Роман Богатирьов
Таврійський державний агротехнологічний
університет імені Дмитра Моторного
Наукові керівники: к.т.н.,ст.викл Олександр Ковальов.,
к.т.н., доцент Надія Паляничка

ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ПЕРЕРОБКИ МОЛОЧНОЇ ПРОДУКЦІЇ

Молокопереробна галузь є однією з найбільш енергоємних у харчовій промисловості України. В умовах 2026 року, коли ціни на енергоресурси та вимоги до екологічності виробництва досягли нових піків, модернізація технологічного обладнання стає критичним фактором виживання підприємств. Ефективне використання ресурсів сьогодні визначає не лише собівартість продукту, а й конкурентоспроможність вітчизняних виробників.

Технологічний цикл переробки молока потребує як високих температур (пастеризація, сушіння), так і інтенсивного охолодження. На типовому молокозаводі 60-80% витрат припадає на теплову енергію (здебільшого газ), а 20-40% — на електроенергію (компресори, гомогенізатори). Для прикладу: виробництво 1 тонни сухого молока за традиційною технологією потребує близько 5-7 Гкал тепла, що за цінами 2026 року формує до 30-35% собівартості готового продукту. Головна проблема полягає в ізольованості процесів нагріву та охолодження. Традиційні схеми призводять до втрат, коли тепло від холодильних машин просто викидається в атмосферу. За оцінками фахівців, втрати низькопотенційного тепла (на рівні 30-45°C) на нетипових підприємствах сягають 20-25% від загального енергобалансу. Крім того, традиційне випаровування води при згущенні молока є надзвичайно енерговитратним через фазовий перехід «рідина-пара».

Одним із найефективніших рішень для зниження енерговитрат є впровадження баромембранних процесів. Ці технології дозволяють розділяти

компоненти молока під дією тиску без значного нагрівання, що в 5–10 разів енергоефективніше ніж термічні методи:

Мікрофільтрація (MF): використовується для «холодної стерилізації» — видалення бактерій та спор без кип'ятіння, що економить тепло та зберігає нативні властивості білка. Зниження енерговитрат на цьому етапі досягає 40% порівняно з традиційною пастеризацією.

Ультрафільтрація (UF): дозволяє концентрувати білки та фракціонувати сироватку, замінюючи частину енергоємних етапів випаровування. Застосування UF дає змогу зменшити об'єм сировини, що надходить на випарні апарати, на 50-70%, пропорційно скорочуючи споживання пари.

Нанофільтрація (NF): застосовується для часткової демінералізації сироватки, що зменшує навантаження на наступні стадії сушіння. Окрім енергії, цей метод дозволяє знизити використання води для CIP-миття на 15-20% завдяки меншій кількості відкладень.

Зворотний осмос (RO): найбільш радикальне рішення для економії енергії — дозволяє видалити до 60-75% вологи з сировини без використання пари, що радикально знижує витрати палива на фінальному сушінні. Питомі витрати енергії на видалення 1 кг води методом RO становлять лише 5-8 кВт·год проти 50-70 кВт·год при випаровуванні. Для підтримки стабільної роботи мембран необхідно використовувати технологію антифоулінг (anti-fouling). Спеціальні покриття мембран запобігають їх швидкому забрудненню білками та мінералами, що подовжує цикл роботи обладнання між CIP-мийками (з 6-8 до 20-24 годин) та економить гарячу воду і мийні засоби. Економія ресурсів на CIP-процесах завдяки антифоулінгу може сягати 15-20% від загальних витрат на технічне обслуговування.

Сучасний підхід також включає використання гідродинамічної кавітації. Цей метод дозволяє здійснювати нагрів та гомогенізацію молока за рахунок енергії потоку, що в певних допоміжних процесах є більш вигідним, ніж використання класичних пальників. Зокрема, кавітаційні нагрівачі забезпечують ККД до 95-98% у системах гарячого водопостачання для миття обладнання,

окуповуючись протягом 1-2 років завдяки відмові від газових котлів на цих ділянках. Для базових процесів пастеризації обов'язковою є глибока рекуперація теплоти. Використання пластинчастих теплообмінників з коефіцієнтом рекуперації 92–95% мінімізує потребу у гострій парі. Так, сучасна лінія пастеризації продуктивністю 10 000 л/год з рекуперацією 94% споживає пари на 35-40% менше порівняно з лінією, де рекуперація становить 80-85%. Крім того, впровадження теплових насосів дозволяє утилізувати «скидне» тепло холодильних установок (15-25°C) для потреб гарячого водопостачання (45-60°C), замикаючи енергетичний цикл підприємства. За наявними даними, комплексне використання теплових насосів у поєднанні з рекуперацією зменшує споживання газу на підприємстві на 10-15% без капітальної зміни технологічних процесів.

Технічні інновації доповнюються системами автоматизації (SCADA). Вони дозволяють контролювати роботу насосів через частотно-регульовані приводи, підлаштовуючи їх потужність під реальні потреби. Це дає пряму економію електроенергії до 30% та дозволяє переносити енергоємні процеси на нічний час за вигідними тарифами. Сучасні SCADA-системи також забезпечують моніторинг пікових навантажень, що дозволяє уникнути штрафів за перевищення договірної потужності (до 10-15% від загальної вартості електроенергії), а також ведуть автоматичний облік енерговитрат на кожен кілограм готового продукту.

У ході дослідження ми дійшли фінальної думки, що головною причиною високих енерговитрат на молочних підприємствах є не лише застаріле обладнання, а й відсутність зв'язку між процесами нагріву та охолодження. Найважливішим спостереженням стало те, що ми просто «викидаємо» величезну кількість тепла в повітря, хоча могли б використовувати його повторно. Комплексне застосування баромембранних технологій, глибокої рекуперації, теплових насосів та сучасної автоматизації дозволяє знизити енергоспоживання

підприємства на 30-50%, скоротити викиди CO_2 та підвищити маржинальність продукції в умовах жорсткої конкуренції 2026 року.

Ярослав Загорулько, Катерина Єфімова
Державний біотехнологічний університет
Науковий керівник: к.т.н., доцент Катерина Касабова

УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОБНИЦТВА ФУНКЦІОНАЛЬНОГО МАРМЕЛАДУ НА ОСНОВІ ПЛОДОВО-ЯГІДНИХ ПАСТ

Сучасний розвиток харчової промисловості характеризується зростанням попиту на продукти функціонального призначення, що поєднують високі смакові властивості з користю для здоров'я. Особливе місце серед таких продуктів займають кондитерські вироби, зокрема пастильно-мармеладна група, яка відзначається відсутністю жирів і можливістю використання натуральної рослинної сировини. В умовах поширення концепції здорового харчування споживачі все частіше віддають перевагу продуктам без синтетичних добавок, що обумовлює актуальність удосконалення традиційних технологій їх виробництва.

Пастильно-мармеладні вироби виготовляються на основі фруктового пюре, цукру та природних драглеутворювачів, таких як пектин, агар-агар або желатин. Важливою перевагою таких продуктів є вміст біологічно активних речовин, зокрема пектинів, які сприяють детоксикації організму, нормалізації обміну речовин і зниженню рівня холестерину. Проте продукція масового виробництва часто характеризується зниженим вмістом корисних компонентів та використанням штучних барвників і ароматизаторів, що негативно впливає на її харчову цінність.