

М. Г. Хмельнюк, В. П. Кочетов,
А. В. Форсюк, Н. В. Жихарева

Плодоовочесховища

проектування, оптимізація, розрахунки



Міністерство освіти і науки України
Одеська національна академія харчових технологій
Національний університет харчових технологій

М.Г. ХМЕЛЬНЮК, В.П. КОЧЕТОВ, А.В. ФОРСЮК, Н.В. ЖІХАРЄВА

ПЛОДООВОЧЕСХОВИЩА

ПРОЕКТУВАННЯ, ОПТИМІЗАЦІЯ, РОЗРАХУНКИ

Підручник



ОДЕСА - 2018

УДК 621.565

ББК 31.392

Х 73



*Рекомендовано Вченою радою Одеської національної академії харчових технологій.
Протокол № 15 від 03 липня 2018р.*

*Рекомендовано Вченою радою Національного університету харчових технологій.
Протокол № 12 від 21 червня 2018р.*

Автори: Хмельнюк М. Г., д-р. техн. наук., професор, завідувач кафедри холодильних установок і кондиціювання повітря ОНАХТ.
Кочетов В. П., к.т.н., доцент кафедри холодильних установок і кондиціювання повітря ОНАХТ.
Форсюк А.В., к.т.н., доцент кафедри теплоенергетики та холодильної техніки НУХТ
Жихарєва Н. В., к.т.н., доцент кафедри холодильних установок і кондиціювання повітря ОНАХТ

Під загальною редакцією
доктора технічних наук, професора М.Г. Хмельнюка

Хмельнюк Михайло Георгійович

Х 73 Плодоовочесховища: проектування, оптимізація, розрахунки: Підручник / М. Г. Хмельнюк, В. П. Кочетов, А. В. Форсюк, Н. В. Жихарєва; Під заг. ред. М. Г. Хмельнюк. – Одеса: Бондаренко М. О., 2018. – 228с.

ISBN 978-617-7613-21-2

У даному підручнику надана методологія проектування та оптимізації систем охолодження холодильників плодовоовочесховищ на основі використання інформації діючих державних та міжнародних норм проектування будівельних конструкцій холодильників-плодовоовочесховищ різного призначення, та інформації діючих державних та міжнародних стандартів щодо властивостей продукції та технологічного регламенту її зберігання.

Звернуто увагу на необхідність перевірки нормативних документів на внесення змін. Підручник може бути використаний студентами закладів вищої освіти, що навчаються за освітніми програмами підготовки фахівців в галузі холодильної техніки і технології (спеціальність 142 «Енергетичне машинобудування»), а також при виконанні проектних розробок будівництва нових або реконструкції діючих холодильників для зберігання плодовоовочевої продукції.

УДК 621.565

ББК 31.392

This tutorial presents the methodology of designing and optimization of the refrigerating systems of the fruit and vegetables cooled storages. The methodology is based upon the state and international Norms and Regulations of construction applications along with acting state and international standards concerning the product's properties and technological storage requirements.

The attention is paid to the necessity of checking the Norms and Regulations on the amendments and changes entered. The text book may be used by the students of the higher education institutions majoring in the educational programs in industrial Refrigeration and technology (spec.142 Energy Machine Engineering) and it also may be used within the designing projects of new and modernized fruit and vegetables refrigerated storage.

ISBN 978-617-7613-21-2

© Хмельнюк М. Г., Кочетов В. П.,
Форсюк А. В., Жихарєва Н. В., 2018

ПЕРЕДМОВА

Історичний досвід боротьби з продовольчими кризами показав, що саме штучний холод є одним з механізмів, який дозволяє в значній мірі вирішити глобальну проблему дефіциту продовольства для населення всіх країн світу, суттєво зменшити втрати харчових продуктів та збільшити строки їх зберігання з високою товарною якістю шляхом гальмування метаболічних процесів старіння продукції.

Зростання чисельності населення та кліматичні зміни, що відбуваються протягом останніх десятиліть, загострюють вирішення проблем цілорічного забезпечення населення продуктами харчування у зв'язку зі зростанням потреб у збільшенні обсягів виробництва продукції та зростанням її втрат в процесі зберігання. Тому наявність штучного холоду в безперервному ланцюгу від виробництва до постачання продовольства кінцевому споживачу стала обов'язковою умовою забезпечення продовольчої безпеки в кожній країні світу.

За даними [1] наприкінці минулого сторіччя у найбільш складному стані у світі опинилося холодильне господарство системи зберігання плодоовочевої продукції.

Відповідно статистичним даним IIR питома місткість холодильників плодоовочесховищ у 1990 році складала у розвинутих країнах $\approx 0,2 \text{ м}^3$, а в країнах що розвиваються $\approx 0,052 \text{ м}^3$ на людину, а втрати овочів і фруктів, відповідно рівню питомої місткості холодильників – $\approx 15\%$ та $\approx 40\%$.

Ці дані підтвердили недостатність необхідної, рекомендованої FAO (ВОЗ) нормативної питомої місткості зберігання плодоовочевої продукції, та необхідність здійснення стратегії оптимального подальшого розвитку холодильного господарства в багатьох країнах світу.

Вирішення цієї проблеми почало привертати все більшу увагу, оскільки при наявності достатньої загальної місткості холодильників в сировинній зоні і усіх галузях промисловості, включно з Державним Резервом, створення запасів для продовольчої безпеки може бути повністю забезпечено вітчизняною продукцією, виробництво якої знаходиться в Україні на необхідному рівні.

В деяких випадках відсутність необхідної місткості холодильників веде до зростання імпорту попередньо експортованої власної продукції, яка повертається зворотно по більш високих цінах після зберігання або переробки за кордоном.

Незважаючи на прийняті в останні роки заходи до збільшення загальної місткості холодильників, в більшості країн світу, у тому числі в

Україні, стан холодильного господарства для зберігання плодоовочевої продукції залишається незадовільним, оскільки, введення нових об'єктів в дію одночасно супроводжується виведенням з дії багатьох об'єктів, що морально і фізично практично повністю зношені

Велику увагу привертають результати обстежень холодильного господарства України, що були виконані Агентством США по Міжнародному Розвитку (USAID) у 2011 році, табл. 1 [1].

Таблиця 1. Дані USAID про стан холодильного господарства аграрної сфери в Україні у 2011 р.

Вид продукції	Показники потрібної G_n , і наявної G_n місткості зберігання, та їх співвідношення G_n/G_n	Регіони України				
		Західні регіони	Центральні регіони	Східні регіони	Південні регіони	Всі регіони
Картопля	G_n , тис. т	1761	1658	547	133	4099
	G_n , тис. т	30	76	35	9	150
	G_n/G_n , %	2	5	6	7	4
Овочі	G_n , тис. т	486	403	265	279	1433
	G_n , тис. т	27	45	28	47	147
	G_n/G_n , %	6	11	11	17	10
Фрукти	G_n , тис. т	135	78	53	32	298
	G_n , тис. т	14	13	10	21	58
	G_n/G_n , %	10	17	19	66	19
Овочі і фрукти	G_n , тис. т	621	481	318	311	1730
	G_n , тис. т	41	58	38	68	205
	G_n/G_n , %	7	12	12	22	22

Ці дані підтвердили, що державна стратегія повинна бути спрямована на здійснення розвитку структури зберігання продовольчих запасів не тільки шляхом будівництва нових об'єктів, але й шляхом сталого підтримання діючих об'єктів на сучасному рівні, відповідно вимогам діючих і постійно обновлюваних державних стандартів і нормативних документів.

Головною причиною виведення з дії холодильників картопле- і плодоовочесховищ є виникнення великих втрат продукції та енерговитрат, що не компенсуються прибутками від реалізації продукції зберігання.

При цьому, при спробах відновлення холодильного обладнання та будівельно-ізоляційних конструкцій, виникають проблеми пов'язані з припиненням виробництва холодильного обладнання аналогічного спрацьованому, та з невідповідністю початкового типового або індивідуального проектного рішення новим діючим державним будівельним нормам (ДБН).

Для вирішення цієї проблеми в даному підручнику запропоновано застосування нових діючих норм проектування холодильників для зберігання плодоовочевої продукції АПК, та використання нових нормативних документів в проектах модернізації діючих об'єктів холодильного господарства, проектні рішення яких не відповідають діючим вимогам.

Велика увага приділена результатам багаторічних досліджень та досвіду розробки проектів реконструкції великої кількості холодильників плодоовочесховищ, що були здійснені працівниками наукових шкіл заслужених діячів науки України, професорів І.Г. Чумака, В.З. Жадана і В.П. Чепурненко.

Результати цих досліджень і розробок дають можливість отримати більш повне уявлення взаємозв'язків окремих показників і факторів впливу на зберігання плодоовочевої продукції, що дозволяє здійснювати оптимальний вибір конструктивних рішень будівельно-ізоляційних конструкцій і охолодних систем.

В даному підручнику передбачено розташування довідкової таблиці для щорічного заповнення інформацією щодо внесення змін в діючі нормативні документи.

ВСТУП

В промисловій практиці при проектуванні холодильників різного призначення головними керівними документами є міжнародні і державні стандарти діючі в Україні, а також діючі будівельні норми і правила, вказівки по промислового будівництва, каталоги типових проектів, будівельних конструкцій і деталей.

При розробці проектною документації обов'язково приймаються до уваги галузеві діючі нормативні і керівні документи, що визначають головні оптимальні технічні напрямки проектування, перспективи розвитку і специфіку галузі, для якої розробляється проект.

В діючі державні і міжнародні нормативні документи вносяться змінення в ході появи нових більш ефективних і апробованих розробок, а також внаслідок змінення кліматичних умов, правил техніки безпеки і вимог охорони навколишнього середовища.

Досить часто державні стандарти і нормативні документи повністю скасовуються, та натомість вводяться нові.

Тому в реальній промисловій практиці державними органами здійснюється ретельна перевірка відповідності розроблених проектів до діючої нормативної документації.

У випадку виявлення невідповідності проектною розробки діючим нормативним документам, вона повертається до виконавця для виправлення, що відмінно впливає на професійний авторитет проектною організації та її співробітників.

У тих випадках, коли невідповідність розробленого проекту до діючої нормативної документації виявляється після введення холодильного об'єкта в дію, розробник притягується в судовому порядку до компенсації виявлених втрат і витрат на виправлення помилок.

При розробці проектних рішень поперед усього повинні враховуватися властивості продукції, що закладається на зберігання.

Така спрямованість обумовлена тим, що ідентичні види і сорти продукції, що вирощуються та постачаються до холодильника з окремих регіонів, мають різні властивості і здатність лежати. Більш того, багаторічні дослідження ОНАХТ показали, що щорічні відмінності погодних умов в період вирощування продукції, також змінюють її властивості.

Тому, поперед початком розробки проектних рішень, необхідно ознайомитися з нормативними документами, що характеризують властивості продукції і регламентують умови її зберігання. Посилання на

ці документи необхідно обов'язково додати до розробленої документації.

Ця вимога обумовлена тим, що на практиці виникає досить багато випадків, коли після запуску холодильника, при підтриманні передбачених проектом параметрів технологічного регламенту, несподівано різко скорочуються строки зберігання продукції у товарному вигляді.

В результаті виникають великі фінансові втрати внаслідок наднормативного усихання і псування продукції, а більш за все – неможливості реалізації продукції в запланований період.

В більшості випадків це веде до виникнення судових позовів від власника холодильника до його розробника, або від орендатора холодительної камери до власника холодильника. При неодноразовому виникненні подібних ситуацій проектувальник може бути позбавлений ліцензії, яка дає право на виконання проектних робіт.

В основі виникнення таких кризових ситуацій часто лежить завантаження на зберігання плодоовочевої продукції, що не передбачена проектним рішенням, або завантаження необхідного виду продукції, але зі зміненими властивостями.

Тому при проектуванні холодильників картопле- і плодоовочесховищ передбачаються варіанти зберігання з врахуванням властивостей продукції, що вирощується в конкретному регіоні, або постачається з окремих регіонів.

При цьому проектувальник повинен обов'язково отримати документально завірену інформацію щодо властивостей продукції, яка буде зберігатися, та її здатності лежати. Така інформація може бути отримана від власників холодильників, що діють в цих регіонах.

Проте, не в усіх випадках це можливе. Тому проектувальники розглядають державні і міжнародні нормативні документи, і рекомендації по зберіганню плодоовочевої продукції певних видів.

В результаті визначається певний діапазон параметрів технологічного регламенту для даних видів продукції і передбачається можливість підтримання їх на певному рівні для однакових видів продукції з різними властивостями.

Тому проектні рішення в галузі вибору технології холодительної обробки і зберігання є основою для прийняття оптимальних інженерно-технічних рішень при проектуванні холодильників картопле- і плодоовочесховищ.

Отримання в учбовому процесі навичок користування державними стандартами і нормативними документами виконуючи проектні рішення холодильників різного призначення є обов'язковою умовою отримання високої професійної кваліфікації за освітніми програмами підготовки

фахівців в галузі холодильної техніки і технології спеціальності 142 «Енергетичне машинобудування».

Мета даного підручника – забезпечити можливість виконання курсових і дипломних робіт з проектування холодильників для зберігання плодоовочевої продукції відповідно міжнародним і державним стандартам і нормативним документам, що діють в Україні.

Відповідно сформульованому напрямку, на основі ВНТП-11-80, НТП-АПК1.10.12.001-02 і діючих ДСТУ у підручнику послідовно розглянуті питання технологічного проектування холодильників для зберігання фруктів, овочів і картоплі, включаючи вибір технологій холодильної обробки і зберігання плодоовочевої продукції, з врахуванням її призначення, сортових і регіональних особливостей, виду пакувань, складування і можливості застосування додаткових факторів впливу.

На основі СНіП 2.11.02-87 «Холодильники» наведено правила вибору об'ємно-планувальних рішень, питання тепло- і пароізоляції, визначення теплового навантаження, вибору і розташування холодильного обладнання.

Наведено довідкові нормативні дані щодо властивостей і параметрів технологічного регламенту холодильної обробки і зберігання основних видів плодоовочевої продукції (картопля, овочі, баштанні, фрукти, ягоди, виноград), що перелічені в Постанові КМ України «Питання продовольчої безпеки» №1379 від 05.12.07.

Передбачено, що надана інформація щодо діючих державних стандартів і нормативних документів в галузі проектування холодильних об'єктів і оформлення проектної документації підлягає щорічному коректуванню у зв'язку зі змінами, що вносяться в нормативну документацію.

В проведенні коректування інформації пропонується приймати участь студентам при виконанні самостійної роботи, що дозволить отримати корисні професійні навички.

ЗМІСТ

ПЕРЕДМОВА	3
ВСТУП	6
РОЗДІЛ 1. СВІТОВА СТРАТЕГІЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПРОДОВОЛЬНОЇ БЕЗПЕКИ І ЗНАЧЕННЯ ХОЛОДИЛЬНОГО ГОСПОДАРСТВА У ЗАБЕЗПЕЧЕННІ ЗАПАСІВ ПРОДОВОЛЬСТВА	9
1.1. Тенденції розвитку систем холодинного зберігання запасів плодовоовочевої продукції в країнах світу	9
1.2. Загальні відомості щодо тенденції розвитку системи холодинного господарства для зберігання плодовоовочевої продукції в Україні	19
1.3. Основні напрямки підтримки на сучасному рівні стану структури холодинного господарства для зберігання плодів, овочів і картоплі	25
РОЗДІЛ 2. ОСНОВНІ ПОЛОЖЕННЯ ПРОЕКТУВАННЯ	30
2.1. Фізичні умови зберігання в холодинниках плодовоовочесховищах. Визначення головних понять	30
2.2. Основні положення будівельних норм проектування холодинників плодовоовочесховищ	33
2.3. Спеціальні вимоги до об'ємно-планувальних і конструктивних рішень холодинників плодовоовочесховищ	39
2.4. Вимоги до вентиляційних систем	41
2.5. Вимоги до систем холодопостачання	43
РОЗДІЛ 3. ОПТИМІЗАЦІЯ СИСТЕМ ОХОЛОДЖЕННЯ ШЛЯХОМ МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ	46
3.1. Комплексна модель холодинного зберігання плодовоовчевої Продукції	46
3.2. Визначення оптимальних параметрів зберігання плодовоовчевої продукції	48
3.3. Визначення економічно доцільної товщини шару теплоізоляції огорожень холодинного модуля до зовнішньої	57
3.4. Використання теплосахісної оболонки для підтримання оптимального мікроклімату	61
3.5. Визначення теплостійкості огорожуючих конструкцій	64
3.5.1. Теоретичні положення теплостійкості огорожень для холодинного модуля	64
3.5.2. Інженерний метод розрахунку теплостійкості огорожень	69
3.6. Термoeкономічна модель одноступеневої холодинної установи плодовоовочесховища	70

РОЗДІЛ 4. ОСНОВНІ ПОЛОЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ЗБЕРІГАННЯ ПЛОДООВОЧЕВОЇ ПРОДУКЦІЇ В ОХОЛОДЖЕНОМУ СТАНІ	77
4.1. Загальні конструктивні вимоги	77
4.2. Вимоги до упакування і тари плодовоовочевої для плодовоовчевої продукції	81
4.3. Основні вимоги до систем регулювання газового середовища	83
РОЗДІЛ 5. ОСНОВИ ЗАМОРОЖУВАННЯ І ЗБЕРІГАННЯ ПЛОДООВОЧЕВОЇ ПРОДУКЦІЇ	88
5.1. Основні положення зберігання замороженої плодовоовчевої продукції	88
5.2. Теоретичні основи заморожування плодовоовчевої продукції	89
5.3. Фізичні властивості замороженої плодовоовчевої продукції	93
5.3.1. Взаємозв'язок температури і вологовмісту	93
5.3.2. Теплофізичні і механічні властивості замороженої плодовоовчевої продукції	95
5.3.2.1. Теплоємність	95
5.3.2.2. Теплопровідність	96
5.3.2.3. Температуропровідність	97
5.3.2.4. Ентальпія	98
5.3.2.5. Механічні властивості	99
5.4. Кінетика процесу заморожування	99
5.5. Тривалість періоду заморожування	101
5.6. Швидкість заморожування	104
5.7. Вплив різних факторів на процес заморожування	107
РОЗДІЛ 6. КОМПОНУВАННЯ КАМЕР ХОЛОДИЛЬНОГО ЗБЕРІГАННЯ ФРУКТО- І ОВОЧЕСХОВИЩ	116
6.1. Вибір приладів охолодження	116
6.2. Вибір системи регулювання газового середовища	118
6.3. Системи охолодження камер холодильної обробки і зберігання плодів та овочів	121
6.4. Загальні положення організації проектування	127
6.5. Визначення теплових навантажень на охолоджувальне обладнання	132
6.5.1. Розрахунок надходження теплоти через огороження	132
6.5.2. Розрахунок надходження теплоти від плодовоовчевої продукції під час холодильної обробки	137
6.5.3. Розрахунок надходження теплоти під час вентиляції охолоджуваних приміщень	138
6.5.4. Розрахунок експлуатаційних тепло надходжень	140

РОЗДІЛ 7. ПОСЛІДОВНІСТЬ ВИКОНАННЯ ПРОЕКТНИХ РІШЕНЬ ДЛЯ ХОЛОДИЛЬНИКІВ ЗБЕРІГАННЯ ПЛОДООВОЧЕВОЇ ПРОДУКЦІЇ	142
7.1. Отримання завдання на проектування та ознайомлення з його змістом	142
7.2. Ознайомлення з головними положеннями проектування холодильників для зберігання плодоовочевої продукції	143
7.3. Визначення вимог до розташування холодильника в заданому Регіоні	144
7.4. Визначення кліматичних умов розташування холодильника	145
7.5. Визначення асортименту видів плодоовочевої продукції, призначеної для холодильної обробки і подальшого зберігання	146
7.6. Визначення теплофізичних властивостей обраних видів продукції, параметрів регламенту її обробки, транспортування і зберігання	146
7.7. Вибір напрямку виконання проектного завдання	147
7.8. Вибір будівельно-ізоляційної конструкції	148
7.9. Вибір конструктивного рішення будівлі холодильника	149
7.10. Планування поверхових структур камер холодильного контуру ...	150
7.11. Розрахунок товщини теплоізоляції та термічного опору і теплоінерційності огорожень холодного контуру	153
7.12. Створення і узгодження кінцевої схеми планування поверхових схем розташування камер і транспортних коридорів	153
7.13. Визначення теплового навантаження на охолоджуючі прилади камер	154
7.14. Вибір типу систем охолодження камер	155
7.15. Розташування камерного обладнання	156
7.16. Розрахунок і вибір основного холодильного обладнання	156
7.17. Розрахунок і вибір додаткового обладнання	159
7.18. Компонування машинного відділення	159
7.19. Складання схеми холодильної установки	160
7.20. Складання і опис системи автоматизації	160
7.21. Економічні розрахунки	160
7.22. Оформлення розрахунково-пояснювальної та графічної частини проекту	160
7.22.1. Розрахунково-пояснювальна записка	160
7.22.2. Графічна частина	161
7.23. Узагальнені рекомендації щодо визначення теплового Балансу	162
7.23.1. Розрахунок теплонадходження у камери через Огородження	163
7.23.2. Розрахунок теплонадходження від обмінної вентиляції	166
7.23.3. Теплове навантаження внаслідок відчинення дверей	167
7.23.4. Розрахунок теплового навантаження при термообробці плодоовочевої продукції	169

7.23.5. Розрахунок теплонадходження від дихання плодоовочевої продукції в процесі зберігання	169
7.23.6. Теплове навантаження від освітлення	170
7.23.7. Теплове навантаження від обслуговуючого персоналу	170
7.23.8. Теплове навантаження від підйомно-транспортних засобів	171
7.23.9. Визначення загального теплового навантаження	171
7.23.10. Забезпечення надійності розрахунків	173
Додатки	174
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ	222