужністю охолодження 49 кВт [8]. Така потужність була взята з огляду на необхідність значного запасу потужності. Крім того, у насосах цього типу використовується екологічно безпечний фреон R407C.

В якості основного показника ефективності теплового насоса, застосовується коефіцієнт перетворення COP (*coefficient of performance*), що дорівнює відношенню теплової енергії виробленої ТН до споживаної ним електричної потужності:

$$COP = \frac{Q_t}{P_{el}}, \quad (8)$$

де Q_t – отримана тепла енергія, кВт; P_{el} – витрачена електроенергія.

У режимі охолодження для оцінки ефективності застосовується холодильний коефіцієнт EER (*energy efficiency ratio*), що дорівнює відношенню продуктивності виробництва холоду ТН до споживаної потужності:

$$EER = \frac{Q_{хол}}{P_{el}}, \quad (9)$$

де $Q_{хол}$ – енергія охолодження, кВт.

У нашому випадку корисною тепловою енергією, отриманою від теплонасоса, є сума енергії двох різноспрямованих теплових потоків, а відповідно, коефіцієнтом ефективності є відношення суми корисних енергій (нагрівання води та для охолодження молока) до фактично витраченої на привід компресора електроенергії ($P_{el}^{факт}$) за фактичний час охолодження молока до потрібної температури ($t_{охол}^{факт}$). Під час експериментальних досліджень було виявлено, що середньостатистичне значення кількості витраченої електроенергії дорівнювало 11,2 кВт, а середній час охолодження молока в умовах зазначеної ферми становив 2,3 години. Це трохи менше за теоретичні значення, що зумовлюється тим, що ми використали ТН дещо більшої потужності, а також певними коливаннями температур молока, води та інших фактичних показників.

$$K_{перете} = COP + EER = \frac{Q_{молока} + Q_{в}^{заг} + Q_{в}^{напування}}{P_{el}^{факт} \cdot t_{охол}^{факт}} = 6,31. \quad (10)$$

Коефіцієнт ефективності обладнання при використанні цього теплонасоса у двосторонньому режимі роботи становив 6,31.

Отже, порівняно з традиційною технологією нагрівання води та охолодження молока, технологія одночасного виконання двох технологічних процесів із використанням внутрішньої енергії молока за допомогою ТН, має в 6,31 раза більшу енергетичну ефективність.

За старої технології для охолодження 3506,4 кг молока, отриманих за одну дійку, необхідно 103,08 кВт енергії. Враховуючи ККД холодильного обладнання $\eta = 85\%$, на цей процес було витрачено:

$$E_{el}^{ст} = \frac{Q_{молока}}{\eta} = 121,27 \text{ кВт}. \quad (11)$$

Для нагрівання води за допомогою титана витрачалося $Q_g^{3a2} = 19,86$ кВт електроенергії (коефіцієнт перетворення електричної енергії в теплову – 1).

Сумарно ці дві технології потребують $E_{el}^{cm} + Q_g^{3a2} = 141,13$ кВт електро-енергії за одну дійку. Оскільки за добу відбувається два процеси доїння, то отримане нами значення потрібно подвоїти.

Отже, за старої технології за добу на технологічні потреби витрачається 282,26 кВт. При актуальній на момент дослідження ціні на електроенергію для промислових підприємств в 1,07 грн за 1 кВт, вартість витрачених енергоресурсів становитиме 302 грн. Відповідно, на рік витрати електроенергії становлять 110,23 тис. грн.

За запропонованої нами технології з використання теплонасоса, електрична енергія, необхідна для його роботи, становила:

$$E_{el}^H = P_{el}^{факт} \cdot t_{охол}^{факт} = 25,76 \text{ кВт.} \quad (12)$$

Енергія на догрів води (4) у другому каскаді $Q_g^{II} = 3,3 \text{ кВт.}$

Отже, загальні витрати становитимуть:

$$E_{el}^H + Q_g^{II} = 29,06 \text{ кВт} \quad (13)$$

за одну дійку або 58,12 кВт на день, що в грошовому еквіваленті становитиме, відповідно, 31,09 грн та 62,19 грн. Таким чином, річні витрати за використання такої технології становитимуть 22,7 тис. грн.

Денна економія електроенергії, при застосуванні нової технології з використанням ТН, порівняно зі старою технологією, становитиме:

$$E_{дenna} = 224,13 \text{ кВт.} \quad (14)$$

У грошовому еквіваленті економія становить 239,82 грн.

Річна економія – 87,53 тис. грн. Це стаття економії, що може суттєво вплинути на собівартість молока, а отже, й на конкурентоспроможність його виробництва на молочній фермі ТОВ «Білагро» Великобагачанського району Полтавської області. При цьому варто також зазначити, що вартість використаного під час досліджень насоса на момент досліджень становила 132 тис. грн. Тобто, період окупності такого типу обладнання становив лише півтора року.

Крім того, отриману при охолодженні молока енергію можна використовувати для опалення допоміжних приміщень, телятника, сушки сіна, підігріву води для ВРХ [6]. Усі широкомасштабні програми з енергозбереження, що реалізуються за кордоном, передбачають широке впровадження ТН [7]. Необхідність робіт щодо широкого впровадження теплових насосів у аграрному виробництві отримує дедалі більше визнання як в Україні, так й інших країнах світу [3, 5].

Висновки та перспективи подальших досліджень. За рахунок використання теплонасосів типу «рідина – рідина», система дає змогу з високою точністю підтримувати температурні режими технологічних процесів, що уможлиблює підвищення якості молочної продукції. Крім того, використання нетрадиційного підходу до отримання теплової енергії надає перспективи до зниження викидів CO та CO₂ за рахунок зменшення використання традиційних джерел енергії.

Список літератури

1. Арсеньев В. М. Теплонасосна технологія енергозбереження / В. М. Арсеньев. – Суми : СумДУ. – 2009. – 304 с.
2. Горбунов А. В. Эффективность тепловых насосов в российских условиях / А. В. Горбунов // Оборудование. Разработки. Технологии. – 2013. – № 1–3 (73–75). – С. 55–57.
3. Гребенников К. В. Применение теплового насоса в технологическом процессе производства молока / К. В. Гребенников, А. М. Барбашин // Материалы XLVIII научной конференции за 2009 год : в 3 ч. Ч. 2. – Воронеж, 2010. – С. 75.
4. Колесниченко Н. В. Оценка целесообразности использования тепловых насосов в Украине / Н. В. Колесниченко, Г. Е. Константинов, М. А. Дмитренко // Пром. теплотехника. – 2011. – Т. 33. – № 5. – С. 67–73.
5. Коноваленко Л. Ю. Энергосбережение на предприятиях по переработке молока с помощью тепловых насосов / Л. Ю. Коноваленко // Техника и оборудование для села. – 2012. – № 6 (180). – С. 29–31.
6. Офіційний сайт «Компанія В. Д. Е. – Україна» [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://vde.com.ua>
7. Офіційний сайт «Науково-виробнича фірма ЕКОТЕПЛО» [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.ekoteplo.com/ua/19.html>
8. Офіційний сайт «ООО Тепловые насосы» [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://teplonasos.ua/uk/teplonasosy-gruntovye/princip-raboty-gruntovyh-teplonasosov>
9. Рукавишников А. М. Тепловые насосы – источник энергоэффективности / А. М. Рукавишников // Холод. техника. – 2013. – № 2. – С. 20.
10. Титко Р. Відновлювальні джерела енергії / Р. Титко, В. М. Калініченко. – Варшава : OWG, 2010. – 533 с.

Представлена технологія одночасного охолодження молока і нагріву води на основі використання спеціального енергетичного обладнання – теплового насоса. Предложені ефективні способи підвищення якості молока, зниження затрат при його первинній обробці і підготовці гарячої води для технологічних нужд, з одночасним отриманням екологічного ефекту за рахунок зменшення використання традиційних видів енергії і зменшення викидів теплової енергії, а також удосконалення мікроклімату в приміщенні.

Енергосбереження, комбіноване забезпечення тепла і холода, теплова енергія, теплового насоса.

This paper presents the technology of simultaneous milk cooling and water heating through the use of special equipment energy heat pump. It also proposes an effective way to improve milk quality, reducing costs at its primary processing and preparation of hot water for technological purposes, while getting the environmental effect by reducing the use of traditional energy sources and reduction the emission of heat and also improvement of the microclimate in the room.

Energy efficiency, combined supply of heat / cooling, heat, heat pump.