



ЦЕНТР РЕСУРСОЕФЕКТИВНОГО
ТА ЧИСТОГО ВИРОБНИЦТВА

СТРАТЕГІЇ І ПРАКТИКИ РЕСУРСОЕФЕКТИВНОГО ТА БІЛЬШ ЧИСТОГО ВИРОБНИЦТВА В МОЛОЧНІЙ ПРОМИСЛОВОСТІ

Київ 2017

Стратегії і практики ресурсоефективного та більш чистого виробництва в молочній промисловості.

У даному посібнику зібрано інформацію стосовно стратегій і кращих практик ресурсоефективного та чистого виробництва (РЕЧВ) у молочній галузі країн Європи, США, Канади та інших країн з високорозвинутою молочною промисловістю. Проаналізовано особливості застосування РЕЧВ-підходів на всіх етапах життєвого циклу молока і молочних продуктів (питне молоко, вершки, кисломолочні продукти, вершкове масло, сичужні сири, згущені та сухі молоко і вершки, морозиво та заморожені десерти) для молочної галузі в Україні.

Для технологів молочного виробництва, екологів, фахівців у галузі LCA, РЕЧВ.

Зміст

Вступ. Поняття ресурсоефективного та чистого виробництва	5
1. Молочна галузь України. Загальні відомості	5
2. Життєвий цикл молока і молочних продуктів та навантаження їх виробництва на довкілля	6
2.1. Основні фази та етапи життєвого циклу молока і молочних продуктів	6
2.2. Оцінювання викидів парникових газів у повному життєвому циклі молока	8
2.3. Сільськогосподарська фаза виробництва сирого молока і навантаження на довкілля	8
2.4. Промислова фаза виробництва товарного молока і молочних продуктів	9
3. Загальна характеристика споживання і втрати ресурсів молочними підприємствами	10
3.1. Споживання води і хімікатів	10
3.2. Стічні води	10
3.3. Споживання енергії.....	11
3.4. Викиди в атмосферу	11
3.5. Тверді відходи.....	12
3.6. Побічні продукти.....	12
3.7. Головні документи щодо чистого виробництва і кращих практик ресурсозбереження в молочній галузі	12
4. Характеристика типових процесів виробництва молока і молочних продуктів	13
4.1. Основні види молочних продуктів, які виробляють в Україні	13
4.2. Основні процеси/операції.....	13
4.3. Загальна схема виробництва молочної продукції	15
5. Виробництво питного молока і використання ресурсів	16
5.1. Опис технологічних процесів та апаратів для виробництва питного молока	16
5.1.1. Яке молоко називають питним?.....	16
5.1.2. Основні технологічні процеси виробництва.....	17
5.1.3. Основне обладнання	19
5.2. Характеристика споживання енергетичних ресурсів.....	22
5.2.1. Споживання електричної енергії та заходи для зменшення її витрат.....	23
5.2.2. Споживання тепла і заходи з підвищення ефективності його використання.....	24
5.3. Характеристика водокористування.....	25
5.3.1. Процеси/операції з використанням води.....	25
5.3.2. Основні місця втрат води і продукту	25
5.3.3. Утворення стічних вод та їхня характеристика	26
5.3.4. Заходи для зменшення споживання води і забруднення стічних вод у процесах виробництва питного молока.....	27

6. Виробництво кисломолочних продуктів і споживання ресурсів	28
6.1. Основні види кисломолочних продуктів	28
6.2. Опис загальної технології виробництва	28
6.3. Особливості виробництва окремих кисломолочних продуктів і використання води та енергії	29
6.3.1. Виробництво кисломолочного сиру.....	30
6.3.2. Виробництво рідких продуктів	31
6.4. Утворення продуктових відходів та стічних вод і заходи для зменшення обсягів забруднення	32
6.5. Споживання енергії та заходи для її збереження	33
6.6. Тверді відходи та зменшення обсягів їхнього утворення.....	34
7. Виробництво вершкового масла і використання ресурсів.....	35
7.1. Основні види та способи виробництва вершкового масла. Опис типового техноло-гічного процесу.....	35
7.2. Характеристика споживання енергетичних ресурсів.....	38
7.3. Характеристика водокористування.....	39
7.4. Утворення побічних продуктів та продуктових відходів	39
7.5. Спеціальні заходи для зменшення забруднення стічних вод.....	39
7.6. Тверді відходи та ресурсощадні заходи	40
8. Виробництво сичужних сирів і використання ресурсів	40
8.1. Основні види сирів.....	40
8.2. Опис загального технологічного процесу	41
8.3. Характеристика водокористування.....	43
8.3.1. Споживання води і заходи для ефективного водокористування	43
8.3.2. Втрати продукції та утворення стічних вод.....	44
8.3.3. Спеціальні заходи для зменшення утворення стічних вод та їхнього забруднення.....	45
8.4. Характеристика споживання енергетичних ресурсів.....	45
8.4.1. Дані про споживання енергії в повному циклі й у промисловому виробництві сирів	46
8.4.2. Спеціальні заходи для зменшення витрат енергії у виробництві сиру	47
8.5. Тверді відходи та зменшення обсягів їхнього утворення.....	48
9. Виробництво сухих та молочноконсервних продуктів і споживання ресурсів	48
9.1. Характеристика загальної технології виробництва	48
9.1.1. Концентровані/згущені продукти.....	48
9.1.2. Сухі (порошкоподібні) продукти.....	50
9.2. Характеристика споживання енергії	51
9.3. Спеціальні заходи для зменшення споживання енергії.....	52
9.4. Споживання води й утворення стічних вод.....	53

9.5. Спеціальні заходи для зменшення забруднення і скидання стічних вод	54
10. Виробництво морозива	54
10.1. Технологічний процес	54
10.2. Споживання енергії та заходи для її збереження	55
10.3. Споживання води й утворення стічних вод. Заходи для ефективного водокористування.....	56
11. Менеджмент побічних продуктів.....	57
11.1. Сироватка як цінний побічний продукт. Використання свіжої сироватки	57
11.2. Промислове оброблення/перероблення сироватки. Основні процеси	57
11.2.1. Концентрування сироватки.....	58
11.2.2. Фракціонування компонентів сироватки.....	58
11.2.3. Демінералізація сироватки	59
11.3. Виробництво порошкоподібної сироватки і використання ресурсів	59
11.3.1. Технологічна схема виробництва.....	59
11.3.2. Характеристика споживання ресурсів.....	60
11.3.3. Спеціальні заходи для підвищення ефективності використання ресурсів у виробництві сухої сироватки.....	60
12. Порівняння обсягу споживання ресурсів та впливу на навколишнє середовище під час виробництва різних видів молочних продуктів	61
12.1. Споживання енергії та викиди в атмосферу.....	61
12.2. Споживання води й утворення стічних вод.....	63
12.3. Втрати продукту	63
13. Витрати ресурсів для загальнозаводських потреб.....	64
13.1. Водоспоживання і водовідведення	64
13.2. Енергія для освітлення, опалення, вентиляції та кондиціонування	64
14. Заходи з підвищення ефективності використання енергетичних ресурсів на підприємствах галузі.....	64
14.1. Зменшення споживання електричної енергії основними споживачами.....	64
14.1.1. Холодильні установки/Системи охолодження.....	64
14.1.2. Системи стиснутого повітря	65
14.1.3. Електродвигуни та насоси	67
14.1.4. Системи освітлення	67
14.2. Підвищення ефективності використання тепла в основних процесах.....	68
14.2.1. Генерація та розподілення пари.....	68
14.2.2. Процеси пастеризації/стерилізації та інших видів теплового оброблення	68
14.2.3. Процеси випаровування.....	69
14.2.4. Сушіння	69

14.3. Підтримка підприємств у збереженні ресурсів.....	70
15. Універсальні/загальні заходи з підвищення ефективності водокористування в молочній галузі.....	70
15.1. Виробництво сирого молока на молочних фермах.....	70
15.2. Виробництво молока і молочних продуктів на підприємствах	71
15.2.1. Водоспоживання.....	71
15.2.2. Водовідведення	71
15.2.3. Удосконалення процесів миття/дезінфекції та зменшення використання ресурсів	72
15.2.4. Повторне використання води	74
15.2.5. Оброблення/очищення стічної води.....	75
16. Рекомендації з вибору та заміни сировинних матеріалів на безпечніші	77
16.1. Холодильні агенти	77
16.2. Мийні та дезінфікувальні засоби.....	77
16.3. Хелатні агенти	77
16.4. Пакувальні матеріали	78
17. Інформація з бенчмаркінгу для оцінювання ефективності використання ресурсів на підприємствах галузі.....	78
18. Ефективність РЕЧВ-заходів зі зниження споживання ресурсів на підприємствах Європи, США та Канади	80
18.1. Ефективність заходів зі зменшення споживання електроенергії	80
18.2. Ефективність заходів зі зменшення споживання тепла.....	82
18.3. Ефективність заходів зі зменшення споживання води.....	83
Список використаної літератури.....	84

Вступ. Поняття ресурсоефективного та чистого виробництва

Термін «чисте виробництво» тлумачать як «застосування інтегрованої, превентивної екологічної стратегії, що стосується процесів, продуктів та послуг, з метою підвищення загальної ефективності та зниження ризиків для людини і навколишнього середовища» [1,2]. Ресурсоефективне та чисте виробництво (РЕЧВ) передусім стосується процесів виробництв, збереження ресурсів, запобігання використанню токсичних сировинних матеріалів, зниження обсягів утворення відходів і викидів [1].

Ресурсоефективне та чисте виробництво ґрунтується на концепції ВАР (англ.: best available techniques; укр.: кращі доступні техніки/технології) і було введено як ключовий принцип у Директиву Європейського Союзу (ЄС) з інтегрованого захисту навколишнього середовища (НС) (IPPC Directive 96/61/ЄС [3]). Основні стратегії та кращі доступні техніки/технології, як найбільш прогресивні (на певному етапі технічного/технологічного розвитку) для досягнення ефективного використання ресурсів у різних галузях промисловості й високого рівня захисту НС, зафіксовано в документах BREF (EC Reference Documents on Best Available Techniques). Окремий документ BREF створено для молочної промисловості [4]. Він є основою для розроблення національних керівних документів, посібників, довідників, а також програм розвитку підприємств молочної галузі для досягнення РЕЧВ.

У цьому посібнику зібрано інформацію стосовно стратегій і кращих практик РЕЧВ у молочної галузі країн Європи, США, Канади та інших країн з високорозвиненою молочною промисловістю.

1. Молочна галузь України. Загальні відомості

Молочна галузь є однією з провідних у структурі харчової промисловості України, оскільки вона формує досить великий ринок за обсягами виробництва. Це безпосередньо зумовлено тим, що на продукцію цієї галузі є постійний попит з боку населення. Частка витрат на молочні продукти становить 15% від загальних витрат на харчування і посідає четверте місце після витрат на хлібобулочні, м'ясні, борошняні та макаронні вироби [5]. На сьогодні виробництво молока є невід'ємною складовою забезпечення національної продовольчої безпеки України.

До складу молочної галузі входять маслоробна, сироробна, молочноконсервна підгалузі, а також виробництво продукції з незбираного молока. Обсяги випуску молока та деяких видів молокопродуктів в Україні за останній період наведено в табл. 1.1 [6,7].

Таблиця 1.1. Виробництво молочної продукції в Україні в 2014–2016 рр. (тон)

№ з/п	Вид продукції	2014 р.	Січень 2015 р.	Грудень 2015 р.	Січень-червень 2016 р.
1.	Молоко рідке	1 080 069	80 582	80 399	462 000
2.	Масло	114 497	6 251	7 606	49 600
3.	Сир кисломолочний	4 248	324	276	3 560 (свіжий неферментований)
4.	Сир сичужний	104 070	7 352	7 771	57 500 (сир жирний)
5.	Йогурт	469 666	36 665	34 560	–

За даними Державної служби статистики України у виробництві молочної продукції протягом минулих років простежувалася тенденція до спаду, зокрема у 2016 р. загальне виробництво зменшилося порівняно з 2015 р. на 1,5%. [7]. Останнім часом галузь почала знову успішно розвиватися – модернізуються підприємства, оновлюються технології виробництва. Наприклад, за 1-й квартал 2017 р. в Україні вироблено 1 971 тис. т молока [7].

В умовах руху України до інтеграції національної економіки в систему Європейських і світових зовнішньоекономічних зв'язків надзвичайно актуальним є забезпечення конкурентоспроможності підприємств і якості вітчизняної продукції на внутрішньому і зовнішньому ринках. За умови постійного посилення конкуренції на ринку залишаться лише ті виробники, які забезпечують високу якість продукції і пропонують найнижчу вартість. Потужним фактором зростання конкурентоздатності підприємств молочної галузі є ефективне використання всіх видів ресурсів і забезпечення більш чистого виробництва.

2. Життєвий цикл молока і молочних продуктів та навантаження їх виробництва на довкілля

Аналіз життєвого циклу (англ.: LCA-Life Cycle Analysis) – це оцінювання навантаження будь-якого продукту або послуги протягом їхнього життя на довкілля – від зародження до завершення експлуатації продукту та/або його утилізації. В аналізі, який виконують за методикою міжнародних стандартів серії ISO 14040, враховують всі основні процеси життєвого циклу продукту/послуги.

2.1. Основні фази та етапи життєвого циклу молока і молочних продуктів

Життєвий цикл молока і молочних продуктів розпочинається з отримання сирого коров'ячого молока на молочних фермах. Сільськогосподарський етап виробництва сирого молока пов'язаний зі споживанням великого обсягу природних ресурсів, покупних матеріалів і енергії, та, відповідно, із суттєвим навантаженням на довкілля. Сире молоко обробляють повторно на підприємствах молочної промисловості для виробництва пастеризованого/стерилізованого і гомогенізованого питного молока, а також інших продуктів – масла, сиру, молочних десертів, молочнокислих, сухих, молочноконсервних та інших продуктів, сировиною для яких є сире молоко. Завершення життєвого циклу молока і виробів з нього – споживання готових продуктів людиною. Для аналізу повного життєвого циклу виробництва молока і молочних продуктів розглядають дві основні фази виробництва – сільськогосподарське виробництво сирого молока на молочних фермах і промислове оброблення/перероблення сирого молока в товарні продукти.

Межі життєвого циклу та ключові етапи/процеси виробництва товарного молока показано на рис. 2.1 [8]. Вхідними потоками ресурсів для повного циклу є земля, вода, паливо, електроенергія, а також інші ресурси (покупні матеріали, хімікати), вихідні – викиди в атмосферу, скиди у воду й у ґрунт.

Повний цикл виробництва молока впливає майже на всі критичні процеси земної системи, які загрожують екологічній стійкості планети, – на глобальне потепління (через викиди парникових газів), підкислення Світового океану (переважно, через викиди оксидів карбону, азоту, сірки), біогенне забруднення водойм (через надходження у воду сполук азоту й фосфору), руйнування озонового шару (через викиди в атмосферу хлорфторвуглеводнів – фреонів), деградацію земель (через забруднення ґрунтів хімікатами і неорганізоване (стихийне) використання пасовищ.

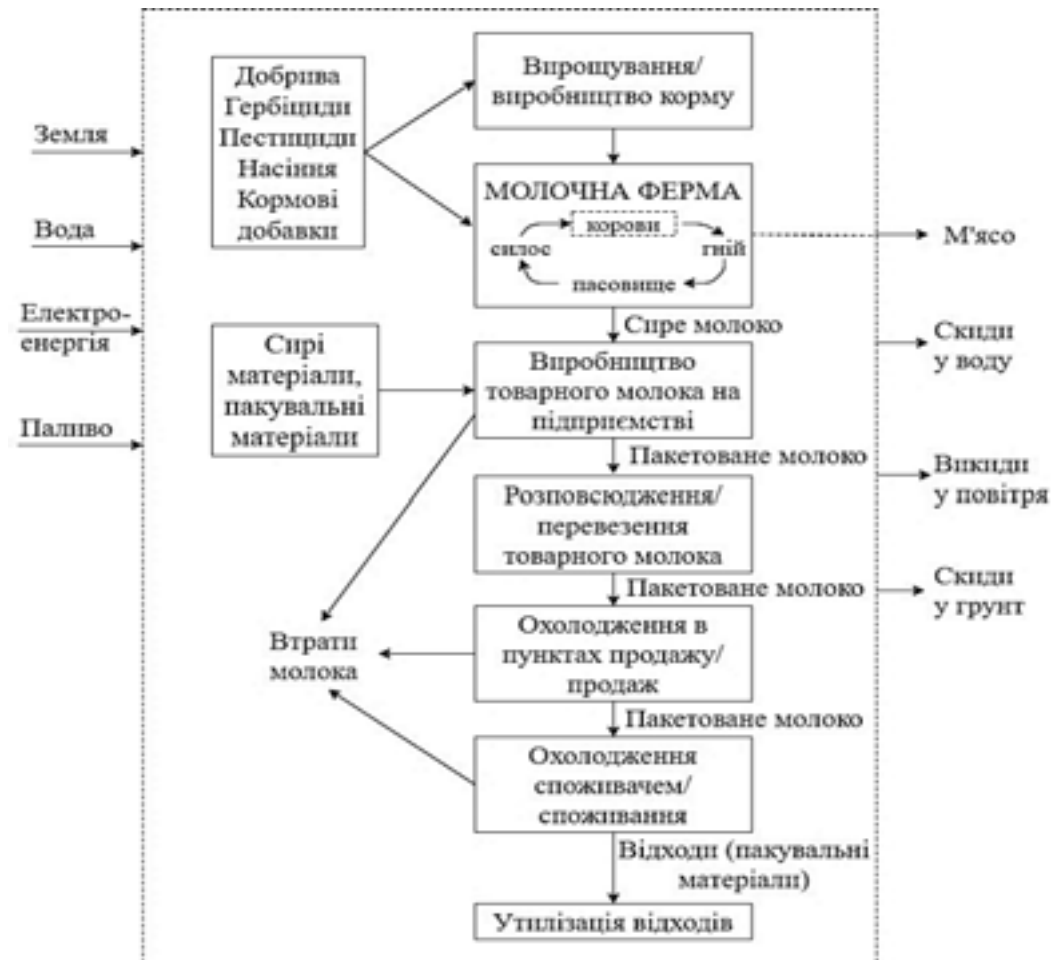


Рис. 2.1. Життєвий цикл молока [8].

Різні види впливу основних фаз і етапів життєвого циклу виробництва питного молока на довкілля в Данії оцінено в табл. 2.1 [9].

Таблиця 2.1. Вплив на довкілля основних фаз та етапів життєвого циклу виробництва питного молока в Данії

Вплив на довкілля	Одиниця виміру, на 1 л молока	Молочні ферми	Молочні підприємства	Реалізація продукту	Супер-маркети	Разом
Глобальне потепління	г CO ₂ екв.	1 010	80	20	30	1 140
Підкислення	г SO ₂ екв.	10,4	0,3	0,1	0,2	11
Збагачення біогенними речовинами	г NO ₃ екв.	51,4	1,1	0,3	0,3	53,1
Фотохімічний смог	г етилен екв.	0,29	0,02	0,03	0,06	0,40
Використання землі	м ² /р	1,5	–	–	–	1,5

«Водний слід» у повному циклі виробництва молочних продуктів у США становить 140 л води на 1 кг спожитого питного молока і 1,37 м³ води на 1 кг спожитого сиру [13].

2.2. Оцінювання викидів парникових газів у повному життєвому циклі молока

На сьогодні аналіз життєвого циклу виробництва молока сфокусовано передусім на оцінюванні надходження в атмосферу **парникових газів** (через еквівалент діоксиду вуглецю – CO₂ екв.), що спричинено використанням електроенергії та паливно-енергетичних ресурсів, а також утворенням метану, закису азоту й інших парникових газів у фазі сільськогосподарського виробництва молока.

У глобальному масштабі викиди парникових газів (ПГ) **у повному циклі виробництва молока** оцінено в середньому як 2,4 кг CO₂ екв. ($\pm 26\%$) на 1 кг сирого молока, що становить 2,7% сумарної антропогенної емісії парникових газів [14].

У молочній індустрії США за повний життєвий цикл молока (включаючи вирощування худоби, виробництво сирого молока на фермах, промислове оброблення молока, пакування, транспортування/транспортування продукції, продаж і споживання людиною) викиди ПГ оцінюють у середньому як 2,05 (1,77–2,4) кг CO₂ екв. на 1 кг спожитого рідкого молока, що становить близько 2% сумарних викидів ПГ у США [14,16]. Відповідно до Цілей розвитку тисячоліття (Millenium Development Goals, MDGs), до 2020 р. ці викиди потрібно зменшити на 25% [15].

Внесок окремих стадій життєвого циклу виробництва питного молока у викиди ПГ (% CO₂-екв.) у США такий [13]:

- виробництво кормів для корів – 20,3%;
- виробництво сирого молока на фермах – 51,5%;
- транспортування молока – 4,8%;
- оброблення сирого молока на підприємствах – 5,7%;
- пакування – 3,5%;
- розповсюдження/транспортування продукції – 7,7%;
- продаж – 6,5%.

2.3. Сільськогосподарська фаза виробництва сирого молока і навантаження на довкілля

Аналіз життєвого циклу виробництва молока в різних країнах та регіонах світу – в Європі, Південній Африці, Північній Америці [8-13], – показує, що найбільший внесок у навантаження на НС дає виробництво сирого молока на молочних фермах, тобто сільськогосподарська фаза виробництва. Натомість на промислове виробництво товарного питного молока припадає порівняно невелика частка споживання ресурсів і, відповідно, низька частка навантаження на довкілля.

Світові регіональні коливання викидів ПГ у сільськогосподарській фазі виробництва сирого молока істотні. За даними FAO [14], середні показники перебувають у межах від 0,11–0,12 кг CO₂ екв. (Канада, Латинська Америка) до 0,31 CO₂ екв. на 1 кг сирого молока (Австралія, Індія), із суттєвими відхиленнями для окремих країн. Обсяг викидів ПГ залежить від виду енергетичного ресурсу (вугілля, газ тощо), географічно-кліматичної зони, технологічного рівня, а також від методики оцінювання.

У Канаді внесок молочних ферм за викидами ПГ у повний цикл виробництва молочних продуктів оцінюють в середньому як 90% [16]. У Південно-Африканській Республіці на виробництво сирого молока на молочних фермах припадає від 35 до 56% викидів ПГ від усього циклу, в середньому 1,0–1,6 кг CO₂ екв. на 1 л молока [8] (за життєвий цикл молока викиди ПГ в атмосферу, від отримання сирого молока до його споживання людиною, становлять там 1,7–2,9 кг CO₂ екв. на 1 л молока).

Найбільший вплив сільськогосподарської фази виробництва молока на довкілля зумовлений великим обсягом використання природних ресурсів (землі, води, рослин), а також електричної енергії

та різноманітних покупних матеріалів (паливна, мінеральних добрив, пестицидів, гербіцидів, фунгіцидів, насіння, кормових домішок тощо).

Так, у Південно-Африканській Республіці [8] для виробництва 1000 л сирого молока використовують 2000–3000 м² сільськогосподарської землі, а загальне споживання води в повному життєвому циклі молока оцінюють від 570 до 1279 л на 1 л молока, включаючи «зелену» воду – воду рослин і ґрунту, і «блакитну» воду – воду із джерел. На виробництво товарного питного молока на підприємствах припадає менше 3% води (від 1 до 3%) [8].

У США на сільськогосподарській стадії виробництва молока споживають більше 97% води (93,5% – на виробництво кормів для корів і 3,6% – на виробництво молока на фермах), і тільки 1% споживання води припадає на оброблення сирого молока на підприємствах, 0,3% – на пакування, 0,2% – на розповсюдження/транспортування, 0,4% – на продаж і 1% – на споживання людиною [13].

Стічні води, що утворюються в життєвому циклі молочних продуктів, завдають суттєвого негативного навантаження на водне середовище передусім за рахунок скидання біогенних речовин. Так, за показниками «екологічного сліду» молочної галузі США [13], частка впливу окремих етапів виробництва молочної продукції на евтрофікацію морської води становить: виробництво корму для корів – 55%, виробництво сирого молока на фермах – 42%; на евтрофікацію прісної води внесок етапу виробництва корму для корів становить 86% [13].

2.4. Промислова фаза виробництва товарного молока і молочних продуктів

У фазі промислового виробництва молока і молочних продуктів викиди ПГ у світі, за даними праці [14], оцінюють від 0,06 до 0,23 кг CO₂ екв. на 1 кг сирого молока.

У молочної промисловості США викиди ПГ становлять у середньому 0,22 кг CO₂ екв./кг сирого молока [15]. Для Європи промислове виробництво всіх видів молочних продуктів (включаючи транспортування сирого молока з ферми, його оброблення/перероблення, пакування, транспортування готових продуктів для продажу споживачам) дає викидів ПГ у середньому 0,155 кг CO₂ екв./ кг сирого молока [17].

Дані щодо викидів ПГ у фазі промислового виробництва молока і молочних продуктів, включаючи окремі етапи циклу виробництва, наведено у табл. 2.2.

Таблиця 2.2. Викиди ПГ на окремих етапах промислового виробництва молока і молочних продуктів у країнах світу

№ з/п	Сумарні викиди ПГ у промисловій фазі виробництва	Транспортування сирого молока з ферми	Оброблення/перероблення на товарний продукт	Пакування	Транспортування до місця продажу	Джерело
1.	0,155 кг CO ₂ екв./кг сирого молока (всі)	0,016	0,086	0,038	0,014	[17] (Європа)
2.	0,08 кг CO ₂ екв./л питного молока	–	–	–	–	[9] (Данія)
3.	0,183 кг CO ₂ екв./кг пакетованого молока	–	–	–	–	[12] (Іспанія)
4.	0,464 кг CO ₂ екв./кг пакетованого органічного молока	0,039	0,106	0,126	0,193	[17] (США)
5.	1,0–1,6 кг CO ₂ екв./л молока (35–56%)	–	11–15%	<5% з тран.	–	[8] (ПАР)

Малі промислові підприємства зазвичай роблять більший внесок у забруднення НС парниковими газами порівняно із середніми та великими підприємствами [10].

3. Загальна характеристика споживання і втрати ресурсів молочними підприємствами

Особливостями **молочної промисловості** щодо використання ресурсів та утворення відходів є такі:

- споживання великих обсягів води;
- використання хімікатів для процесів миття/дезінфекції;
- утворення високозабруднених (передусім органічними речовинами) стічних вод;
- значні обсяги споживання енергії;
- утворення побічних продуктів;
- споживання великої кількості пакувальних матеріалів і утворення твердих відходів;
- викиди в атмосферу.

3.1. Споживання води і хімікатів

На молочних підприємствах воду використовують як: 1) «процесну», тобто таку, яка безпосередньо або непрямо контактує з продуктом; 2) охолоджувальну – для відведення тепла від потоків і продуктів; 3) воду для живлення котлів/бойлерів, тобто спеціально підготовлену (пом'якшену, деаеровану) воду для запобігання утворенню нерозчинних осадів або корозії парової системи; 4) санітарну – для процесів миття/дезінфекції. Свіжа вода для будь-яких виробничих і санітарно-питних цілей має бути питної якості.

Зазвичай більшу частку води споживають для чищення/миття обладнання, робочих поверхонь і виробничих приміщень (для дотримання санітарно-гігієнічних норм [24]). З водою для миття використовують хімікати. Обсяги споживання води значною мірою залежать від кліматичної зони, потужності підприємства, його віку, виду технологій та їх технічного рівня, основних продуктів виробництва. Типове споживання води на достатньо ефективних молочних підприємствах становить 1,3–2,5 л/кг сирого молока [1]. Наприклад, у Канаді середнє споживання води і хімікатів (для операцій миття) у процесі виробництва всіх видів молочних продуктів у Канаді таке [16]:

- | | |
|--------------------|--------------------------|
| • вода | 1,5 кг/кг сирого молока; |
| • гідроксид натрію | 897 мг/кг сирого молока; |
| • азотна кислота | 285 мг/кг сирого молока; |
| • сірчана кислота | 436 мг/кг сирого молока; |
| • фосфорна кислота | 63 мг/кг сирого молока. |

Хімікати, які використовують для миття, надходять у стічні води. Згідно з працею [1] використання вдосконалених технічних рішень дозволяє зменшити споживання води для промислового виробництва молока до 0,8–1,0 л/кг сирого молока.

3.2 Стічні води

Більша частина води, що споживається на підприємствах молочної галузі, перетворюється на стічні води, основне джерело яких – процеси миття. Крім того, у стічні води може надходити додаткова вода від процесів перероблення молока в концентровані продукти (сироватку, маслянку, конденсати). З огляду на це на підприємствах утворюється велика кількість стічних вод, забруднених органічними речовинами (компонентами молока та іншої продукції), кислотами та лугами (що

використовуються у процесах миття), іншими мийними засобами. Так, за даними праці [16], середня питома кількість стічних вод для молочних підприємств Канади становить 1,7 кг/кг сирого молока, що більше, ніж у середньому споживається свіжої води на виробництво (1,5 кг/кг сирого молока). Втрати молока, що надходить у стічні води, можуть становити 3–4%. З рештками молочних продуктів у стічні води можуть потрапляти солі (NaCl), цукри, стабілізатори, емульгатори, ароматизатори тощо. Стічні води мають підвищений вміст азоту і фосфору, непостійну температуру і рН (водневий показник). На сучасних молочних підприємствах Європи типове забруднення стічних вод за біологічним споживанням кисню (БСК) становить 0,5–2,5 кг на 1 т спожитого молока, за показником хімічного споживання кисню (ХСК) – близько 1,5 x БСК (але ХСК може сягати 8 кг/м³), за завислими речовинами – 100–1000 мг/л [1]. Концентрація забруднень значною мірою залежить від виду продукції, технічного рівня виробництва, технології миття та дезінфекції обладнання і робочих місць, а також від водного менеджменту на підприємстві.

Зазвичай стічні води зазнають локального очищення на підприємстві; але часто їх скидають у централізовану міську каналізацію, створюючи додаткове навантаження на міські очисні споруди. У сільській місцевості цими водами зрошують сільськогосподарські землі. Проте у разі неправильного/довільного використання вони можуть негативно впливати на структуру ґрунту, спричиняти його засолення, а також потрапляти у ґрунтові води, погіршуючи їхню якість.

3.3. Споживання енергії

У процесах виробництва споживається тепла й електрична енергія. Теплова енергія становить близько 80% енергетичних витрат молочних підприємств Європи [2,18,19]. Для виробництва теплової енергії (генерації пари та отримання гарячої води), найчастіше споживають природний газ, а також інші теплоносії – вугілля, нафту, деревину. Тепло використовують у виробництві для процесів нагрівання, теплового оброблення, випаровування, сушіння і в операціях чищення/миття.

Електричну енергію, яка в молочній промисловості в Європі становить близько 20% загальних витрат енергії, використовують для охолодження, вентиляції, освітлення, утворення стиснутого повітря, роботи електродвигунів і насосів.

Обсяги споживання енергії залежать від масштабу і віку підприємства, рівня автоматизації, виду продуктів, які виробляють. Типове споживання всіх видів енергії на сучасних підприємствах становить 0,5–1,2 ГДж/т (119,5–286,8 ккал/кг) сирого молока [1-10]. Використовуючи кращі практики виробництва, можна зменшити споживання енергії до 0,3 ГДж/т (71,7 ккал/кг) сирого молока [1].

3.4. Викиди в атмосферу

Оскільки для виробництва тепла використовують викопне паливо, споживання енергії пов'язано із забрудненням повітря парниковими газами – оксидами азоту, сірки, вуглецю, а також аерозолями, що робить внесок у глобальне потепління. Крім того, холодильне обладнання часто використовує холодоагенти – галогеновані сполуки, хлорфторвуглеводні (CFC – фреони (CFC-фреони) і гідрохлорфторвуглеводні (HCFC-21, HCFC-22), які теж надходять в атмосферу. Гідрохлорфторвуглеводні належать до парникових газів і спричиняють глобальне потепління, а фреони – руйнування озонового шару (хоча на сьогодні їхнє виробництво обмежено). За даними праці [16], на молочних підприємствах Канади втрати холодоагенту (HCFC-22) становлять у середньому $7,13 \times 10^{-4}$ мг/кг сирого молока. З огляду на це заміна галогенованих холодоагентів на безпечніші, а також загальне зменшення споживання енергії, зокрема для скорочення викидів парникових газів, є стратегією чистого виробництва.

Під час сушіння також в атмосферу потрапляють тверді частинки сухого продукту (аерозолі). На відміну від викидів з труб, які можна очистити, розсіяні (дифузні) газові викиди можна зменшити лише за рахунок превентивних заходів.

3.5. Тверді відходи

Тверді відходи здебільшого утворюються від пакування – пошкоджених картонних та пластикових пляшок, склянок, контейнерів, плівок, фольги, паперу тощо, – а також мастильних матеріалів, відпрацьованих ламп, батарейок, лабораторних хімікатів та ін. Мулові відходи утворюються в процесах сепарації молока (фільтрування, освітлення), у процесах локального оброблення стічних вод – флотації та відстоювання, біологічного очищення тощо. У відходи спрямовується також некондиційна та зіпсована продукція.

Виробництво й утилізація пакувальних матеріалів молочних продуктів збільшують навантаження на довкілля у життєвому циклі молока і молочних продуктів [20].

3.6. Побічні продукти

Основним побічним продуктом, що утворюється на молочних підприємствах, а саме у процесі виробництва сирів, є сироватка. Вона становить 85–90% від маси молока, що використовується для виробництва основного продукту (сиру). Необроблена сироватка має високу концентрацію органічних речовин (високий показник БСК), створює неприємний запах і спричиняє забруднення водою, тому утилізація сироватки є необхідною складовою чистого виробництва у молочній галузі.

Під час виробництва масла зі свіжих вершків утворюється побічний продукт – маслянка, яка теж потребує утилізації безпосередньо на підприємстві.

3.7. Головні документи щодо чистого виробництва і кращих практик ресурсозбереження в молочній галузі

Процеси виробництва молочних продуктів та їхнього подальшого споживання роблять суттєвий внесок у навантаження на НС, витрачаючи великий обсяг природних ресурсів. З огляду на це застосування чистого виробництва і кращих практик ресурсозбереження в цій галузі є вкрай необхідним. Доступ підприємств до інформації зі стратегій та кращих практик РЕЧВ прискорює перехід до ресурсощадних технологій, економічно вигідного виробництва, що підвищує їхню конкурентоспроможність.

У розвинених країнах світу основні міжнародні та національні нормативні документи, що стосуються захисту довкілля від забруднення та збереження природних ресурсів, супроводжуються розробками й випуском документів, які містять кращі практики ресурсоефективного та чистого виробництва в різних галузях промисловості, зокрема в молочній галузі. Найважливішими серед них є такі:

1. *Документи Європейського Союзу з переліком кращих доступних технологій в окремих галузях промисловості: BREFs- Reference Documents on Best Available Techniques (Council Directive 96/61/EC) (<http://www.epa.ie/Licensing/IPPC/Licensing/BREFdocuments/>).*

2. *Документи US EPA (US Environment Protection Agency) з кращих практик менеджменту: Best Management Practices for Pollution Prevention (<http://www.epa.gov/compliance/resources/publications/assistance/sectors/notebooks/>).*

3. *Документи UNEP (United Nations Environment Programme): Industry Sector Guides for Cleaner Production Assessment (<http://www.agrifood-forum.net/publications/guide/>).*

4. Характеристика типових процесів виробництва молока і молочних продуктів

4.1. Основні види молочних продуктів, які виробляють в Україні

На молочних підприємствах України із сирого коров'ячого молока виробляють велику кількість харчових і технічних продуктів. Це різні види питного молока і вершків, кисломолочні продукти, вершкове масло, сичужні сири, згущені та сухі молоко і вершки, морозиво та заморожені десерти тощо. Різні молочні продукти, а також продукти одного виду можна розрізнити за вмістом молочного жиру, білків (казеїн, лактоальбумін, лактоглобулін), вуглеводів (лактоза, глюкоза), неорганічних речовин, вітамінів, ферментів. Основні складові молока (за масою) такі: вода (83–89%), молочний жир (3,0–4,5%), лактоза, або молочний цукор (4,8%), казеїн (2,9%) [21].

Найбільшу частку молочної продукції, яку виробляють в Україні, становить питне молоко, потім – кисломолочні продукти, вершкове масло і сичужні сири [6,7].

4.2. Основні процеси/операції

Технологічні процеси/операції, які використовують у виробництві молочних продуктів, залежать передусім від видів продуктів, які виробляють. Чим більший асортимент молочних продуктів виробляє підприємство, тим більше різних процесів/операцій та різноманітного технічного обладнання воно використовує. Крім того, технологія виробництва одного виду продукції на окремих підприємствах може різнитися.

Натомість досить багато процесів або операцій є універсальними для всієї молочної галузі. Так, процеси пастеризації/високотемпературного оброблення, сепарації-стандартизації, гомогенізації, миття обладнання, холодного зберігання молока та іншої продукції є типовими для всіх підприємств. Так само деякі процеси є загальними для певних категорій/видів продуктів, наприклад, випаровування та сушіння – для сухих і концентрованих продуктів.

Виробництво всіх молочних продуктів на підприємстві починається з постачання сирого молока з молочної ферми, його приймання і контролю якості.

Транспортування сирого молока. Сире молоко здебільшого перевозять на підприємство автотранспортом у спеціальних автомобільних ізотермічних цистернах, або в цистернах із охолодженням [23]. Перед транспортуванням молоко має бути охолоджене на молочної фермі. Температура парного молока (32–33°C) є оптимальною для розмноження більшості мікроорганізмів, що призводить до підвищення кислотності молока і його швидкого скисання (через близько 12 год). Якщо розрив у часі між охолодженням і доставлянням не перевищує 6 год, то молоко охолоджують до 10°C; у разі зберігання молока протягом 12 год його потрібно охолоджувати до 8°C, а у разі зберігання протягом 24 год – до 5°C і нижче. У транспортних цистернах охолоджене молоко добре зберігається: під час перевезення влітку на відстань 100 км температура молока підвищується на 1–2°C.

Очищення сирого молока. Очищення молока від механічних домішок (освітлення) є складовою загальної технології виробництва молока і молочних продуктів. На молочних фермах часто використовують фільтрування, наприклад через синтетичні матеріали (лавсан). Для підприємств найпоширенішим способом освітлення є центрифугування. Під дією відцентрової сили сире молоко очищується не тільки від механічних частинок, а й від слизу, згустків, епітелію та ін., знижується його бактеріальне забруднення.

Охолодження і проміжне зберігання молока. На фермі та/або після надходження на підприємство молоко обов'язково охолоджується до 4–6°C (і нижче) та подається у спеціальній посудині для зберігання до подальшого оброблення/перероблення. За температури 4°C молоко не змінює своїх властивостей до 24 год. Резервуари-термоси використовують тільки для зберігання

молока, а резервуари-охолодники призначені для одночасного охолодження і зберігання. З них молоко надходить на оброблення.

Сепарація-стандартизація. Стандартизація, або нормалізація, – це забезпечення потрібного вмісту жиру та інших компонентів у сировині, з якої виробляють молочний продукт. Це досягається розділенням (**сепаруванням**) усього об'єму або частини сирого молока на вершки і знежирене молоко з вмістом жиру менш ніж 0,05%. Для забезпечення стандартної жирності продукту в сире молоко додають або вершки, або знежирене молоко. Замість знежиреного молока можуть додавати маслянку – побічний продукт, що утворюється під час виробництва масла зі свіжих вершків. Процес сепарації сирого молока здійснюється в сепараторах-вершковідокремлювачах. Відділені вершки в подальшому використовують для виробництва інших молочних продуктів або як продукт для споживання, а нормалізоване молоко – як готовий продукт або як знежирене молоко, – як сировину для інших молочних продуктів.

Пастеризація. У більшості технологій виробництва питного молока застосовують пастеризацію молока, метою якої є деактивація патогенних мікроорганізмів (для безпеки людини) та інших мікробів, які можуть швидко зіпсувати молоко. Пастеризація – це процес теплового оброблення молока за температури нижче 100°C, зазвичай при 85–90°C (із різною тривалістю витримування). Пастеризація не знищує спор та деяких термофільних мікроорганізмів, тому пастеризовані молочні продукти є продуктами короткотривалого зберігання і потребують збереження в холодильнику.

Стерилізація. Замість пастеризації можна застосовувати стерилізацію або інший вид термічного оброблення молока (ультрависокотемпературне оброблення – УВТ). Стерилізація/УВТ-оброблення відбувається за більш високої температури (від 103 до 150°C із різним часом витримування) і знищує всі мікроорганізми та спори. З огляду на це стерилізоване молоко є продуктом довготривалого зберігання. Однак стерилізація значно змінює природний склад, специфічний смак і аромат молока, тому в деяких країнах (наприклад, у США, Великій Британії) стерилізоване молоко не є популярним [23]. Стерилізація молока потребує більших витрат енергії на теплове оброблення, ніж пастеризація молока, але енергія зберігається за рахунок того, що для кінцевого зберігання і транспортування готового продукту охолодження не потрібне.

Гомогенізація. Загальним процесом для технологій оброблення молока є гомогенізація. Оскільки молоко містить водо- і жиророзчинні компоненти, метою гомогенізації є руйнування (диспергування) кульок жиру до більш дрібних фракцій (зменшення середнього діаметра кульок від 2–4 до 1 мкм і менше), що запобігає розшаруванню молока, тобто відстоюванню жиру під час зберігання молока і деяких молочних продуктів.

Випаровування. Процес зазвичай використовують для видалення води з молочних продуктів, а саме: під час виробництва концентрованих продуктів – згущеного молока, згущених вершків, а також сухих (порошкоподібних) продуктів – молока та сироватки.

Під час виробництва сухих продуктів випаровування є попереднім етапом зневоднення, тоді як для повного видалення вологи з продуктів після випаровування використовують процес **сушіння**. Обидва ці процеси є високоенергоємними, і будь-яке підвищення ефективності використання енергії може дати значну економію ресурсів.

Заморожування. Процес використовується під час виготовлення морозива та інших заморожених десертів. Заморожування здійснюють поетапно: часткове заморожування підготовленої суміші, загартування і фінальне заморожування через продування повітрям за температури від 1,1 до 5,5°C нижче нуля. Процес водоємний і енергоємний.

Чищення/миття обладнання. Чищення/миття та дезінфекція установок, ємкостей, обладнання, труб, робочих місць є необхідними постійними операціями у виробництві всіх видів молочної продукції для забезпечення санітарно-гігієнічних вимог виробництва [24]. Процес проводять із

використанням гарячої води і хімікатів (лугів, кислот, спеціальних мийних засобів та дезінфектантів), тому він є одним з найбільш водоемних і матеріалоемних процесів, з утворенням основного об'єму забруднених стічних вод. Миття здійснюють ручним способом (зі шлангів), або із застосуванням автоматичних систем. На сучасних підприємствах застосовують системи CIP (clean-in-place, що означає «чищення на місці») – це автоматизовані системи, які обслуговують усі основні виробничі апарати (сепаратори, гомогенізатори, пастеризатори, випарники, резервуари, апарати-наповнювачі продукції та інше обладнання) після випорожнення з них продукту.

Пакування готових продуктів. Пакування рідких молочних продуктів – це операції розливання (наповнення тари) та укупування/герметизації тари. Наповнення тари часто супроводжується втратами продукту за рахунок розливання/переливання. Твердим продуктам спочатку надається певний розмір і форма, а потім вони пакуються. Процеси здійснюються автоматично.

Зберігання готових продуктів. Для більшості молочних продуктів після їх виготовлення і пакування потрібне холодне зберігання на підприємстві до їх вивезення.

У холодильних камерах мають зберігатися: рідке молоко, усі кисломолочні продукти, масло і тверді сири. Холодне зберігання таких продуктів є необхідним для сповільнення розмноження мікроорганізмів, які можуть зіпсувати продукт. Окрім того, холод запобігає небажаним фізичним і хімічним змінам у продуктах, наприклад, окисненню, висиханню або таненню, що призводить до деформації форми продукції (вершкового масла, м'яких сирів).

Заморожені продукти (морозиво, десерти) мають зберігатися на підприємстві до транспортування в морозильних камерах для запобігання розморожуванню.

Стерилізовані, концентровані й сухі молочні продукти зазвичай не потребують холодного зберігання після виготовлення.

4.3. Загальна схема виробництва молочної продукції

Узагальнену схему виробництва молока й основних молочних продуктів – масла, сиру, концентрованого/сухого молока, з вхідними та вихідними потоками ресурсів – показано на рис. 4.1.

З незбираного і напівзбираного молока можуть також виробляти йогурти та інші кисломолочні продукти.

Типове оброблення молока для виробництва молочної продукції складається з таких процесів/операцій:

1. Приймання сирого молока та його тестування.
2. Охолодження (за необхідності) і холодне зберігання сирого молока перед його обробленням (за необхідності).
3. Освітлення (за необхідності).
4. Сепарація жиру з усього об'єму або з частини молока для стандартиза-ції/нормалізації товарного продукту (питного молока) і подальшого виробництва вершків, масла та інших продуктів.
5. Введення вітамінів та інших наповнювачів (за необхідності).
6. Пастеризація або стерилізація.
7. Гомогенізація (за необхідності).
8. Дезодорація (за необхідності).
9. Розфасування, пакування і збереження, зокрема холодне збереження продуктів, що швидко псуються.
10. Транспортування готової продукції до місць реалізації.

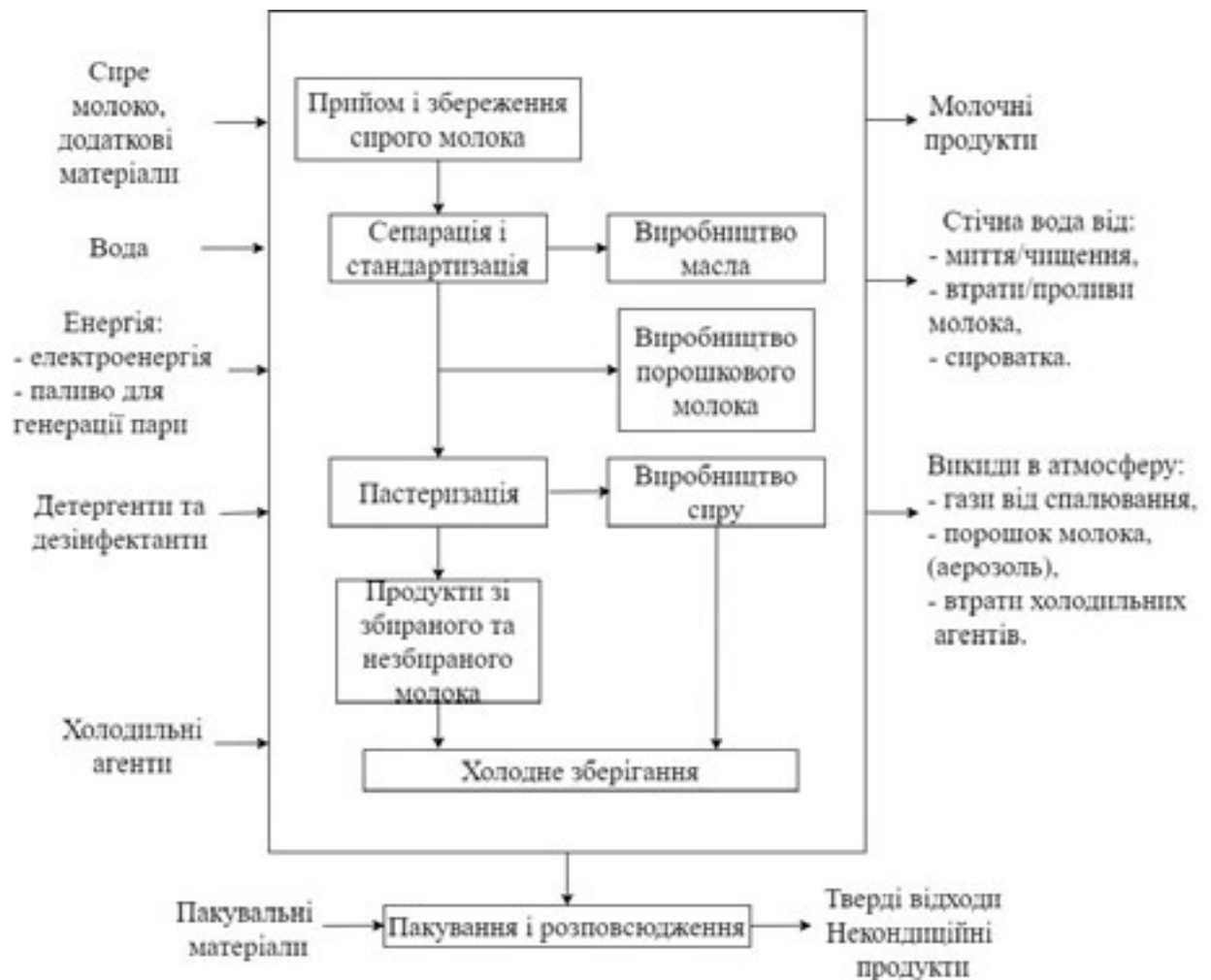


Рис. 4.1. Узагальнена схема вхідних та вихідних потоків ресурсів у виробництві молочної продукції [2].

Оброблення сирого молока на підприємстві є обов'язковою складовою всіх технологій молочних продуктів.

5. Виробництво питного молока і використання ресурсів

5.1. Опис технологічних процесів та апаратів для виробництва питного молока

5.1.1. Яке молоко називають питним?

Питне молоко – це стандартизоване/нормалізоване молоко, яке пройшло температурне оброблення [22]. Воно становить найбільшу частку виробництва молочної продукції як в Україні, так і в світі [6,7,25].

Первинне оброблення свіжого парного молока, яке зазвичай виконують на фермі, охоплює фільтрування, охолодження і транспортування на підприємства (підприємства можуть забирати молоко з ферм своїм транспортом). На підприємствах молоко обробляють повторно, щоб отримати товарне питне молоко. Розрізняють такі основні види товарного питного молока [21,22]:

- пастеризоване (нежирне та з вмістом жиру 1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 3,2; 3,5 і 6%);
- пряжене (нежирне та з вмістом жиру 1,0; 2,5; 4,0 і 6%);
- білкове (з вмістом жиру 1,0 і 2,5%);
- стерилізоване (з вмістом жиру 1,0 1,5, 2,5, 3,2 і 3,5%);
- вітамінізоване, а також молоко з наповнювачами (кавою, какао).

5.1.2. Основні технологічні процеси виробництва

Основні процеси, характерні для виробництва питного молока в молочній промисловості США (країни, яка є світовим лідером за обсягом виробництва товарного питного молока), та їх послідовність показано на рис. 5.1. [23].

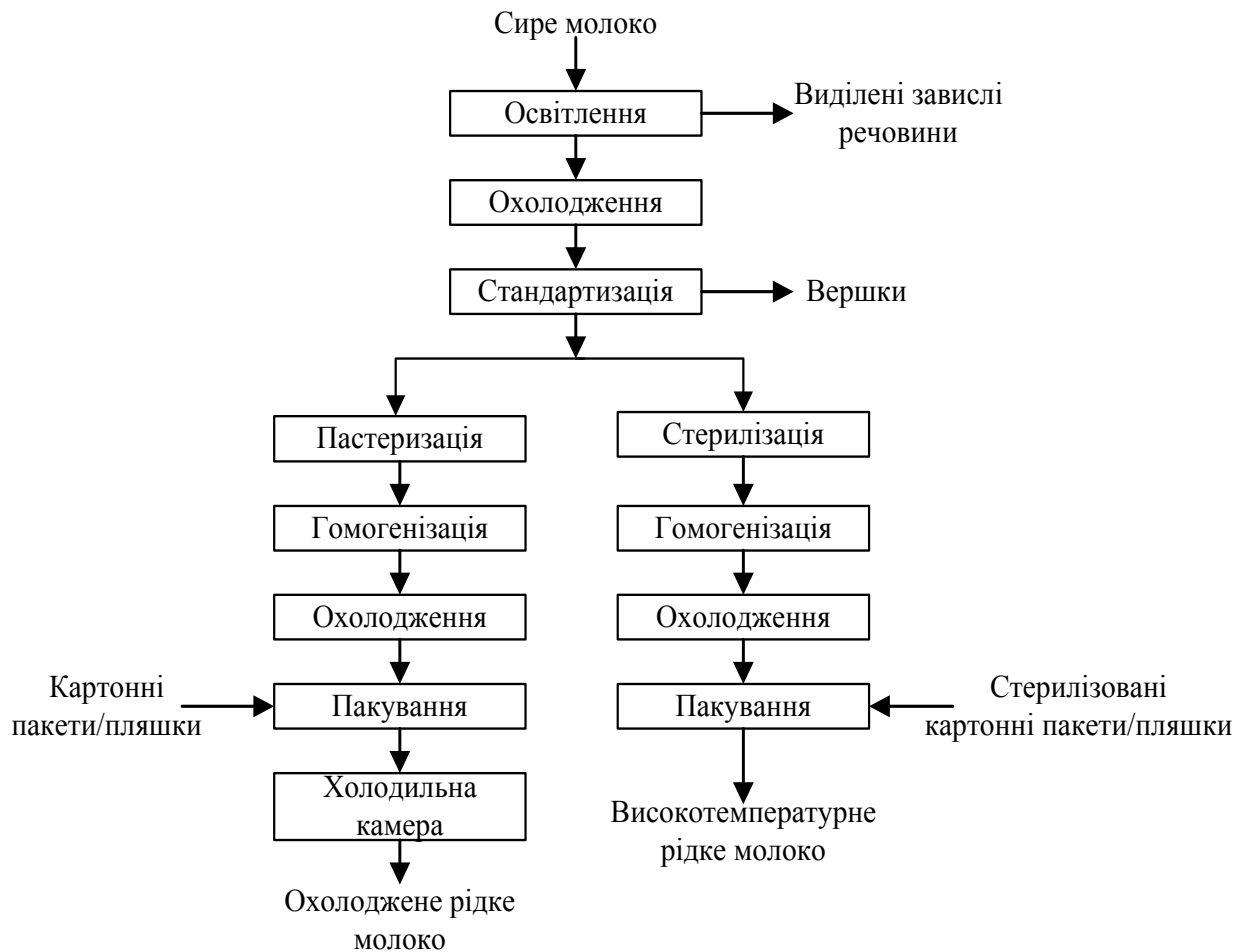


Рис. 5.1. Схема промислового виробництва питного молока у США.

Як згадувалося раніше, після надходження на підприємство сире молоко освітлюють (якщо потрібно) та охолоджують на декілька градусів для зберігання в ізотермічних резервуарах до подальшого оброблення. Далі відбуваються процеси сепарації-стандартизації та пастеризації (у США, як і в Україні, найпоширенішим є стандартизоване пастеризоване молоко). Гомогенізацію молока здійснюють після його пастеризації перед кінцевим охолодженням. Охолоджене молоко пакується і надходить у камери холодного зберігання, з яких його розповсюджують у пунктах продажу.

Процеси/операції та їхня послідовність під час виробництва питного молока, як й інших молочних продуктів, можуть варіюватися для окремих видів молока, індивідуальних підприємств та країн.

В Україні, як і в більшості Європейських країн, типове виробництво **пастеризованого питного** молока здійснюють за схемою, поданою у BREF [4,21]. Цю схему з вхідними та вихідними потоками ресурсів наведено на рис. 5.2.

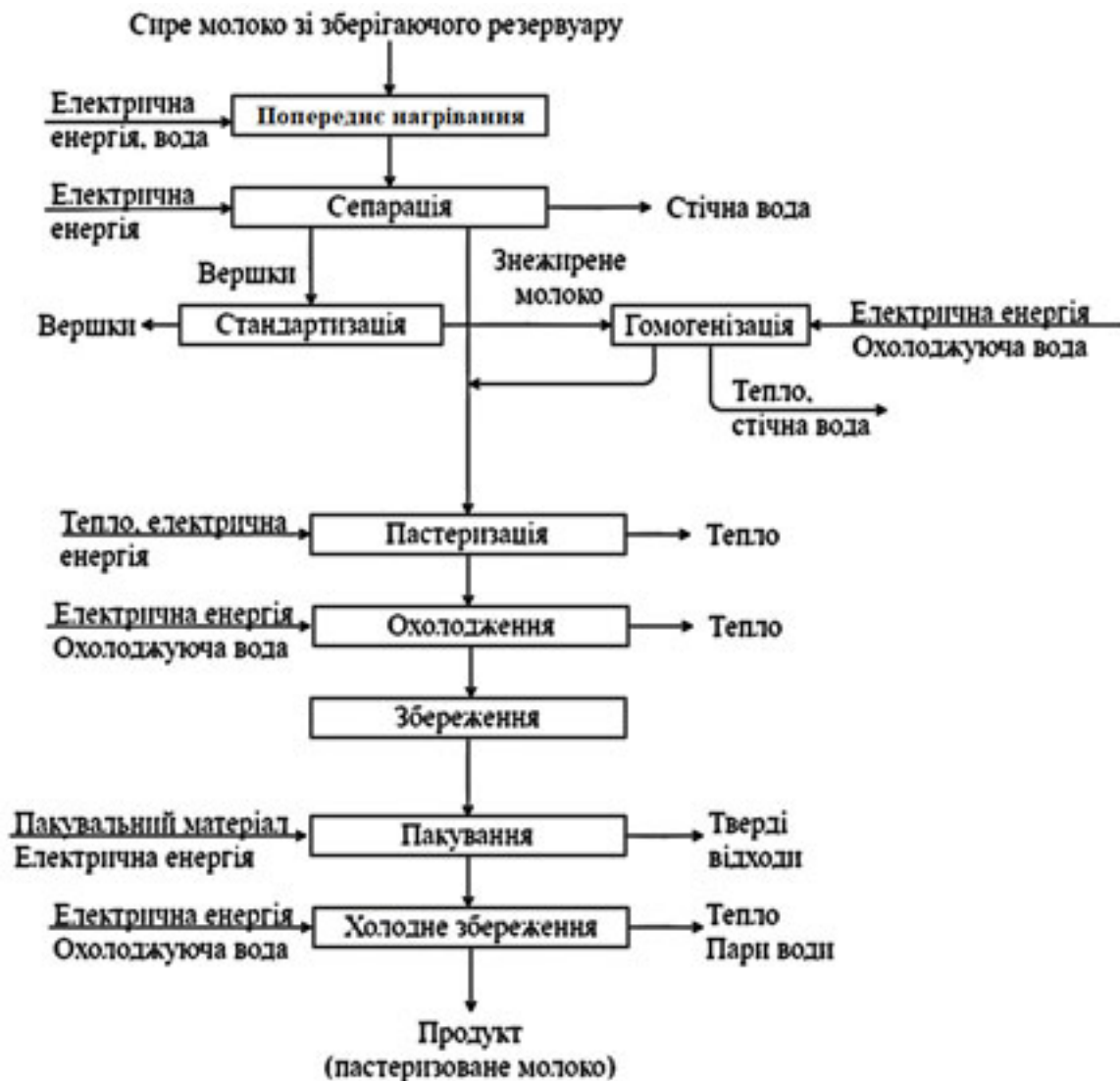


Рис. 5.2. Типова схема виробництва питного молока в Європі [4].

Сире охолоджене молоко, що надходить на підприємство, вміщують у зберігальний резервуар, з нього воно потрапляє на сепарацію-стандартизацію і гомогенізацію. Нормальною практикою вважають пастеризацію відразу після гомогенізації (для інактивації ліпази). Пастеризоване молоко швидко охолоджують до температури менш ніж 7°C. За необхідності, у пастеризоване молоко вводять наповнювачі – каву, какао, а також вітаміни (найчастіше вітамін С).

Гаряче молоко після пастеризатора часто використовують для попереднього підігрівання холодного молока, що надходить зі зберігального резервуару (рис. 5.2). Цей процес називають регенерацією тепла. Вхідне молоко гомогенізують після регенерації, перед пастеризацією. Послідовність дій слід визначати за оптимальними температурними режимами окремих процесів, враховуючи можливості найефективнішого використання термічної енергії молока, яке обробляють.

Стерилізоване молоко виробляють за технологічною схемою, показаною на рис. 5.3 [4]. Теплове оброблення для отримання стерилізованого молока складається з двох стадій: перша стадія – попередня стерилізація (виконують за безперервного теплового оброблення); друга – фінальне теплове оброблення – після асептичного розливання й укрупнювання молока в закритих пляшках (скляних або пластикових). Цей процес зазвичай відбувається в автоклавах за температури 110–125°C з витриманням 20–40 хв. Кінцева процедура – спринклерне охолодження. Товарне стерилізоване молоко зберігають за кімнатної температури.

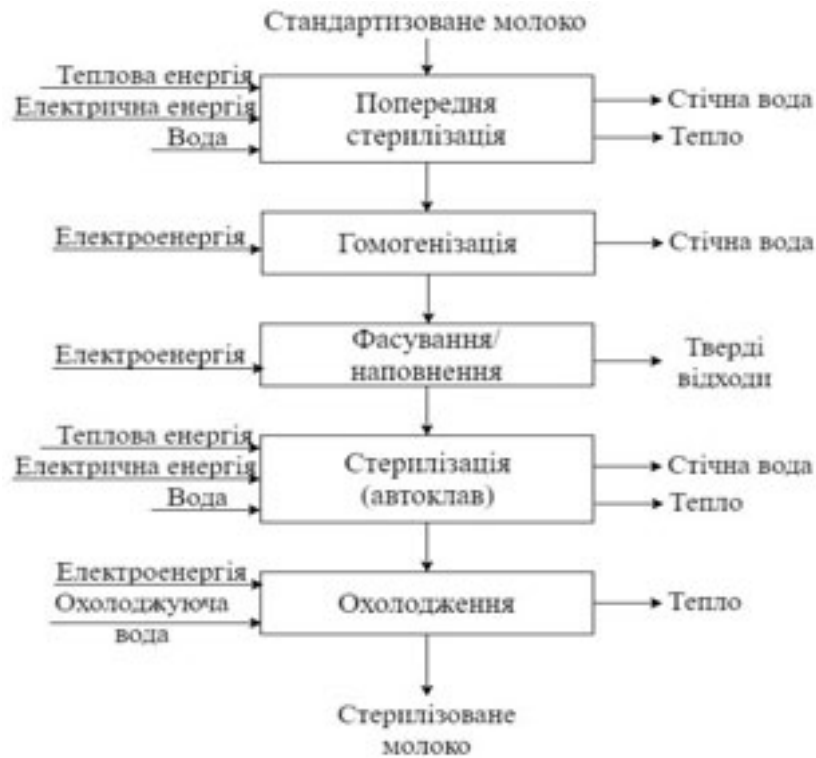


Рис. 5.3. Схема виробництва стерилізованого молока.

Одним із видів питного молока є **пряжене молоко**, яке у процесі виробництва піддається тривалому високотемпературному обробленню (від 95°C), завдяки чому набуває специфічного смаку, кольору та аромату.

5.1.3. Основне обладнання

Для зберігання сирого холодного молока до подальшого оброблення або перед розливанням і пакуванням готового пастеризованого продукту застосовують спеціальні резервуари. Приклад резервуара-охолоджувача, який використовують на українських підприємствах, наведено на рис. 5.4 [21]. Після кожного випорожнення резервуари підлягають миттю. Миття та дезінфікування резервуарів, а також іншого робочого обладнання та приміщення, виконують за інструкцією відповідно до санітарних правил [24].

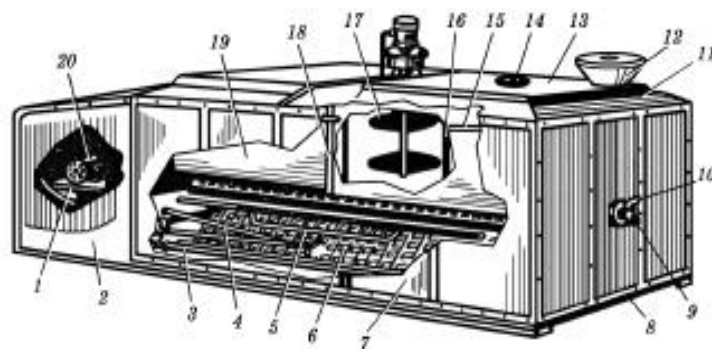


Рис. 5.4. Резервуар-охолоджувач молока: 1 – охолоджувальний агрегат; 2 – кожух охолоджувального агрегату; 3 – всмоктувальна труба водяного насоса; 4 – розподільний колектор фреону; 5 – колектор-збірник пари фреону; 6 – панельні випарники; 7 – корпус резервуара; 8 – зливний отвір акумулятора холоду; 9 – контрольний отвір рівня води; 10 – молочний кран; 11 – отвір для зливання води; 12 – молокоприймач із фільтром; 13 – кришка; 14 – люк; 15 – трубка водного зрошування; 16 – мірна лінійка; 17 – мішалки; 18 – термодатчик; 19 – молочна ванна; 20 – вентилятор.

Сире молоко після надходження на підприємство (за необхідності) очищують від механічних забруднень (освітлюють) за допомогою простих механічних фільтрів (з використанням фільтрувальних матеріалів), але найчастіше на підприємствах застосовують відцентрові молокоочисники. Оптимальна температура такого процесу становить 35–45°C, а це вимагає попереднього нагрівання молока. Молокоочисники можуть задіюватися в поточній технологічній лінії з теплообмінником-охолоджувачем молока (рис. 5.5) [21].

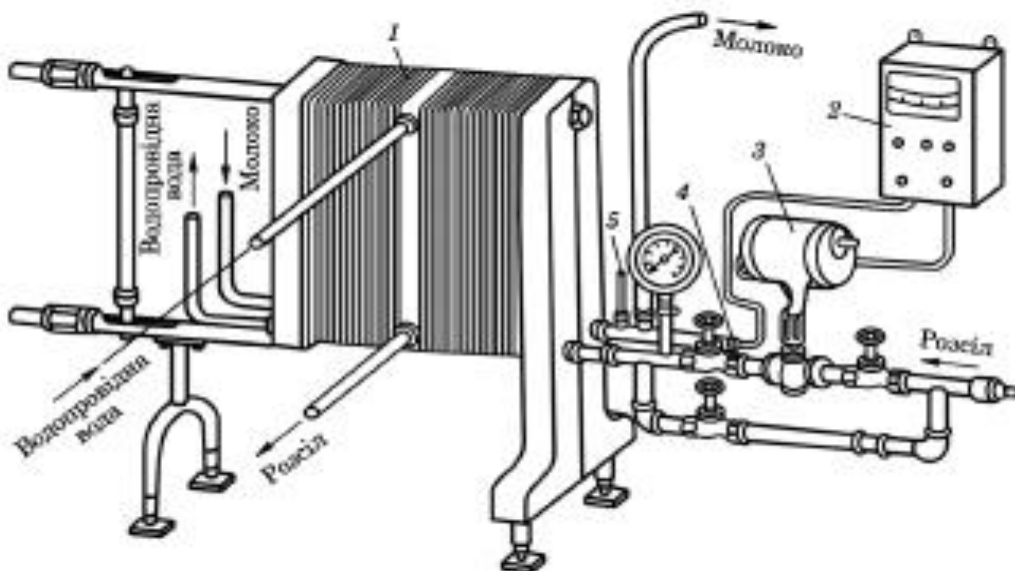


Рис. 5.5. Автоматизована пластинчаста установка для охолодження молока:
1 – пластинчастий теплообмінник; 2 – шафа керування; 3 – виконавчий механізм;
4 – термометр опору; 5 – ртутний термометр.

Для сепарації молока застосовують відцентрові сепаратори (рис. 5.6). У таких апаратах розділення молока на вершки і знежирене молоко відбувається під дією відцентрової сили в барабані, що обертається. Оптимальна температура для цього процесу становить 45–50°C. Після його закінчення через апарат пропускають знежирене молоко для видалення з барабана залишків вершків та незбираного молока. Для миття та дезінфекування сепаратор розбирають і виймають барабан.

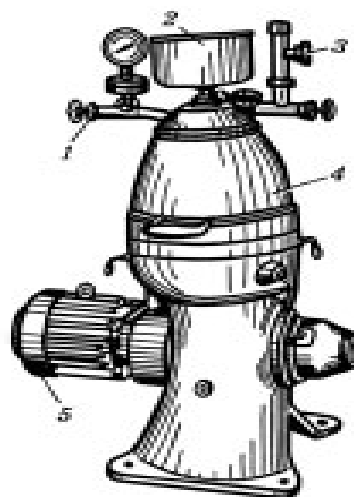


Рис. 5.6. Відцентровий сепаратор молока [21]:
1 – патрубок для знежиреного молока;
2 – приймальна лійка; 3 – патрубок для вершків;
4 – кришка барабана;
5 – електродвигун.

Стандартизацію/нормалізацію молока здійснюють як окрему операцію, змішуючи відсепаровані вершки і знежирене молоко, або в потоці, тобто в сепараторах-нормалізаторах, які зазвичай застосовують для нормалізації молока від більшої жирності до меншої [21]. Для зменшення жирності, крім знежиреного молока, може бути використана маслянка.

Для **гомогенізації** молока (за необхідності) найчастіше застосовують апарати-гомогенізатори клапанного типу. В них жирові кульки подрібнюються внаслідок проштовхування молока плунжерним насосом високого тиску через гомогенізувальну головку. Для ефективного перебігання процесу потрібно встановити тиск $15 \pm 2,5$ МПа і температуру $60\text{--}65^\circ\text{C}$ [21]. З підвищенням жирності продукту необхідний тиск зменшують.

Під час виробництва пастеризованого молока (яке не потребує високого ступеня гомогенізації) доцільним вважається застосування сепараторів-гомогенізаторів (сепараторів-диспергаторів), в яких відбуваються очищення молока і його гомогенізація, що дозволяє зменшити споживання енергії. Для економії енергії застосовують також двоступеневі гомогенізатори, які залучають у робочу лінію із сепараторами-вершковідокремлювачами, що дозволяє знизити робочий тиск до $8\text{--}10$ і $2\text{--}2,5$ МПа на 1-му та 2-му ступенях відповідно [21].

Пастеризація молока може здійснюватися в періодичному процесі або безперервно [21,23]. Ефективність впливу пастеризації на бактерії залежить від температури, тривалості процесу, а також від ступеня механічного забруднення молока. Періодичний процес (тривала пастеризація за порівняно невисокої температури $63\text{--}65^\circ\text{C}$) здійснюють у ваннах (або в інших посудинах із теплоізоляцією), у міжстінний простір яких заливають нагріту парою воду і витримують $25\text{--}30$ хв. Після цього в міжстінний простір подають холодну воду для охолодження пастеризованого молока [21].

Безперервний процес пастеризації, який вважають найбільш ресурсоефективним, здійснюють у теплообмінниках (трубчастих, пластинчастих) за температури $74\text{--}76^\circ\text{C}$ із витримуванням $15\text{--}20$ секунд або 85°C без витримування. Для постійного точного (дозованого) подавання молока в теплообмінники використовують шестеренні насоси або регулятори потоку, а для його витримування за потрібної температури – прокачують через трубки певної довжини. Після цього молоко швидко охолоджують до 6°C і спрямовують на пакування.

Використання регенерації тепла для охолодження пастеризованого і нагрівання вхідного молока дозволяє споживати $85\text{--}90\%$ теплової енергії від пастеризованого молока. Для кінцевого нагрівання вхідного молока за таких умов потрібна значно менша кількість пари, а для фінального охолодження пастеризованого молока – менша кількість холоду [23].

Для **наповнення тари і пакування** готового молока застосовують спеціальні автомати, які розливають молоко у картонні або поліетиленові пакети і пляшки.

Якщо обладнання для розливання молока є неналежно відлагодженим, то збільшуються втрати продукту (переливання або проливання під час наповнення тари). Кращі практики пакування оптимізують дизайн пакувальної тари для зручного перевезення й використання, враховуючи її об'єм і вагу [4].

У США для пакування питного молока використовують великі пластикові пляшки з поліетилену високої щільності (HDPE). І, незважаючи на те, що HDPE є одним із найбезпечніших пластикових матеріалів, там намагаються відшукати альтернативу пакувальним матеріалам (наприклад, видувати молочні пляшки з 5-відсоткового неорганічного наповнювача для зменшення кількості пластику) [13].

5.2. Характеристика споживання енергетичних ресурсів

Енергетичні ресурси (тепло та/або електроенергія) витрачаються в усіх процесах виробництва питного молока. Загальні витрати енергії на сучасних підприємствах молочної галузі становлять від 120 до 287 ккал на 1 кг сирого молока [1].

У Європейській молочній промисловості, за даними Європейської Асоціації молочних підприємств (2002) [4,26], загальне споживання енергії у виробництві питного молока та інших рідких продуктів (наприклад, йогурту) коливається від 0,09 до 1,11 ГДж на 1 т сирого молока (від 21,5 до 265,3 ккал на 1 кг сирого молока, менші показники стосуються виробництва молока).

Дані зі споживання різних видів енергетичних ресурсів для окремих процесів виробництва питного молока у США наведено в табл. 5.1 [23].

Таблиця 5.1. Питоме споживання різних видів енергетичних ресурсів для окремих процесів виробництва питного молока* у США [23]

№ з/п	Процес	Споживання енергії, ккал/кг				
		Пара	Паливо	Електро-енергія для охолодження	Електро-енергія на інші потреби	Разом
1.	Приймання і зберігання	–	7,2	10,0	–	17,2
2.	Освітлення / стандартизація	–	–	–	5,0	5,0
3.	Сепарація	–	–	–	10,0	10,0
4.	Пастеризація	51,2	–	–	–	51,2
5.	Гомогенізація	–	–	–	5,6	5,6
6.	Охолодження	–	–	47,3	–	47,3
7.	Деодорація	13,9	–	–	–	13,9
8.	Зберігання перед пакуванням	–	–	5,0	–	5,0
9.	Пакування	–	8,3	–	–	8,3
10.	Кінцеве зберігання	–	–	10,0	–	10,0

*Не надано споживання енергії для процесів чищення/миття

Найбільша кількість енергетичних ресурсів споживається для процесів теплового оброблення молока (пастеризації/стерилізації та ін.) і його охолодження. Значна частка енергії, що є співмірною з іншими основними процесами (табл. 5.1), витрачається в операціях чищення/миття установок, обладнання, посудин для зберігання тощо. Так, у молочній промисловості Данії споживання енергії сучасними мийними ресурсощадними системами CIP становить 9,5% від загального споживання енергії у виробництві питного молока [23]. Через споживання енергії викиди парникових газів підприємствами у процесах виробництва питного молока становлять (за даними, наведеними у праці [15,17]), 0,203 кг CO₂ екв. на 1 кг пакетованого питного молока, зокрема:

- на оброблення сирого молока (включаючи теплове оброблення, електроенергію, втрати холодоагенту) – 0,077 кг CO₂ екв.;
- на пакування (включаючи виробництво пакувальних матеріалів) – 0,054 кг CO₂ екв.,
- на розповсюдження (транспортування) – 0,072 кг CO₂ екв.

5.2.1. Споживання електричної енергії та заходи для зменшення її витрат

Типовими споживачами електричної енергії у виробництві питного молока є такі: холодильне обладнання і системи охолодження, насоси, електродвигуни установок для освітлення молока, його сепарації, змішування/стандартизації, насоси високого тиску в апаратах гомогенізації та автомати для розливання і пакування молока.

Потреби щодо освітлення робочих місць і приміщень стосуються загальнозаводських витрат електроенергії, тому їх розглянуто в розд. 13.

У молочній промисловості США на виробництво питного молока споживається найбільша частка електричної енергії молочних підприємств [23]. На Європейських підприємствах електричну енергію іноді використовують також для процесів нагрівання. За даними праці [4], споживання електричної енергії під час виробництва молока і йогурту коливається від 0,15 до 2,5 ГДж на 1 т сирого молока (35,85–597,5 ккал/кг сирого молока) [13] (більше, ніж загальне – 0,09–1,11 ГДж/т.)

5.2.1.1. Холодильне обладнання і системи охолодження

На виробництво холоду і роботу системи охолодження припадає більша частка електричної енергії від її сумарних витрат. Холодильні установки для генерації холоду зазвичай централізовано обслуговують процеси виробництва як питного молока, так й інших молочних продуктів. Обсяги споживання енергетичних та інших ресурсів у холодильних установках і заходи з підвищення ефективності їхнього використання надано у розділах 14 і 15.

Системи охолодження під час виробництва питного молока – охолодження сирого молока для його зберігання перед обробленням, охолодження в технологічних процесах оброблення молока та холодне зберігання готового продукту, – можуть споживати близько 3/4 електричної енергії [23]. У США типове питоме споживання електричної енергії на одиницю продукту у процесах охолодження молока становить 72,3 ккал/кг (табл. 5.2).

Для підвищення енергоефективності систем охолодження в процесах оброблення молока рекомендовано такі заходи [4] (вони є актуальними також для деяких інших молочних продуктів):

1. Застосовувати термоізоляцію труб, резервуарів і обладнання, що призначені для перенесення, зберігання або оброблення молока за температури, нижчої від навколишньої, а також обладнання для процесів, що пов'язані з охолодженням (див. п. 5.2.2).

2. Оптимізувати функціонування систем водяного охолодження для запобігання надлишковій продувці градирень (див. п. 15.2.4).

3. Для приготування крижаної води використовувати пластинчастий теплообмінник для попереднього охолодження води аміаком перед кінцевим охолодженням в акумулювальному резервуарі крижаної води зі змішувачем випарником.

Універсальні заходи з підвищення ефективності використання електричної енергії в системах охолодження наведено в п. 14.1.1.

5.2.1.2. Електродвигуни установок/апаратів та насоси

Відцентрові апарати для оброблення молока (молокоочисники для очищення/освітлення і сепаратори молока для стандартизації), гомогенізатори, змішувачі, насоси для перекачування та інше устаткування є досить потужними (після систем охолодження) споживачами електроенергії у процесах оброблення молока. У США типове споживання електроенергії на двигуни та насоси, без

урахування витрат на мийні апарати під час виробництва питного молока становить 20,6 ккал/кг продукту [23].

Деякі спеціальні й універсальні заходи рекомендовано для прямого зменшення витрат електричної енергії в цеху оброблення молока [4,19,20,23]:

1. Практикувати часткову гомогенізацію молока (технологія, коли відсепаровані вершки гомогенізують із невеликою кількістю знятого молока, а решта такого молока йде прямо із сепаратора на пастеризацію разом із гомогенізованими вершками). Сумарне споживання електроенергії може бути знижене на 65%.

2. Мінімізувати рециркуляцію продукту в лінії пастеризації за рахунок оптимізації місткості танків до і після пастеризації та/або адаптації потужності системи пакування продукції до потужності пастеризатора. Експлуатаційні витрати електроенергії та інших ресурсів можуть бути знижені на 30%.

3. Встановлювати частотні перетворювачі для зменшення навантаження на насоси і електродвигуни.

4. Застосовувати контролери частот на електродвигунах.

5. Мінімізувати навантаження на електродвигуни.

6. Мінімізувати втрати на електродвигунах.

7. Вимикати обладнання, коли його не використовують.

8. Імплементувати автоматичну програму вимикання світла й обладнання в цеху.

Більш ґрунтовно універсальні заходи для зменшення витрат електричної енергії під час роботи електродвигунів і насосів розглянуто в п. 14.1.3).

5.2.2. Споживання тепла і заходи з підвищення ефективності його використання

За споживанням тепла виробництво питного молока посідає друге місце після виробництва сиру в молочній промисловості США [23]. За даними Європейської Асоціації молочних підприємств [4,26], споживання теплової енергії (палива) у виробництві питного молока і йогурту коливається від 0,18 до 1,5 ГДж на 1 т сирого молока (43–358,5 ккал на 1 кг сирого молока).

Під час виробництва питного молока основними споживачами теплової енергії є апарати для пастеризації, стерилізації та інших видів теплового оброблення молока.

Основна кількість теплової енергії витрачається на генерацію пари й отримання гарячої води для процесів нагрівання і теплового оброблення (пастеризації/стерилізації) молока. Споживання теплової енергії для опалення виробничих приміщень належить до загальнозаводських витрат, тому розглянуто в розд. 13.

Для підвищення ефективності використання тепла рекомендовано такі заходи [4,20]:

1. Використовувати регенерацію тепла у процесах пастеризації та інших видів теплового оброблення молока (регенеративний теплообмін вхідного холодного і гарячого пастеризованого молока).

2. Застосовувати або покращувати теплоізоляцію труб, резервуарів і обладнання, призначених для транспортування, зберігання або оброблення молока за температури, вищої або нижчої від температури приміщення. Наприклад, якщо різниця температур становить понад 10°C, то покриття труб 30-міліметровим теплоізоляційним шаром і резервуарів для зберігання молока 50-міліметровим шаром зменшує втрати тепла/холоду на 82–86% [20].

3. Вилучати тепло з охолоджувального обладнання, використовуючи теплообмінники і зберігальні резервуари з теплою водою. Таким способом можна отримати теплу воду за температури 50–60°C. Вилучене тепло може бути використане для перебігу наступних процесів:

- нагрівання водопровідної води;
- нагрівання повітря для вентиляції;
- попереднього нагрівання мийних розчинів;
- попереднього нагрівання молока.

Загальні заходи з підвищення ефективності використання тепла на молочних підприємствах розглянуто в розд. 14, зокрема ресурсощадні заходи для генерації та розподілення пари – у п. 14.2.1, заходи з підвищення використання тепла у процесах пастеризації/стерилізації/теплового оброблення – у п. 14.2.2, які є актуальними у процесах виробництва питного молока.

5.3. Характеристика водокористування

5.3.1. Процеси/операції з використанням води

Вода використовується здебільшого для миття/хімічного чищення і дезінфекції трубопроводів, установок, обладнання, резервуарів, а також робочих приміщень; для охолодження в технологічних процесах.

За даними праці [1], на Європейських підприємствах типове споживання води для виробництва питного молока становить 1,0–1,5 л на 1 л обробленого молока. Зазвичай чим більший обсяг виробництва продукту, тим менше питоме споживання води [4].

Дані зі споживання води під час виробництва молока і йогурту в країнах Північної Європи, а також в цілому в Європі [20], наведено у табл. 5.2.

Таблиця 5.2. Питоме споживання води у виробництві питного молока і йогурту в країнах Європи

Країна	Споживання води, л/л сирого молока	Джерело
Швеція	0,96–2,8	BREF [4], Nordic Council of Ministers, 2001 [20]
Данія	0,60–0,97	[4,20]
Фінляндія	1,2–2,9	[4,20]
Норвегія	4,1	[4,20]
Європейський Союз загалом	0,8 (мін.) – 25 (макс.) л/кг сирого молока, з охолоджувальною водою включно	BREF [4], European Dairy Association, 2002 [26]

5.3.2. Основні місця втрат води і продукту

Основні джерела втрат молока, що можуть становити 3–4%, – залишки в резервуарах, робочих ділянках установок і трубах, протікання в місцях з'єднання труб, а також процеси переливання і проливання, зокрема у разі наповнення молочної тари під час пакування. Підприємства, що використовують кращі техніки/технології, знижують сумарні втрати продукту у виробництві питного молока до 1%.

Характерні місця втрат молока та їхня відносна кількість (за умов застосування кращих практик) [4]:

- миття резервуарів сирого молока і пов'язаного з ним обладнання (з використанням автоматичних систем миття CIP) – 0,3%;
- оброблення сирого молока (здебільшого випорожнення відцентрового сепаратора) – 0,1%;

- миття ємностей для зберігання готового продукту і пов'язаного з ним обладнання – 0,3%;
- Переповнення тари під час наповнення/пакування – 0,2%;
- Проливання молока під час пакування – 0,1%;
- Сумарні втрати молока – 1%.

Також можливі втрати молока під час його транспортування в автомобільних (або залізничних) цистернах на підприємство, але, за українськими нормами, допустимі норми таких втрат молока становлять 0,1% [21].

5.3.3. Утворення стічних вод та їхня характеристика

За даними Європейської Асоціації молочних підприємств [4,26], кількість стічних вод, що утворюється під час виробництва молока і йогурту на європейських підприємствах, може становити від 0,9 до 25 м³ на 1 т обробленого молока за споживання свіжої води 0,8–25 м³/т молока.

На підприємствах Австрії [4,27] середній об'єм стічних вод під час виробництва «білих» продуктів (молока, вершків, йогурту) становить 3 л/кг сирого молока.

Стічні води цеху оброблення молока містять переважно молоко і продукти його оброблення (незбиране молоко, знежирене молоко і вершки), які втрачаються у процесі виробництва, а також детергенти, кислотні та лужні мийні агенти. Втрати молока у процесі його виробництва спричиняють забруднення стічних вод за ХСК, зокрема ХСК молока становить 200 г/л [18]. За рахунок негерметичності (протікання) насосів може втрачатися до 4% сумарної кількості води, яку споживає підприємство.

Дані щодо забруднення стічних вод цеху приймання сирого молока та від миття цистерн (для різних основних продуктів, що виробляють підприємства) наведено у табл. 5.3 і 5.4.

Таблиця 5.3. Забруднення, що потрапляють у стічну воду із цеху приймання сирого молока

Основний продукт підприємства	Стічна вода, м ³ /т молока	ХСК*, кг/т молока	Жири, кг/т молока
Товарне молоко	0,03–0,09	0,1–0,4	0,01–0,04
Масло	0,07–0,10	0,1–0,3	0,01–0,02
Сир	0,16–0,23	0,4–0,7	0,006–0,03
Сир «Navarti»	0,60–1,00	1,4–2,1	0,2–0,3

*ХСК –показник забруднення стічної води речовинами, що окиснюються.

Таблиця 5.4. Забруднення, що потрапляють у стічну воду після миття цистерн

Основний продукт	Стічна вода, м ³ /т молока	ХСК, кг/т молока	Жири, кг/т молока
Товарне молоко	0,08–0,14	0,2–0,3	0,04–0,08
Сир «Navarti»	0,09–0,14	0,15–0,40	0,08–0,24

За українським стандартом, допустимі норми втрати молочного жиру під час зважування та очищення молока становлять 0,03%, а під час підігрівання та сепарації молока (основний продукт – вершки) – 0,17–0,24% (менша норма – за більшої продуктивності сепаратора – понад 3 т/год [21]).

5.3.4. Заходи для зменшення споживання води і забруднення стічних вод у процесах виробництва питного молока

Універсальні заходи для підвищення ефективності використання води на підприємствах молочної галузі наведено в розд. 15.

Надамо спеціальні технічні/технологічні рекомендації для зменшення споживання і відведення води, а також рівня забруднення стічних вод у процесах виробництва питного молока (переважно для великих підприємств, із середньою кількістю молока понад 200 т/день) [4; 20]:

1. Використовувати пастеризатори безперервної дії замість пастеризаторів періодичної дії, у результаті чого можна досягти наступного ефекту: разом зі зниженням споживання енергії зменшується утворення стічних вод, переважно за рахунок уникнення проміжного промивання обладнання.

2. Зменшувати частоту миття/чищення сепараторів молока за рахунок покращення процесу фільтрування/освітлення сирого молока (підвищення ступеня очищення від завислих частинок), результатом чого буде зменшення споживання свіжої води і забруднення стічних вод.

3. Використовувати контролери рівня та автоматичні системи перекриття рідкого потоку для запобігання проливанню із ємностей і під час випорожнення резервуарів.

4. Використовувати CIP-системи для процесів миття, а для великих підприємств із розгалуженою системою труб – декілька CIP-систем замість однієї централізованої системи (актуально також для виробництва інших молочних продуктів).

5. Застосовувати систему «компонентного наповнення» тари/пляшок, яка дозволяє здійснювати стандартизацію/нормалізацію питного молока під час наповнення тари/пляшок у процесі пакування готового продукту, завдяки чому зменшуються втрати молока під час наповнення тари і забруднення стічних вод.

6. Максимально вилучати залишки молока під час первинного миття/ополіскування обладнання водою за рахунок виявлення точок переходу між продуктом і водою за допомогою встановлення на автоматизованій лінії миття пристроїв для вимірювання густини, електропровідності, встановлення оптичних сенсорів, датчиків тощо.

7. Під час запускання лінії виробництва молока (для автоматизованих ліній виробництва) визначати точки переходу вода-продукт (див. п. 6) для мінімізації втрат молока. Ефект: зменшення втрат продукту знижує забруднення стічних вод за БСК на 30% (за результатами вимірювання провідності) та на 50% (за допомогою оптичних сенсорів).

8. Забезпечувати повне випорожнення резервуарів, ємностей установок і труб та використовувати засоби для механічного чищення/всмоктування з метою видалення залишку молока перед хімічним чищенням.

9. Наближатися до показників споживання води і відведення стічних вод під час виробництва питного молока, які відповідають кращим практикам (у разі використання заходів, рекомендованих у документах BREF): споживання води – 0,6–1,8 л/1 л молока; відведення стічних вод – 0,8–1,7 л/1 л молока [4]. Наданий діапазон показників зумовлений різними обсягами виробництва й асортиментом молока, кліматичними умовами, видом охолоджувальної води (наприклад, підземної) та іншими умовами.

6. Виробництво кисломолочних продуктів і споживання ресурсів

6.1. Основні види кисломолочних продуктів

Кисломолочним називають молочний продукт, який виробляють ферментацією/сква-шуванням молока (маслянки, сироватки) або вершків спеціальними мікроорганізмами [22]. У процесі сквашування під дією молочнокислих бактерій, ферментів та інших речовин відбуваються певні фізико-хімічні зміни складових частин молока, результатом яких є коагуляція білків та утворення згустку.

В Україні за обсягом виробництва кисломолочні продукти посідають друге місце після питного молока [2,3]. Історично виробляють такі національні види кисломолочних продуктів [28], як сир кисломолочний, сметана, сироватка, ряжанка, ацидофілін та ін., які виготовляють із молочної сировини із застосуванням заквасок на чистих культурах молочнокислих та інших бактерій, і кефір – із застосуванням заквасок на кефірних грибах. Основний асортимент продуктів такий [22]: кефір (з вмістом жиру 1; 2,5; 3,2; 6%, а також нежирний), кисле молоко (кисляк із жирністю 1; 2,5; 3,2; 6% і нежирний), ацидофілін, варенець, ряжанка, йогурт, сметана (із жирністю 10; 15; 20; 25 і 30%), кисломолочний сир різної жирності, сиркові та інші вироби. У Західних країнах популярним кисломолочним продуктом є йогурт.

6.2. Опис загальної технології виробництва

Кисломолочні продукти отримують двома способами – резервуарним і термостатним.

Резервуарним називають спосіб, за яким сквашування та визрівання кисломолочних продуктів відбувається в резервуарах, потім їх розливають у спожиткову тару.

Термостатним називають спосіб, за яким сквашування та визрівання кисломолочних продуктів відбувається у спожитковій тарі.

Загальну схему виробництва кисломолочних продуктів (на прикладі кефіру) показано на рис. 6.1 [21]. Після дев'яти загальних процесів/операцій для двох способів виробництва зліва на схемі показано операції/процеси для резервуарного способу, справа – для термостатного способу виробництва кисломолочних продуктів.

У технології виробництва кисломолочних продуктів важливе значення має режим пастеризації, оптимальна температура якої для кисломолочних продуктів становить 85–87°C із витриманням 5–10 хв, або 90–92°C – із витриманням 2–3 хв. Теплове оброблення молока поєднують із гомогенізацією, яка, за температури 55–60°C і тиску 17,5 МПа, покращує консистенцію продуктів і запобігає відокремленню сироватки [21]. Після пастеризації та гомогенізації молоко швидко охолоджують до температури заквашування (наприклад, для кефіру – 20–25°C) і подають у резервуар для заквашування. В охолоджене молоко вливають підготовлену бактеріальну закваску (в кількості 5% від об'єму молока). Далі, за термостатним способом виробництва, молоко розливають у спожиткові пляшки або пакети, закупорюють і вміщують у термостат для сквашування, яке, залежно від виду продукту та закваски, триває від 2,5–3 до 5–7 год. Після сквашування продукцію негайно переміщують у холодильну камеру, де вона охолоджується до менш ніж 8°C і витримується 6–12 год для визрівання.

Натомість за резервуарним способом виробництва кисломолочних продуктів охолодження, заквашування, сквашування молока і визрівання продукту відбуваються в одній ємності. Після визрівання продукт перемішують (для порушення згустку), розливають у спожиткову тару і спрямовують на холодне зберігання. Охолодження до температури сквашування (температура залежить від виду кисломолочного продукту) здійснюється у двостінному резервуарі або в потоці (у теплообміннику) за допомогою крижаної води (за температури 1–2°C). Під час виробництва продуктів зі знежиреного молока з технології вилучають процеси стандартизації/нормалізації та гомогенізації.



Рис. 6.1. Загальна схема виробництва кисломолочних продуктів.

6.3. Особливості виробництва окремих кисломолочних продуктів і використання води та енергії

За даними праці [1], під час виробництва кисломолочних (ферментованих) продуктів типове споживання основних ресурсів (води, енергії) приблизно таке саме, як і під час виробництва питного молока (табл. 6.1).

Таблиця 6.1. Типове споживання ресурсів у виробництві питного молока та ферментованих молочних продуктів на Європейських підприємствах [1]

№ з/п	Вид ресурсу	Споживання на 1 л обробленого молока
1.	Вода	1,0–1,5 л
2.	Енергія	0,1–0,2 кВт·год
3.	Стічна вода	0,9–1,4 л

6.3.1. Виробництво кисломолочного сиру

Кисломолочний сир – це білковий кисломолочний продукт, який виготовляють сквашуванням пастеризованого незбираного і/або знежиреного молока, що спричиняє коагуляцію білків, та виокремленням частини сироватки з отриманого згустку. В Україні продукт виробляють з вмістом жиру від 0 до 19%. [21]. Виготовлення цього продукту має свої особливості.

У виробництві кисломолочного сиру застосовують два основні способи коагуляції білків:

1. Кислотний (коагуляція відбувається внаслідок молочнокислого бродіння);
2. Кисотно-сичужний (коагуляція білків відбувається під дією молочної кислоти і сичужного ферменту).

Перший спосіб (економічно ефективніший) застосовують для виробництва нежирних і напівжирних кисломолочних сирів, другий – для виробництва жирних і напівжирних кисломолочних сирів. Технологічну схему виробництва кисломолочного сиру наведено на рис. 6.2. Пастеризація здійснюється за температури $78 \pm 2^\circ\text{C}$ із витриманням 15–20 с, температура сквашування становить $28\text{--}32^\circ\text{C}$. Сквашування відбувається у двостінних ваннах. Побічним продуктом/відходом виробництва кисломолочного сиру є кисла сироватка. Свіжу сирну сироватку використовують для охолодження сиру після самопресування. Сироватку завчасно пастеризують за $78 \pm 2^\circ\text{C}$ і охолоджують до 5°C і нижче. Тривалість охолодження сиру в сироватці становить 15–25 хв. Однією порцією сироватки охолоджують не більше 2–3 ванн із сиром.

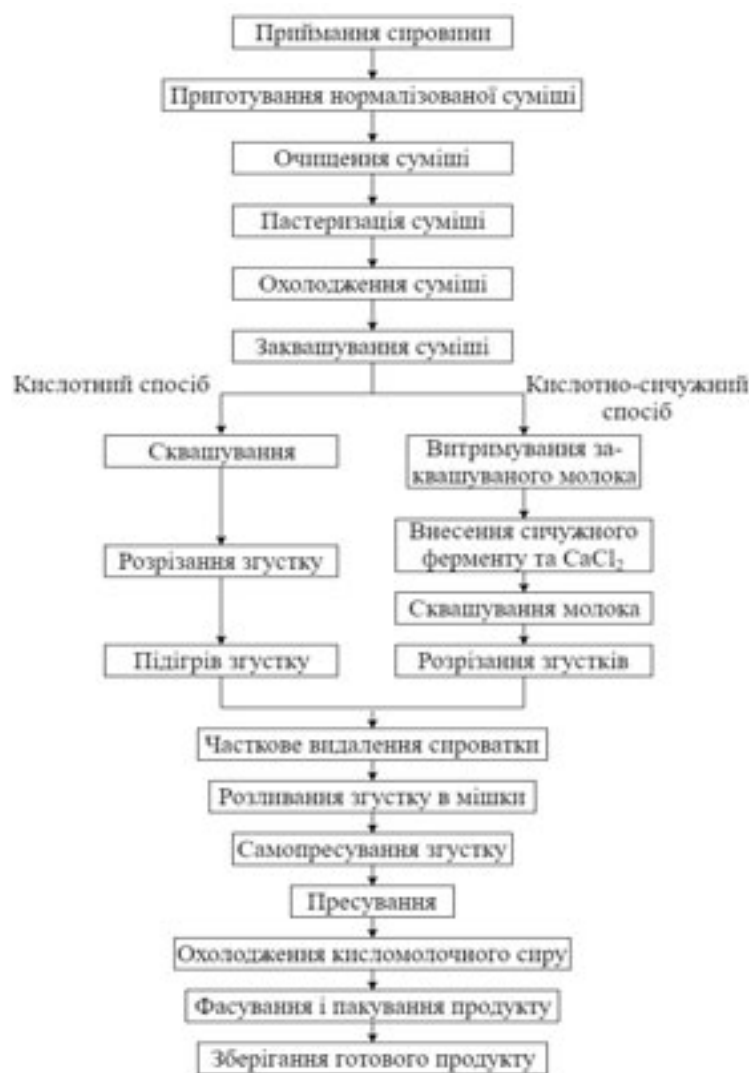


Рис. 6.2. Схема виробництва кисломолочного сиру [21].

6.3.2. Виробництво рідких продуктів

Технології виробництва окремих рідких кисломолочних продуктів (див. загальну схему на рис. 6.1) розрізняють переважно за видами заквасок, температурою і тривалістю сквашування (наприклад, для кефіру температура сквашування становить 20–25°C, тривалість – 10–12 год; для ряжанки – 40–42°C, 4–5 год; для кислого молока (кисляку) звичайного – 35–37°C; для кислого молока Південного – 45–48°C, 3–4 год).

Сметану виготовляють із пастеризованих вершків, сквашених чистими культурами молочнокислих стрептококів (загальну схему подано на рис. 6.2).

Гомогенізовані вершки пастеризують за температури $86 \pm 2^\circ\text{C}$ із витримуванням 2–10 хв, або $94 \pm 2^\circ\text{C}$ – із витримуванням 20 с. Залежно від масової частки жиру гомогенізацію виконують за тиску 8–12 МПа (10–20% жиру) і 7–11 МПа (25–30% жиру). Температура заквашування сметани становить $30 \pm 2^\circ\text{C}$, температура охолодження і визрівання – 4–6°C впродовж 6–12 год [21].

Типову схему виробництва йогурту наведено на рис. 6.3 [23].



Рис. 6.3. Схема виробництва йогурту [23].

6.4. Утворення продуктивних відходів та стічних вод і заходи для зменшення обсягів забруднення

На підприємствах Австрії [4,27] середній об'єм стічних вод під час виробництва «білих» продуктів (молока, вершків, йогурту) становить 3 л/кг сирого молока.

Втрати продукту/напівпродукту у процесах виробництва кисломолочних продуктів призводить до збільшення органічного забруднення стічних вод. Так, йогурт характеризується ХСК від 2 до 300 тис. мг/л залежно від вмісту жиру і цукру (цукор має ХСК 1,3 кг/кг) [18]. Інші кисломолочні продукти, такі як сметана, кефір, ряжанка, особливо з підвищеним вмістом жиру, під час надходження у стічну воду призводять до високих показників забруднення за БСК і ХСК. Українські норми допустимих втрат продукту під час виробництва сметани у повному циклі перероблення сирого молока на підприємстві наведено в табл. 6.2.

Таблиця 6.2. Норми втрат продукту під час виробництва сметани [21]

№ з/п	Операція	Норми втрат, %
1.	Приймання молока	0,02
2.	Охолодження, зберігання, підігрівання та сепарація	0,26
3.	Зберігання та витрати молока на аналізи	0,06
4.	Пастеризація вершків	0,20
5.	Нормалізація та сквашування вершків	0,23
6.	Фасування сметани у фляги та витрати на аналізи	0,07
	РАЗОМ	0,84

У технологічних лініях виробництва і в лініях наповнення/пакування рідких кисломолочних продуктів, як і питного молока, у разі зміни типу продукту (наприклад, продукти з різною жирністю, різними домішками тощо) може виникати проблема утворення зон змішування «продукт-продукт». Для зменшення втрат продуктів рекомендовано збирання та утилізацію сумішей продуктів, а саме [20]:

1. Суміші, що містять лише молоко або вершки, можуть бути висушені до стану порошку.
2. Суміші, що містять ферментовані продукти, можна збирати окремо і продавати фермерам як корм для тварин; такі суміші можуть концентруватися ультрафільтрацією (УФ).
3. Для уникнення проміжного промивання має бути правильно спланована послідовність продуктів, щоб «зона змішування» була включена в певний продукт.
4. Якщо продукти із «зони змішування» збирають окремо, їх можна пакувати і продавати (наприклад, персоналу) за зниженою ціною.
5. Для зменшення кількості «перехідних сумішей» установлювати на лінії наповнення/пакування оптичні сенсори для зниження кількості перехідних сумішей на 30–40%.
6. Збирати суміші «вода-продукт» після запускання лінії виробництва і/або після першого промивання обладнання та утилізувати їх вищеназваними способами.

Наведемо спеціальні заходи для зменшення об'єму стічних вод та їхнього забруднення з урахуванням специфіки кисломолочних продуктів та їхнього виробництва [18,19,21]:

1. Для уникнення/зменшення надходження йогурту у стічну воду, як і, власне, інших кисломолочних продуктів, важливим заходом є збирання відходів продукту в спеціальні контейнери замість того, щоб змивати їх шлангом з підлоги. Це актуально для рідких продуктів, які втрачаються, наприклад, під час наповнення споживчої тари для зменшення утворення стічних вод та рівня їх забруднення.

2. Під час виробництва сметани з вершків для витіснення заквашених вершків із резервуарів (що оснащені відповідним запобіжним обладнанням) може бути використано очищене стиснуте повітря під тиском $0,05 \pm 0,02$ МПа. Ефект: зменшення втрат продукту, об'єму і рівня забруднення стічних вод.

3. Під час виробництва йогурту треба враховувати можливість збільшення показника забруднення за БСК₅ (біологічне споживання кисню за 5 діб) та за речовинами, що осідають, якщо контейнери для фруктів очищує автоматизована система; для уникнення додаткового забруднення рекомендовано вживати запобіжні заходи.

4. Забезпечувати повне дренажування всіх систем (виробництва) ефективним проектуванням і веденням процесу.

5. Приймати сирі матеріали в тарі, яку можна повторно використовувати, або в зберігальних резервуарах.

6. Свіжу кислу сироватку, що утворюється під час виробництва кисломолочного сиру, використовувати для охолодження сиру після самопресування та інших цілей. Не скидати її у стічну воду. Для кисломолочних продуктів є також актуальними заходи з п. 5.3.4. Інші (універсальні) заходи з ефективного водокористування під час виробництва молочних продуктів наведено в розд. 15.

6.5. Споживання енергії та заходи для її збереження

У виробництві кисломолочних продуктів споживаються всі види енергії – теплова енергія пари (для теплового оброблення, підігрівання), електроенергія (для охолодження продуктів/проміжних продуктів, для електродвигунів установок і насосів), а також паливо для транспортування і (за необхідності) процесів прямого нагрівання.

На молочних підприємствах Південної Європи сумарне питома споживання енергії під час виробництва молока і кисломолочних продуктів коливається від 0,07 до 0,45 кВт·год/л обробленого молока (табл. 6.3).

Таблиця 6.3. Орієнтовні дані із сумарного (питомого) споживання енергії під час виробництва молока і кисломолочних продуктів на підприємствах країн Північної Європи [20]

№ з/п	Країна	Споживання енергії, кВт·год/л обробленого молока
1.	Швеція	0,11–0,34
2.	Данія	0,07–0,09
3.	Фінляндія	0,16–0,28
4.	Норвегія	0,45

Споживання різних видів енергетичних ресурсів для окремих процесів виробництва кисломолочного сиру і йогурту в США показано у табл. 6.4 [23].

Таблиця 6.4. Питоме споживання енергетичних ресурсів (на одиницю продукції) для процесів виробництва кисломолочного сиру і йогурту* в США

№ з/п	Процес	Споживання енергії, ккал/кг				Разом
		Пара	Паливо	Електро-енергія для охолодження	Електро-енергія на інші потреби	
1.	Приймання і зберігання	–	7,2	10,0	–	17,2
2.	Освітлення/стандартизація	–	–	–	5,0	5,0
3.	Сепарація	–	–	–	10,0	10,0
4.	Пастеризація, охолодження	1,1	–	1,1	–	2,2
5.	Варіння	22,8	–	–	–	22,8
6.	Формування, промивання, охолодження	–	–	–	1,1	1,1
7.	Обсушування	–	2,2	–	–	2,2
8.	Додавання вершків	–	–	–	1,1	1,1
9.	Пакування	–	–	–	0,56	0,56
10.	Кінцеве зберігання	–	–	3,9	–	3,9

*Не показано споживання енергії для процесів чищення/миття

Для збереження енергії у виробництві більшості кисломолочних продуктів є актуальними спеціальні заходи з розд. 5.

Універсальні заходи для зменшення споживання енергетичних ресурсів під час виробництва молочних продуктів висвітлено в розд. 14.

6.6. Тверді відходи та зменшення обсягів їхнього утворення

Тверді відходи, що супроводжують виробництво, – це передусім пакувальні матеріали і некондиційні продукти. Продукти з перевищеним терміном зберігання, зіпсованою упаковкою, з недонаповненою спожитковою тарою тощо, можуть бути використані для годування тварин, а їхні упаковки – для утилізації (рециркуляції або спалювання з отриманням тепла). Для пакування кисломолочних продуктів рекомендовано замінювати алюмінієві кришки на паперові з тонкою пластиковою плівкою, що збільшує можливості їхньої утилізації, а саме [20]:

- утилізація пакувальних матеріалів для вилучення енергії/спалювання, зокрема в індивідуальних домогосподарствах;
- збирання і рециркуляція пакувальних матеріалів з картону (наприклад, для виготовлення упаковок для яєць).

7. Виробництво вершкового масла і використання ресурсів

7.1. Основні види та способи виробництва вершкового масла. Опис типового технологічного процесу

Вершкове масло є одним із найпопулярніших молочних продуктів в Україні. За обсягом виробництва воно, разом із сирами, посідає третє місце після питного молока і кисломолочних продуктів. Залежно від складу продукту й особливостей технології розрізняють близько 15 видів масла [21], які виготовляють зі свіжих або сквашених вершків, із різною масовою часткою жиру, з різними наповнювачами тощо.

В Україні виробляють такі основні види масла вершкового [21]:

- солодковершкове – отримують зі свіжих пастеризованих вершків; масова частка жиру – $\geq 82,5\%$, вологість – $\leq 16\%$; може бути солоним і несолоним;
- кисловершкове – утворюється під дією сквашування свіжих пастеризованих вершків чистими культурами молочнокислих бактерій; масова частка жиру – $\geq 82,5\%$, вологість – $\leq 16\%$;
- вологодське – виробляють зі свіжих вершків, які пастеризують за високої температури; масова частка жиру – $\geq 82,5\%$; вологість – $\leq 16\%$;
- любительське – виробляють зі свіжих вершків; масова частка жиру – $\geq 78\%$, вологість – до 20%; може бути солодковершковим і кисловершковим, солоним та несолоним;
- селянське – з вологістю до 25% і масовою часткою жиру $\geq 72,5\%$;
- масло з наповнювачами (шоколадним, фруктовим, медовим) із часткою жиру 52–62%;
- інші види масла, які отримують за різними режимами теплового та механічного оброблення вершкового масла і вершків (наприклад, топлене, плавлене, збите).

Застосовують два основні способи виготовлення вершкового масла: збивання вершків і перетворення високожирних вершків [21]. Спосіб збивання вершків ґрунтується на одержанні масляного зерна з вершків середньої жирності з наступним механічним обробленням. Типову схему процесу наведено на рис. 7.1 [21]. Вершки утворюються і збираються у процесі сепарації-стандартизації молока. Призначені для виробництва масла вершки (які містять 35–40% молочного жиру [4]) підлягають пастеризації ($t = 85^\circ\text{C}$ і більше), після чого їх охолоджують до температури дозрівання і витримують певний період. Молочний жир кристалізується, що полегшує наступну операцію – збивання, яке може бути періодичним або безперервним. У процесі збивання утворюються жирова фаза (масляні зерна) і водна фаза (маслянка). Масляні зерна промивають водою для видалення залишків маслянки і спрямовують (за необхідності) на операцію соління. Далі зерна масла змішують і пресують (обробляють продавлюванням – екструдуванням) для утворення єдиної однорідної маси.



Рис. 7.1. Типова схема процесу виробництва масла способом збивання вершків [21].

Масляну масу нарізають для отримання порцій певного розміру і форми й пакують у папір або фольгу. Розфасований та упакований товар надходить на холодне зберігання. Схеми можуть варіюватися залежно від виду масла, яке виробляють. Під час виробництва кислотовершкового масла в технології з'являється процес мікробіологічного дозрівання вершків (рис. 7.2) [4].

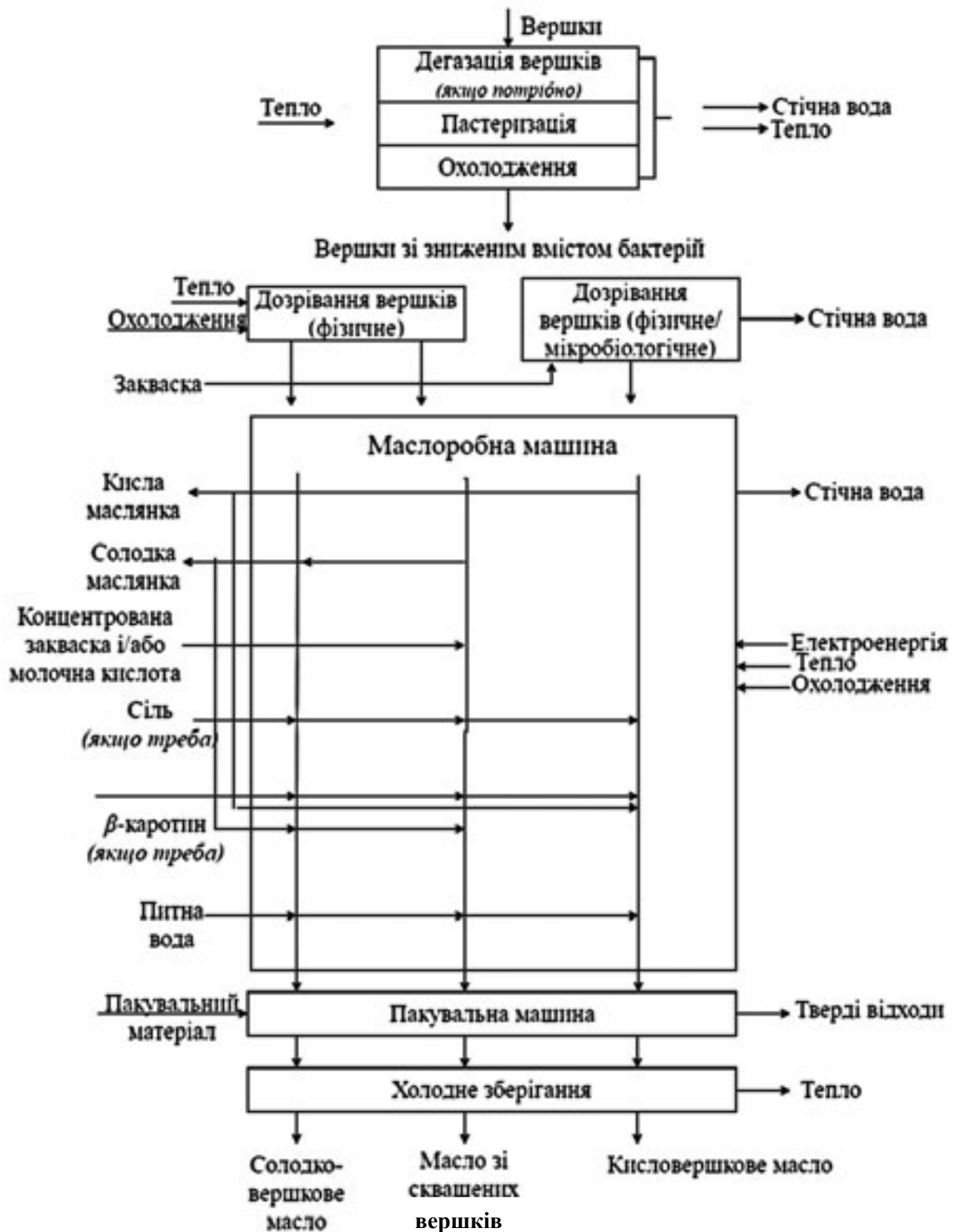


Рис. 7.2. Схема виробництва різних видів масла в безперервному процесі.

Другий спосіб виробництва масла – перетворення високожирних вершків – здійснюють таким чином: після сепарації молока і пастеризації вхідних вершків здійснюють їх повторну сепарацію для отримання високожирних вершків (з виокремленням маслянки) і термічне оброблення із застосуванням апарата-маслоутворювача [21]. Ефективність технології виробництва масла, витрати сировини значною мірою залежать від вмісту жиру в молоці та вершках, хімічного складу молочного жиру, ступеня його дисперсності. З підвищенням жирності молока зменшуються витрати сирого молока (табл. 7.1), а також вміст жиру в побічних продуктах (знежиреному молоці й маслянці).

Таблиця 7.1. Питомі витрати молока на виробництво масла залежно від жирності сирого молока [21]

№ з/п	Вміст жиру в молоці, %	Витрати молока, т на 1 т несолоного масла жирністю 82,7%*
1.	3,0	28,53
2.	3,5	24,40
3.	4,0	21,31
4.	4,5	18,91
5.	5,0	17,0

*Втрата жиру з побічними продуктами зменшується від 3,38 до 2,71%.

7.2. Характеристика споживання енергетичних ресурсів

Виробництво вершкового масла належить до достатньо енергоємних технологій. За даними праці [23], основний вид енергії (більше половини), що витрачається на виробництво масла у США, – енергія пари для теплових процесів, решта – електроенергія для охолодження та роботи електродвигунів і насосів. Дані щодо питомого споживання різних видів енергії (на одиницю продукту) в основних процесах виробництва вершкового масла у США наведено у табл. 7.2 [23].

Таблиця 7.2. Питоме споживання різних видів енергетичних ресурсів в основних процесах виробництва вершкового масла у США

№ з/п	Споживачі*	Споживання енергії*, ккал/кг				Разом
		Пара	Паливо	Електроенергія для охолодження	Електроенергія на інші потреби	
1.	Процес охолодження	–	–	97,3	–	97,3
2.	Двигуни установок	–	–	–	10	10
3.	Процес пастеризації	199,6	–	–	–	199,6

*Не враховано споживання енергії для процесів чищення/миття. У молочній промисловості Данії системи CIP споживають у середньому 26% енергії від її споживання в усіх процесах виробництва масла.

Дані зі споживання енергії на підприємствах Північної Європи, що виробляють питне молоко і ферментовані продукти (див. табл. 6.3), лише незначно збільшуються, якщо до них додається виробництво масла [20].

На виробництво масла в молочній промисловості США припадає найбільша частка (як і для рідкого молока) електричної енергії [23].

Електрична енергія використовується для процесів охолодження, сепарації, перемішування, збивання, для роботи насосів та інших електродвигунів. Тепло витрачається переважно на теплове оброблення та нагрівання проміжних продуктів. За споживанням тепла в молочній промисловості США виробництво масла посідає (разом із рідким молоком) друге місце [23].

Загальні заходи для зменшення споживання електричної енергії і тепла, подані в розд. 14, є актуальними для процесів виробництва масла.

7.3. Характеристика водокористування

Воду під час виробництва вершкового масла використовують переважно для процесів охолодження і миття/чищення. Обсяги споживання води для виготовлення масла зазвичай оцінюють разом зі споживанням води для виробництва питного молока і кисломолочних продуктів (табл. 6.1) з невеликим збільшенням споживання, якщо на цих підприємствах виробляють також масло. AWARENET [27] надає дані щодо утворення стічних вод у молочній промисловості Австрії за групами продуктів виробництва. Для виробництва «жовтих продуктів», до яких належить вершкове масло, середня кількість стічних вод становить 4 л/кг вхідного молока. Заходи для зменшення споживання води в маслоробному цеху стосуються здебільшого підвищення ефективності функціонування системи охолодження та повторного використання води (п. 15.2.4) і системи миття/чищення (п. 15.2.3), а також належного господарювання (п. 15.2.1).

7.4. Утворення побічних продуктів та продуктових відходів

Основним побічним продуктом під час виробництва вершкового масла є маслянка (див. підрозд. 7.1), яку можна не скидати у стічні води, а використовувати як продукт, наприклад як основу для маложирних спредів [21]. Крім того, маслянку можна використовувати у процесах стандартизації/нормалізації, зокрема для зменшення жирності питного молока замість знежиреного молока (див. підрозд. 1.6).

Під час підготовки вершків для виробництва масла можливі втрати сировини (молока) і, відповідно, молочного жиру. Компоненти молока мають такі показники за ХСК: 1 кг молочного жиру еквівалентний 3 кг ХСК, 1 кг лактози – 1,13 кг ХСК, 1 кг протеїну – 1,36 кг ХСК [18; 29]. Втрати цих речовин спричиняють значне органічне навантаження на стічні води.

Українські норми втрат молока і жиру під час надходження з молочної ферми й оброблення молока на підприємстві для виробництва вершків подано у табл. 7.3 [21].

Таблиця 7.3. Норми втрат молока і жиру під час надходження з молочної ферми й оброблення молока на підприємстві для виробництва вершків

№ з/п	Операція/процес	Втрати молока, %	Втрати жиру, % за продуктивності сепаратора	
			>3 т/год	<3 т/год
1.	Транспортування в авто- або залізничних цистернах	0,10	–	–
2.	Зважування та очищення молока	–	0,03	0,03
3.	Підігрівання та сепарація молока	–	0,17	0,24
4.	Охолодження та зберігання вершків	–	0,16	0,19

7.5. Спеціальні заходи для зменшення забруднення стічних вод

Через високу в'язкість вершків і масла їхні втрати з промивною водою під час чищення/миття обладнання можуть бути значними і негативно впливати на якість стічних вод, оскільки показник ХСК жиру є високим (див. підрозд. 7.4). Крім того, жир забруднює трубопроводи каналізаційної системи.

Наведемо спеціальні заходи, що залежать від специфіки продукту та його виробництва, для ефективного водокористування [4,18-21]:

1. Для запобігання втратам продукту та його надходженню у стічні води повністю видаляти залишки масла і вершків з маслоробної машини наприкінці процесу перед чищенням/миттям. Для видалення залишків слід використовувати пару або гарячу воду.
 2. Для зменшення втрат і зниження забруднення стічних вод (передусім молочним жиром) нагрівач вершків перед чищенням рекомендовано промивати знежиреним молоком, яке потім можна використовувати у виробництві. Так само рекомендують вимивати вершки з трубопроводів.
 3. Для зменшення втрат масла і його надходження у стічні води залишки масла у трубах можна видаляти стиснутим повітрям.
 4. Видаляти (збирати) залишки масла з підлоги. Використовувати їх для перероблення або для годування тварин. Не скидувати у дренажну систему.
 5. Для миття труб/обладнання використовувати вдосконалену CIP-систему, що розрізняє продукт і воду (під час попереднього ополіскування чистою водою); це запобігає потраплянню продукту в бак із детергентом, зберігає промивну воду для повторного використання і зменшує забруднення стічної води.
 6. Встановлювати жировловлювачі для стічних вод маслоробного цеху або флотатори для видалення жиру зі стічних вод. Відділений жир використовувати для виробництва біогазу.
 7. Для виробництва масла використовувати молоко з максимально високою жирністю, що зменшує витрати сировини (молока) і втрати жиру з побічними продуктами (див. табл. 7.1).
 8. Приділяти особливу увагу таненню некондиційних упакованих продуктів, призначених для перероблення. Для танення використовувати непряме нагрівання, оскільки пряме нагрівання гарячою водою генерує жирну стічну воду.
- Загальні заходи для підвищення ефективності водокористування в молочній промисловості висвітлено в розд. 15.

7.6. Тверді відходи та ресурсощадні заходи

Основна маса твердих відходів утворюється на стадії споживання готової продукції. З метою ефективнішої утилізації упаковок рекомендують замість алюмінієвої фольги для пакування масла використовувати двошаровий жирорезистентний папір із проміжним шаром поліетилентерефталату (ПЕТ). Відпрацьовані упаковки з нового матеріалу можуть бути утилізовані для виробництва енергії спалюванням (зокрема в індивідуальних домогосподарствах) [20].

8. Виробництво сичужних сирів і використання ресурсів

8.1. Основні види сирів

Сир визначають як концентрат молока, отриманий коагуляцією білків (згортання молока), який складається переважно з казеїну та молочного жиру. Рідина, що залишається, – це сироватка (плазма молока).

У світі та в Україні відомо багато видів сирів, у тому числі національних, кожен з яких має свої особливості виготовлення. Проте розрізняють загальні основні етапи, які є характерними для виробництва сирів, такі як: отримання коагуляту (згустку молока) за допомогою сичужного ферменту (ферменту шлункового соку телят, який перетворює казеїн молока на параказеїн) і молочної кислоти, відокремлення згустку від сироватки і оброблення згустку для отримання потрібних характеристик сиру* [4]. (*Виробництво кисломолочного сиру в Україні розглянуто у п. 6.3.1).

Певні властивості сиру формуються в результаті мікробіологічних та біохімічних процесів. За офіційною класифікацією сирів, залежно від вмісту вологи, поділяють сири на такі: екстра твердий (менш ніж 41% вологи), твердий, напівтвердий, напівм'який і м'який (понад 67% вологи). За вмістом

жиру розрізняють сири високожирні (понад 60% жиру), жирні, середньожирні, низькожирні і вершкові (менш ніж 10% жиру). Залежно від специфіки оброблення сири класифікують так: А (наприклад, моцарела), В (зокрема чеддер), С, D, E, F (фета) [2,20].

8.2. Опис загального технологічного процесу

Придатність сирого молока для виробництва сичужних сирів визначають передусім за його здатністю до згортання під дією сичужного ферменту. Виробництво сичужних сирів охоплює такі процеси/операції [21]:

- оцінювання якості молока та визначення його сиропридатності;
- приймання молока;
- очищення молока;
- охолодження молока (8–10°C);
- зберігання і визрівання молока (8–10°C, 10–15 год);
- складання нормалізованої суміші (контроль за вмістом жиру, казеїну тощо);
- очищення (35–40°C);
- пастеризація нормалізованої суміші (72–75°C);
- охолодження до температури згортання (32–35°C);
- внесення необхідних компонентів;
- згортання молока під дією сичужного ферменту;
- оброблення згустку та становлення зерна;
- формування сиру;
- пресування або самопресування;
- маркування свіжого сиру;
- визначення маси сиру після пресування;
- соління сиру;
- обсушування сиру після соління;
- визрівання сиру та догляд у процесі визрівання;
- оброблення зрілого сиру та маркування;
- пакування і зберігання.

Загальну схему виробництва сиру з основними потоками ресурсів наведено на рис. 8.1 [4].

У технології виготовлення окремих видів сирів можуть застосовувати специфічні процеси.

Розглянемо поширену в Україні технологію виробництва сиру [21].

Для виробництва сиру важливе значення має температура пастеризації нормалізованої молочної суміші (72–75°C), оскільки за вищої температури здатність молока до згортання суттєво погіршується або взагалі втрачається.

Для заквашування на 100 кг молочної суміші вводять такі компоненти: 10–40 г 0,3-, 0,4-, 0,5-відсоткової бактеріальної закваски, 40-відсоткового розчину CaCl₂ (закваску готують за температури 80–90°C) і 2,5 г порошку сичужного ферменту. Згортання молочної суміші здійснюється за температури 20–42°C (25–90 хв); для отримання щільного згустку температуру підтримують у межах 32–35°C. Сирний згусток, що утворюється в результаті згортання молока, здатний виділяти вологу (сироватку). Для прискорення відокремлення сироватки згусток обробляють у сирних ваннах за допомогою спеціальних інструментів (ножів, мішалок) для розрізання і розмішування згустку до отримання сирного зерна.



Рис. 8.1. Загальна схема виробництва сиру [4].

Сирну ванну для оброблення сирного згустку [21] за температури оброблення до 56–58°C (залежить від виду сиру) показано на рис. 8.2.

Для подальшого відокремлення сироватки після вимішування сирного зерна його нагрівають повторно до 38–42°C (тривалість 10–20 хв), або 47–60°C (тривалість 25–40 хв), наприклад, додаванням 5–20% гарячої води за температури 65–75°C.

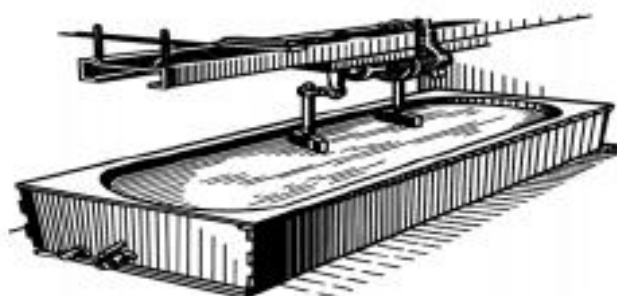


Рис. 8.2. Двостінна сирна ванна з механічними мішалками для оброблення сирного згустку.

Обробляти згусток і отримувати сирне зерно можна також у спеціальних сировиготовлювачах [21]. Далі виконують обсушування сирного зерна і формування сирного моноліту зі створенням замкнутої кірки на його поверхні. Способи формування сиру залежать від виду сиру. Наступні операції – самопресування і пресування сиру для додаткового відокремлення сироватки й підвищення щільності. Пресування здійснюють на пресах з тиском 0,1–0,5 МПа від 2–3 до 15 год. Соління сиру зазвичай здійснюють у соляних басейнах у 18-, 19-, 20-відсотковому водному розчині солі, що циркулює за температури від 5 до 12°C. Під час соління за рахунок осмотичного руху відбувається додаткове відокремлення сироватки від сиру. Для відновлення розсолу, що циркулює, щодня (або за необхідності), його очищують, нормалізують, пастеризують і охолоджують. Сир визріває в камерах/приміщеннях із різною температурою – від 8–10 до 18–25°C. Залежно від стану сирів їх періодично промивають водою для очищення від сирного слизу і цвілі. Для запобігання втраті вологи і розвитку плісняви через 1–2,5 місяці визрівання поверхню голівок сиру парафінують.

Зрілі сири пакують у полімерні плівки (поліетилен, целофан, повіден, саран) на спеціальних машинах. Готову продукцію зберігають у холодильних камерах за температури 2–5°C нижче нуля.

8.3. Характеристика водокористування

8.3.1. Споживання води і заходи для ефективного водокористування

Оцінювання «водного сліду» молочної промисловості США [13] показує, що під час виробництва сирів за повний життєвий цикл продукту споживається 1,37 м³ води на 1 кг товарного/спожитого сиру. За даними праці [1], у промисловому виробництві сиру і товарної сироватки витрачається 1,4–2,0 л води на 1 л обробленого молока, при цьому утворюється 1,2–1,8 л стічних вод на 1 л обробленого молока.

Дані зі споживання води у виробництві сиру на підприємствах Європейських країн наведено в табл. 8.1.

Таблиця 8.1. Питоме споживання води під час виробництва сиру і сироватки у країнах Європи

Країна	Споживання води, л/л сирого молока	Джерело
Швеція	2,0–2,5	BREF [4], Nordic Council of Ministers, 2001 [20]
Данія	1,2–1,7	[4,20]
Фінляндія	2,0–3,1	[4,20]
Норвегія	1,4–4,6	[4,20]
Європейський Союз загалом	1,0 (мін.) – 60 (макс.) л/кг сирого молока, з охолоджувальною водою включно	BREF [4], European Dairy Association, 2002 [26]

Для зменшення споживання води рекомендовано наступні спеціальні заходи у виробництві сиру [20]:

- застосовувати автоматизоване (у безперервному процесі) миття сирних форм, із повторним використанням кінцевої промивної води для попереднього промивання. Ефект: економія води, тепла та електроенергії;
- застосовувати повністю автоматизовані мийні машини для миття стелажів і рам замість ручного миття. Таким чином можна економити воду, електроенергію та тепло.

8.3.2. Втрати продукції та утворення стічних вод

Під час виробництва сичужних сирів близько 85–90% спожитої води потрапляє у стічні води. Стічні води утворюються майже в усіх процесах виробництва: під час підготовки очищеного, пастеризованого і нормалізованого/стандартизованого молока для його перероблення на сир (опис процесів – у розд. 5), отримання сирного згустку в сирних ваннах, сироробних машинах тощо, пресування та самопресування сирного згустку, соління, визрівання, розрізання і пакування сиру, – як у вигляді втрат процесної/технологічної води та продукту, так і у вигляді мийної води.

За даними Європейської Асоціації молочних підприємств [4,26], кількість стічних вод, що утворюється під час виробництва сиру на підприємствах Європи, становить від 0,7 до 60 м³/т обробленого молока (за умови споживання свіжої води – 1–60 м³/т сирого молока).

На підприємствах Австрії [4,27] середній об'єм стічних вод під час виробництва «жовтих» продуктів (сиру, масла) становить 4 л/кг сирого молока. Підприємства країн Північної Європи, які виробляють виключно сир (і сироватку), скидають стічних вод від 0,77–1,4 л/л (Данія) до 3,2 л/л сирого молока (Норвегія) [20].

Під час виробництва сирів утворюються рідкі відходи виробництва – велика кількість сироватки (аж до 90% від маси молока), яка призначена для виробництва сиру (див. підрозд. 3.2, 8.2). Через великий об'єм і високу концентрацію органічних речовин, а також корисні властивості сироватки, як харчового продукту, її не можна скидати зі стічною водою, оскільки це створює проблему її відокремлення та утилізації. Методи утилізації/оброблення сироватки розглянуто в розд. 11. Товарну цінність має солодка сироватка, яка утворюється під час згортання молока сичужним ферментом. Натомість кисла і солена сироватка, що утворюються під дією молочної кислоти та під час соління, є менш цінними, тому потребують окремого поводження з ними.

Типові втрати продукції (яка може надходити в стічні води) у повному промисловому циклі виробництва сиру (або сиру та товарної сироватки) наведено в табл. 8.2. Характерне забруднення стічних вод від виробництва сиру показано в табл. 8.3.

Таблиця 8.2. Втрати продукції та утворення стічних вод під час виробництва сиру (за даними праці [1]).

№ з/п	Продукт, який виробляють	Втрата продукту, %			Утворення стічних вод, л/л молока
		Молоко	Жир	Сироватка	
1.	Сир твердий	0,20	0,10	1,6	–
2.	Сир і концентрована сироватка	0,20	0,10	2,2	1,2–1,8
3.	Сир і порошкоподібна сироватка	0,20	0,10	2,3	1,2–1,8

Таблиця 8.3. Склад і вміст забруднювачів стічної води (мг/л) від виробництва сиру [4,27]

Показник	Виробництво з відділенням сироватки	Виробництво без відділення сироватки
БСК ₅	2 397	5 312
ХСК	5 312	20 559
Жири	96	463
Азот загальний	90	159
Фосфор загальний	26	21

За даними праці [18], під час виготовлення сиру (і вершкового масла) скидання забруднень за показником ХСК у стічну воду може сягати 115,5 кг на 1 т продукту (максимальний показник). Крім продуктових забруднень, у стічні води надходять також хімікати, які використовують для операцій миття/чищення обладнання, труб тощо. Споживання хімікатів у виробництві сиру і сироватки наступне (на 100% продукту) [20]:

- гідроксид натрію (NaOH) – 0,4–5,4 кг/ 1000 л вхідного молока;
- азотна кислота (HNO₃) – 0,6–3,8 кг/1000 л вхідного молока;
- дезінфікувальні агенти – 0,01–0,2 кг /1000 л вхідного молока.

8.3.3. Спеціальні заходи для зменшення утворення стічних вод та їхнього забруднення

Для запобігання потраплянню сироватки та інших забруднень у стічні води і втратам корисних продуктів у виробництві сиру рекомендовано такі заходи [2,4,19,20]:

1. Максимізувати вилучення свіжої сироватки та її використання для виробництва товарних продуктів (див. розд. 11).
 2. Забезпечувати відокремлення солоної сироватки (не змішувати її із солодкою або кислою сироваткою).
 3. Мінімізувати появу кислої сироватки, забезпечувати відведення і збирання витоків і переливань розсолу з ванн для соління, щоб запобігти потраплянню у стічні води.
 4. Зменшувати вміст дрібних фракцій жиру та сиру в сироватці; проціджувати рідкі потоки для виокремлення і збирання цих фракцій.
 5. Збирати розсіпані шматочки сиру і використовувати їх для повторного оброблення або як корм для тварин замість змивання їх водою у дренажну систему, в результаті чого вони потрапляють у стічну воду.
 6. Продовжувати термін використання розсолу для соління сиру і запобігати його скиданню у стічну воду, підтримуючи мікробіологічну стабільність розсолу мікрофільтрацією.
 7. Запобігати переливанням із сирних ванн.
 8. Повністю видаляти залишки сирного зерна і сироватки з ванн перед промиванням водою.
 9. Відокремлювати дрібні шматочки сиру від сироватки та інших рідких потоків, наприклад охолоджувальної води.
 10. Якщо надлишковий розсіл скидається у стічну воду, то сироватка та інші забруднювальні домішки потрібно заздалегідь видалити.
 11. Відпрацьовану воду після прямого охолодження сиру можна очищувати зворотним осмосом (ЗО) і повторно використовувати для миття замість безпосереднього скидання у стік.
 12. Щонайменше, відпрацьована охолоджувальна вода має бути очищена (фільтруванням, сепарацією) перед скиданням у каналізацію.
- Загальні заходи з підвищення ефективності водокористування, що стосуються виробництва всіх молочних продуктів, наведено в розд. 15.

8.4. Характеристика споживання енергетичних ресурсів

Виробництво сирів – це одне з найбільш енергоємних виробництв у молочній промисловості. У Західній Європі, США, Канаді та інших країнах світу витрати ресурсів на виробництво сиру зазвичай розглядають одночасно з витратами на утилізацію/оброблення побічного продукту його виробництва – сироватки, що потребує використання, головним чином енергетичних ресурсів.

8.4.1. Дані про споживання енергії в повному циклі й у промисловому виробництві сирів

Дані зі споживання енергії та викидів ПГ для повного циклу виробництва* різних видів сирів та порошкоподібної сироватки у США наведено у табл. 8.4 [30].

Таблиця 8.4. Споживання енергії та викиди парникових газів у повному циклі виробництва* різних видів сирів та порошкоподібної сироватки у США

№ з/п	Продукт	Споживання енергії МДж/кг сиру (ккал/кг)	Викиди ПГ, кг CO ₂ екв./кг сиру
1.	Сир «Чеддер»	51,1 (12 213)	8,7
2.	Сир «Моцарела»	46,0 (10 994)	7,5
3.	Середній натуральний сир	49,3 (11 783)	8,3
4.	Суша сироватка	59,4 (14 197)	12,4

*Повний життєвий цикл продуктів охоплює: виробництво корму (для тварин) і молока на молочній фермі, транспортування, оброблення, перероблення молока в товарний сир і сироватку, пакування, транспортування, продаж, споживання і скидання відходів [30].

У сирній підгалузі США [13] на етап сільськогосподарського виробництва кормів для корів припадає 17% викидів ПГ, на промислове виробництво сиру та порошку сироватки і їх транспортування – 11%, на споживання продуктів – 4% (частка від викидів молочної галузі). Повний цикл виробництва сиру і товарної сироватки дає 0,7% сумарних викидів ПГ у США [14]. Обсяги споживання енергетичних ресурсів на етапі промислового виробництва сиру в США подано в табл. 8.5.

Таблиця 8.5. Питоме споживання різних видів енергетичних ресурсів для окремих процесів* у промисловому виробництві сиру в США [23]

№ з/п	Споживачі	Споживання енергії, ккал/кг			
		Пара	Електроенергія для охолодження	Електроенергія на інші потреби	Разом
1.	Процес пастеризації	40	–	–	40
2.	Процес заквашування	3,3	–	–	3,3
3.	Сироробна ванна	99	–	–	99
4.	Кінцева ванна	4,4	–	–	4,4
5.	Процес варки/пастеризації	51	–	–	51
6.	Двигуни, насоси	–	107,3	360,3	467,6

*Не враховано споживання енергії для процесів чищення і миття. За даними праці [23], у молочній промисловості Данії системи СІР споживають у середньому 19% енергії від її споживання в усіх процесах виробництва сиру.

У Європі, за даними Європейської Асоціації молочних підприємств [4,26], межі витрат енергії у виробництві сиру становлять 0,06–2,08 ГДж на 1 т обробленого молока* (14,3–497,1 ккал/кг молока) залежно від виду сиру і технології виробництва (*припускають, що густина молока становить 1 кг/л). На виробництво сиру і сироватки витрачається електричної енергії від 0,08 до 2,9 ГДж на 1 т

(19,1–693 ккал/кг) сирого молока, а теплової енергії (палива) – від 0,15 до 4,6 ГДж на 1 т (35,85–1099 ккал/кг) сирого молока [4,26]). Найбільше палива використовують для оброблення сироватки.

Типове сумарне споживання енергії під час виробництва сиру та товарної сироватки на Європейських підприємствах, за даними праці [1], становить 0,2–0,3 кВт·год на 1 л обробленого молока.

Дані зі споживання енергії для виробництва сиру і сироватки в окремих країнах Північної Європи наведено в табл. 8.6.

Таблиця 8.6. Споживання енергії під час виробництва, у виробництві сиру та сироватки в окремих країнах Північної Європи (дані для підприємств, які виробляють виключно сир) [20]

Країна	Споживання енергії, кВт·год/л вхідного молока
Швеція	0,15–0,34
Данія	0,12–0,18
Фінляндія	0,27–0,82
Норвегія	0,21

8.4.2. Спеціальні заходи для зменшення витрат енергії у виробництві сиру

Крім загальних заходів з підвищення ефективності використання енергетичних ресурсів під час виробництва молочних продуктів, що описано в розд. 14, рекомендовано спеціальні заходи для сироробної підгалузі [4,19,20,23]:

1. Використовувати тепло від теплої сироватки для попереднього підігрівання вхідного сирого молока.
 2. Використовувати теплообмінники (де можливо) у періодичних процесах.
 3. Забезпечувати добре перемішування у варильних ємностях – покращується гомогенізація продукту, зменшується температурний градієнт і підвищується ефективність теплопередавання до продукту.
 4. Використовувати для визрівання сиру природні утворення – печери, інші підземні порожнини, які зберігають постійну прохолодну температуру.
 5. Використовувати температуру підземного середовища (води, повітря) як джерело для теплового насосу для забезпечення визрівання сиру за постійної цілорічної температури (15°C) [23].
 6. Розглядати будь-яку можливість регенерації тепла від кондиціонування повітря у приміщеннях для визрівання сиру.
 7. Використовувати підвищені температури для зменшення часу визрівання сиру.
 8. Здійснювати стандартизацію сирного молока за протеїнами УФ, що дозволяє збільшити концентрацію протеїнів до 3,7–3,8%; УФ-пермеат обробляти ЗО, а ЗО-воду використовувати для миття обладнання. Ефект: зменшення споживання енергії та води, а також підвищення виходу сиру на одиницю обробленого молока [20].
 9. Використовувати автоматизоване (у безперервному процесі) миття сирних форм з повторним використанням кінцевої промивної води для попереднього промивання [20].
- Заходи для зменшення витрат енергії для перероблення побічного продукту (сироватки) наведено в розд. 10.

8.5. Тверді відходи та зменшення обсягів їхнього утворення

Для дозрівання безшкіркового сиру використовують пластикові мішки (зазвичай з PVDC), які традиційно викидають як тверді відходи.

Зазвичай сири можна розрізати після попереднього пресування на спожиткові порції, які дозрівають у кінцевій упаковці. Це значно знижує кількість утворюваних твердих відходів [20].

9. Виробництво сухих та молочноконсервних продуктів і споживання ресурсів

9.1. Характеристика загальної технології виробництва

Консервують, згущують і висушують молоко та інші молочних продукти для повного знищення в них мікроорганізмів і забезпечення їхнього тривалого зберігання. За вологості молока менше від 30% розвиток мікроорганізмів фактично припиняється. Гальмування розвитку мікроорганізмів досягається також додаванням у продукт цукру, що використовують під час виготовлення молочних консервів із цукром – згущеного молока і вершків [21]. Молоко містить близько 87% води. Першою стадією виробництва згущеного і порошкового молока/вершків є концентрування вихідного продукту. Наприклад, гомогенізоване молоко зазвичай концентрується випаровуванням у випарниках із падаючою плівкою. Далі молоко сушать на розпилювальних сушарках. Як альтернативу для попереднього концентрування молока можна використовувати ЗО та інші мембранні процеси [4], які не потребують використання тепла. Електроенергія споживається для прокачування води через ЗО-апарат і створення тиску.

9.1.1. Концентровані/згущені продукти

В Україні виробляють такі основні згущені молочні консерви (із цукром та без цукру) [21]:

- згущене незбиране молоко;
- згущені вершки;
- згущене знежирене молоко;
- згущена маслянка;
- згущене молоко з додаванням кави або какао.

Загальну схему виробництва згущених молочних продуктів показано на рис. 9.1 [4].

Очищують молоко в сепараторі-молокоочиснику за температури 45°C. Стандартизують у резервуарі для зберігання незбираного молока через додавання до нього знежиреного молока або вершків.

Під час виробництва молочних консервів молоко пастеризують для зменшення кількості мікроорганізмів та інактивації ферментів. Температура пастеризації становить 85–90°C. Зазвичай використовують трубчасті пастеризатори. Цукор вводять у молоко у вигляді цукрового сиропу 70-, 71-, 73-, 74-, 75-відсоткової концентрації. Його готують у сироварному котлі з мішалкою для розчинення цукру і міжстінним простором для нагрівання водного розчину цукру. Аби цукровий сироп дійшов до кипіння, його нагрівають паром. Цукровий сироп фільтрують через тканинні фільтри під тиском. Згущують молоко у вакуум-апаратах (рис. 9.2), де в результаті розрідження воно кипить за температури 50–60°C, волога з нього випаровується, і концентруються складові речовини. Вакуум-апарати періодичної або безперервної дії розрізняють за принципом випаровування. Найбільш поширені вакуум-апарати циркуляційного типу, які використовують вторинну пару (отриману від молока).

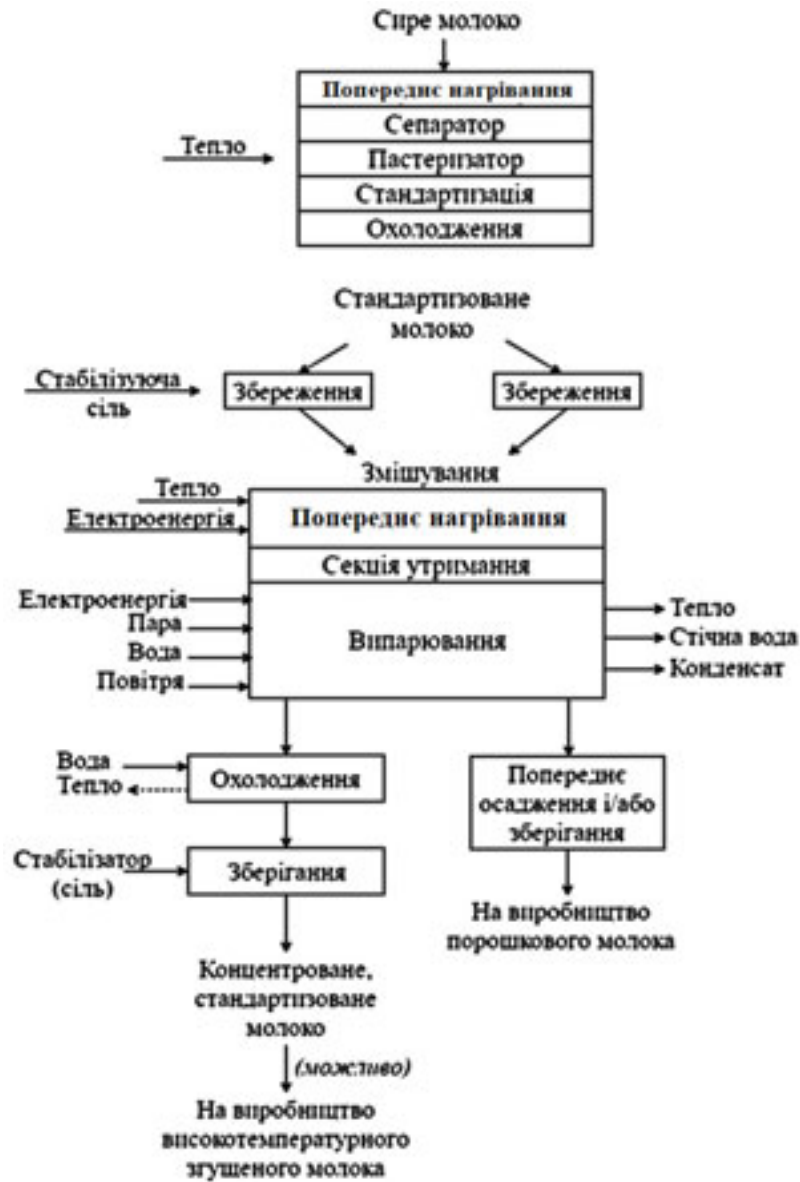


Рис. 9.1. Загальна схема виробництва згущених молочних продуктів [4].

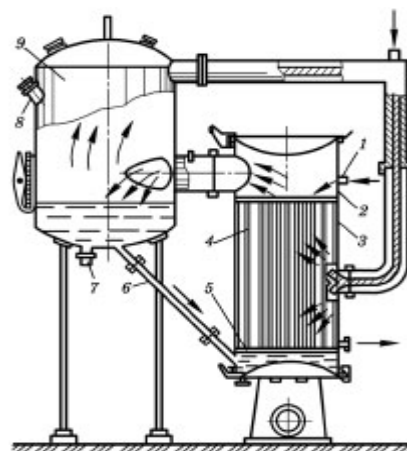


Рис. 9.2. Вакуум-апарат циркуляційного типу для випарювання молока [21]: 1 – патрубок для входу молока і сиропу; 2 – калоризатор; 3 – колектор; 4 – труби; 5 – патрубок для виходу готового продукту; 6 – перехідна труба; 7 – патрубок для відбору проб; 8 – оглядове скло; 9 – сепаратор-паровідокремлювач.

Після згущення продукт охолоджують (від 60 до 20°C), безперервно перемішуючи. При цьому його в'язкість збільшується у 3–4 рази, лактоза переходить із насиченого у перенасичений стан. Для запобігання утворенню великих кристалів лактози вводять затравку – пудру лактози з дрібними кристаликами розміром 3 мкм (у кількості 0,02% від маси охолоджуваного згущеного молока).

Для фасування продукту застосовують жерстяні банки, пластикові пляшки та інші матеріали. Технологія виготовлення згущених вершків із цукром аналогічна технології згущеного молока із цукром, за винятком того, що стандартизовані вершки після пастеризації гомогенізують під тиском 17–17,5 МПа [21].

Згущені продукти слід зберігати на складі за постійної температури (у межах 5–15°C) і вологості повітря, що не перевищує 85% (для запобігання корозії банок). Заморожування продукту не допускають, оскільки змінюється якість продукту внаслідок коагуляції білкових речовин.

9.1.2. Сухі (порошкоподібні) продукти

В Україні виробляють такі види сухих молочних продуктів [21]:

- сухе знежирене молоко і маслянка;
- сухі вершки із цукром та без цукру;
- сухі продукти для дитячого харчування;
- суха сироватка (розглянуто в розд. 10).

Сухі молочні продукти застосовують у виробництві різних видів харчових продуктів, для виготовлення відновлених молочних продуктів і морозива.

Схему виробництва сухого (порошкового) молока показано на рис. 9.3. [4]. Для отримання сухого молока попереднє оброблення сирого молока таке саме, як для отримання згущеного молока. Для виробництва порошкового молока застосовують концентроване (згущене) молоко.

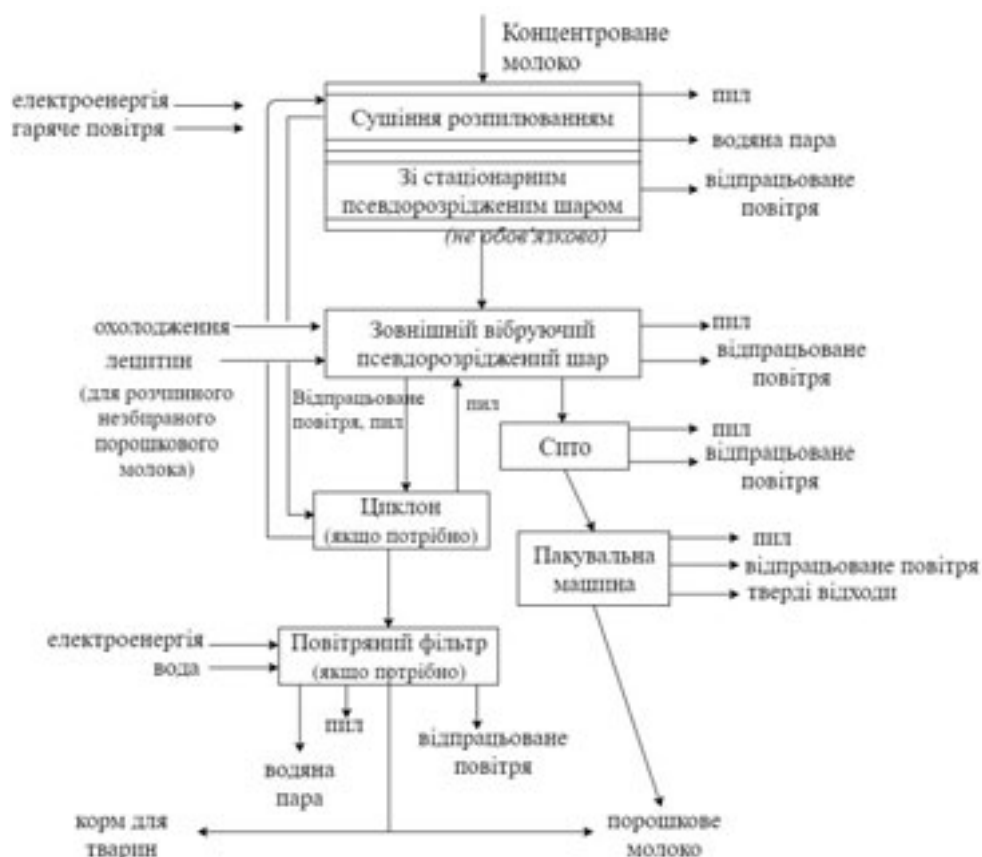


Рис. 9.3. Схема виробництва порошкового молока [4].

Під час виробництва сухих продуктів випаровування є попереднім етапом зневоднення. Для повного видалення вологи з продуктів після випаровування використовують процес **сушіння**. Обидва процеси – випаровування і сушіння, – є високоенергоємними, тому будь-яке підвищення ефективності використання енергії може дати значну економію ресурсів.

9.2. Характеристика споживання енергії

Виробництва, що потребують застосування процесів випаровування і сушіння, є високоенергоємними. Для виробництва згущеного молока найбільша частка енергії, що споживається (близько 2/3), припадає на теплову енергію пари, і близько 1/3 – на електричну енергію для охолодження та роботу двигунів. Під час виробництва сухих молочних продуктів використання теплової енергії пари і палива становить 3/4 і більше від сумарного споживання енергетичних ресурсів (без урахування витрат електроенергії на автоматизоване миття/чищення) [23].

Молочні підприємства Європи на виробництво сухих продуктів (порошкового молока і продуктів із сироватки) споживають від 0,85 до 6,47 ГДж енергетичних ресурсів на 1 т обробленого молока (230,15–1546 ккал/кг обробленого молока) [4,26]. Питоме споживання електроенергії перебуває в межах 0,06–3,3 ГДж/т (14,34–788,7 ккал/кг) обробленого молока, питоме споживання палива – 3–20 ГДж/т (717–4780 ккал/кг) обробленого молока [4,26]).

Дані зі споживання різних видів енергетичних ресурсів для окремих процесів у виробництві консервованого згущеного і порошкового молока у США наведено у табл. 9.1 і 9.2 [23].

Таблиця 9.1. Питоме споживання енергетичних ресурсів для процесів виробництва консервованого згущеного молока*

№ з/п	Процес	Споживання енергії, ккал/кг				
		Пара	Паливо	Електроенергія для охолодження	Електроенергія на інші потреби	Разом
1.	Освітлення	–	–	–	12,8	12,8
2.	Пастеризація або стабілізація	35,6	–	–	–	35,6
3.	Концентрування	78,4	–	–	17,2	95,6
4.	Гомогенізація (насоси)	–	–	–	8,9	8,9
5.	Консервування	32,2	–	–	34,5	66,7
6.	Стерилізація	27,2	–	–	–	27,2

*Не враховано споживання енергії для процесів чищення/ миття.

Таблиця 9.2. Питоме споживання енергетичних ресурсів для процесів виробництва сухого (порошкового) молока*

№ з/п	Процес	Споживання енергії, ккал/кг				
		Пара	Паливо	Електроенергія для охолодження	Електроенергія на інші потреби	Разом
1.	Освітлення	–	–	–	12,8	12,8
2.	Пастеризація або стабілізація	35,6	–	–	–	35,6
3.	Концентрування	78,4	–	–	17,2	95,6
4.	Гомогенізація (насоси)	–	–	–	8,9	8,9
5.	Сушіння розпилюванням	–	63,95	–	–	63,9
6.	Охолодження випаровуванням	–	–	–	17,2	17,2

*Не враховано споживання енергії для процесів чищення/миття

Основні джерела втрат тепла в випарних апаратах: надмірні викиди в атмосферу, випромінювання і конвективні втрати, незадовільне функціонування вакуумної системи, просочування повітря й води, утворення осадів, низька ефективність сепарації [4].

9.3. Спеціальні заходи для зменшення споживання енергії

Головні стратегії для енергозбереження під час виробництва згущених і сухих молочних продуктів такі:

1. застосування енергоефективних випарників та устаткування для сушіння;
2. використання процесів мембранного фільтрування (мікро-, ультра-, нанофільтрації або ЗО) для попереднього концентрування продуктів;
3. вилучення тепла з гарячих потоків і його використання.

Для підвищення ефективності використання енергетичних ресурсів у виробництві згущеного і порошкового молока (а також порошкової сироватки) рекомендовано такі спеціальні заходи [4,19,20]:

1. Вилучати тепло з продуктових конденсатів, що утворюються у випарних установках (за допомогою теплообмінників або теплових насосів). Вилучене тепло можна використовувати для попереднього нагрівання:
 - повітря для висушування продукту в розпилювальних сушарках; повітря для систем кондиціонування повітря;
 - вхідного молока.
2. Під час попереднього концентрування молока випаровуванням забезпечувати максимально можливе концентрування молока перед сушінням, тому що споживання енергії для випаровування води у випарниках нижче, ніж у сушарках.
3. Застосовувати багатоступеневі випарники з оптимізацією рекомпресії пари: механічна рекомпресія пари (МРП) дозволяє досягти більш високого ступеня вилучення тепла, ніж термічна рекомпресія (ТРП) за нижчої температури випаровування. Наприклад, експлуатаційні витрати для

3-ступеневого випарника із системою МРП удвічі менші, ніж витрати 7-ступеневого випарника із системою ТРП [20].

4. Концентрування випаровуванням, за можливості, замінювати мембранним концентруванням, що потребує значно менших витрат енергії, оскільки мембранне концентрування відбувається без фазового переходу.

5. Застосовувати прилади забезпечення пожежної безпеки, наприклад СО-детектори, для зниження ризику вибуху в розпилювальних сушарках.

6. Досягати зниження споживання енергії до 0,3–0,4 кВт·год/л сирого молока [4]. Загальні заходи для енергозбереження в молочній галузі, що є актуальними і для цього виробництва, наведено в розд. 14.

9.4. Споживання води й утворення стічних вод

Основне споживання води під час виробництва згущених і сухих молочних продуктів призначено для генерації пари (процесів нагрівання), охолодження і миття/чищення обладнання. Дані зі споживання води у виробництві порошкового молока на підприємствах Європи наведено в табл. 9.3.

Таблиця 9.3. Питоме споживання води під час виробництва порошкового молока в Європейському Союзі й окремих країнах Північної Європи

Країна	Споживання води, л/л сирого молока *	Джерело
Швеція	1,7–4,0	BREF [4], Nordic Council of Ministers [20]
Данія	0,69–1,9	[4,20]
Фінляндія	1,4–4,6	[4,20]
Норвегія	4,6–6,3	[4,20]
Європейський Союз загалом	1,2 (мін.) – 60 (макс.) л/кг сирого молока, з охолоджувальною водою включно	BREF [4], European Dairy Association[26]

*Такі самі показники для виробництва сиру і/або рідких продуктів [4]

Стічні води утворюються у процесах зневоднення продуктів (продуктові конденсати), у процесах охолодження і миття/чищення. Продуктові конденсати, що утворюються під час випаровування води з вихідного молока (або сироватки), можуть містити органічні забруднення (компоненти молока), які надходять у стічні води під час скидання конденсатів. Так, конденсат сироватки має такі показники органічного забруднення: БСК – 50 мг/л, ХСК – більше 100 мг/л [20].

За даними Європейської Асоціації молочних підприємств [4,26], кількість стічних вод, що утворюється під час виробництва порошкового молока (а також сиру і/або рідких продуктів) у країнах Європейського Союзу, перебуває в межах 0,4–60 м³/т обробленого молока.

На підприємствах Австрії [4,27] середній об'єм стічних вод у виробництві згущеного і сухого молока та сироватки становить 5 л/кг сирого молока. За даними праці [4], у разі застосування ВАР під час виробництва сухого молока споживання води може становити 0,8–1,7 л, утворення стічних вод – 0,8–1,5 л на 1 л сирого молока.

9.5. Спеціальні заходи для зменшення забруднення і скидання стічних вод

Головна стратегія для зменшення скидання стічних вод у процесах виробництва згущених і сухих молочних продуктів полягає у збиранні й повторному використанні продуктивних конденсатів за умови забезпечення потрібної якості та гігієнічної безпеки вторинної води. Рекомендовано такі спеціальні заходи [20]:

1. Використовувати конденсат від першого ступеня випаровування, який є достатньо чистим, у випарниках із термічною системою рекомпресії пари, як живильну воду для парових котлів, або, якнайменше, спрямовувати в резервуар вторинної води.
2. Збирати продуктивні конденсати від інших ступенів випаровування як вторинну воду.
3. Використовувати охолоджувальну воду від повітряних компресорів як вторинну воду.
4. Вторинну воду можна використовувати для таких цілей:
 - вилучення з неї тепла в теплообмінниках (наприклад, для попереднього нагрівання сушильного повітря для розпилювальних сушарок) із наступним повторним використанням;
 - живлення котлів (за умови забезпечення потрібної якості);
 - першого (попереднього) та проміжного промивання обладнання водою (з урахуванням гігієнічної безпеки);
 - приготування мийних розчинів (кислотних і лужних);
 - миття/чищення розпилювальних колон, зовнішніх поверхонь молочних резервуарів;
 - під час очищення вторинної води ЗО її можна використовувати в будь-яких операціях миття/чищення.

10. Виробництво морозива

10.1. Технологічний процес

Типову схему виробництва морозива наведено на рис. 10.1 [23]. Сировиною для виробництва морозива є молоко, вершки та інші молочні продукти, цукор, яйця/яєчний порошок, стабілізатори (агар, желатин, крохмаль, інші продукти рослинного і тваринного походження), смакоароматичні речовини, харчові добавки.

Особливістю виробництва морозива є використання процесу заморожування. Технологія виробництва морозива наступна [21]. Підготовлена стандартизована суміш для морозива підлягає пастеризації, яку здійснюють у пароводяних пастеризаторах, або у пластинчастих теплообмінниках (для нагрівання й охолодження суміші в тонкому шарі). Температура пастеризації становить 85°C із витриманням 50–60 с, або 92–95°C без витримання.

Суміш гомогенізують під тиском від 12,5–15 до 7,5–9,0 МПа залежно від її жирності. Температура гомогенізації має дорівнювати температурі пастеризації.

Гомогенізовану суміш охолоджують до 2–4°C у теплообмінниках і спрямовують у ємності для визрівання протягом 4–48 год [21]. Визрівання є важливим етапом, який сприяє підвищенню якості продукції.

Заморожування суміші може бути періодичним процесом (здійснюють у циліндричних ємностях із міжстінним простором і аміачною системою охолодження) або безперервним (у фризерах із повною механізацією й автоматизацією). Процес відбувається у два етапи: перший етап – часткове заморожування з одночасним збиванням суміші – виконують до досягнення температури суміші 4–6°C нижче нуля (50% води перетворюється на лід); другий етап – загартування до температури 18–20°C нижче нуля, – після фасування і пакування частково замороженої суміші для формування остаточної структури морозива (заморожується 75–78% води). Готовий продукт зберігається в камерах із повітряним охолодженням за температури 28–36°C нижче нуля.



Рис. 10.1. Типова схема виробництва морозива [23].

10.2. Споживання енергії та заходи для її збереження

Виробництво морозива є високоенергоємним. Найбільша частка енергії, що споживається, – електрична енергія для процесів охолодження і заморожування.

Типове питоме споживання енергії (тепла та електроенергії) під час виробництва морозива на підприємствах Південноєвропейських країн становить 0,75–1,6 кВт·год/кг виробленого морозива [20]. Дані щодо питомого споживання різних видів енергетичних ресурсів для окремих процесів виробництва морозива у США наведено у табл. 10.1 [23].

Спеціальні заходи, які рекомендовано для зниження витрат енергії під час виробництва морозива, залежать від специфіки технологічного процесу [19,20].

Вилучення тепла від пастеризації суміші для морозива відбувається наступним чином. Суміш надходить у пастеризатор із температурою 60°C і нагрівається до 85°C, а після гомогенізації охолоджується до 4°C перед визріванням. На першій стадії охолодження суміш охолоджується від 85°C до 70°C завдяки регенеративному теплообміну, на 2-й стадії – до близько 20°C за допомогою охолоджувальної води. Кінцева температура (близько 4°C) досягається охолодженням крижаною водою. Тепло, що виділяється із суміші морозива на 2-й стадії, може бути використане для попереднього нагрівання води, переважно для операцій миття/чищення. Цього тепла достатньо для нагрівання 25% обсягу води, що використовується у виробництві, до 70°C. Економія енергії сягає 14% від її споживання на виробництво морозива.

Таблиця 10.1. Питоме споживання енергетичних ресурсів для процесів виробництва морозива*

№ з/п	Процес	Споживання енергії, ккал/кг				
		Пара	Паливо	Електро-енергія для охолодження	Електро-енергія на інші потреби	Разом
1.	Отримання і зберігання	–	7,2	10	–	17,2
2.	Заморожування	–	–	299,4	–	299,4
3.	Очищення/стандартизація	–	–	–	5	5
4.	Сепарація	–	–	–	10	10
5.	Пастеризація	51,2	–	–	–	51,2
6.	Гомогенізація	–	–	–	5,6	5,6
7.	Охолодження	–	–	47,3	–	47,3
8.	Пакування	–	8,3	–	–	8,3
9.	Кінцеве зберігання	–	–	10	–	10

*Не враховано споживання енергії для процесів чищення/миття

Заходи, які рекомендовано для зниження витрат енергії під час виробництва морозива:

1. В операціях глибокого заморожування слід застосовувати автоматичне розморожування крижаного шару з поверхні охолоджувальних випарників. Для цього зазвичай використовують теплий газ із компресорів. Потенціал збереження електроенергії (для умов: 5 випарників, що працюють 3600 год/р., шар льоду дорівнює 0,87 мм) становить близько 100 тис. кВт·год/р; окупність – 2,2 року [20].
2. Ефективна ізоляція камер збереження готового морозива.
3. Належне утримання і регулярне розморожування морозильної системи. Більшість загальних заходів для підвищення ефективності використання енергії (розд. 14) є актуальними також для виробництва морозива.

10.3. Споживання води й утворення стічних вод. Заходи для ефективного водокористування

Під час виробництва морозива споживання води становить від 3,6 до 10,6 л/кг морозива, а без рециркуляції води в системі охолодження – від 10 до 325 л/кг морозива [4]. З огляду на це головна стратегія для зменшення споживання і відведення води передбачає використання максимальної рециркуляції охолоджувальної води. Заходи для повторного використання охолоджувальної води та ефективного охолодження циркулюючої води у градирнях розглянуто в п. 15.2.4.

Об'єм стічних вод, що утворюються в такому виробництві, залежить від ефективності використання води. У Північноєвропейських країнах типовий об'єм стічних вод становить від 2,7–4,4 л (Швеція) до 3,0–7,8 л (Норвегія) на 1 кг морозива. Навантаження на стічну воду за органічними забрудненнями значною мірою визначається обсягом залишків морозива, та від можливості їх утилізації. Характерне забруднення стічних вод (для підприємств Швеції) становить за БСК₅ – 1700 мг/л, за ХСК – 2800 мг/л стічної води [20]. Опції для утилізації залишків морозива – їхнє використання для отримання інших товарних продуктів, перероблення на корм тварин. У будь-якому разі залишки морозива (та інші продуктивні відходи) мають окремо збиратися і не надходити в стічні води.

11. Менеджмент побічних продуктів

Утилізація побічних продуктів є важливим компонентом ресурсоефективного та чистого виробництва. Основним побічним продуктом молочної галузі як за об'ємом, так і за негативним впливом на НС, є сироватка, що утворюється під час виробництва сирів. Необроблена сироватка має високу концентрацію органічних речовин, які у разі скидання у водойми спричиняють їхнє забруднення та неприємний запах. В останні роки розроблено різноманітні методи оброблення сироватки для використання отриманих із неї продуктів, що вважають технічно та економічно доцільним. На сьогодні в більшості країн виробництво сиру розглядають у комплексі з утилізацією сироватки.

11.1. Сироватка як цінний побічний продукт. Використання свіжої сироватки

Сироватка – це передусім біологічно цінний продукт. Її цінність визначається вмістом у ній білкових азотистих сполук, вуглеводів, ліпідів, мінеральних солей, вітамінів, органічних кислот, ферментів (табл. 11.1).

Таблиця 11.1. Основні компоненти молочної сироватки [31]

Компоненти сироватки від сиру кисломолочного	Вміст, %
Суша речовина, зокрема:	4,2–7,4
• лактоза	3,2–5,1
• білок	0,5–1,4
• мінеральні речовини	0,5–0,8
• молочний жир	0,05–0,4

Якщо сквашувати молоко сичужним ферментом, то утворюється солодка сироватка, а якщо молочнокислими бактеріями – кисла. Солодка молочна сироватка цінніша (поживніша) за кислу, оскільки містить близько 50% поживних речовин з оригінального молока. Основну кількість молочної сироватки одержують під час виробництва сиру. Натуральну свіжу сироватку досить широко використовують для випікання хліба та хлібобулочних виробів, для виготовлення сироваткового білку, альбумінового молока, молочного цукру, сироваткових напоїв та інших продуктів, а також для годівлі та відгодівлі тварин (свиней). Суха молочна сироватка входить до складу замінників молока для молодняка свійських тварин [31].

Кисла сироватка, завдяки вмісту амінокислот й інших поживних речовин, є цінним добривом для багатьох культурних рослин. Окрім того, вона знищує більшість шкідників та збудників захворювань рослин. Головне, поливаючи рослини сироваткою, – дотримуватися балансу: для запобігання суттєвому зменшенню рН ґрунту рекомендують розводити сироватку водою у співвідношенні 1:10 [32].

11.2. Промислове оброблення/перероблення сироватки. Основні процеси

Питання раціонального використання сироватки є важливим для всіх країн із розвинутою молочною промисловістю. У світі щорічно виробляють 17 млн т. сиру, а ресурс молочної сироватки перевищує 130 млн т. У США, Німеччині, Франції, Нідерландах переробляють від 50 до 95% національного ресурсу молочної сироватки. Переважно отримують концентрати сироваткових білків,

продукти для харчування телят й іншої худоби; кислу сироватку використовують для осадження білка під час виробництва казеїну [31].

В Україні частка подальшого промислового оброблення сироватки невелика. Структура використання сироватки наступна: майже 68% повертають здавальникам і передають на хлібозаводи; 20,5% використовують для отримання сухої сироватки; 5,1% – для виробництва молочного цукру, 3,4% – для виробництва сироваткових напоїв; 1,8% – для сквашеної сироватки [36]. Останнім часом в Україні зростає ринок сухої сироватки. У 2016 р. експорт сухої сироватки збільшився на 19%, а ціна підвищилася до 740–770 дол. США/т [31].

Необроблена сироватка, внаслідок високої концентрації органічних речовин, є середовищем для розвитку бактерій і швидко псується, тому після збирання її потрібно обробити якнайшвидше. Якщо це неможливо, сироватку слід охолодити або пастеризувати відразу ж після видалення жиру.

Цінні поживні речовини сироватки можна вилучити за допомогою різних процесів. Найпоширенішими на сьогодні є такі продукти: порошок сироватки, демінералізований порошок сироватки, лактоза і безлактозний порошок сироватки. Концентрат сироватки або порошок використовують для споживання людиною і як корм для тварин.

11.2.1. Концентрування сироватки

Перший крок для всіх процесів концентрування – очищення, тобто відокремлення дрібних часточок сиру (казеїну) та жиру (вершків). Наявність цих компонентів ускладнює подальше оброблення. Казеїн видаляють (першим) за допомогою циклонів, центрифуг або ротаційних фільтрів; спресовують як сир і використовують у виробництві сиру. Жир видаляють на центрифугах і використовують для стандартизації сирного молока.

Другий крок – концентрування сироватки з використанням мембранного концентрування, випаровування і висушування. У попередньому концентруванні сироватки часто бере участь мембранний процес – ЗО. ЗО-пермеат – це чиста вода у виробництві для здійснення процесів миття/чищення (ЗО-установки самі потребують промивання мембран хімічними агентами, кислотами та лугами, тобто утворюються стічні води із цими хімікатами).

Попередньосконцентрована ЗО-сироватка випаровується до її кінцевої концентрації 45–65% за сухою речовиною. Випаровування зазвичай здійснюють під вакуумом у багатоступеневих випарниках з падаючою плівкою. Для збереження енергії такі випарники обладнано механічною або термічною рекомпресією пари. Сконцентровану сироватку можна потім висушити до порошку так само, як молоко у барабанних або розпилювальних сушарках.

11.2.2. Фракціонування компонентів сироватки

Фракціонування здійснюють за допомогою наступних заходів:

- вилучення лактози (молочного цукру) – кристалізація концентрованої сироватки, а потім – сепарація на центрифuzі й подальше висушування;
- вилучення протеїнів – УФ (концентрування у 20–30 разів), потім – діафільтрація. Якщо потрібен знежирений продукт, використовують попередню мікрофільтрацію (МФ). УФ-концентрат містить 80–85% протеїну (за сухою речовиною), його висушують до порошку. УФ-пермеат (у кількості 95% від вихідного продукту) можна використовувати для вилучення лактози.

11.2.3. Демінералізація сироватки

Сироватка містить солі, що обмежує її використання людиною. Щоб знизити концентрацію солей (на 25–30%), здійснюють нанофільтрацію, електродіаліз або йонний обмін. Забезпечивши демінералізацію, можна до 90% розширити межі використання сироватки, зокрема виробництво молочних продуктів – незбираного молока, морозива, сирної пасти, сиру.

11.3. Виробництво порошкоподібної сироватки і використання ресурсів

11.3.1. Технологічна схема виробництва

Найпоширенішим способом поводження із сироваткою є її висушування до порошкоподібної форми. У Європі, США, Канаді виробництво порошкоподібної сироватки зазвичай є складовою частиною виробництва сирів. Технологічну схему виробництва порошкоподібної сироватки з варіантами сушіння показано на рис. 11.1.

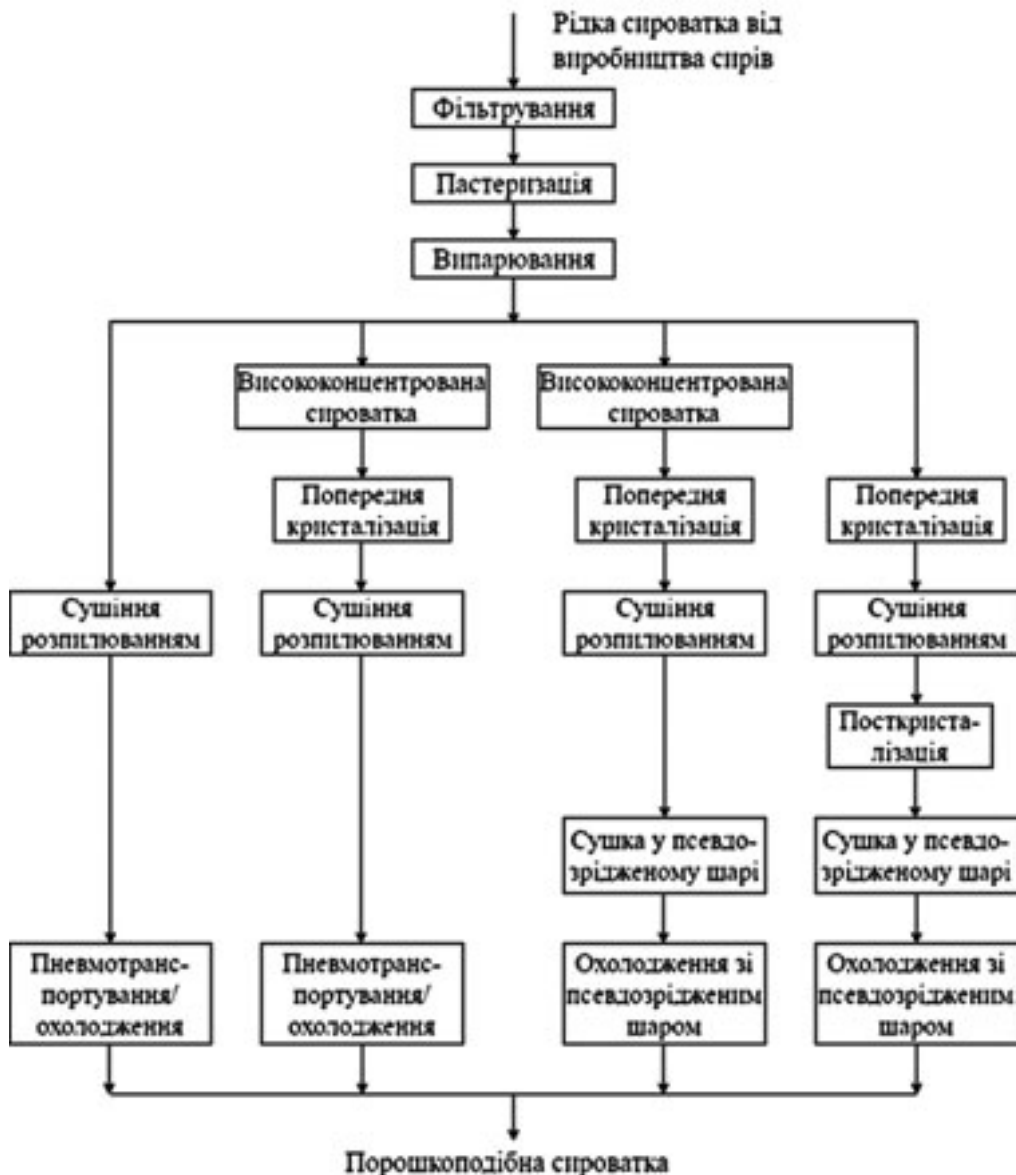


Рис. 11.1. Технологічна схема виробництва порошкоподібної сироватки [23].

Перед видаленням води із сироватки її очищують фільтруванням – виділяють дрібні частинки сиру. Натомість для видалення вільного молочного жиру застосовують сепаратор безперервної дії. Названі процеси потребують значних витрат енергії. Більш енергоефективним для процесів розділення і попереднього концентрування є мембранне фільтрування (свіжу рідку сироватку часто розділяють мікрофільтрацією, УФ, нанофільтрацією або ЗО, див. п. 11.2.1–11.2.3). Після фільтрування сироватку пастеризують і концентрують випарюванням. На цьому етапі подальше оброблення сироватки можна провести різними шляхами.

Найбільш поширений і найбільш енергоємний варіант – сушіння розпилюванням до бажаної вологості відразу після випарювання (рис. 11.1). Додавання стадії кристалізації лактози дозволяє видалити більше води перед сушінням і знизити витрати енергії, хоча потребує додаткового часу для перебігання процесу. Для подальшого підвищення ефективності додають стадію сушіння у псевдозрідженому шарі.

Другий спосіб зниження енерговитрат – використання попередньої (часткової) кристалізації перед сушінням розпилюванням і фінішної кристалізації перед сушінням у псевдозрідженому шарі для видалення залишків вологи. Третій і четвертий варіанти потребують на 30% менше пари на 1 кг сироватки, ніж простіший перший варіант [23].

Національний стандарт України ДСТУ 4552:2006 регламентує виробництво сухої сироватки [34]. Порошок сироватки виробляють із сироватки солодкої або кислої через очищення і подальше сушіння. Процес сушіння виконують: розпилювальним сушінням; плівковим сушінням; сушінням у псевдозрідженому (киплячому) шарі. Порошок сироватки використовують у харчовій промисловості, для приготування сухого кормового замінильника незбираного молока та інших кормів для сільськогосподарських тварин.

11.3.2. Характеристика споживання ресурсів

Дані щодо споживання різних видів енергетичних ресурсів під час виробництва сухої (порошкоподібної) сироватки у США наведено у табл. 11.2.

Таблиця 11.2. Питоме споживання різних видів енергетичних ресурсів основними споживачами у виробництві сухої (порошкоподібної) сироватки* у США [23]

№ з/п	Процес	Споживання енергії, ккал/кг				
		Пара	Паливо	Електро-енергія для охолодження	Електро-енергія на інші потреби	Разом
1.	Двигуни, насоси	–	–	107,3	360,3	467,6
2.	Випаровування сироватки	2 157,8	–	–	–	2 157,8
3.	Сушіння розпилюванням	–	619,9	–	–	619,9

*Не враховано споживання енергії для процесів чищення/миття

11.3.3. Спеціальні заходи для підвищення ефективності використання ресурсів у виробництві сухої сироватки

Заходи з підвищення ефективності використання енергії та води під час виробництва сухої сироватки зазвичай такі самі, як під час виробництва згущеного і сухого молока. Наведемо спеціальні рекомендації, що стосуються особливостей продукту [23]:

- використовувати пермеат сироватки (після оброблення УФ) разом з іншими стічними водами як вхідний ресурс для біогазового реактора (де в анаеробних умовах утворюється біогаз) і використовувати біогаз як паливо для котла;
- замість сухого порошку сироватки виробляти 80-відсотковий концентрат протеїну сироватки, застосовуючи лише УФ і випаровування, без висушування (сушіння потребує у 20 разів більше енергії на 1 кг видаленої води, ніж випаровування [20]). Цей дешевший і більш «зелений» продукт має попит як сировинний матеріал для харчової (зокрема молочної) промисловості.

11.4. Утилізація маслянки

Маслянка утворюється як побічний продукт під час виробництва вершкового масла. Її використовують для стандартизації/нормалізації молока у виробництві питного молока, а також для виготовлення молочних напоїв. З маслянки, отриманої від виробництва солодковершкового масла, виготовляють свіжу (питну) маслянку, яку пастеризують за температури 85–87°C (5–10 хв), охолоджують до 3–5°C, після чого упаковують у спожиткову тару. Заквашуванням свіжої маслянки отримують дієтичну маслянку.

Кислу маслянку, що утворюється під час виробництва кисловершкового масла, можна використовувати для виготовлення солодких напоїв (із цукром), а також дієтичної маслянки [21].

12. Порівняння обсягу споживання ресурсів та впливу на навколишнє середовище під час виробництва різних видів молочних продуктів

12.1. Споживання енергії та викиди в атмосферу

Обсяги річного викиду ПГ від виробництва різних видів молочних продуктів у Канаді показано на рис. 12.1 [16]. Найбільша частка викидів (відносно обсягу виробництва) припадає на виробництво порошкоподібних продуктів, масла і твердих сирів, найменша – на питне молоко. Хоча, зважаючи на найбільший серед інших продуктів обсяг виробництва питного молока (більш ніж 60%), що є характерним і для України, підвищення ефективності споживання енергії для цієї підгалузі особливо важливе.

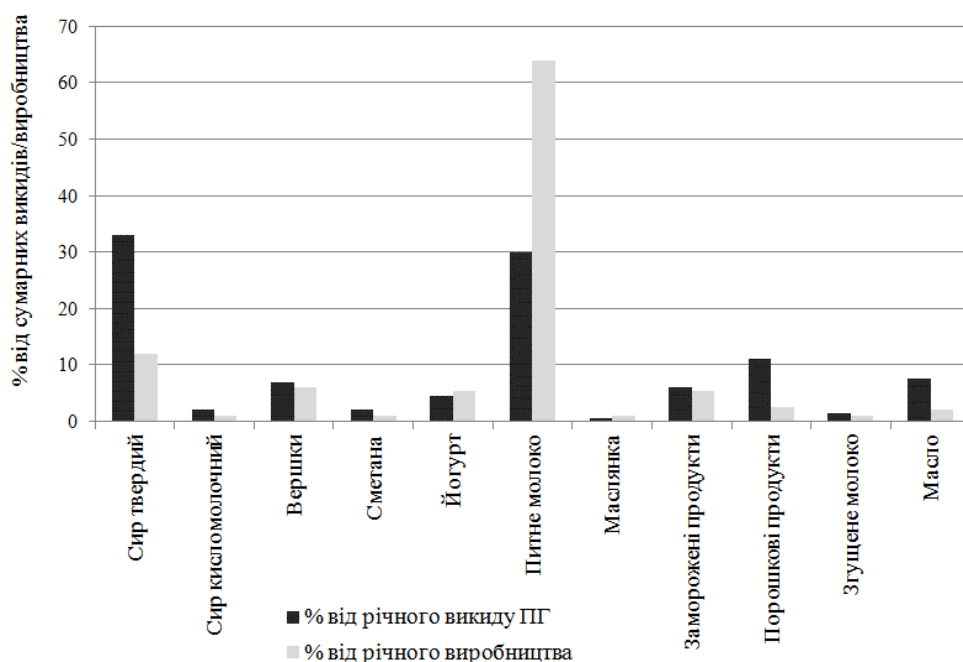


Рис. 12.1. Порівняння річного викиду парникових газів у виробництві окремих видів молочних продуктів у Канаді* [16].

Дані щодо викиду парникових газів під час виробництва основних видів молочних продуктів, з урахуванням їх пакування і транспортування, у середньому для Європи наведено у табл. 12.1 [14].

Таблиця 12.1. Питомі викиди парникових газів під час виробництва основних видів молочних продуктів у середньому для Європи

№ з/п	Вид продукту	Викиди ПГ, кг CO ₂ екв./кг сирого молока
1.	Свіже питне молоко і вершки	0,153
2.	Ферментоване молоко та вершки	0,304
3.	Сир і сироватка	0,126
4.	Сухе знежирене молоко й вершки	0,157
5.	Незбиране молоко та вершки	0,171

У молочній промисловості США частка викидів парникових газів (для повного життєвого циклу продуктів) становить: під час виробництва сиру та сироватки – 38%, питного молока – 26%, інших продуктів – 36%, у тому числі масла – близько 18%, порошкового молока – близько 11% [30].

Показники споживання енергії у виробництві окремих видів молочних продуктів у США наведено на рис. 12.2 [23].

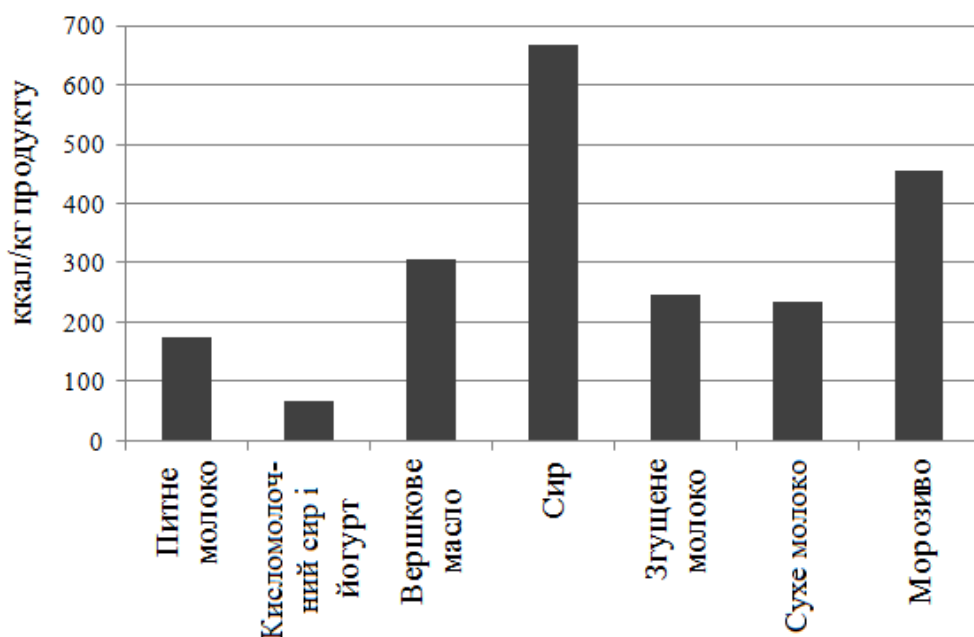


Рис. 12.2. Порівняння споживання енергії під час виробництва окремих видів молочних продуктів у США [23].

За даними праці [23], найбільше питоме споживання енергії на одиницю продукту припадає на виробництво сухої сироватки – 3248 ккал/кг (на рис. 12.2 не показано), що майже у 5 разів більше, ніж на виробництво сиру (666 ккал/кг). Оскільки сушіння сироватки є необхідною складовою процесу виробництва сиру, підвищення ефективності використання енергії, передусім на її випаровування/концентрування і сушіння, може значно зменшити вартість виробництва. Після сироватки

наступними високоенергоємними продуктами є сир і морозиво, далі – вершкове масло, згущене, сухе і питне (рідке молоко); менш енергоємними є кисломолочні продукти [23].

12.2. Споживання води й утворення стічних вод

Порівняльні дані щодо споживання ресурсів (води, енергії) й утворення стічних вод під час виробництва різних видів молочних продуктів наведено у табл. 12.2.

Таблиця 12.2. Порівняння споживання ресурсів і утворення стічних вод під час виробництва молочної продукції [1]

№ з/п	Продукт	Вода, л/л обробленого (вхідного) молока	Енергія, кВт·год/л обробленого молока	Стічна вода, л/л обробленого молока
1.	Питне молоко і ферментовані продукти	1,0–1,5	0,1–0,2	0,9–1,4
2.	Сир та сироватка	1,4–2,0	0,2–0,3	0,8–1,5
3.	Порошкове молоко, сир	0,8–1,7	0,3–0,4	0,8–1,5
4.	Морозиво	4,5–5,5	0,8–1,2	2,7–4,0

Виробництво морозива є найбільшим споживачем води (на одиницю вхідного молока) і, відповідно, найбільшим генератором стічних вод.

12.3. Втрати продукту

Втрата продукту в процесах виробництва негативно впливає передусім на якість стічних вод і питоме споживання енергії. Превентивними заходами мають бути мінімізація втрат і запобігання надходженню продуктів у стічну воду. Дані щодо втрат продукту під час виробництва молочної продукції наведено у табл. 12.3.

Таблиця 12.3. Порівняння втрат продукту в різних процесах виробництва [1,2]

№ з/п	Продукт/процес	Втрата продукту, %		
		Молоко	Жир	Сироватка
1.	Масло/транспортування знежиреного молока	0,17	0,14	–
2.	Масло і порошкоподібне знежирене молоко	0,60	0,20	–
3.	Сир твердий	0,20	0,10	1,6
4.	Сир і випаровування сироватки	0,20	0,10	2,2
5.	Сир та порошкоподібна сироватка	0,20	0,10	2,3
6.	Спожиткове питне молоко	1,9	0,7	–
7.	Жирне порошкове молоко	0,64	0,22	–

Примітка. Дані наведено у відсотках від об'єму молока, жиру або сироватки, що обробляються [1]

13. Витрати ресурсів для загальнозаводських потреб

13.1. Водоспоживання і водовідведення

Дані щодо типового споживання води для загальнозаводських потреб на молочних підприємствах Великої Британії наведено у табл. 13.1 [18].

Таблиця 13.1. Питомі показники типових витрат води для загальнозаводських потреб

№ з/п	Показник	Середні витрати води
1.	Працівники (повний робочий день, без їдальні)	35 л/день на 1 людину
2.	Працівники (повний робочий день, з їдальнею)	50 л/день на 1 людину
3.	Туалети	6–9 л/одне змивання
4.	Водопровідний кран (5-міліметровий струм)	60 л/год
5.	Шланг (1 дюйм)	1 м ³ /год
6.	Труба (2 дюйми)	4,2 м ³ /год

13.2. Енергія для освітлення, опалення, вентиляції та кондиціонування

Загальнозаводські потреби енергії на молочних підприємствах становлять значну частку сумарних енергетичних потреб. Так, у молочній промисловості США [23] у структурі споживання електроенергії підприємствами на загальнозаводські потреби припадає в середньому 18% від сумарного споживання електроенергії, з них 9% – на освітлення будівель і 9% – на системи опалення, вентиляції та кондиціонування (ОВК). Крім того, системи ОВК споживають близько 5% сумарної кількості природного газу [23].

Заходи для зменшення споживання електроенергії на освітлення наведено в п. 14.1.4.

14. Заходи з підвищення ефективності використання енергетичних ресурсів на підприємствах галузі

14.1. Зменшення споживання електричної енергії основними споживачами

Молочна галузь є потужним споживачем електроенергії. Так, у США молочна галузь споживає 13% електроенергії від усієї харчової промисловості [23]. Загальні висновки, які було зроблено у США в результаті аналізу життєвого циклу молочних продуктів і «екологічного сліду» молочної галузі щодо етапу промислового виробництва продуктів, – це необхідність знизити споживання електричної енергії (крім того, важливими є консолідація системи розповсюдження продукції та пошук альтернативних пакувальних матеріалів) [13].

Основними споживачами електроенергії на підприємствах є системи охолодження, електродвигуни обладнання та насоси, системи стиснутого повітря, системи освітлення та ОВК.

14.1.1. Холодильні установки/Системи охолодження

На молочних підприємствах для виробництва холоду споживається майже третина всієї електроенергії підприємства. Так, у молочній галузі США 31% електроенергії підприємств витрачається на охолодження під час процесів виробництва, заморожування і холодного зберігання

продукції [23]. Виробництво холоду здійснюється в холодильних установках, які здебільшого використовують галогеновані речовини або аміак як холодоагент.

Існує велика кількість спеціальних рекомендацій для підвищення енергоефективності основних компонентів холодильних установок – компресорів, конденсаторів, випарників, – які розробили EEBPP і US DOE [23,35,36]. Назвемо основні загальні заходи з підвищення ефективності споживання електричної енергії у промисловому виробництві молока і молочних продуктів, включаючи найпростіші, за результатами виконання РЕЧВ-проектів [1,23,36]:

1. Контроль адекватної/збалансованої роботи системи охолодження, зокрема за рахунок встановлення системи моніторингу, при цьому потенціал економії енергії становить до 3%.

2. Попередження перевантаження/недовантаження холодильного агента в холодильних установках.

3. Покращення термоізоляції в системах охолодження, включно з трубопроводами, резервуарами, теплообмінниками, трубками із холодним холодоагентом в установках.

4. Контроль і ліквідація будь-яких витоків холодоагенту.

5. Періодичний контроль забруднення холодоагенту (маслом, водою, механічними забрудненнями) і підтримання його чистоти, завдяки чому можливо заощадити близько 2% енергії.

6. Розділення охолоджувальних систем, призначених для різних температур у процесах (наприклад, охолодження молока і заморожування морозива).

7. Перемішування молока в резервуарах тимчасового зберігання (для зменшення температурного градієнта й утримання продукту в гомогенізованому стані).

8. Мінімізація джерел надходження тепла в камери/приміщення холодного зберігання продукції (через двері, огорожувальні конструкції, лампи освітлення тощо) – втрати енергії можна зменшити на 10–20%.

9. Оптимізація потоку повітря в камерах/приміщеннях холодного зберігання продукції (ліквідація мертвих зон та зворотних потоків повітря за допомогою встановлення екранів, рухомих перегородок, зменшення висоти приміщення тощо) – економія енергії до 12%.

10. Попередження охолодження камер/приміщень холодного зберігання продукції до температури, нижчої за необхідну, оскільки на кожний додатковий градус холоду споживання енергії збільшується на 1–3%.

11. Попередження утворення льоду на стінах і підлозі камер/приміщень холодного зберігання продукції (що свідчить про надлишкове надходження вологого повітря).

12. Встановлення термонакопичувальних систем для збереження енергії холоду та її використання в пікові години. Окупність такого заходу становить 1–3 роки.

13. Використання геотермального охолодження (холодної підземної води) – економія енергії до 35%.

14. Використання природного холоду (наприклад, уночі), у регіонах, де тривалий час зовнішня температура менша за 4,5°C) – економія енергії до 15% (Канада, США).

15. Застосування охолоджувальних колон (градирень). Захід має короткий термін окупності.

14.1.2. Системи стиснутого повітря

Стиснуте повітря є одним з найменш ефективних способів використання енергії. Звичайна ефективність систем стиснутого повітря – від генерації до його кінцевого використання – становить близько 10% [23], тому застосування таких систем має бути, по можливості, мінімальним.

Відомо багато заходів з підвищення ефективності використання електричної енергії в системах стиснутого повітря, які можуть забезпечити зменшення її споживання в середньому від 20 до 50%, часто не потребують значних інвестицій і мають порівняно невеликий термін окупності [23].

Наведемо загальні енергоощадні заходи для систем стиснутого повітря, придатні як для молочної галузі, так і загалом для підприємств харчової промисловості [23]:

1. Покращення функціонування систем стиснутого повітря – це комплекс взаємопов'язаних організаційно-адміністративних заходів, з якими можна ознайомитися на сайті [37].

2. Належне утримання компресорів і всієї системи, а саме: мінімізація/запобігання перепадам тиску, витокам повітря, підвищенню температури в компресорі й охолоджувальній системі (заміною мастила компресора кожні 2–18 міс.), надходженню забрудненого повітря і утворенню забруднень, корозії та пошкоджень у повітропроводах. Наприклад, регулярно очищуючи і замінюючи повітряні фільтри, можна зменшити споживання енергії на 2%.

3. Постійний моніторинг системи стиснутого повітря, а саме: контроль (вимірювання) тиску на основних лініях, температури компресора і охолоджувальної води, витрат повітря, витрат електроенергії тощо.

4. Контроль і усунення витоків стиснутого повітря в основних місцях втрат (з'єднання труб, шланги, фітинги, регулятори тиску та ін.). Типове промислове обладнання, у разі неналежного утримання, за рахунок витоків може втрачати 20–30% потужності. Кращим способом виявлення витоків вважають використання ультразвукового акустичного детектора. Заходи з контролю та усунення витоків стиснутого повітря зазвичай мають невеликий термін окупності – менше 6 місяців.

5. Мінімізація зниження тиску в системі стиснутого повітря. Наявність будь-якого опору, пробок у трубопроводах системи підвищує необхідний робочий тиск, можливість виникнення витоків збільшує споживання енергії. Зменшення довжини повітропроводів розподільної системи зменшує ризик зниження тиску. Типова окупність відповідних заходів становить до 3 місяців.

6. Зниження температури вхідного повітря, наприклад, через всмоктування повітря ззовні будівлі. Зниження температури на кожні 3°C зберігає 1% енергії роботи компресора. Термін окупності заходу для одного з підприємств – 1,7 року.

7. Вилучення тепла. Зважаючи на те, що 90% електричної енергії, яку споживають промислові компресори, перетворюється на тепло, система отримання тепла зазвичай може зберегти 50–90% теплової енергії з її використанням для опалення приміщення, нагрівання у виробничих операціях, нагрівання води, повітря тощо.

8. Застосування буферного резервуара для регулювання робочого циклу компресора. Захід рекомендований для старих компресорів, щоб досягти ефективності їх регулювання. Термін окупності заходу – 1-3 роки.

9. Збільшення діаметра труб до найбільшого розміру в системі стиснутого повітря. Це мінімізує втрати тиску і витоків повітря, знижує робочий тиск і зберігає енергію. РЕЧВ-захід може знизити споживання енергії на 3% зі зниженням робочого тиску на 12%.

10. Запобігання частковому завантаженню компресора. Враховуючи те, що незавантажений постійно компресор споживає 15–35% від його потужності, не виконуючи при цьому корисної роботи, встановлення декількох малопотужних компресорів замість одного потужного, або заміна одноступеневого компресора двоступеневим підвищує ефективність використання енергії. Термін окупності такого заходу становить 1,2–2 роки.

11. Заміна стиснутого повітря альтернативними джерелами енергії, наприклад:

- для охолодження електричних щитів потрібно використовувати кондиціонери повітря замість вихрових труб зі стиснутим повітрям;

- застосовувати вакуумні насоси замість пристроїв зі стиснутим повітрям для створення вакууму;
- використовувати повітродувки замість стиснутого повітря для охолодження, всмоктування, змішування або нагнітання (виробів для пакування продукції), тому що вони економічно й технічно ефективніші;
- для чищення, видалення наносів (замулень) застосовувати щітки, повітродувки, вакуумні насоси замість стиснутого повітря.

14.1.3. Електродвигуни та насоси

На молочних підприємствах США 40% електроенергії споживаються двигунами, насосним обладнанням, електроприводами установок, компресорами, вентиляторами [23]. Основні заходи для зменшення споживання електроенергії наступні [1,13,23]:

1. Встановлення програм автоматичного вимкнення обладнання (машин), яке тимчасово не працює [1,13,23].
2. Використання програм керування двигунами.
3. Стратегічний вибір двигуна.
4. Застосування електродвигунів і насосів з відповідними характеристиками.
5. Застосування приладів з налаштуванням швидкості.
6. Корегування коефіцієнта потужності.
7. Мінімізація дисбалансу напруги.
8. Використання насосів з високим коефіцієнтом корисної дії.
9. Використання насосів різних типорозмірів для навантажень, що значно змінюються.
10. Використання труб оптимального діаметра.

14.1.4. Системи освітлення

Системи освітлення є досить великими споживачами електроенергії на багатьох молочних підприємствах. Так, у молочній галузі США на освітлення витрачається 9% від загальних витрат електроенергії підприємств [23].

Основні енергоефективні заходи для систем освітлення підприємств, включаючи найпростіші, наступні [23]:

1. Вимкнення освітлення та іншого неробочого обладнання у вільних приміщеннях. Залучення персоналу до виконання програми енергоменеджменту, підвищення людської свідомості й відповідальності.
2. Заміна ламп розжарювання на лампи і трубки LED (світлодіодні), або компактні флуоресцентні лампи; економія електроенергії при цьому становитиме 80–90%, строк служби світильників – до 10 років.
3. Заміна освітлювальних трубок T-12 на світильники меншого діаметра (наприклад, трубки T-8) із більшим строком служби (на 60%) і кращим освітленням. Типове збереження енергії – 30%.
4. Застосування електронних баластів для запускання люмінесцентних ламп (потребують на 12–30% менше потужності, ніж магнітні баласты, виділяють менше тепла, що особливо важливо для камер охолодження).
5. Установлення сенсорів зайнятості/руху в приміщеннях (складах, офісах та ін.) для автоматичного ввімкнення-вимкнення освітлення; можлива економія електроенергії становить 10–20%, середній строк окупності (у США) – 1 рік.

6. Поєднання автоматичного і ручного контролю за освітленням, природного і штучного освітлення вдень (увімкнення у разі потреби віддалених від вікон ламп, використання рефлекторів, розсіювачів світла тощо).

7. Застосування систем денного (природного) світла, особливо на етапі проектування нових будівель (правильне розміщення вікон, використання розсіювання світла стінами, архітектурними деталями тощо). Можливе зменшення використання електроенергії на освітлення до 70%.

14.2. Підвищення ефективності використання тепла в основних процесах

У молочній промисловості теплова енергія (енергія палива) використовується у великих обсягах для процесів прямого нагрівання і виробництва пари. Так, на молочних підприємствах США 80% палива (переважно природного газу) витрачається на виробничі теплові процеси, решта використовується в інших процесах та для потреби будівель (ОВК). Молочні підприємства США споживають 13% газу від усієї харчової галузі країни [2,23].

14.2.1. Генерація та розподілення пари

Основні узагальнені заходи підвищення ефективності використання тепла такі [1,23]:

1. Контроль процесу виробництва пари (підтримування оптимального режиму спалювання в парових котлах).
2. Зниження кількості димових газів (модифікація парових котлів для покращення циркуляції відпрацьованих газів) (зберігається до 15% теплової енергії у внутрішньому об'ємі).
3. Зменшення об'єму надлишкового повітря.
4. Належний вибір параметрів котлів/систем нагрівання.
5. Запобігання витокам пари (ремонт протікань).
6. Покращення теплоізоляції котлів і паропроводів.
7. Повернення конденсату.
8. Застосування конденсаційного економайзера.
9. Вилучення/утилізація продувної пари.
10. Вдосконалення і моніторинг паровловлювача.
11. Вилучення «миттєвої» пари.
12. Використання сонячних нагрівачів для нагрівання/попереднього нагрівання води.
13. Використання гарячої води, що утворюється під час охолодження.
14. Встановлення терморегуляторів на радіаторах опалення.

14.2.2. Процеси пастеризації/стерилізації та інших видів теплового оброблення

Наведені нижче заходи для підвищення ефективності використання тепла стосуються виробництв різних видів молочної продукції, де застосовуються процеси пастеризації/стерилізації, або інших видів високотемпературного оброблення [1,23]:

1. Використання апаратів безперервної дії замість апаратів періодичної дії.
2. Покращення теплоізоляції в апаратах і трубопроводах.
3. Використання регенерації тепла, а саме: нагрівання холодного молока, призначеного для пастеризації, гарячим молоком після пастеризації з одночасним його попереднім охолодженням (можливе вилучення тепла до 95%; окупність встановлення теплообмінника – 1,5 року).
4. Використання додаткових пластин у наявних пластинчастих теплообмінниках для підвищення ефективності вилучення тепла з молока після його теплового оброблення.

5. Для безперервно діючих пастеризаторів і стерилізаторів: установлення спіральних теплообмінників замість трубчастих (підвищується швидкість теплообміну, знижуються забруднення (відкладення на стінках) і вартість обслуговування).

6. Використання індукційних нагрівачів (замість тепла від парових котлів) для пастеризації/стерилізації молока (реалізована окупність – 3,3 року).

7. Використання гарячої води, що утворюється під час охолодження, для попереднього нагрівання.

8. Покращення роботи теплообмінників, а саме: запобігання утворенню шару відкладень (передусім з денатурованого білка сироватки і фосфату кальцію) на внутрішніх поверхнях теплообмінників (наприклад, завдяки вчасному використанню СІР-чищення і правильному підбору хімікатів). Можливе збереження енергії становить 8%.

9. Здійснення температурного контролю у процесах виробництва.

10. Використання сонячних нагрівачів для нагрівання/попереднього нагрівання води.

14.2.3. Процеси випаровування

Для запобігання (або зменшення) витратам і втратам тепла у процесах випаровування рекомендовано наступні заходи [23]:

1. Належне утримання випарних апаратів, а саме:

- контроль і запобігання надходженню повітря у випарники для мінімізації викидів у атмосферу;

- очищення поверхні теплообміну для забезпечення ефективного передавання енергії;

- контроль і заміна вологої, пошкодженої або зіпсованої ізоляції;

- чищення паросепараторів для утримання продукту і тиску;

- контроль і запобігання надходженню води в систему, щоб не допустити розведення потоку продукту;

- утримання оптимального режиму тиску в випарнику (надмірний тиск гальмує випаровування через підвищення точки кипіння).

2. Застосування багатоступеневих випарників замість одноступеневих (наприклад, для випаровування сироватки кожен ступінь знижує споживання пари на 25%, хоча збільшує інвестиції на 15% [23]).

3. Використання системи механічної рекомпресії пари (у процесах концентрування молока, вершків і сироватки). Потенціал економії пари становить від 10 до 30%.

4. Застосування процесів мембранного фільтрування, як більш енергоефективних процесів, для попереднього концентрування (молока, сироватки) перед випаровуванням.

14.2.4. Сушіння

Сушіння, яке застосовують для виробництва сухих/порошкоподібних продуктів, є найбільш енергоємним процесом. Під час сушіння споживається в 6 разів більше пари на одиницю видаленої води, ніж у процесі випаровування [23]. Рекомендовано такі заходи для зменшення споживання тепла у виробництві сухих продуктів [23]:

1. Видалення якнайбільшої кількості води перед сушінням за допомогою процесів мембранного фільтрування і/або випаровування.

2. Оптимізація температурного режиму процесу сушіння розпилюванням, а саме: температура вхідного повітря для сушіння має бути якнайвищою, а вихідного повітря –

якнайнижчою, але з урахуванням впливу температури на якість продукту; потенціал зменшення споживання пари становить 29%.

3. Забезпечення підвищеної якості вхідного повітря для сушіння, наприклад, забирати повітря з сухої та теплої зони, подалі від місць використання пари або води.

4. Моніторинг вхідного повітря, встановлення пристроїв для вимірювання температури і вологості повітря для корегування умов сушіння.

5. Застосування багатоступеневого сушіння (2–3 ступеня), на останньому ступені використовувати сушіння у псевдо зрідженому шарі; потенціал зменшення споживання пари – 10%.

6. Під час виробництва сухої сироватки: введення процесу кристалізації лактози сироватки перед її випаровуванням і сушінням, завдяки чому під час наступного випаровування видаляється більше води; споживання пари може бути зменшено від 6,6 до 5,5 кг на 1 кг продукту, а в поєднанні з багатоступеневим сушінням потенціал зменшення споживання пари становитиме 24%.

7. Вилучення тепла вихідного повітря (30% тепла може бути вилучено за умови очищення повітря від частинок (порошку) продукту фільтруванням).

14.3. Підтримка підприємств у збереженні ресурсів

На підприємствах США процесори можуть контролювати і зменшувати споживання енергії, викиди та експлуатаційні витрати через on-line-ресурс Dairy Plant Smart (www.USDairy.com/PlantSmart). Виробники можуть використовувати приклади з доведеними/перевіреними підходами до енергоефективності, які забезпечують збереження енергії та вартості [23].

15. Універсальні/загальні заходи з підвищення ефективності водокористування в молочній галузі

15.1. Виробництво сирого молока на молочних фермах

Як було розглянуто раніше, у повному циклі виробництва молока і молочних продуктів основна частка водних ресурсів (близько 97%) споживається на стадії сільськогосподарського виробництва молока на фермах, як сировина для підприємств. З огляду на це економія ресурсів на молочних фермах має знизити загальний «екологічний слід» молочної галузі та зменшити вартість основного сировинного матеріалу для молочних підприємств.

Хоча розглядання ефективності використання ресурсів під час виробництва сирого молока не є завданням цього посібника, наведемо головні підходи щодо економії води на молочних фермах.

Один з основних заходів для зменшення споживання води – це її повторне використання. Наприклад, у США [13] на молочних фермах воду використовують повторно по 4–5 разів. Водою для миття молокоприймачів миють виробничі приміщення, а потім поливають сільськогосподарські землі. Сучасні ферми застосовують теплообмінники, в яких холодна вода частково охолоджує молоко і після цього використовується для поїння корів.

Важливими є заходи для запобігання утворенню поверхневого стоку і надходженню біогенних речовин у водойми (у зв'язку з використанням гною і хімікатів як добрив, що є головною небезпекою біогенного забруднення води). Ці заходи передбачають належне поводження з гноєм і оброблення ґрунту, створення буферних стрічок, анаеробних лагун, герметичних систем.

15.2. Виробництво молока і молочних продуктів на підприємствах

15.2.1. Водоспоживання

Близько 98% води, що споживається на підприємствах галузі, – вода питної якості. Якість води має відповідати ДСанПіН 2.24-171-10 [38]. Підготовку води для спеціальних цілей, зокрема виробництва пари, додатково здійснюють на підприємствах.

Наведемо прості універсальні заходи для зменшення споживання і втрат води, які стосуються належного господарювання і не потребують або потребують незначних фінансових інвестицій [2,18,20]:

- якщо система водопостачання підприємства працює з надмірно високим тиском, потрібно встановлювати регулятори для зниження тиску/витрати води (де можливо) до мінімально допустимого тиску в системі; з його підвищенням від 300 до 500 кПа витрата/потік води з водопровідного крану збільшується приблизно від 10 до 30 л/хв;
- контролювати стан водопровідної системи – ремонтувати/замінити крани, що протікають, іншу арматуру і трубопроводи;
- запобігати зайвим витратам води через сантехнічне обладнання – встановлювати водоощадні змішувачі води, туалети, душові насадки, розпилювачі на шлангах тощо;
- здійснювати моніторинг витрат води, встановлювати вимірювальне обладнання на установках, особливо з високим споживанням води;
- контролювати таймерами або спеціальними обмежувачами ручне миття обладнання, резервуарів тощо.

Загальні для галузі технологічні заходи щодо зменшення споживання води наступні [18,20]:

- розділяти стічні води за складом та концентрацією домішок/забруднювальних речовин для повторного використання води, рециркуляції та утилізації;
- забезпечувати рециркуляцію води для некритичного водокористування (чищення робочих місць, попереднього ополіскування тощо);
- використовувати безперервні технологічні процеси (замість періодичних) для зменшення частоти миття/чищення обладнання;
- встановлювати водоміри на обладнанні з високим водоспоживанням для контролю витрат води;
- використовувати чищення повітрям замість води, де це можливо;
- фіксувати та ліквідувати всі витоки води, переливання, всі нетехнологічні втрати.

Спеціальні заходи для зменшення споживання води у процесах виробництва окремих молочних продуктів наведено у розд. 5–10; у процесах миття/чищення – у п. 15.2.3.

15.2.2. Водовідведення

Стічні води молочної промисловості містять переважно молоко і решту молочних продуктів, які втрачаються у процесі виробництва, а також детергенти, кислотні та лужні мийні агенти. Втрати молока можуть становити 3–4%, основне джерело яких – залишки в ємностях і трубах, а також переливання, проливання і витоки.

Ключові стратегії для зменшення органічного навантаження на стічні води наступні [19]:

1. Забезпечення повного випорожнення технологічних ємностей і труб та використання приладдя, зокрема шомполу для видалення залишку продуктів перед миттям/чищенням:
 - обладнання, апаратура, молокопроводи слід змонтувати так, щоб забезпечити повне зливання молока і мийних засобів;
 - збирання першого ополоску від миття ємностей, обладнання, трубопроводів із подальшим його використанням.
2. Використання контролерів рівня й автоматичних систем перекриття для запобігання проливанню із ємностей і випорожнення резервуарів.
3. Збирання просипаного твердого матеріалу (твердого сиру, порошоків) для повторного оброблення, або використання їх як корму для тварин (замість змивання їх у дренаж).
4. Встановлення сіток на дренажах ґраток для запобігання надходженню твердих матеріалів у стічну воду.
5. Встановлення на лінії миття оптичних сенсорів, що розрізняють продукт і воду для зменшення втрат обох.
6. Встановлення контролерів рівня й автоматичних систем перекриття на резервуарах (цистернах) для запобігання переповненню (переливанням).
7. Використання техніки сухого чищення, де можливо (протирання ємностей перед миттям або попереднє чищення стиснутим повітрям).
8. Використання приладдя, зокрема, подібного до шомполу, для сухого видалення продукту з труб перед внутрішнім чищенням цистерн.

Заходи, які націлені на зниження кількості молока та інших рідких продуктів, що потрапляють у стічну воду, наступні:

- запобігання проливанням під час роз'єднання труб і шлангів;
- забезпечення повного випорожнення ємностей (резервуарів) і шлангів перед роз'єднанням;
- використання належного обладнання для збирання проливання;
- ідентифікація і маркування всіх трубопроводів для запобігання неправильному з'єднанню, яке може призвести до небажаного змішування продуктів;
- встановлення труб із невеликим нахилом для уможливлення їх самопливного випорожнення;
- встановлення в ємностях контролю рівня для запобігання переливанням;
- забезпечення умов для того, щоб тверда фаза, утворювана в центрифугах, збиралася окремо і не потрапляла у стічну воду.

15.2.3. Удосконалення процесів миття/дезінфекції та зменшення використання ресурсів

Споживання «санітарної» води», тобто води, призначеної для процесів миття/чищення та дезінфікування, становить від 50 до 90% від загального споживання води молочними підприємствами [18]. В Україні процес миття/чищення регламентують «Державні санітарні правила для молокопереробних підприємств» [24].

Операції миття/чищення становлять найбільшу частку забруднених стічних вод, споживають значну частку електроенергії і тепла (гаряча вода), хімікатів, які спричиняють мінеральне та органічне забруднення стічних вод. Принципову схему процесу миття/чищення показано на рис. 15.1.



Рис. 15.1. Схема процесу миття/чищення [1].

На першій стадії, тобто стадії попереднього промивання чистою водою без хімікатів, з водою вилучаються залишки продуктів, і цю воду можна використовувати для різних цілей на виробництві. Наступні стадії – лужне миття, промивання водою, кислотне миття і кінцеве промивання чистою водою – утворюють стічні води, з яких можуть бути вилучені хімікати і вода для повторного використання.

Заходи для підвищення ефективності процесів миття і збереження ресурсів (води, матеріалів, енергії, трудових ресурсів) наступні: [1,2,20]:

1. Практикувати сухе чищення обладнання, ємностей, збирання бруду з підлоги перед миттям.
2. Замінювати детергенти на основі кислот і етилендіамінтетраоцтової кислоти (EDTA) на екологічно безпечніші.
3. Використовувати автоматизовані системи (CIP) для процесів миття, а для великих підприємств із розгалуженою системою труб – декілька CIP-систем замість однієї централізованої.
4. Для зменшення витрат промивної води і відходів продукту в CIP-системах установлювати на лінії миття вимірювачі електропровідності, каламутності для визначення поверхні розділу між водою і продуктом, що змивається, або встановлювати таймери.
5. Налаштовувати CIP-систему та здійснювати контроль за її роботою для правильного дозування хімікатів і споживання води, а також за температурою води.
6. Застосовувати найбільш ефективні CIP-системи з багаторазовим використанням промивної води і хімікатів, які можуть вилучатися з відпрацьованої мийної води, наприклад, мембранним фільтруванням.
7. У разі використання ручного миття зі шлангів установлювати арматуру, тобто пристрої, які обмежують або контролюють потік води, а також вимикачі на кінці шлангів для миття.
8. Для ручного миття використовувати пінне миття під низьким тиском.
9. Використовувати імпульсне попереднє промивання водою (переривчастим потоком) резервуарів, ємностей, танків (замість безперервного потоку) перед хімічним чищенням для максимального вилучення продукту і зменшення споживання води.
10. Використовувати високий тиск води для миття/чищення поверхонь (замість більшої витрати води).

11. Повторно використовувати порівняно чисту відпрацьовану воду (наприклад, після фінального промивання) для інших стадій миття або для некритичного використання.
12. Повторно використовувати теплу охолоджувальну воду для миття/чищення (враховувати гігієнічні аспекти).
13. Навчати/тренувати операторів для підвищення ефективності миття/чищення.

15.2.4. Повторне використання води

Для оцінювання заходів з повторного використання води на підприємстві необхідно враховувати фактичну вартість (собівартість) води, включаючи обслуговування водопровідно-каналізаційної системи (трубопроводів, насосів, свердловин, водонапірних башт, резервуарів для води тощо), витрати енергії на перекачування, вартість локального очищення стічних вод підприємства, а також підготовку води на певному підприємстві для спеціальних цілей (наприклад, пом'якшення для виробництва пари, демінералізація, знезараження тощо).

Вартість води, яку спеціально кондиціонують на підприємстві для різних процесів виробництва, може бути набагато вищою за вартість води, яку сплачує підприємство постачальнику.

Наведемо дані про вартість різних типів води, яку використовують на підприємствах Великої Британії (не враховано капітальні витрати) [18]:

- Водопостачання (тариф 2006–2007 рр.) 0.50 – 1.50 фунтів стерлінгів/м³ (залежить від постачальника);
- Хлорована вода 0.90–1.90 фунтів стерлінгів/м³;
- Пом'якшена вода 0.85–2.20 фунтів стерлінгів/м³;
- Демінералізована вода 4.50–6.50 фунтів стерлінгів/м³;
- Конденсат 4.00–6.00 фунтів стерлінгів /м³;
- Пара 21–24 фунтів стерлінгів/т.

Підготовка і постачання свіжої води, а також очищення стічних вод потребують витрат енергії, що супроводжується викидами парникових газів. Так, постачання 1 Мл води еквівалентно викидам 0,289 т парникових газів, а очищення 1 Мл стічної води – викидам 0,406 т парникових газів [18,39].

Можливості повторного використання води пов'язані з розділенням потоків відпрацьованої/стічної води на підприємстві та в окремих цехах. Деякі спеціальні опції у процесах виробництва молочних продуктів наведено у розд. 5–10, а у процесі миття/чищення – у п. 15.2.3. Повторне використання «вторинної води», яка здебільшого складається з конденсатів продукту від процесів випаровування, води від ЗО у процесах концентрування продукту, значно знижує споживання свіжої води (див. підрозд. 9.5).

Однією з ключових стратегій зменшення споживання свіжої води є повторне використання охолоджувальної води.

Додаткові опції ефективного використання охолоджувальної води [20]:

- Охолоджувальну воду від охолоджувальних компресорів можна повторно використовувати як гідрозакрив у вакуумних насосах замість свіжої води або як вторинну воду для інших цілей.
- Як охолоджувальну воду можна використовувати річкову/озерну воду (для попереднього охолодження) з поверненням відпрацьованої води до джерела (є успішна практика в Північноєвропейських країнах).

Для підвищення ефективності використання води для охолодження у процесах виробництва зазвичай застосовують градирні, де відпрацьована нагріта вода охолоджується природним шляхом, зокрема розпилюванням, і знову повертається у виробництво на охолодження.

Покращення роботи системи охолодження води із застосуванням градирень рекомендують наступними способами [36]:

- використанням кислотного оброблення циркулюючої води (сірчаною або аскорбіновою кислотою), що зменшує утворення мінеральних осадів в обладнанні за рахунок випаровування води у градирні;
- встановленням системи фільтрування води з використанням швидких піщаних фільтрів або картриджних фільтрів;
- обробленням води озонуванням, що зменшує корозію, біобростання;
- для великих градирень (понад 100 т) – встановленням автоматичних систем, що контролюють електропровідність води і дозування хімікатів для зниження утворення осадів, корозії та біобростання.

Варто враховувати, що застосування замкнених систем охолодження зменшує споживання свіжої води, але підвищує споживання електричної енергії. Під час кожного повторного використання води не можна нехтувати якістю продукції та гігієнічною безпекою.

15.2.5. Оброблення/очищення стічної води

Більшість води, що використовують на молочних підприємствах, стає стічною водою, яка зазвичай надходить для очищення на комунальні очисні споруди або такі, які належать деяким підприємствам, де воду обробляють відповідно до норм скидання в комунальні каналізаційні системи, або до норм скидання у поверхневі водойми. Локально очищеними стічними водами можуть іноді поливати сільськогосподарські землі. Основні процеси оброблення/очищення стічних вод молочної галузі такі [19]:

1. Первинне оброблення (переважно фізичне):
 - проціджування (ґратки);
 - сепарація масел, мастил, жиру, нафтопродуктів;
 - усереднення (за витратою і забрудненням);
 - нейтралізація;
 - флотація;
 - відстоювання/седиментація;
 - центрифугування;
 - мочари (мокрі землі).
2. Вторинне оброблення, перед яким можуть застосовувати хімічне осадження, коагуляцію, флокуляцію – для подальшого видалення суспендованих домішок, зокрема біологічне, аеробне, анаеробне очищення або їх поєднання.
3. Третинне оброблення зазвичай здійснюють за допомогою спеціальних методів:
 - біологічного видалення азоту (активним мулом);
 - вилучення аміаку;
 - видалення фосфору;
 - фільтрування;
 - мембранного фільтрування;
 - знезараження (озоном, ультрафіолетовим опромінюванням та ін.).

Для забезпечення нормальної роботи очисних споруд (комунальних або локальних) або підвищення ефективності локального (внутрішньозаводського) оброблення стічних вод рекомендовано наступні заходи [19,20]:

1. Постійний моніторинг потоку стічних вод. Система має бути поєднана з попередженням або з автоматичним перекриттям для запобігання випадковим скиданням (наприклад, використовуються оптичні сенсори).

2. Розділення стічних вод за такими критеріями: високим вмістом забруднень (сухих залишків); дуже високим БСК; високою концентрацією солей.

3. Виокремлення жиру зі стічних вод для запобігання забрудненню стінок каналізаційних труб і для полегшення подальших процесів очищення. Очищення від жиру потрібно здійснювати у жироловлювачах або на флотаційних установках, жировий мул використовувати для поливу/живлення сільськогосподарських земель або для виробництва біогазу (в Данії утилізують 2/3 жирового мулу).

4. Нейтралізація стічних вод (до нейтрального значення рН) для запобігання корозії каналізаційних труб і порушення процесів біологічного очищення. Нейтралізацію слід здійснювати змішуванням кислих і лужних стічних вод із додаванням хімікатів для корегування рН, або без додавання (якщо використовувати резервуар для змішування достатньо великого об'єму або два резервуари).

5. Забезпечення адекватного змішування та аерації стічних вод для запобігання стратифікації в усереднювальному резервуарі й підтримання додатного рівня розчиненого кисню.

6. Для потоку стічних вод із показником БСК понад 1000–1500 мг/л розглядати використання (попереднього) анаеробного процесу очищення.

7. Для потоків стічних вод із невисоким органічним забрудненням застосовувати процеси аеробного оброблення (різні варіанти використання активного мулу, мембранні біореактори, гібридні аеробні реактори).

Втілюючи кращі практики водокористування і використання ВАТ (кращих доступних технологій) для локального очищення стічних вод на підприємствах молочної галузі, можна досягати рівня очищення, що відповідає нормам скидання стічних вод у поверхневі водойми.

Досяжні (у разі втілення ВАТ) показники якості стічної води після локального очищення для прямого скидання у водойми, з орієнтацією на основні Європейські екологічні документи, наведено у табл. 15.1 [19].

Таблиця 15.1. Досяжні рівні очищення стічної води молочної галузі для скидання в поверхневі водойми [19]

Показник якості	Рівень очищення	Примітка
рН	6–9	–
БСК ₅	понад 90% зниження, або 20–40 мг/л	Біологічне споживання кисню за 5 діб
ХСК	понад 75% зниження, або 125–250 мг/л	Хімічне споживання кисню
Завислі речовини	50 мг/л	–
Амонійний азот (N)	10 мг/л	–
Загальний азот (N)	понад 80% видалення, або 5–25 мг/л	Сума азоту за К'ельдалем, нітратів і нітритів
Загальний фосфор (P)	понад 80% видалення або 2–5 мг/л	Ліміт залежатиме від чутливості водойми, в яку відбувається скидання
Мастила, жири, бруд	10–15 мг/л	–
Мінеральна олива	20 мг/л	–
Мінеральна олива (від біологічного очищення)	1,0 мг/л	–

16. Рекомендації з вибору та заміни сировинних матеріалів на безпечніші

Основні види сировинних матеріалів, які використовують у виробництві на молочних підприємствах (окрім сирого молока та харчових добавок), наступні: холодильні агенти, мийні та дезінфікувальні засоби, хелатні агенти, пакувальні матеріали.

16.1. Холодильні агенти

Під час вибору холодильного агенту варто враховувати його екологічний вплив. Галогеновані холодильні агенти, передусім фреони (CFC), які спричиняють руйнування стратосферного озонового шару, а також гідрохлорфторвуглеводні (HCFC), які спричиняють парниковий ефект і сприяють глобальному потеплінню, необхідно усунути зі споживання, замінивши їх на аміак, гліколь або лід-воду. У випадку використання аміаку та гліколю слід вживати особливі заходи безпеки для попередження витоків, наприклад, забезпечувати захист трубопроводів від зовнішніх пошкоджень, а також регулярно перевіряти і належно утримувати систему [19,20].

16.2. Мийні та дезінфікувальні засоби

Типові мийні засоби, які застосовуються у молочній галузі, наступні:

- луги – гідроксиди натрію (NaOH) і калію (KOH), карбонат натрію (Na_2CO_3);
- кислоти – азотна (HNO_3), фосфорна, лимонна;
- попередньо приготовлені мийні засоби, що містять хелатні агенти – EDTA, NTA, фосфати, поліфосфати, фосфонати, або поверхнево-активні речовини (ПАВ).

Лужні засоби, найпоширенішим серед яких є карбонат натрію (каустик), видаляють (відмивають) зі стінок труб жир та білки, кислотні засоби – мінеральні відкладення, хелатні агенти розчиняють водонерозчинні кристалічні осади кальцію, магнію, важких металів. Хімікати, які використовують для миття і дезінфікування, надходять у стічну воду і створюють додаткові специфічні проблеми для станцій очищення стічних вод.

Головним методом зменшення споживання і скидання хімічних засобів для миття обладнання є їхнє повторне використання за допомогою автоматичних систем миття (CIP-систем) (див. п. 15.2.2). Крім того, неорганічні кислоти, що є екологічно небезпечними, можна замінити альтернативними мийними засобами.

Для запобігання біологічному забрудненню продуктів обладнання і приміщення підприємства періодично дезінфікують, застосовуючи для цього окиснювальні біоциди (хлор/бром, озон, пероксид водню) та неокиснювальні біоциди (четвертинні амонійні солі, формальдегід та ін.), а також оброблення ультрафіолетовим опромінюванням [4,19]. Головний принцип вибору матеріалів для чищення/миття та дезінфікування – ефективність видалення основних забруднень, висока бактерицидна дія і найменша небезпека для НС та здоров'я. Використання біоцидів часто пов'язано із розпилюванням, що потребує заходів безпеки для працівників. Вибір схеми чищення/миття може здійснюватися індивідуально, залежно від умов виробництва [4].

16.3. Хелатні агенти

Хелатні агенти (хімічні сполуки, що утворюють водорозчинні комплекси з осадоутворювальними компонентами) застосовують для очищення стінок труб і ємностей від нерозчинних осадів кальцію, магнію і важких металів, а також для запобігання їх утворенню. Найбільш поширеним і ефективним хелатним агентом є EDTA, крім якого використовують NTA (нітрилотриацетат), MGDA (метилгліциндіацетат), фосфати (наприклад, тринатрійфосфат), поліфосфати, фосфонати, ензимні детергенти. Етилендіамінтетраоцтова кислота, крім ефективною

інгібувальної дії, посилює бактерицидну дію мийних і дезінфікувальних агентів. Проте вона є екологічно небезпечною для водних об'єктів (сприяє евтрофікації водойм, як й інші азотомісткі та фосфоромісткі хелатні агенти) і, у зв'язку зі стійкістю комплексів до біологічної деструкції, створює неспецифічне навантаження на станції очищення комунальних стічних вод [4].

Рекомендовано такі заходи для зменшення споживання EDTA як хелатного агенту [4]:

1. Оскільки формування осадів кальцію (у вигляді молочного каменю) зумовлено наявністю кальцію в молочному протеїні, потрібно мінімізувати утворення молочного каменю через утримання високої стабільності молочного протеїну. Це може бути досягнуто завдяки:

- плануванню виробництва для запобігання повторному переробленню молока і його додатковому перекачуванню;
- оптимізації тривалості (зменшення часу) оброблення молока;
- використанню сирого молока високої якості (в якому протеїни мають підвищену стабільність до теплового оброблення).

2. Не потрібно використовувати EDTA для миття пластикових (з PET – поліетилен-терефталату) і скляних пляшок, для миття обладнання з-під сирого молока (де важливо видаляти лише жирову плівку).

3. За умови більш низької температури пастеризації одноступеневе миття з використанням EDTA можна замінити двоступеневим миттям із використанням NTA.

4. Частково замінити EDTA ензимним детергентом у поєднанні з фосфонатами і з періодичним використанням EDTA (декілька разів протягом місяця) для чищення/миття (успішна практика).

16.4. Пакувальні матеріали

Пакувальні матеріали для готових продуктів необхідно обирати, виходячи з гігієнічних вимог харчової безпеки, потрібної міцності, ваги і компактності для транспортування й використання, а також з урахуванням їх найменшої екологічної шкоди та уможливлення безпечної утилізації [19].

17. Інформація з бенчмаркінгу для оцінювання ефективності використання ресурсів на підприємствах галузі

Бенчмаркінг – це порівняння ефективності виробничих процесів на певному підприємстві з аналогічними процесами на інших підприємствах галузі, що використовують кращі практики і мають кращі показники виробництва. Для бенчмаркінгу з ефективності використання ресурсів у харчовій/молочній галузі використовують такі питомі показники [11,19]:

- споживання енергії на одиницю готової продукції (питного молока, масла, сиру тощо), у кВт·год/л і кВт·год/кг, або на одиницю вхідного сирого молока, у кВт·год/л, МВт·год/Мл;
- споживання води на одиницю готової продукції (л/л і л/кг), або на одиницю вхідного сирого молока (л/л і л/кг, м³/Мл і м³/т);
- утворення стічних вод на одиницю готової продукції (питного молока, масла, сиру тощо), або на одиницю вхідного молока, у л/л і л/кг, м³/Мл і м³/т);
- надходження у стічну воду основних забрудників (за показниками ХСК, БСК і вмісту жиру) на одиницю вхідного молока, у кг/т молока;
- споживання і надходження у стічну воду мийних і дезінфікувальних засобів, у кг/т вхідного молока, кг/м³ стічних вод;
- утворення відходів продуктів на одиницю готової продукції;
- утворення відходів пакувальних матеріалів на одиницю готової продукції;
- інші (якщо треба, наприклад, споживання сировини на одиницю готової продукції).

Бенчмаркінг допомагає визначити місце підприємства за ефективністю використання ресурсів серед інших, кращих аналогічних підприємств своєї країни і світу, виявити потенціал зменшення споживання і нетехнологічних втрат енергії, води й матеріалів, а також розробити програму і заходи з підвищення ефективності їх використання. У США Національна Лабораторія LBNL [11] розробила спеціальну комп'ютерну програму «BEST-Dairy tool», призначену для промисловців молочної галузі. За даними споживання ресурсів, які вводить зацікавлене підприємство, для кожного молочного продукту програма розраховує і подає індикатор споживання енергії/води (EII). Розрахунки, залежно від наявних вихідних даних, можуть виконуватися для трьох рівнів: 1) для рівня підприємства; 2) для групи (блоку) процесів; 3) для покрокових операцій обраного процесу. Індикатор EII є безрозмірною величиною, і якщо його значення дорівнює 100, то підприємство/процес перебуває на рівні кращих підприємств галузі для обраного періоду часу; якщо $EII > 100$, то підприємство/процес споживає більше ресурсів і має потенціал для зменшення; якщо $EII < 100$ підприємство має кращі показники, ніж усі проаналізовані підприємства світу і може поповнити програму «BEST-Dairy tool». Програму зроблено для користування в MS Excel (BEST Dairy), інструкцію для користувачів описано у праці [11].

Дані, які можна використовувати для бенчмаркінгу з водокористування на будь-якому молочному підприємстві, наведено в табл. 17.1.

Таблиця 17.1. Питомі бенчмаркінгові показники використання води і навантаження на стічну воду за ХСК* під час виробництва окремих молочних продуктів (дані для підприємств Великої Британії [18]**)

№ з/п	Основний продукт (підрозділ)	Показник водо-користування	Питоме споживання води і ХСК стічної води				
			Мінімальне (добре)	Середнє	Максимальне (погано)	Квартиль***	
						Верхній	Нижній
1.	Товарне питне молоко	м ³ води/м ³ продукту	0,5	1,3	2,6	0,9	1,5
		ХСК, кг/т продукту	0,6	4,2	8,4	2,9	5,7
2.	Сир та масло	літр води/кг продукту	0,5	5,7	18,5	1,3	10,0
		ХСК, кг/т продукту	2,6	23,6	115,5	4,9	22,5
3.	Інші молочні продукти	літр води/кг продукту	0,2	3,8	10,9	1,3	6,3
		ХСК, кг/т продукту	5,1	9,7	17,9	7,5	11,0

*ХСК – у цьому разі показник забруднення стічної води перераховано на 1 т продукту, кг О₂ /т продукту).

**Незважаючи на те, що наведені бенчмаркінгові показники стосуються 2004–2006 рр., вони залишаються актуальними й нині, тому що кращі (мінімальні) показники ще не є типовими для сучасних підприємств.

***Нижній квартиль – набір даних, що містять 25% найнижчих показників споживання води (наприклад, 0,9 і менше – показник підприємства кращий від середнього, але ще є можливості для покращення). Верхній квартиль – набір даних, що містять 25% найвищих показників споживання води (наприклад, 1,5 і більше – показник підприємства гірший, ніж середній, і є значні можливості для покращення).

Документи BREF [4] та UNEP [2] подають показники споживання ресурсів, яких можна досягти в молочній промисловості за умови використання ВАР (кращих технік/технологій) (табл. 17.2 і 17.3).

Таблиця 17.2. Бенчмаркінгові показники споживання енергії, води й утворення стічних вод у молочній промисловості за даними праці [4]

№ з/п	Процес/ продукт	Споживання енергії	Споживання води	Стічні води
1.	Товарне питне молоко	0,07–0,2 кВт·год/л	0,6–1,8 л/л	0,8–1,7 л/л
2.	Сухе молоко	0,3–0,4 кВт·год/л	0,8–1,7 л/л	0,8–1,5 л/л
3.	Морозиво	0,6–2,8 кВт·год/кг	4,0–5,0 л/кг	2,7–4,0 л/кг

Дані зі споживання енергії та води можуть різнитися не тільки для окремих процесів та способів їх проведення, але й для різних обсягів виробництва.

Таблиця 17.3. Бенчмаркінгові показники споживання енергії, води й утворення стічних вод у молочній промисловості (на 1 л обробленого молока) за даними праці [2]

№ з/п	Продукт	Вода, л/л	Енергія, кВт·год/л	Стічні води, л/л
1.	Питне молоко та кисломолочні продукти	1,0–1,5	0,1–0,2	0,9–1,4
2.	Сир та сироватка	1,4–2,0	0,2–0,3	1,2–1,8
3.	Порошкове молоко, сир та/або рідкі продукти	0,8–1,7	0,3–0,4	0,8–1,5
4.	Морозиво (на 1 кг продукту)	4,0–5,0	0,8–1,2	2,7–4,0

18. Ефективність РЕЧВ-заходів зі зниження споживання ресурсів на підприємствах Європи, США та Канади

18.1. Ефективність заходів зі зменшення споживання електроенергії

Приклади зменшення споживання електроенергії за умови запровадження РЕЧВ-заходів на деяких підприємствах молочної/харчової галузі Європи, США та Канади наведено у табл. 18.1 [4,20,23].

Таблиця 18.1. Зменшення споживання електроенергії за умови запровадження РЕЧВ-заходів на деяких підприємствах молочної/харчової галузі США, Канади та Європи

Країна	Підприємство	РЕЧВ-заходи	Річна економія споживання електроенергії	Економія вартості	Термін окупності
США	Sara Lee bakery, Sacramento, California (2004)	Модернізація компресорів	471 000 кВт·год	50 000 дол. США	6,5 міс.
США	Yasama Corporation USA, Salem, Oregon (2004)	Встановлення системи контролю за роботою компресора	100 000 кВт·год	5 100 дол. США	–

Країна	Підприємство	РЕЧВ-заходи	Річна економія споживання електроенергії	Економія вартості	Термін окупності
США	Canadaigua Wine Company, Lody, California	Встановлення додаткового малопотужного компресора (для роботи в період неповного навантаження)	218 000 кВт·год	27 000 дол. США	1,2 року
США	Mlad Johnson Nutritionals, Evansville, Indiana (1994)	Введення системи моніторингу, встановлення малопотужних компресорів, ліквідація витоків	4% від сумарного споживання	102 000 дол. США	2,5 року
Канада	Unilever Canada	Встановлення детекторів руху в офісах, складах	–	3 900 дол. США	1 рік
Канада	Unilever Canada, Rexdale Plant (2008)	Заміна 44 освітлювальних трубок T-12 на T-8	30%	1 400 дол. США	2,6 року
Данія	Taulov dairy, Arla Foods	Застосування УФ для стандартизації протеїнів сирного молока (потужність – 25 000 т сиру/рік)	473 МВт·год (та економія тепла і води)	–	5,9 року
Данія	Taulov dairy, Arla Foods	Оптимізація системи автоматизованого миття сирних форм у безперервному режимі	39% порівняно з традиційним періодичним миттям	Економія експлуатаційних витрат	3,6 року
Данія	Taulov dairy, Arla Foods	Повна автоматизація миття сирних стелажів, рам (потужність виробництва – 25 000 т сиру/рік)	80 МВт·год (та економія тепла)	Економія експлуатаційних витрат	3,2 року
Данія	Taulov dairy, Arla Foods	Обладнання частотними конвертерами 203 двигунів (загальною потужністю 1 216 кВт)	1 325 МВт·год	90 000 євро	3,5 року
Швеція	Milko Grado dairy	Використання річкової/озерної води для охолодження	–	23 000 євро	10 років

18.2. Ефективність заходів зі зменшення споживання тепла

Приклади зменшення споживання тепла за умови втілення РЕЧВ-заходів на деяких підприємствах молочної/харчової галузі Європи та Канади наведено у табл. 18.2 [13,18,20].

Таблиця 18.2. Зменшення споживання тепла за умови впровадження РЕЧВ-заходів на деяких підприємствах молочної/харчової галузі Європи та Канади

Країна	Підприємство	РЕЧВ-заходи	Річна економія споживання тепла	Економія вартості	Термін окуп-ності
Литва	Dairy plant Kupiskio pienas	Встановлення теплообмінника для регенерації тепла з пастеризованого молока	–	–	1,5 року
Канада	Chalifoux Dairy in Sorel, Quebec	Встановлення індукційного нагрівача для пастеризації/стерилізації молока	17%	–	3,3 року
Данія	Taulov dairy, Arla Foods	Застосування УФ для стандартизації протеїнів сирного молока (потужність виробництва – 25 000 т сиру/рік)	1235 МВт·год (й економія електроенергії та води)	–	5,9 року
Данія	Taulov dairy, Arla Foods	Оптимізація системи автоматизованого миття сирних форм у безперервному режимі	64% порівняно з традиційним періодичним миттям	Зменшення експлуатаційних витрат	3,6 року
Данія	Taulov dairy, Arla Foods	Повна автоматизація миття сирних рам і стелажів (потужність виробництва – 25 000 т сиру/рік)	71 МВт·год (й економія електроенергії та води)	Зменшення експлуатаційних витрат	3,2 року
Данія	Taulov dairy, Arla Foods	Використання тепла сироватки після її пастеризації для нагрівання сирного молока перед миттям (потужність – 250 000 т сироватки/рік)	6 065 МВт·год	Зменшення витрат на енерго-ресурси	–
Фінляндія	Valio's plants in Joensuu, Naaravesi and Lapinlahti	Концентрування сироватки нанофільтрацією до 25% сухої речовини з обробкою пермеату 30	80% порівняно з випаровуванням	–	–

18.3. Ефективність заходів зі зменшення споживання води

Досягнення зі зменшення споживання води за рахунок запровадження деяких РЕЧВ-заходів на підприємствах Європи наведено в табл. 18.3 і 18.4 [18,20].

Таблиця 18.3. Середня ефективність РЕЧВ-заходів зі зменшення споживання води на підприємствах Великої Британії [18]

№ з/п	Водоощадні заходи	Типове зниження	
		На операцію/процес	% від загального споживання на підприємстві
1.	Загальнозаводські потреби (г.-п. вода):	–	–
1.1.	Туалети, пісуари, душі, водопровідні змішувачі (водоощадне обладнання)	40%	1%
2.	Виробничі потреби, зокрема:	–	–
2.1.	Замкнений цикл рециркуляції води для гідрозакриву компресорів	90%	5%
2.2.	Оптимізація СІР-системи	25%	6%
2.3.	Повторне використання охолоджувальної води від високотемпературних процесів	90%	5%
2.4.	Оптимізація використання підземної води	30%	10%
2.5.	Рециркуляція охолоджувальної води автоклава	50%	14%
2.6.	Повторне використання конденсату від розпилувальних сушарок	90%	50%
2.7.	Повторне використання зворотноосмотичного концентрату	30%	2%
2.8.	Оптимізація системи пом'якшення води	40%	2%

Таблиця 18.4. Зменшення споживання води завдяки впровадженню РЕЧВ-заходів на молочних підприємствах Данії [20]

Підприємство	РЕЧВ-заходи	Річна економія споживання води	Економія вартості	Термін окупності
Taulov dairy, Arla Foods	Застосування УФ для стандартизації протеїнів сирного молока (потужність виробництва – 25 000 т сиру/рік)	7 500 м ³ (300 л/т сиру); економія споживання енергії – 68 кВт·год/т сиру	–	5,9 року
Taulov dairy, Arla Foods	Оптимізація системи автоматизованого миття сирних форм у безперервному режимі	39% порівняно з традиційним періодичним миттям	Економія експлуатаційних витрат	3,6 року

Підприємство	РЕЧВ-заходи	Річна економія споживання води	Економія вартості	Термін окупності
Taulov dairy, Arla Foods	Повна автоматизація миття сирних стелажів і рам (потужність виробництва – 25 000 т сиру/рік)	8 500 м ³	Економія витрат на свіжу воду, електроенергію і тепло	3,2 року
Taulov dairy, Arla Foods	Оброблення розсолу для соління сиру з метою підтримання його постійної якості			
Taulov dairy, Arla Foods	Вилучення води ЗО з УФ-пермеату сироватки	125 000 м ³	Економія витрат на свіжу воду	3,8 року

За даними праці [18], підприємства молочної галузі, які систематично застосовують принципи РЕЧВ і втілюють кращі практики, досягають зниження споживання води на 20–50%.

Список використаної літератури

1. Cleaner Production Assessment in Dairy Processing [Текст]: COWI Consulting Engineers and Planners AS, Denmark. – 102 с.
2. Measuring The Green Transformation of the Economy: Guide for EU Eastern Partnership Countries [Текст]. – Paris : EaP GREEN, Partnership for Environment and Growth, 2016. – 128 с.
3. Council Directive 96/61/EC of 24 September 1996 concerning integrated pollution prevention and control [Текст]. – Чинний від 10.10.1996. – *Official Journal L 257*, 1996. – с. 26–40.
4. Reference Document on Best Available Techniques (BREF) in the Food, Drink and Milk Industries [Текст]: European IPPC, Institute for Prospective Technological Studies, 2006. – 682 с.
5. Ціхановська В.М. Стан та перспективи розвитку ринку молока та молочних продуктів України [Електронний ресурс] / В.М. Ціхановська // Економіка. Управління. Іновації. Серія : Економічні науки. – 2016. – №1. – Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/eui_2016_1_24.
6. Керанчук Т.Л. Сучасні проблеми розвитку молочного бізнесу в Україні [Електронний ресурс] / Т.Л. Керанчук // Глобальні та національні проблеми економіки. – Миколаїв, МНУ ім. В. О. Сухомлинського. – 2015. – № 4. – Режим доступу: <http://global-national.in.ua/12-vipusk-4-berezen-2015-r/595-keranchuk-t-l-suchasni-problemi-rozvitku-molochnogo-biznesu-v-ukrajini>.
7. Радько. В.І. Трансформація структури виробництва молока в сучасних умовах [Електронний ресурс] / В.І. Радько // Наукові праці Полтавської державної аграрної академії. Серія : Економічні науки. – 2013. – №1 (6). – Том 1. – Режим доступу: <https://www.pdaa.edu.ua/content/naukovi-praci-poltavskoyi-derzhavnoyi-agrarnoyi-akademiyi-seriya-ekonomichni-nauky-vypusk-15>.
8. Life Cycle Assessment of Milk Production in the Western Cape [Текст]: Pippa Notten, Kyle Mason-Jones. – Kenilworth : The Green House, 2011.

9. Life Cycle Assessment of Milk Production in Denmark [Текст]: Ilija Djekic, Jelena Miocinovic, Igor Tomasevic, Nada Smigic, Nikola Tomic / Journal of Cleaner Production, 2014. – № 68. – с. 64–72.
10. Life Cycle Assessment (LCA) of industrial milk production [Текст]: Merete Hogaas Eide / The International Journal of Life Cycle Assessment, 2002. – № 7 (2). – с. 115–126.
11. Edouard Clement. Milk Production: A Life cycle analysis [Електронний ресурс] / Edouard Clement // Educational Material Symposium, Canada. – 2015. – Режим доступу: <https://www.dairynutrition.ca/symposium/2015/milk-production-a-life-cycle-analysis>.
12. Simplified life cycle assessment of Galician milk production [Текст]: A. Hospido, M. T. Moreira, G. Feijoo / International Dairy Journal, 2003. – № 13. – с. 783–796.
13. US Dairy's Environmental Footprint. A summary of findings 2008–2012 [Текст]: Innovation Center for US Dairy, 2012. – 23 с.
14. Greenhouse gas emission from the Dairy Sector. A life cycle assessment [Текст]: P. Gerber, T. Vellinga, C. Opio et al. – Rome : Food and Agriculture Organization (FAO) of the United Nations, Animal Production and Health Division, 2010. – 98 с.
15. Greenhouse gas emissions from milk production and consumption in the United States: A cradle-to-grave life cycle assessment circa 2008 [Текст] : Greg Thoma, Jennie Popp, Darin Nutter et al. / International Dairy Journal, 2013. – № 31 (1). – с. 3–14.
16. Carbon footprint of Canadian dairy products: Calculations and issues [Текст] : X. P. C. Verge, D. Maxime, J. A. Dyer / Journal of Dairy Science, 2013. – № 96. – с. 6091–6104.
17. Greenhouse gas emission analysis for USA fluid milk processing plants: Processing, packaging, and distribution [Текст] : D.W. Nutter, D. S. Kim, R. Ulrich, G. Thoma / International Dairy Journal, 2013. – № 31. – с. 57–64.
18. Benchmarking Water Use in Dairies. Dairy UK [Текст] : Didcot, Enwirowise, 2007. – 28 с.
19. BAT Guidance Note on Best Available Techniques for the Dairy Processing Sector (1st Edition) [Текст] – Wexford : Environmental Protection Agency, 2008. – 37 с. – ISBN 1-84095-280-6.
20. Best Available Techniques (BAT) for the Nordic Dairy industry [Текст] : Eva Korsstrom, Matti Lampi. – Copenhagen: Nordic Council of Ministers, 2001. – 142 с. – ISBN 92-893-0706-4.
21. Машкін М. І., Париш Н.М. Технологія виробництва молока і молочних продуктів: Навчальне видання [Текст]. – К.: Вища освіта, 2006. – 351 с.: іл. – ISBN 966-8081-53-6.
22. ДСТУ 2212:2003. Молочна промисловість. Виробництво молока та кисломолочних продуктів. Терміни та визначення понять [Текст]. – Чинний від 01.07.2004. – К.: Держспоживстандарт України, 2004. – 22 с.
23. Energy Efficiency Improvement and Cost Saving Opportunities for the Dairy Processing Industry. An ENERGY STAR® Guide for Energy and Plant Managers [Текст]: Adrian Brush, Eric Masanet, Ernst Worrell. – Berkeley : Environmental Protection Agency, 2011. – 144 с.
24. ДСП 4.4.4.011. Державні санітарні правила для молокопереробних підприємств [Текст]. – Чинний від 11.09.1998. – К.: Держстандарт України, 1998. – 38 с.

25. Протасова Л.В. Аналіз виробництва молока та молочних продуктів в Україні [Текст] // Міжнародний збірник наукових праць: Проблеми теорії та методології бухгалтерського обліку, контролю і аналізу. – 2010. – Вип. 1 (16). – с. 229-234.
26. Consumption and Emission data [Текст]: European Dairy Association (EDA), 2002.
27. AWARENET: Agro-Food Wastes Minimisation and Reduction Network [Текст] : L. de las Fuentes / Waste Management and the Environment, 2002. – с. 305–310. – ISBN 1-85312-907-0.
28. Закон України. Про молоко та молочні продукти № 1870-IV [Текст]. – Чинний від 24.06.2004. – Відомості Верховної Ради України, 2004. – № 47. – с. 1892–1895.
29. Pollution Prevention and Abatement Handbook 1998. Toward Cleaner Production [Текст]: The World Bank Group in collaboration with the United Nations Environment Programme and the United Nations Industrial Development Organization. – Washington, D.C. : World Bank Group, 1999. – 471 с. – ISBN 0-8213-3638-X.
30. The Comprehensive Life Cycle Assessment for Greenhouse Gas and Energy Use for Cheese and Whey Products Summary [Текст]: Innovation Center for US Dairy, 2012. – 6 с.
31. Чернюшок О. А. Сироватка молочна – біологічно-цінний продукт [Електронний ресурс] / О. А. Чернюшок, О. В. Кочубей-Литвиненко, В. П. Василів, Ю.О. Дашковський, О.В. Ардинський, Л.А. Федоренко // Харчова наука і технологія. – 2011. – № 1. – с. 40-42. – Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Khnit_2011_1_12.
32. Сироватка молочна як добриво [Електронний ресурс]: Режим доступу: <http://chippolino.com.ua/syrovatka-molochna-yak-dobryvo.html>.
33. Кравченко Э.Ф. Рациональное использование молочной сыворотки [Текст] / Э.Ф. Кравченко, О.А. Яковлева // Молочная промышленность. – 2007. – № 8. – с. 46-48.
34. ДСТУ 4552:2006. Сироватка молочна суха. Технічні умови [Текст]. – Чинний від 01.01.2007. – К.: Держспоживстандарт України, 2006. – 10 с.
35. Running refrigeration plant efficiently – a cost-saving guide for owners. Good Practice Guide 279 [Текст]: Energy Efficiency Best Practice Program (EEBPP). – London : Carbon Trust, 2000. – 32 с.
36. Cooling Tower Management. Best Management Practices [Електронний ресурс]: Federal Energy Management Program. – Washington, D.C., 2006. – Режим доступу: <https://energy.gov/eere/femp/federal-energy-management-program>.
37. The Compressed Air Challenge. Training and Education: Driving Efficiency [Електронний ресурс]: Режим доступу: <http://www.compressedairchallenge.org/>.
38. ДСанПіН 2.24-171-10. Державні санітарні норми та правила «Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною» [Текст]. – Чинний від 12.05.2010. – Офіційний вісник України, 2010. – № 51. – 99 с.
39. Water UK [Електронний ресурс]: Режим доступу: <https://www.water.org.uk/>.

Для нотаток



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Swiss Confederation

Federal Department of Economic Affairs,
Education and Research EAER

State Secretariat for Economic Affairs SECO



Центр ресурсоефективного та чистого виробництва (ЦРЕЧВ)

вул. Старокиївська, 10Г, БЦ «Вектор», корп. В, поверх 3, м. Київ, 04655
проспект Перемоги, 37, корпус 6, м Київ, 03056

Тел: +380 44 406 80 62, Тел: +380 44 227 83 78

e-mail: info@recpc.org

<http://www.recpc.kpi.ua>