

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ  
ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ, ЕНЕРГЕТИКИ  
ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ  
КАФЕДРА МАШИНОБУДУВАННЯ

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**

другого (магістерського) рівня вищої освіти

на тему: «Дослідження температурних явищ під час зварювання упаковки з  
полімерних матеріалів»

Виконав: студент VI курсу групи Маш-62

Спеціальності 133 «Галузеве  
машинобудування»

(шифр і назва)

Юрій ГОНЧАРУК  
(Ім'я та прізвище)

Керівник:

Сергій БАРАНОВИЧ  
(Ім'я та прізвище)

Дубляни 2024

УДК330.341:621

Дослідження температурних явищ під час зварювання упаковки з полімерних матеріалів.

Гончарук Юрій Андрійович – Кваліфікаційна робота. Дубляни: Львівський національний університет природокористування, 2024. 85с. текст. част., 15 рис., 8 табл., 16 джерел.

У даній кваліфікаційній роботі проаналізовано літературні джерела розробка нових високопродуктивних автоматів для пакування сипких матеріалів у полімерну тару вимагає проведення комплексних досліджень, однією із складових яких є дослідження процесу зварювання полімерних матеріалів. Виходячи з широкої номенклатури полімерних матеріалів, суть наукової проблеми технологічного процесу термоімпульсного зварювання полягає у розробці комплексних методик, які ґрунтуються на математичному моделюванні та виборі оптимальних режимів зварювання. Базуючись на існуючих розробках і рекомендаціях по зварюванню полімерних матеріалів є необхідність в узагальненій методиці розрахунку технологічних параметрів зварювання полімерних матеріалів, яка б дала можливість безпосередньої оптимізації параметрів, що визначають технологічну та економічну особливість технологічного процесу зварювання, ефективність і продуктивність роботи пакувальних машин. Тому, доцільність впровадження такого дослідження є перспективою розвитку даної спеціальності, оскільки вимоги сучасних пакувальних технологічних ліній та автоматів є надзвичайно високими.

В розділі охорони праці проаналізовано аварійні і травматичні ситуації, які можуть виникнути під час роботи на фрезерних металообробних верстатах на підприємствах. Розглянуто заходи щодо захисту населення в надзвичайних ситуаціях.

В економічній частині даної роботи було проведено оцінку фінансової ефективності під час виготовлення однієї та тієї ж деталі на двох різних типах верстатів.

## ЗМІСТ

	ст.
Вступ	7
Розділ 1. УПАКОВКА ЯК ОЗНАКА ЯКІСНОГО ТОВАРУ	8
1.1 Призначення та класифікація поліетиленової упаковки	8
1.2 Полімерні матеріали та їх характеристика	10
1.3 Методи оцінки властивостей полімерних і комбінованих матеріалів	21
1.4 Критерії технологічності полімерної плівки	22
1.5 Виробництво полімерних плівок і полімерної тари	24
1.5.1 Способи виробництва одинарних плівкових матеріалів і полімерів	24
1.5.2 Виготовлення тари полімерної	26
1.6 Мета і задачі дослідження	29
Розділ 2. ЗВАРЮВАННЯ ПОЛІМЕРНИХ МАТЕРІАЛІВ	31
2.1 Види швів і зварюваність упаковки з полімерних матеріалів	31
2.2 Зварювання полімерних плівок термоімпульсне	40
2.3 Особливості процесу зварювання полімерних плівок	44
2.3.1 Поліетилену плівку високої густини	44
2.3.2 Матеріали армовані на базі поліетилену	45
Висновки по розділу	47
Розділ 3. МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ ЗВАРЮВАННЯ УПАКОВКИ З ПОЛІМЕРНИХ МАТЕРІАЛІВ	48
3.1 Програма і мета експериментальних досліджень	48
3.2 Формування шва та визначення похибки під час зварювання плівки полімерної	49
3.3 Установа для проведення експериментів з імпульсного зварювання	50

3.4	Експериментальне дослідження зварювання плівок полімерних	49
	Висновки до розділу	57
	Розділ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	59
4.1	Структурно функціональний аналіз процесів експлуатації обладнання для зварювання плівки	59
4.2	Умови і обставини виникнення небезпечних ситуацій та їх наслідки	59
4.3	Безпека в надзвичайних ситуаціях	62
	Висновки по розділу	64
	Розділ 5. ТЕХНІКО–ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ	71
5.1	Визначення розміру початкових інвестицій	67
5.1.1	Розрахунок потреби в новому устаткуванні	67
5.1.2	Розрахунок собівартості та ціни нового устаткування	67
5.1.3	Визначення витрат на проектування нового устаткування і на технологічне обладнання	70
5.1.4	Визначення балансової вартості старого устаткування і технологічного обладнання	71
5.1.5	Розрахунок розміру початкових інвестицій в ОВФ	71
5.2	Розрахунок зміни собівартості продукції, при виробництві якої буде використовуватись нове устаткування	73
5.2.1	Розрахунок зміни витрат на заробітну плат	75
5.2.2	Розрахунок зміни витрат на електроенергію	76
5.2.3	Розрахунок зміни витрат на ремонти устаткування	77
5.3	Розрахунок зміни нормативу оборотних коштів та загального розміру початкових інвестицій	77
5.4	Обґрунтування доцільності інвестування	82

Висновки по розділу	82
Висновки	83
Бібліографічний список	84

## Вступ

У сучасному світі упаковка стала невід'ємною частиною повсякденного життя, супроводжуючи людину на всіх етапах її діяльності. Рівень розвитку пакувальної індустрії є показником економічного та технічного розвитку країни. Найбільш розвинені країни вкладають великі ресурси в цю галузь. Наприклад, щорічні витрати на упаковку в США перевищують 52 мільярди доларів, а в Німеччині становлять близько 20 мільярдів доларів США. Загальні витрати на упаковку у світі варіюються від 450 до 500 мільярдів доларів США на рік.

Однією з характерних рис виробництва упаковки є висока наукоємність цієї галузі, в якій інженерна праця займає важливе місце. Сучасні вимоги до дизайну упаковки вимагають використання спеціалізованих інструментів для її розробки. На західному ринку такі інструменти представлені в широкому асортименті (наприклад, пакети програм Marbacad, Impact, Artios CAD, Score та інші). В Україні ці програми наразі не отримали широкого поширення. Використання систем автоматизованого проектування (САПР) є виправданим і необхідним при розробці конструкції упаковки (конструктивний дизайн), підготовці розкладки для друку та штампування відповідно до економічних і технологічних вимог, а також при проектуванні і виготовленні оснащення для висікання.

Під час проектування інженер повинен орієнтуватися на основні принципи та функції упаковки. Упаковка є засобом або набором засобів, що гарантують захист продукції від пошкоджень і втрат, запобігають забрудненню навколишнього середовища, а також забезпечують ефективний процес обігу продукції.

Тара – це ключовий елемент упаковки, який є виробом для розміщення продукції. Якщо тара здатна самостійно виконувати всі вимоги, що пред'являються до упаковки, її можна вважати упаковкою.

У цій роботі розглянуті основні типи упаковки та методи визначення робочих параметрів при зварюванні поліетиленової упаковки.

## РОЗДІЛ 1

### УПАКОВКА ЯК ОЗНАКА ЯКІСНОГО ТОВАРУ

#### 1.1 Призначення та класифікація поліетиленової упаковки

Зі збільшенням асортименту товарів на споживчому ринку, посиленням конкуренції та зростанням купівельної спроможності населення виникла потреба в удосконаленні упаковки, технологічних процесів пакування та самих пакувальних автоматів. Це стосується не тільки візуального аспекту, а й технологічних та економічних аспектів.

Основними критеріями для класифікації тари та упаковки є: призначення, матеріал, роль упаковки в процесі пакування, конструкція та технологія виготовлення. Залежно від призначення тара та упаковка поділяються на виробничу, транспортну, споживчу та спеціальну (для консервування).

Залежно від використаного матеріалу тара та упаковка поділяються на скляну, дерев'яну, металеву, полімерну, паперову, картонну тощо. За місцем розміщення в пакуванні упаковка класифікується за різними конструктивними характеристиками: на тару та допоміжні пакувальні засоби.

Залежно від технології виготовлення тару та упаковку поділяють на видувну, литу, пресовану, термоформовану та зварну полімерну.

Серед численних функцій пакування харчових продуктів у ланці виробництва - розподілу - споживання (захисна, економічна, соціальна) головною є забезпечення збереження якості продукту протягом встановленого часу та за певних умов. Основні аспекти, які повинні бути враховані при виборі пакувального матеріалу, зокрема для харчових продуктів, включають:

- природу продуктів, зокрема технологічні особливості їхнього виробництва і зберігання;
- методи оцінки властивостей пакувальних матеріалів;

- фактори, що впливають на якість продуктів під час зберігання і транспортування;
- вимоги до полімерних та комбінованих матеріалів, які використовуються для пакування харчових продуктів.

Для оцінки властивостей полімерних і комбінованих пакувальних матеріалів застосовується широкий спектр методів, що охоплюють товарознавчі, механічні, захисні, теплофізичні, санітарно-гігієнічні, оптичні, технологічні та інші характеристики. Завершальним етапом випробувань є зазвичай дослідно-виробнича перевірка на промислових технологічних лініях, яка включає закладання зразків упакованої продукції на тривале зберігання, з періодичною дегустацією продукту та тестуванням якості пакувальних матеріалів під час зберігання в контакті з харчовим продуктом. Найчастіше оцінюють механічні характеристики, газопроникність, паропроникність, ароматопроникність, жиростійкість, світлопроникність, теплостійкість, морозостійкість та технологічність.

На сучасному етапі розвитку техніки та технології пакування харчових продуктів структура багат шарових полімерних комбінованих матеріалів і тари стає дедалі складнішою. Покращення техніки та технологій виробництва одношарових плівок і методів формування полімерної тари є основою для підвищення якості сучасного харчового пакування.

Для виробництва полімерних плівок застосовуються різні технологічні методи: екструзія, розплав, каландрування, виливання з розчинів або дисперсій, осадження з розчину. Вибір цих процесів залежить від хімічних властивостей полімерів, їхньої структури, реологічних характеристик, розчинності та термостабільності.

При виготовленні полімерної тари вихідний матеріал може бути у вигляді листів і плівок, гранул або порошку. Для промислового виробництва полімерної тари існує велика кількість різних технологічних методів і їхніх варіантів: з листів



і плівок тара виготовляється методами зварювання, склеювання та термічного формування; з гранул і порошку — видуванням, екструзійно-видувним методом, литтям під тиском, пресуванням, а останнім часом також ротаційним формуванням (переважно з порошку).

Іноді виробництво полімерної тари відбувається на великих спеціалізованих підприємствах, оснащених сучасним і високопродуктивним обладнанням, з якого готова тара постачається підприємствам-споживачам. Так виготовляються, зокрема, тари для транспортних ящиків, лотків, великих ємностей, деякі види споживчої тари, а іноді – полімерні пакети різних типів.

Багатошарові плівки з'явилися в практиці пакування харчових продуктів відносно недавно — з 60-х років, але темпи їхнього промислового виробництва та асортимент продукції постійно зростають. Це обумовлено майже необмеженими можливостями створення пакувальних матеріалів з заданими властивостями шляхом комбінування окремих одношарових полімерних плівок між собою або з іншими матеріалами, такими як папір, картон чи алюмінієва фольга.

## **1.2 Полімерні матеріали та їх характеристика**

Полімерні плівки є одним з найпопулярніших матеріалів для упаковки завдяки своїм унікальним властивостям. Вони є незамінними, оскільки допомагають зменшити витрати та вагу пакувальних матеріалів, що позитивно позначається на екологічній безпеці. Однак, на жаль, відходи полімерів важко переробляються, що робить плівки менш привабливими в очах споживачів. Не секрет, що упаковка має важливу роль у виборі товару покупцем, однак, крім естетичної привабливості упаковки, важливими є її функції, зокрема збереження природних властивостей продукту та захист від зовнішніх чинників, таких як світло, газ, волога, тепло і механічні пошкодження.

Технік сучасного виробництва повинен бути ознайомлений з усіма доступними на ринку пакувальними матеріалами, які можуть бути використані для упаковки вироблюваної продукції.

Лише кілька років тому ринок пакувальних матеріалів був зосереджений в основному на виробництві традиційних одношарових плівок. Сьогодні, завдяки стрімкому розвитку харчової промисловості та роздрібної торгівлі, зросла зацікавленість до бар'єрних матеріалів з різними властивостями захисту продуктів. Багатошарові полімерні плівки займають лідируючі позиції серед бар'єрних матеріалів, що використовуються в пакувальній галузі, і знаходять все ширше застосування в інших сферах завдяки своїм унікальним властивостям та низькій вартості.

Багатошарові плівки відіграють ключову роль у сучасній упаковці. Поєднуючи кілька шарів різних полімерів (PP, PE, PA, PET, Polyester та інші), виробник може використовувати, наприклад, механічні властивості одного полімеру та бар'єрні властивості іншого для створення "ідеальної" упаковки.

Плівка багатошарова складається з "структурних" шарів, які зазвичай розташовані зовні, та бар'єрних шарів всередині. У разі необхідності, для з'єднання шарів використовуються клейові речовини. Наприклад, бар'єрними шарами можуть бути фольга або полімери EVOH, PVDC, які з обох або з одного боку покриваються структурними шарами за допомогою клеючих матеріалів.

Вимоги до багатошарових плівок можуть варіюватися. Наприклад: захист від водяної пари, кисню, вуглекислого газу, селективна проникність, здатність до склеювання, висока міцність, легкість у відкриванні, стійкість до низьких або високих температур, міцність при великих напруженнях, ударах, розривах, висока прозорість, абразивна та хімічна стійкість, захист від сторонніх запахів, збереження смакових якостей і запахів, високе прилипання, низьке ковзання, розкладання, антистатичність, антифог (запобігання запітнінню), можливість термоформування тощо. Цей перелік постійно розширюється.

Основні методи виробництва багатошарових плівок і матеріалів включають ламінування, співекструзію, ламінування екструзією та каширування. Часто виникає потреба в поєднанні кількох характеристик. Завдяки ламінуванню та співекструзії структуру плівок можна налаштувати для реалізації широкого спектра спеціалізованих функцій упаковки.

Ці матеріали мають значні переваги порівняно з широко використовуваними звичайними плівковими упаковками, оскільки забезпечують тривалий термін зберігання продукції, високі механічні властивості, захищений від пошкоджень міжшаровий друк та покращують зовнішній вигляд упаковки.

Через велику кількість можливих комбінацій різних шарів, складно описати всі варіанти. Деякі виробники, створюючи унікальні плівки з особливими властивостями, не розкривають їх структуру для захисту своїх авторських прав на продукцію. Залежно від необхідних бар'єрних властивостей, виробник обирає оптимальний склад композиційних матеріалів. Окрім полімерних шарів, для виготовлення комбінованих матеріалів часто використовуються алюмінієва фольга та папір. У процесі виробництва застосовуються міжшаровий друк, металізація, покриття термолаком та інші види покриттів.

М'яка споживча упаковка забезпечує надійний захист продукції від зовнішніх впливів та дозволяє повністю автоматизувати процес упаковки. До неї відносяться упаковки, виготовлені з одно- та багатошарових полімерних плівок, а також комбінованих матеріалів. При упаковці автоматичні системи виконують фасування продукції, герметизацію упаковки та укладання в транспортну тару. Упаковка з кольорових полімерних плівок виглядає естетично, має привабливий зовнішній вигляд і містить інформацію про призначення товару та способи його використання. Плівкова споживча упаковка відзначається малою вагою та низькою ціною, тому здебільшого вона призначена для одноразового використання.

Найбільш поширеною формою м'якої споживчої упаковки є пакети у вигляді рукава з різноманітними варіантами дна (цілісне або з швом), відкритою горловиною, а також клапанами або без них. Відмінні ознаки різних типів пакетів включають оформлення дна та наявність бічних згинів або складок. Зазвичай форма і конструкція упаковки рідких та сипких продуктів визначаються особливостями обладнання, на якому здійснюється упаковка. Місткість таких пакетів, як правило, не перевищує 3000 см<sup>3</sup>. Пакети можуть бути закриті різними методами герметизації. Основний спосіб виготовлення таких упаковок – зварювання, рідше використовуються склеювання, зшивання скобами або затисками. До цього типу упаковки також належить упаковка в термоусадні плівки. Для виготовлення м'якої споживчої тари застосовуються одношарові плівки з ПЕ, ПП, ПВХ, ПС, ПА, пінополістиролу, а також різноманітні багатшарові та комбіновані плівки.

Пакувальні плівки стали невід'ємною частиною нашого повсякденного життя: в них упаковані продукти харчування, канцелярія, одяг, а також з плівок виготовляються пакети та мішки. Дослідження показують, що ринок полімерних плівок і листів є одним з найважливіших сегментів споживання пластикової упаковки (близько 25% від усієї пластмаси), і він продовжує зростати.

Існують різні причини для використання плівок:

- **Технічні:** плівки відзначаються відмінним співвідношенням зовнішнього вигляду і ваги, при цьому вони мають здатність до герметизації та захисту від проникнення газів, вологи й хімічних речовин. Вони також дозволяють наносити друк і написи, що інформують споживача, і виглядають естетично, маючи малу вагу.
- **Економічні:** плівки можна виготовляти масово за низькими цінами, що робить їх ідеальними для виробництва упаковки навіть невеликими партіями.
- **Естетичні:** плівки здатні надати товару привабливий вигляд і пропонують широкі можливості для дизайну, включаючи нанесення малюнків і написів.

- **Екологічні:** зменшення ваги упаковки та високі захисні властивості полімерів (порівняно з паперовою упаковкою та картоном) роблять плівки більш екологічними.

З цих, на перший погляд, простих матеріалів можна виготовити широкий спектр продукції — від одношарових покриттів з поліетилену до складних багатшарових матеріалів, що поєднують пластик і метал. Зазвичай інформація про плівки та листи подається разом, іноді включаючи дані про пакети та мішки. Тому наведена статистика може бути не зовсім точною. У загальному обсязі пластикової продукції упаковка складає 38%, а плівки займають понад 25% від цього показника. В Європі 70% плівок виготовляються з поліетилену, з яких 76% — це плівки з LDPE і LLDPE. Рис. 1.1. показує перевагу поліетилену на ринку плівок, де його частка становить 70%.

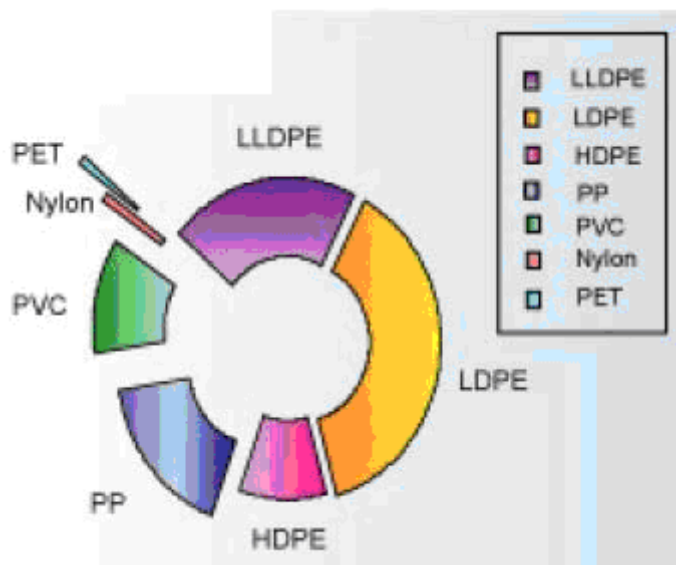


Рисунок 1.1. – Використання плівок полімерних.

Статистика щодо технічних та спеціальних полімерів, перетворених на плівки, майже відсутня. Опис ситуації може змінюватися в залежності від того, йдеться про вагу чи цінність матеріалів. Наприклад, ринок Північної Америки виглядає таким чином:

- 5,2 млн тонн споживчих плівок на суму \$10 млрд, що означає середню ціну \$1,9 за кг;
- 591 000 тонн високотехнологічних плівок на \$3,6 млрд, що демонструє середню вартість \$6,1 за кг;
- 95% плівок виготовлено з нейлону, поліестеру та поліолефінів;
- 5% — з PC, PMMA, PEN, LCP, PEEK, PEI, PSU, PI, PTFE.

Перераховані останні матеріали не застосовуються для виготовлення упаковки.

#### *Застосування плівок.*

Плівки можуть застосовуватися в таких сферах:

- упаковка;
- харчові продукти;
- нехарчова продукція;
- «стрейч» та термоусадкова упаковка;
- матеріали, що не використовуються для упаковки.

#### *Упаковка у харчовій галузі виробництва:*

- Плівка в харчовій промисловості використовується для:
  - упаковки хліба, хлібобулочних виробів та овочів у супермаркетах;
  - обгортання підносів при доставці їжі до установ;
  - пакування продуктів у форматі «пакет-в-коробці» (наприклад, для вина);
  - виготовлення пакетів для продуктів швидкого приготування;
  - упаковки для цукерок та кондитерських виробів;
  - вкладишів у картонні коробки;
  - упаковки для птиці та морепродуктів.

#### *Не для харчового використання плівка застосовується для:*

- мішків для транспортування та морських перевезень;
- обгортання товарів;
- конвертів;
- легкої плівки з бульбашками;

- - рамкових пакетів та стелажів.

*Термоусадкова і стрейч упаковка:*

- Стрейч плівка — еластична плівка, що приймає форму товару. Вона використовується для збереження свіжості продуктів, таких як м'ясо, а також для додаткового захисту картону та пакетів при перевезеннях. Виготовляється з LDPE, LLDPE та PVC.

- - Термоусадкова плівка (з поліпропілену, LDPE, LLDPE) має здатність до усадки. Після обгортання продукції її запечатують і нагрівають для формування упаковки. Вона використовується для групового пакування, збереження цілісності пакету, упаковки журналів, паперів, музичних дисків та касет.

-

- Не пакувальні плівки мають широкий спектр застосування:

- - плівки для сільського господарства;

- - плівки, що використовуються як бар'єри для води та вологи у будівництві, в стінах, дахах, стелях та фундаментах;

- - захисний одяг;

- - медичні плівки;

- - чохли для одягу, плівки для домашнього господарства, пакети для самообслуговування в магазинах;

- - одноразові підгузники.

*Пластики.*

Полімерні плівки відрізняються за своїми оптичними, хімічними та механічними властивостями, можливостями нанесення друку, а також за рівнем герметичності.

Таблиця 1.1. - Сфери застосування і властивості у плівках видів полімерів

Полімер	Властивості	Використання
1	2	3
LDPE/LLDPE - Поліетилен низької щільності/лінійні поліетилен низької щільності	Стійкість до розтягування та стиснення; Морозостійкість; Відмінна прозорість; Висока стійкість до вологи та пари; Середня здатність до бар'єрного захисту від газів; Легкість у процесі термозварювання.	Термоусадочні та «стрейч» плівки, пакети, текстильні сумки, упаковка у вигляді коробок (наприклад, для вина), одяг, транспортні мішки, вкладиші для картонних коробок, сміттєві мішки, плівка з повітряними бульбашками, конверти.
<b>HDPE</b> - Поліетилен високої щільності	Добре захищає від проникнення рідин, має середній рівень опору до газів, є більш стійким до проколів порівняно з іншими типами поліетиленових плівок, але має низьку стійкість до масел і жирів, а також притягує пил.	Пакети, вкладиші для картонних коробок, мішки для транспортування, матеріали для виготовлення конвертів, наприклад, Tyvek.
<b>PP</b> – поліпропілени	Відмінна прозорість, середній рівень бар'єрних властивостей щодо газів, поліпшена за рахунок комбінації з покриттям з PVDC або акрилу. Добра міцність на розтягнення. Вища температура плавлення у порівнянні з поліетиленом.	Упаковка для сигаретних пачок, картонних коробок з косметикою, харчових продуктів, медичних виробів. Упаковка стерильна, підгузники. Мішки ПП для транспортування хімічних речовин і добрив.



1	2	3
<b>PVC</b> – полівінілхлориди	Висока прозорість і блиск, чудова міцність на розтягування. Паропроникність вища, ніж у поліолефінових матеріалів. Добрий бар'єрний захист від масел і жирів. Часткова проникність для кисню. Мала схильність до злипання. Стійкість до проколів і хороша усадка.	Деякі плівки використовуються для промислової упаковки та пакетів, вкладишів, упаковки для свіжого м'яса, ярликів і клейких стрічок.
<b>PET</b> – поліетилентерефталати	Мають хороші механічні характеристики і термальні показники. Відзначаються високою межею міцності на розтягування та відмінними захисними властивостями від жирів і масел. Також мають хороші властивості для друку. Однак, вони не підходять для термосклеювання і погано відкриваються.	Металізована упаковка використовується для упаковки продуктів для мікрохвильових печей, пачок сигарет, брикетів, медичної (стерильної) упаковки, етикеток та упаковки для електронних компонентів.
<b>PVDC</b> – полівінілденхлориди	Чудова здатність протистояти рідинам та газам, гарна оптична прозорість, висока стійкість до проникнення жиру та масла, а також хімічна стійкість.	Плівки для побутових потреб, для упаковки разових доз фармацевтичних препаратів, а також бар'єрні шари для інших матеріалів, таких як поліпропілен.

1	2	3
<b>EVONH</b> - етилен-вінілові спирти	Чудово запобігає проникненню газу, однак ця властивість знижується при зволоженні.	Багатошарові екструзійні матеріали, поєднані з поліетиленом, що мають хороші бар'єрні властивості та здатність до зволоження, модифіковані для "атмосферної" упаковки.
<b>Nylon</b> - нейлони	Висока стійкість до проникнення кисню. Частково пропускає двоокис вуглецю. Порівняно висока температура плавлення.	Використання в кулінарії та для мікрохвильових печей. Покриття для інших матеріалів, що пропускають, для сирів упаковка.
<b>EVA</b> – етилен-вініл ацетати	Відмінні характеристики склеювання, хороша стійкість до вигинів (зламів) та висока здатність до герметизації за високих температур.	Зазвичай комбінуються з поліетиленом для виготовлення пакетів у коробках, упаковки для м'яса, птиці та морозива..

*Причини застосування плівок полімерних:*

Плівки мають ряд важливих переваг, серед яких:

- Висока гнучкість та чудова опірність, особливо порівняно з папером і картоном, що особливо стосується термопластичних матеріалів.
- Плівки рідше рвуться, на відміну від паперу, і не б'ються, як скло.
- Хімічна інертність плівок значно вища, ніж у металів.
- Вони мають хороші бар'єрні властивості, які перешкоджають проникненню газів.
- Деякі полімери мають вибіркову проникність для певних газів.
- Плівки унікальні у своїй здатності до стиснення і розтягування.

- Вони забезпечують герметичність і можуть формуватися при високих температурах.

- М'які на дотик.

Завдяки численним перевагам у порівнянні з паперовою упаковкою, полімерні плівки є найбільш перспективною сферою на ринку упаковки сьогодні.

*Основні переваги пластикових плівок:*

- Легкість в обробці: можливість нанесення написів і надання певної форми.

- Широка адаптація до масового виробництва та невеликих серій.

- Відмінні захисні властивості: герметичність і непроникність для багатьох хімічних речовин, що забезпечують безпеку навколишнього середовища і захист товарів від бактерій. Також високі механічні характеристики та можливості дизайну.

- Легкий вага: пластикова плівка, яку використовують при доставках, на 85% легша за пластикову пляшку того ж об'єму. Крім того, матеріали для полімерної плівки мають нижчу вартість, а витрати на переробку відходів менші.

- За останні 10 років завдяки вдосконаленим технологіям, обсяг пластикової упаковки зменшився на 28%.

- Без пластикової упаковки вага будь-якої тари збільшилася б мінімум в чотири рази.

- Можливість повторного герметичного закупорювання.

- Зниження витрат: завдяки зручності використання та зменшеній вазі, без пластикових матеріалів об'єми відходів зросли б на 150%, а виробничі витрати та витрати на енергію подвоїлися б.

- Стійкість до ударів: зменшення пошкоджень товарів при транспортуванні та на складах, а також зниження випадків пошкодження упаковки, як-от розбитого скла.

- Можливість поєднувати різні полімери для інтеграції їх властивостей і функцій (наприклад, поєднати PVAL – бар'єр до масел і поліетилен – бар'єр до води).

- Хімічна стійкість: опірність кислотам, іржі, органічним сполукам, інертність до вмісту, наприклад, продуктів харчування.

- Можливість стерилізації продуктів.

- Еластичність, прозорість, можливість нанесення друку та інші функціональні можливості.

### **1.3. Методи оцінки властивостей полімерних і комбінованих матеріалів**

Для оцінки властивостей комбінованих та полімерних пакувальних матеріалів застосовується широкий спектр методів, що охоплюють різноманітні характеристики, зокрема товарознавчі, механічні, захисні, теплофізичні, санітарно-гігієнічні, оптичні, технологічні та інші. Завершальним етапом випробувань зазвичай є дослідно-виробниче тестування на промислових лініях, з подальшим закладанням зразків упакованої продукції на тривале зберігання, що включає періодичні дегустації продукту та оцінку якості пакувальних матеріалів у процесі зберігання при контакті з харчовими товарами. Найпоширенішими є визначення механічних характеристик, газо- і паропроникності, ароматопроникності, стійкості до жирів, світлопроникності, теплостійкості, морозостійкості та технологічності матеріалів.

Основними механічними характеристиками є розривне напруження під час розтягування, відносне подовження під час розриву, стійкість до проколів та адгезійна стійкість. Розривне напруження та відносне подовження визначають за допомогою динамометричних випробувальних приладів. Тести проводять у двох взаємно перпендикулярних напрямках: вздовж і впоперек полотна плівки. На тих же приладах, використовуючи додаткову приставку визначають стійкість

пакувальних матеріалів щодо проколювання. Вимірюючи зусилля проколювання сталеві голки визначеного діаметра (у вітчизняній практиці 1 мм), обчислюють граничне зусилля при проколі.

На аналогічних приладах вимірюють адгезійну стійкість (зусилля розшарування) багат шарових матеріалів, тобто стійкість з'єднання окремих шарів матеріалу на межі їхнього поділу. Для випробування зразки попередньо підготовлюють, вручну розшаровують кінці при змочуванні розчинником, після чого роз'єднані кінці вводять у клеми випробувальної машини. Тестування проводиться таким чином, що характеристика міцності визначається аналогічно випробуванню на розтяг, при цьому фіксується зусилля розриву, яке потім відноситься до одиниці ширини зразка.

#### **1.4. Критерії технологічності полімерної плівки**

Технологічність пакувального матеріалу визначається його здатністю використовуватися на сучасних високопродуктивних устаткуваннях і залежить від таких властивостей, як здатність до термічного зварювання або склеювання, злипання, жорсткість та коефіцієнт тертя. Найбільш контрольований із цих показників – здатність до термічного зварювання, що визначає міцність зварних швів упаковки. Під час оцінки міцності зварних швів важливою є правильна підготовка зразків до випробувань, що забезпечує оптимальні умови для утворення зварного шва.

Універсальний прилад для налаштування оптимальних режимів зварювання термопластичних пакувальних матеріалів, який дає змогу виконувати термічне зварювання в широкому діапазоні температур, часу та тисків. Це дозволяє в лабораторних умовах моделювати технологічні режими зварювання, що характерні для різних типів сучасного устаткування високопродуктивного (рис. 1.2).



Рисунок 1.2. – Загальний вигляд приладу для налаштування режиму термічного зварювання полімерних плівок

Міцність і витривалість зварного шва можна оцінити двома основними методами, які використовуються в вітчизняній практиці. Для визначення витривалості до розшаровування на розривній машині будь-якого типу, метод аналогічний вимірюванню адгезійної витривалості. Зразок для випробування вирізають так, щоб зварний шов знаходився в середині зразка. Витривалість зварних швів виражають як адгезійну витривалість, в одиницях навантаження на одиницю довжини. При вимірюванні максимального надлишкового тиску, який можна нагнітати в середину пакета з полімерного або комбінованого матеріалу зі зварними швами, що не порушує герметичності пакета, у відкритий пакет з двома або трьома зварними швами вводять спеціальний патрубок з гвинтовою різьбою через невеликий отвір в одній з стінок. Патрубок герметично закріплюють на стінці за допомогою гумових прокладок і натяжної шайби. Після цього герметизують пакет термічним зварюванням відкритої частини, і через трубку

патрубка нагнітають повітря, поступово підвищуючи тиск. Коли герметичність пакета порушується, фіксують значення надлишкового тиску за допомогою манометра. Стійкість зварних швів оцінюють у одиницях надлишкового тиску.

Окрім зазначених показників, в окремих випадках пакувальні матеріали також перевіряються за іншими параметрами: визначають коефіцієнт тертя, усадку (для усадочних плівок), розтяжність, рівень натягу (для розтяжного пакування), стійкість до радіаційного впливу (для плівок, що використовуються при радуризації або радапертизації), проникність для мікрохвиль (для плівок, що використовуються при мікрохвильовому розігріванні продуктів в упаковці) та інші.

## **1.5. Виробництво полімерних плівок і полімерної тари**

На даному етапі розвитку технологій пакування харчових продуктів структура багат шарових полімерних комбінованих матеріалів і тари стає все більш складною. Покращення методів виробництва одношарових плівок та технологій формування полімерної тари є основою для підвищення якості сучасного пакування харчових продуктів.

### **1.5.1. Способи виробництва одинарних плівкових матеріалів і полімерів**

Існує кілька технологічних методів виготовлення полімерних плівок, зокрема екструзія, розплав, каландрування, виливання з розчинів або дисперсій, осадження з розчину. Вибір конкретного процесу залежить від хімічних властивостей полімерів, їх структури, реологічних характеристик, розчинності та термостабільності.

Екструзія — це процес видавлювання (шприцювання) розплавлених полімерів під тиском через щілинні головки, які мають певну форму. Існує два

основних типи цього процесу: екструзія через плоску щілинну головку для виготовлення плоского полотна полімерної плівки та екструзія через кільцеву головку для створення рукавної заготовки, яку потім пневматично роздувають в плівковий матеріал. За допомогою екструзії виробляють плівкові матеріали з поліолефінів (поліетилен низької та високої щільності, поліпропілен, співполімери етилену з пропіленом), а також з полістиролу, співполімерів етилену з вінілацетатом, пластифікованого ПВХ та співполімерів ВХВД.

Розливання — це процес вільного нанесення розплаву полімеру на охолоджену поверхню без застосування тиску, в результаті чого утворюється плівка. Потім матеріал витягується в одному або двох (взаємно перпендикулярних) напрямках. Цей метод дозволяє отримати одно- або двоосно-орієнтовані плівки. Основними матеріалами, що виготовляються за цією технологією, є поліетилентерефталат (полієфірні плівки) і поліаміди.

Каландрування — це процес, при якому розм'якшений термопластичний матеріал пропускають через щілину між горизонтальними валками, що дозволяє отримати безкінечну плоску плівку з регульованою товщиною і шириною. Цим методом виготовляють плівки з полівінілхлориду (як жорсткого, так і пластифікованого).

Виливання з розчинів і дисперсій — це процес рівномірного розливу вихідної рідкої суміші на гладку поверхню з антиадгезійними властивостями, після чого здійснюється видалення рідкої фази (розчинника або дисперсного середовища) за м'яких умов, що забезпечує однорідність плівки і рівномірність її товщини. Цей метод зазвичай використовують для виготовлення плівок з ефірів целюлози та гідрохлоридів каучуків (як натурального, так і синтетичного).

Осадження із розчинів полягає в подачі розчину полімеру через вузьку щілинну головку (філ'єру) в усадочну ванну, де полімер коагулює, утворюючи тонку рівномірну плівку, яка надалі надходить на подальшу обробку. Цей процес



дозволяє отримувати безкінечні стрічки плівки. За такою технологією виготовляють плівку регенованої целюлози, зокрема целофан.

### **1.5.2. Виготовлення тари полімерної**

Полімерна упаковка та тара, використовувані в харчовій промисловості, можуть бути класифіковані за різними критеріями, зокрема за функцією (споживча, транспортна), типом використання (одноразова, багаторазова), ступенем жорсткості (жорстка, напівжорстка, м'яка), способом виробництва (лиття, пресування, видування, термоформування, клеєння), а також за матеріалом, формою, розмірами, об'ємом, призначенням тощо.

Для виготовлення полімерної тари вихідний матеріал може бути у вигляді листів і плівок, гранул або порошку. Існує багато різних технологічних методів і їх варіантів для промислового виробництва полімерної тари: з листів і плівок вона може виготовлятися за допомогою зварювання, склеювання та термічного формування; з гранул і порошку – шляхом видування, екструзійно-видувного способу, лиття під тиском, пресування, а також, останнім часом, ротаційного формування (зазвичай з порошку).

За допомогою методу термічного зварювання плівкових матеріалів без значної деформації виготовляють різноманітні типи пакетів, такі як плоскі, об'ємні, складні та "стоячі".

Полімерну тару можна виготовляти методом роздування з екструзійних або литих заготовок, застосовуючи екструзію з роздуванням, інжекцію з роздуванням, роздування заготовок з двоосьовою орієнтацією, інжекційно-екструзійне формування та інші методи. Цей процес використовується для виробництва різних типів споживчої та транспортної тари, таких як пляшки, флакони, каністри та контейнери.

Сучасні методи термічного формування тари з аркушевих та плівкових

полімерних матеріалів мають великі можливості. Для цього використовують пневматичне, вакуумне та пневмо-вакуумне формування (з попередньою витяжкою). Формування може здійснюватися за негативним або позитивним принципом. До цієї категорії методів також відносяться штампування (у жорстких штампах або з еластичним пуансоном). У всіх цих способах передбачається попередній розігрів матеріалу. За допомогою термічного формування можна виготовляти різноманітну тару, таку як коробки, банки, ємності, склянки — від малих об'ємів до великих контейнерів.

Лиття під тиском використовується для виготовлення ящиків, лотків та закупорювальних елементів (пробок, ковпачків). Тарні вироби складнішої форми можуть бути виготовлені за допомогою пресування з лиття (трансферного) або інжекційного формування.

Під час ротаційного формування порошкоподібний термопластичний матеріал поміщають у спеціальну нагріту форму, яка потім обертається в одній або двох взаємно перпендикулярних площинах. Під дією відцентрової сили, що виникає під час обертання, полімерний матеріал рівномірно розподіляється по внутрішній поверхні форми, одночасно розплавлюючись через нагрівання. Після охолодження він застигає, набуваючи форми тарного виробу. За допомогою ротаційного формування можна виготовляти тару різної місткості.

У деяких випадках виробництво полімерної тари відбувається на великих спеціалізованих підприємствах, оснащених сучасним високопродуктивним обладнанням, з якого готова тара постачається підприємствам-споживачам. Таким чином виготовляються тара для транспортних ящиків, лотків, великих ємностей, а також деяка споживча тара, інколи – пакети полімерні різного типу.

Широке поширення отримала система форм-філ-сіл (формування - наповнення - герметизація), що включає ряд операцій на одній автоматизованій технологічній лінії: виготовлення тари з полімерних матеріалів, її наповнення харчовим продуктом, герметизація упаковки, обробка упакованого продукту

(включаючи етикетування), а також укладання в транспортну тару (або групову упаковку).

На рисунку 1.3 зображено процес форм-філ-сіл під час пакування в м'яку пакетну упаковку.

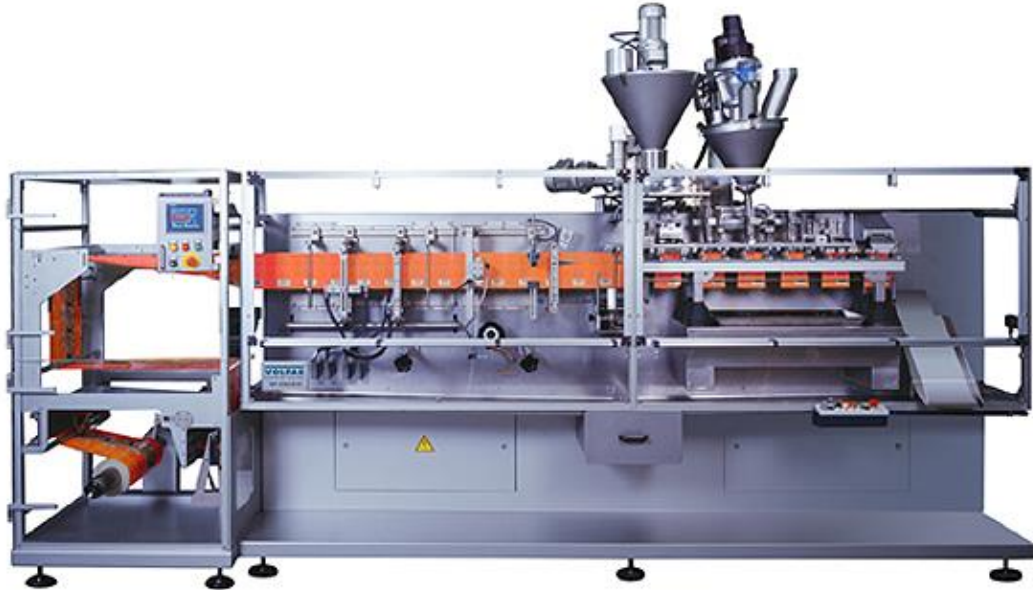


Рисунок 1.3. – Процес форм-філ-сіл пакування в поліетиленові пакети.

Впровадження процесу виготовлення тари за схемою форм-філ-сіл у технологічний ланцюг виробництва харчових продуктів, на відміну від схем, де тара виготовляється окремо та постачається споживачу в готовому вигляді, має такі переваги:

- **Економія на транспортуванні**, оскільки постачається компактний таропакувальний матеріал (у вигляді щільних рулонів або бобін), а не порожня тара, яка займає багато місця при малій масі.

- **Економія робочої площі**, оскільки зберігання порожньої тари вимагає великих складських або виробничих площ, тоді як компактний пакувальний матеріал можна зберігати на значно меншій площі.

- **Гігієнічність**, адже тара, виготовлена методом гарячого формування в системі форм-філ-сіл, не забруднюється пилом чи мікроорганізмами, в той час як

при перевезенні готової тари її внутрішня поверхня контактує із зовнішнім середовищем і неминуче забруднюється.

- **Економія робочої сили** на розвантаженні порожньої тари, її подачі у виробничий процес, митті та інших операціях.

Технологія форм-філ-сіл може бути недоцільною для здійснення споживчого пакування харчових продуктів лише в деяких випадках, таких як невідповідність продуктивності процесів виготовлення тари, наповнення продуктом і герметизації упаковки, складна форма тари, спеціальні конструкції, велика місткість тощо.

Досліджено характеристики, сфери застосування та техніко-економічні аспекти використання полімерних плівок в пакувальній індустрії. Визначено переваги застосування полімерних матеріалів як упаковки для харчових продуктів.

## **1.6. Мета і задачі дослідження**

Розробка нових високопродуктивних автоматичних систем для пакування сипких матеріалів у полімерну тару вимагає проведення комплексних досліджень, одним з основних напрямків яких є вивчення процесу зварювання полімерних матеріалів. Зважаючи на різноманітність полімерів, суть наукової проблеми технології термоімпульсного зварювання полягає в розробці комплексних методик, заснованих на математичному моделюванні та виборі оптимальних режимів зварювання. Ураховуючи наявні розробки і рекомендації щодо зварювання полімерних матеріалів, існує потреба в узагальненій методиці розрахунку технологічних параметрів зварювання, яка дозволила б безпосередньо оптимізувати параметри, що впливають на технологічні та економічні характеристики процесу зварювання, ефективність і продуктивність роботи пакувальних машин. Тому доцільність такого дослідження є важливою для

подальшого розвитку цієї спеціальності, оскільки вимоги до сучасних пакувальних технологічних ліній та автоматів є надзвичайно високими.

*Метою досліджень є розробка методики для визначення оптимальних параметрів термоімпульсного зварювання полімерних матеріалів на основі експериментального аналізу режимів зварювання.*

Задачі досліджень:

1. Дослідження теорії для розрахунку параметрів зварювання полімерних матеріалів.
2. Проведення експериментальних досліджень зварювання полімерних матеріалів.
3. Визначення оптимальних режимів зварювання та розробка рекомендацій щодо технологічних параметрів зварювання упаковки з полімерних матеріалів.

Розрахунок режимів і параметрів термоімпульсного зварювання доцільно виконувати за допомогою програмного математичного пакета Mathcad, супроводжуючи результати відповідними графіками та математичними залежностями.

## РОЗДІЛ 2

### ЗВАРЮВАННЯ ПОЛІМЕРНИХ МАТЕРІАЛІВ

Більшість полімерних плівок використовуються для виготовлення упаковки та виробів. Процес виготовлення упаковки та виробів з плівки зазвичай здійснюється методом зварювання. Далі розглядаються методи зварювання плівок, типи швів та обладнання, на якому це можна виконати.

#### 2.1. Види швів і зварюваність упаковки з полімерних матеріалів

Серед численних методів зварювання полімерних матеріалів найбільше застосовуються наступні: контактно-теплове, термоімпульсне, зварювання гарячим повітрям, високочастотне, роздільне та ультразвукове зварювання. Температура зварювання повинна бути вище температури текучості кристалічного полімеру або температури плавлення аморфного полімеру, але не перевищувати температури деструкції матеріалу. При короткочасному зварюванні (0,05-0,2 с) температура може бути вищою за температуру деструкції полімеру. Наприклад, температура зварювання поліетилену низької густини коливається в межах 115-145°C, сарану - 138-149°C, а полівінілхлориду - 180-210°C.

Контактний тиск під час зварювання залежить від в'язкості матеріалу та температури розм'якшення, причому він більший для матеріалів з високою в'язкістю. Зазвичай він становить від 0,05 до 1,0 МПа. Варто зазначити, що тиск має значний вплив на міцність зварних швів при низьких температурах нагріву і короткому часі нагрівання. Однак при температурах нагрівача в діапазоні 250-290°C вплив тиску на міцність зварних швів значно зменшується.

Міцність зварного шва визначається за допомогою узагальненого критерію, вираженого у формулі:

$$P = \sigma_{рш} / \sigma_{рм} \cdot 100\% \quad (2.1)$$

де  $\sigma_{рш}$  - руйнівне напруження під час розтягу шва,

$\sigma_{рм}$  - руйнівне напруження під час розтягу основного полімерного матеріалу.

Наприклад, міцність зварного шва на плівці з поліетилену низької густини, становить 95-100%, що практично відповідає міцності основного матеріалу. Для комбінованих плівок цей показник знижується до 60-70%. Міцність зварних швів комбінованих матеріалів залежить від адгезії між їх компонентами (наприклад, поліетиленом і целофаном). При низькому рівні адгезії міцність зварних швів зменшується до 30-40%, що може призвести до втрати герметичності упаковок під час транспортування і зберігання.

Міцність зварного шва залежить від температури зварки, тиску та тривалості процесу. Для досягнення високої міцності зварного шва необхідно не лише правильно визначити оптимальні значення цих параметрів, але й забезпечити їх точне підтримання під час роботи обладнання. Для цього обладнання оснащується терморегуляторами, пристроями для регулювання тиску зварювання та варіаторами продуктивності.

Оптимальну швидкість зварювання слід визначати експериментальним шляхом для кожного конкретного випадку. Наприклад, при зварюванні поліетилену з целофаном максимальна міцність зварного шва досягається при швидкості зварювання 16-18 м/хв.

Важливу роль відіграє міцність зварних швів безпосередньо після їх зварювання, до охолодження. Дослідження показали, що так звана термічна міцність зварних швів у 2-2,5 рази менша за міцність швів після охолодження. Тому охолодження зварних швів одразу після зварювання є необхідним, і в циклі зварки слід передбачити відповідний час для цього процесу. У сучасних високопродуктивних автоматах цей час складає 0,05-0,1 с. За цей період до зони

зварювання повинно бути подано необхідну кількість тепла  $Q$  для досягнення температури зварювання:

$$Q = V \cdot \rho \cdot H + \varpi \quad (2.2)$$

де  $\rho$  - густина матеріалу плівки,

$V$  – об'єм зварного шва,

$H$  – ентальпія матеріалу за температури зварювання,

$\varpi$  - витрати тепла під час зварювання.

Аналіз наведеного рівняння показує, що кількість поданого тепла залежить від об'єму зварного шва, густини матеріалу, ентальпії та інших факторів. Для збільшення швидкості зварювання при заданому типі пакувального матеріалу можна підвищити коефіцієнт тепловіддачі та зменшити теплові втрати. Останнє досягається за рахунок оптимального конструктивного рішення нагрівного пристрою.

Пристрої для нагрівання дозволяють створювати два типи зварних швів на упаковках: повздовжні та поперечні. Повздовжні шви працюють на зріз, а поперечні — на розтягнення. Оскільки руйнівне напруження при розтягуванні значно вищі, при зварюванні особливу увагу слід приділяти поперечним швам. Тепло до зварних швів з боку нагрівних пристроїв може подаватися двома способами: з зовнішньої або з внутрішньої сторони пакувального матеріалу. Для першого способу характерно, що температура в зоні зварювання ( $T_2$ ) є нижчою за температуру в зоні підведення тепла ( $T_1$ ). Цей метод застосовується при контактному-тепловому зварюванні, термоімпульсному зварюванні, зварюванні гарячим повітрям та так званому роздільному зварюванні.

Особливістю швів цієї групи є значне зменшення товщини звареного місця ( $\delta_1'$   $\delta_2$ ) (див. рис.) після прикладання зусилля. Для того, щоб усунути це, притискний механізм роблять ширшим, ніж нагрівний елемент. Оптимальні параметри зварювання зазвичай визначають методом планування експерименту на спеціальних установках, при цьому фактором оптимізації є міцність зварного шва.



Температура зварювання теоретична ( $T_1$ ) , приклад, поліетиленової плівки, визначається за формулою:

$$T_1 = (0,4 \cdot (943 + \delta \cdot 10^5) \cdot \tau) / (\tau - 0,02 \cdot (3,05 + \delta \cdot 10^4)) \quad (2.3)$$

де  $\delta$  - товщина поліетиленової плівки, мкм;

$\tau$  – тривалість імпульсу зварювання, с.

Теоретична температура зварювання при термоімпульсному зварюванні поліетиленових плівок становить приблизно 500-530 К. Варто зазначити, що тиск зварювання має суттєвий вплив при низьких температурах, а при достатньо високих температурах він може коливатися в межах 0,2-0,5 МПа. Для плівки товщиною 65 мкм тривалість імпульсу становить 0,33 с. Коли використовується обладнання, на якому стрічка пакувального матеріалу рухається безперервно, часто застосовують зварювання гарячим повітрям, яке подається під тиском через отвори в корпусі нагрівача.

Широке поширення для зварювання поліетиленової плівки з утворенням поперечних швів здобула роздільна зварка. У цьому процесі нагрівний елемент, розігрітий до дуже високої температури, під дією прикладеного тиску розрізає шар пакувального матеріалу, утворюючи за один цикл два поперечні шви. Як нагрівний елемент можуть використовуватися клиноподібні металеві нагрівачі, круглий ніхромовий дріт та інші з відносно малою поверхнею контакту з матеріалом для зварювання. Використання цього методу для зварювання термоусадкових плівок дозволяє створювати на упаковці тонкі "ниткові" шви.

На обладнанні, де стрічка пакувального матеріалу рухається безперервно, для утворення повздовжніх швів застосовується безконтактна теплова зварка. Пакувальна стрічка проходить між двома нагрівачами, після чого її обжимають холодні ролики. Як теплоносій у цьому процесі може використовуватися інфрачервоне випромінювання. Цей метод зварювання широко використовується при виготовленні поліетиленових пакетів, а також при заварюванні горловин заповнених мішків.

До цього моменту обговорювались методи зварювання першої групи, коли тепло подається з зовнішньої сторони матеріалу. Другим способом є підведення тепла з внутрішньої сторони матеріалу, при якому найвища температура досягається на межі з'єднувальних поверхонь. До цієї групи належать такі види зварювання, як високочастотна та ультразвукова зварка.

Перевагою цих методів зварювання є дуже низька адгезія плівок до нагрівного елемента, тому немає потреби покривати їх спеціальними захисними плівками (наприклад, фторопластом). Крім того, час охолодження зварних швів є дуже коротким. Однак недоліком цих методів є порівняно низька швидкість зварювання – до 6 м/хв.

Плівкові матеріали комбіновані можуть зварюватися будь-яким з перерахованих методів, але найпоширенішим є контактнo-теплова зварка, оскільки це простий і економічний метод. При зварюванні комбінованих матеріалів потоншення зварного шва є відносно незначним. Крім того, верхній шар матеріалу має значно вищу температуру плавлення, ніж внутрішній, тому зменшення товщини шва відбувається переважно за рахунок внутрішнього шару.

Температура нагрівачів під час зварювання комбінованих матеріалів повинна бути значно вищою (250-320°C), ніж при зварюванні окремих плівок. Однак, оскільки зовнішній шар матеріалу має більшу температуру плавлення, час охолодження зварних швів комбінованих матеріалів коротший, ніж, наприклад, у випадку з поліетиленом. Це сприяє підвищенню продуктивності обладнання.

Метод упаковки окремих предметів у гнучку упаковку багато в чому подібний до технології формування контурної безячейкової упаковки для таблеток. Як і при фасуванні таблеток, предмети розміщуються на розмотаній смузі пакувального матеріалу, накриваються іншою смугою з рулону, після чого матеріал з'єднується за допомогою зварювальних роторів, утворюючи одночасно подовжні і поперечні шви упаковки. Оскільки темою роботи не є фасування продуктів, цей метод можна назвати упаковкою між смугами пакувального

матеріалу. Для упаковки предметів великого розміру використовуються машини горизонтального типу, де процес зварювання подовжніх і поперечних швів розділяється: подовжні шви зазвичай утворюються за допомогою нагрітих роликів, а поперечні – за допомогою обертових губок, встановлених на роторах. Відрізання готових упаковок часто відбувається одночасно з поперечною зваркою, при цьому в одній з губок встановлений нерухомий ніж, а в іншій – твердосплавна пластина. Контакт вістря ножа з пластиною призводить до відрізання упаковок. Дрібні предмети можна упаковувати таким же способом на автоматах вертикального типу.

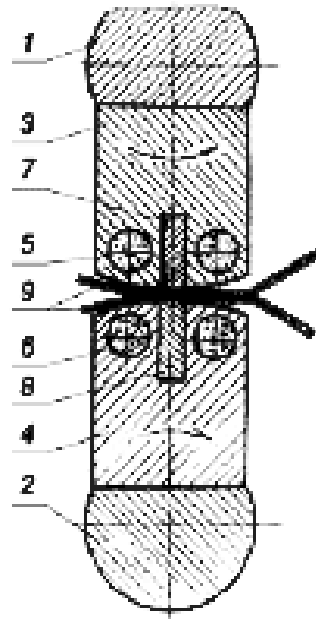


Рисунок 2.1. – Губки теплового зварювання, які розміщені на роторах. 1, 2 – роторні вали; 3 – верхня губка; 4 – нижня губка; 5, 6 – нагрівачі плівки; 7 – нерухомий ніж; 8 – твердосплавна пластина; 9 – матеріал пакувальний.

Для зварювання поліетиленової плівки (рис. 2.2) використовуються або губки термоімпульсної зварки, або інші спеціалізовані пристрої. Конструкція губок і процес утворення швів показані на рис. 2.2. Верхня (1) та нижня (2) губки здавлюють шари пакувального матеріалу (3); на спіралі (4), яка зазвичай є смугою

ніхрому шириною 3-5 мм, подається напруга, внаслідок чого спіраль різко нагрівається, доводячи температуру матеріалу до точки розм'якшення. Завдяки температурі і тиску утворюється зварний шов. Подача напруги припиняється, але губки залишаються зтиснутими, оскільки шов має охолонути в тисненому стані, інакше він може розійтися. Ніж (5) рухається вперед-назад, розрізаючи шари пакувального матеріалу. Щоб уникнути замикання спіралей на корпус губок або їх з'єднання між собою, а також щоб розм'якшений поліетилен не прилипав до спіралей, їх покривають ізолюючими стрічками (6), зазвичай фторопластовою лакотканиною. Для швидшого охолодження спіралей і швів після імпульсу в тілі губок передбачені канали (7), через які циркулює холодна вода. У деяких випадках одна з губок (частіше нижня) може бути відсутньою, і замість неї встановлюється опорна поверхня з термостійкої гуми, при цьому температура на спіралях встановлюється вищою. На високопродуктивних фасувально-пакувальних машинах для прискорення процесу охолодження шва може застосовуватись додаткове обдування повітрям.

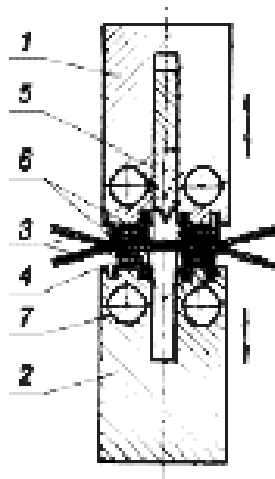


Рисунок 2.2. – Губки зварки термоімпульсної. 1 – верхня губка; 2 – нижня губка; 3 – матеріал пакувальний; 4 – спіраль нагрівна; 5 – рухомий ніж; 6 – ізолюючі стрічки; 7 – охолоджуючі канали.

Плівку поліетиленову часто зварюють і розрізають за допомогою нагрітого дроту, інколи навіть частіше, ніж за допомогою термоімпульсних губок (рис. 2.3). У цьому випадку пристрій для зварювання зазвичай називається зварювальними затискачами. Одна з конструкцій такого пристрою показана на рис. 5. Затиски 1 і 2 зближуються, а пружні елементи 3, вмонтовані в верхній затиск 1, надійно утримують шари пакувального матеріалу 4. Добре натягнутий дріт 5 з матеріалу з високим електричним опором розміщується в клеммах для подачі напруги в верхньому затиску 1, і при русі вниз він одночасно зварює шари пакувального матеріалу.

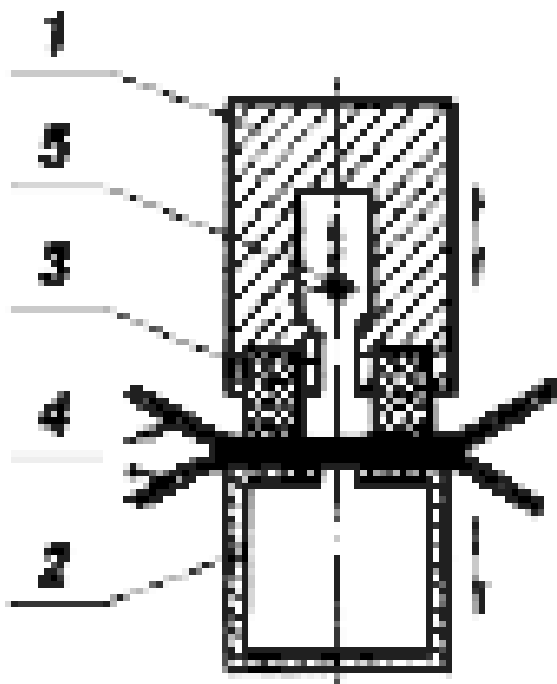


Рисунок 2.3. – Пристрій для зварювання та різання плівки поліетиленової дротом.

1 – верхній затиск; 2 – нижній затиск; 3 – елементи пружні; 4 – матеріал пакувальний; 5 – дріт нагрівний.

Термозварювання плівок полімерних є основним методом їх з'єднання для створення міцних і герметичних швів. Однак деякі плівки, такі як нелакований

целюфан, ацетилцелюлоза та інші види целюлози, не піддаються звичайному термічному зварюванню.

Зварювання за допомогою екструзійної присадки – цей метод можна використовувати для з'єднання поліетиленових плівок різної товщини, і він забезпечує високу продуктивність процесу.

Під час зварювання плівок товщиною до 60 мкм присадка подається поверх двох шарів з'єднувального матеріалу. Якщо товщина плівки перевищує 60 мкм, присадку необхідно подавати між шарами матеріалу. Шари, з'єднані присадкою, стискаються спеціальними розкачувальними роликками, тиск яких на матеріал суттєво впливає на товщину і ширину шва. Дріт присадочний має бути нагрітий до температури 220 – 240 °С.

Швидкість зварювання під час постійного теплового режиму присадки залежить від товщини зварювального матеріалу. Для плівок товщиною 150 - 220 мкм та використанні екструдера продуктивністю 0,2-0,3 кг/год швидкість зварювання становить 25-25 м/хв (0.35 - 0.4 м/с). При збільшенні продуктивності екструдера швидкість зварювання може досягати 100 - 150 м/хв (1.7 - 2.5 м/с).

Склеювання плівок полімерних в деяких випадках можливе за допомогою синтетичних клеїв, але цей метод не є дуже ефективним. Продуктивність фасувально-пакувальних машин для упаковки продуктів із термоплівок на 25-30% вища, ніж продуктивність машин для склеєних плівок. Перехід від склеювання до зварювання спрощує конструкцію пакувальних машин, оскільки усувається необхідність у встановленні ємностей для клею, механізмів для його нанесення, а також пристроїв для очищення від налиплого та клею застигаючого.

Таблиця 2.1 – Полімерні плівки придатні до склеювання і зварювання

Полімерна плівка	Зварювання плівки				Склеювання полімерної плівки
	Термоконтактне зварювання	Термоімпульсне зварювання	Ультразвукове зварювання	Зварювання струмом високої частоти	
Поліетиленова плівка	«-»	+	х	«-»	«-»
Поліпропіленова плівка	«+»	+	+	«-»	«-»
Целофанна плівка	«-»	«-»	«-»	«-»	«-»
Лакований целофан	+	х	«-»	«-»	+
ПВХ пластицирована плівка	+	х	х	+	х
Полівінілдехлоридна плівка	х	х	х	+	«-»
Поліетилентерефталатна плівка	«-»	х	х	«-»	х
Целофан-поліетилен плівка	+	+	«-»	«-»	«-»
Папір-поліетилен плівка	+	х	«-»	«-»	«-»
Целофан-фольга-поліетилен плівка	+	х	«-»	«-»	«-»

+ використовується на виробництві; «-» не використовується на виробництві; х – обмежено використовується на виробництві.

## 2.2. Зварювання полімерних плівок термоімпульсне

Переважно всі плівки, що використовуються в упаковці, зварюються за допомогою термоімпульсного інструмента. Найкращі зварювальні властивості мають плівки з поліетилену. Також зварюються орієнтований і неорієнтований поліпропілен, плівки з полівінілхлориду, що ламінують поліетиленом, папером, фольгою та поліамідом. Спеціальними технологіями можна зварювати ці матеріали з картоном, спанбондом, папером, а також з листовими і литими пластиками.

Під час термоімпульсного зварювання утворюються «відрізнi» та «запаяні» шви. «Відрізнi» шви зазвичай застосовуються для виготовлення виробів з поліетилену та поліпропілену.



Нагрівач струнний у вигляді ніхромового дроту діаметром від 0,3 до 1,2 мм дозволяє здійснювати зварку шва з одночасним відрізанням. Сучасні технології дають змогу отримати такий шов на більшості термозварювальних полімерних плівок, включаючи плівки великої товщини та багат шарові матеріали.

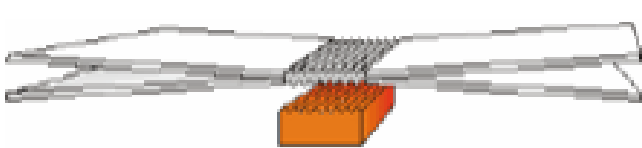
Нагрівач струнний, нагрітий до робочої температури, проходить через шари зварювального матеріалу, одночасно здійснюючи розрізання та зварювання обох країв плівки. Міцність «відрізного» шва на правильно налаштованій установці, зазвичай, не поступається міцності самих зварюваних плівок. «Запаяні» шви шириною від 2 до 10 мм використовуються для термоімпульсного зварювання поліетилену, поліпропілену, ПВХ, а також багат шарових плівок і ламінатів.



Цей тип шва утворюється за допомогою стрічкового нагрівача (шини) з ніхрому товщиною 0,1-0,2 мм і шириною від 1 до 10 мм. Такі шви забезпечують герметичність і дозволяють проводити візуальний контроль їх якості, тому їх використовують для виготовлення мішків, вкладишів для бочок, контейнерів, біг-бегів, упаковок для рідин та інших виробів. Нагрівачі встановлюються на елементі (траверсі) і фіксуються за допомогою спеціальних пружинних пристроїв для натягування — компенсаторів нагріву. Шину покривають фторопластовими лакованими склотканинами. Додатково до запаяних швів застосовується паралельне обрізання плівки механічним ножем або гарячою струною.



«Єврошов» - це широкий фасонний шов шириною 10–20 мм, який використовують для зварювання поліпропілену, паперу з ламінацією та фольги. Для отримання «єврошва» застосовуються нагрівальні елементи апаратів з постійним нагрівом, які представляють собою масивні двосторонні металеві губки, як з малюнком, так і без нього. Вони можуть бути оснащені цифровим датчиком або кліше для нанесення логотипу.



На пристроях можна отримувати шви з різними видами фактури поверхні, такими як подовжнє або поперечне рифлення, «сіточка», гладкі або з тисненням шрифту. Нагрівальні елементи забезпечують рівномірний нагрів по всій довжині шва. Зварювальні «губки» дозволяють отримати шви з шириною від 10 до 40 мм.

Технологія формування відрізного шва лінійного включає наступні етапи:

- Притискання плівок до нагрівального елемента (ніхромового дроту);
- Подача імпульсу струму до нагрівального дроту, який має тривалість, достатню для розплавлення плівки та її розрізання дротом, що одночасно виконує функцію ножа;
- Витримка плівки в притиснутому стані для охолодження та затвердіння розплавлених країв;
- Розкріплення та витягування зварених і розрізаних плівок.

Технологія формування шва плоского майже ідентична технології формування відрізного шва, з тією різницею, що нагрівальний елемент у цьому випадку представлений плоскою ніхромовою стрічкою, яка контактує з плівкою через термостійку склалакотканину. У місці контакту відбувається розплавлення плівок, які після охолодження утворюють зварений шов, форма якого повторює контури нагрівальної стрічки.

Технологія формування шва рельєфного полягає у короткочасному стисненні плівок, що зварюються, за допомогою рельєфних губок, які постійно

нагріті до заданої температури. У цьому випадку відбувається часткове розплавлення плівок, і після охолодження вони зберігають рельєфну форму. Для отримання такого шва рекомендується використовувати багат шарові плівки, де внутрішній шар зварювальної поверхні має нижчу температуру плавлення, ніж зовнішній шар, що не зварюється.

Для термоімпульсного методу зварювання використовується сила струму  $I = 100 \text{ A}$  і напруга  $U = 12\text{-}30 \text{ В}$  при короткому часі нагріву. Імпульсна подача струму здійснюється через понижаючий трансформатор на електроди. Тривалість імпульсу залежить від типу і товщини плівки, і може бути налаштована. Кількість імпульсів може досягати 60 за хвилину. Для плівок товщиною до 0,2–0,25 мм застосовується одностороннє нагрівання, а для плівок більшої товщини – двостороннє. Під час зварювання поліетилену міцність шва може досягати 90% від межі міцності плівки при розтягуванні, як і при контактному-тепловому зварюванні.

Якість поліетиленової упаковки та міцність зварених швів залежать від типу зварювання та конструкції зварювального інструмента (рис. 2.4). Для з'єднання поліолефінових плівок застосовують термоімпульсне зварювання. У цьому випадку в ролі зварного електроду використовують ніхромову смугу шириною 3–5 мм або ніхромовий дріт діаметром 0,6–1,0 мм. Для одночасного утворення двох зварних швів і обрізки плівки використовують інструмент, що складається з набору смуг і дротів.

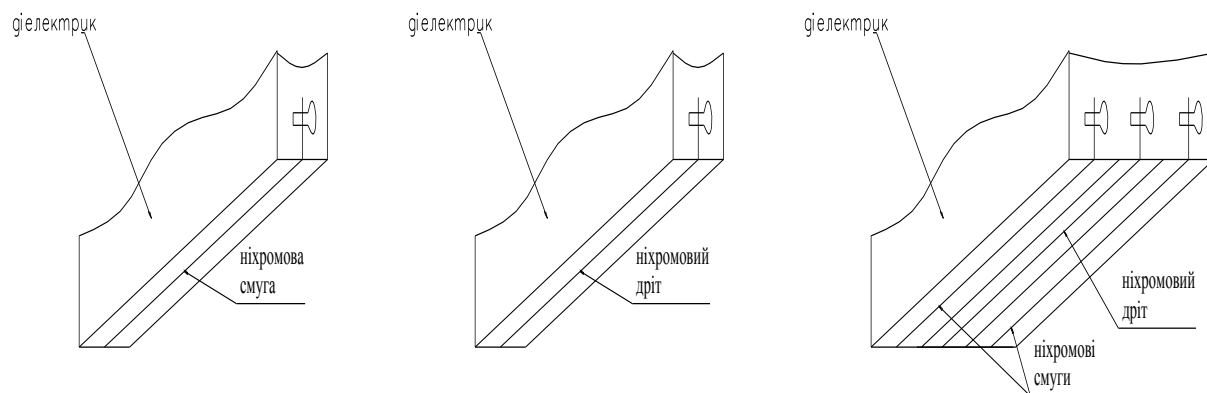


Рисунок 2.4. – Інструменти зварювальні.

Недоліки термоімпульсного методу зварювання:

- тривалий цикл і циклічний характер роботи;
- часті поломки зварювальних елементів.

Переваги зварювання полімерної плівки:

- високий естетичний вигляд шва;
- достатня міцність з'єднання;
- можливість зварювання тонких плівок термоусадкових.

## **2.3. Особливості процесу зварювання полімерних плівок**

### **2.3.1. Поліетилену плівку високої густини.**

Плівки з високощільного поліетилену, поліпропілену та співполімеру етилену з пропіленом (СЕР-10) мають більшу міцність, вищу межу текучості та підвищену температуру плавлення порівняно з плівками з низькощільного поліетилену, що робить їх значущими для практичного застосування.

Зварювання плівок з високощільного поліетилену, поліпропілену та СЕР-10 товщиною до 100—150 мкм можна здійснювати за допомогою одностороннього або двостороннього контактного нагріву матеріалу. Для плівок товщиною понад 150 мкм рекомендується використовувати двосторонній контактний нагрів на установках імпульсного типу (МСП - 21, МСП - 13 та інші).

Зварювання великих виробів з плівок товщиною до 100-150 мкм можна використовувати машини типу МСП-1 та МСП-11. Процес зварювання слід проводити на підкладках із товстої прорізної тканини, використовуючи прокладки з плівки фторопласту-4 товщиною 60-100 мкм.

Відомі інші методи не рекомендується використовувати для зварювання розглянутих плівок. У зв'язку з підвищеною жорсткістю плівок без тиску теплоносія на матеріал не вдається одержати їх щільного прилягання. Низький

тангенс кута діалектичних втрат не дозволяє використовувати високочастотну зварку, пластичність матеріалів при незначному нагріві обмежує застосування ультразвукової зварки.

Зварювання одностороннім і двостороннім режимами контактним нагрівом для плівок різної товщини наведені в таблиці 2.2. За оптимальних умов зварювання міцність Т-подібних зварних з'єднань (на розрив) становить 65-75% міцності основного матеріалу, а міцність напусткових з'єднань (на здвиг) досягає 90-95% міцності матеріалу.

Поліетиленову плівку високої густини, співполімеру етилену з пропіленом та поліпропілену піддаються ще більшій зміні процесу зварювання внаслідок фотостаріння, порівняно з плівками поліетилену низької густини. Додавання світлостабілізаторів має позитивний ефект, однак навіть стабілізовані плівки значно змінюють свої властивості зварювання через атмосферне старіння.

### **2.3.2. Матеріали армовані на базі поліетилену**

У деяких випадках, незважаючи на всі свої переваги, поліетиленова плівка не може бути використана в конструкціях через порівняно низьку міцність та межу текучості. Армовані матеріали на основі поліетиленової плівки і різних тканин мають підвищену міцність. Для армування використовують капронові, бавовняні та склотканини, зокрема капронові тканини, через їх високу адгезію до поліетилену. Зварювання таких армованих матеріалів здійснюється шляхом нагріву полімерного покриття до температури 115°C, після чого підтримується ця температура протягом 2-3 секунд. Основними методами зварювання є контактний нагрів та зварювання за допомогою присадки екструзійної.

Таблиця 2.2

Плівка поліетиленова	Товщина плівки в мкм	Спосіб зварювання плівки	Темп. нагрівача в °С	Потужність джерела		Тривалість нагріву в секундах
				Вт/см <sup>2</sup>	кВт/м <sup>2</sup>	
Високої густини поліетилен і СЕП-10	70 - 150	Контактний нагрів односторонній	200 - 230	17 - 25	170 - 250	2 – 3
Високої густини поліетилен і СЕП-10	70 - 150	Контактний нагрів двосторонній	150 - 170	20,0	210	2 – 3
Високої густини поліетилен і СЕП-10	160 - 300	Контактний нагрів двосторонній	150 - 170	23,0	220	2 – 3
Високої густини поліетилен і СЕП-10	300 - 600	Контактний нагрів двосторонній	150 - 170	25,0	240	2 – 3
Полі пропілен	70 - 150	Контактний нагрів односторонній	220 - 240	23,0	220	2 – 3
Полі пропілен	160 - 300	Контактний нагрів двосторонній	170 - 200	27,0	260	2 – 3

Матеріали армовані на основі поліетилену товщиною до 150 мкм можуть бути зварені при односторонньому контактному нагріві на термоімпульсних машинах типу МСП-1 або МСП-11. Матеріали товщиною від 150 до 500 мкм зварюються при двосторонньому контактному нагріві на термоімпульсних установках типу МСП-21 та МСП-13, а для отримання безперервних протяжних швів можна використовувати машини типу МСП-4 і МСП-5У. Однак якість з'єднань, особливо для матеріалів товщиною понад 300 мкм, є нижчою.

Матеріали армовані на основі поліетилену, що мають різну товщину, можуть зварюватися за допомогою тепла екструзійної присадки, яка розташовується між шарами з'єднуваного матеріалу. Оптимальна температура присадки залежить від товщини матеріалу і для плівок товщиною 200-500 мкм становить 260-280°C. Залежності швидкості зварювання екструзійною присадкою від товщини матеріалу (поліетиленової плівки, армованої капроною тканиною) та міцності зварних з'єднань наведені в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3. Швидкості залежності зварювання плівки

Товщина плівки в мкм	Швидкість зварювання плівки в м/хв	Ширина плівки шва в мм	Потовщення плівки в мм	Міцність зварного шва плівки у %	
				Міцність на зсув	Міцність на розтяг
150.0	43.0	3.5 – 4.5	0.2 – 0.24	100.0	80.0
150.0	92.0	3.0 - 3.5	0.18 – 0.19	100.0	74.0
300.0	43.0	-	-	95 – 100	70 – 75
500.0	25.0	-	-	95 – 100	70 – 75

Для зварювання армованих матеріалів на основі поліетилену контактним нагрівом необхідно використовувати прокладки з фторопласту-4 та целофану товщиною 60-100 мкм, щоб запобігти прилипанню розм'якшеного матеріалу до нагрівальних елементів. При односторонньому нагріванні зварювання має проводитися на підкладках з офсетного полотна або інших прорізних тканин товщиною 0,5-1,0 мм. Температура на поверхні нагрівача, тривалість процесу та тиск залежать від товщини зварюваного матеріалу.

### Висновки по розділу

1. Проведено узагальнення методів та параметрів зварювання полімерних плівок.

2. Окреслено основні фізико-геометричні параметри, які необхідно враховувати при дослідженні режимів зварювання полімерних плівок.

## РОЗДІЛ 3

### МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ ЗВАРЮВАННЯ УПАКОВКИ З ПОЛІМЕРНИХ МАТЕРІАЛІВ

#### 3.1. Програма і мета експериментальних досліджень

Ефективність технологічного процесу зварювання полімерних матеріалів значною мірою визначає показники функціонування всього технологічного пакету. Вона залежить від різноманітних факторів, які можна поділити на дві основні групи: перші — це фактори, обумовлені технологічними властивостями матеріалів, а другі — ті, що залежать від параметрів роботи обладнання для зварювання та умов його експлуатації. Ці фактори мають великий вплив на виробництво високоякісної упаковки.

Основними параметрами, що впливають на якість упаковки, є температура зварювання, яка залежить від тривалості імпульсу та сили струму.

Мета експериментальних досліджень полягає в виявленні взаємозв'язку між конструктивно-режимними характеристиками обладнання та технологічними властивостями матеріалів упаковки.

Програма експериментальних досліджень розроблена відповідно до раніше визначених завдань оптимізації якості технологічного процесу зварювання полімерних матеріалів і включає наступні етапи досліджень.:

Вибір режимів зварювання раціональних і рекомендації щодо технологічних параметрів зварювання полімерних матеріалів

- вплив технологічних параметрів зварювального процесу на якість зварного шва;
- спільний вплив параметрів, а також взаємодія струму і часу витримки на якість зварного шва;
- розробка рекомендацій щодо вибору технологічних параметрів зварювання.

### 3.2. Формування шва та визначення похибки під час зварювання плівки полімерної

Згідно з результатами аналітичних і теоретичних досліджень, можна зробити висновок, що якість зварного шва обумовлена температурою зварювання, силою струму та тривалістю імпульсу. Окрім вказаних параметрів, на якість зварювання також значно впливають властивості матеріалів полімерних [8].

$$\nu = f(t, I). \quad (3.1)$$

Для забезпечення якісного зварювання важливо враховувати величину максимального відхилення цих показників. Однак навіть при взятті великої кількості проб (більше ста) максимальні відхилення можуть не бути виявлені, а сам процес збору такої кількості проб є надзвичайно трудомістким. Тому в даному випадку використовують середню відносну похибку, яка визначається через коефіцієнт варіації  $\nu$ :

$$\nu = \frac{100}{q_{cp}} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m (q_i - q_{cp})^2}{m-1}}, \quad (3.2)$$

де  $q_i$  та  $q_{cp}$  –текуча та середня величини проб відповідно, шт;

$m$  – к-ть проб.

Показник якості зварювання залежить від середньої якості шва. І.С. Нагорський та Н.І. Бохан досліджували залежність похибки від розміру проби, проводячи укрупнення експериментальних проб. Вони рекомендують визначати оптимальний розмір проби для кожного конкретного випадку на основі попереднього досвіду та аналізу цієї залежності  $\nu = f(q_{cp})$ . Під час вибору розміру проби часто враховують розмір шва та його якість.

Результати вимірювань оброблялися за допомогою методів варіаційної статистики та теорії ймовірностей із використанням електронних таблиць Microsoft Excel 2000 з пакета Microsoft Office 2000. Обробка випадкових величин,



отриманих внаслідок вимірювань, включала визначення основних статистичних характеристик: математичного сподівання, середнього квадратичного відхилення, дисперсії та коеф. варіації.

Для аналізу взаємозв'язку між досліджуваними параметрами експериментальні дані оброблялися з використанням методів кореляції.

### **3.3. Установка для проведення експериментів з імпульсного зварювання**

На рисунку 3.1 зображена установка призначена для імпульсного зварювання плівок товщиною до 200 мкм. На корпусі 1 розміщена нижня зварна колодка 2, до якої закріплена верхня (рухома) зварна колодка 3. Обидві зварні колодки покриті тефлоном 4, що перешкоджає прямому контакту плівки з ніхромовою смугою 5 і гарантує утворення якісного зварного шва.

Управління імпульсною установкою здійснюється через пульт управління. На пульті розташований регулятор 6, що відповідає за налаштування тривалості зварювання. Значення сили струму визначається за допомогою трансформатора типу ЛАТР-4 7. Сила струму, яка подається на електроди, вимірюється мультиметром 8. Тривалість імпульсу залежить від типу та товщини плівки і може бути відрегульована. Для зварювання використовується ніхромовою смуга 5 шириною 2,5 мм, на яку подається напруга, що різко нагріває її, підвищуючи температуру пакувального матеріалу в місці контакту до температури розм'якшення. Завдяки температурному впливу та тиску утворюється зварний шов. подача напруги припиняється, а колодки залишаються зведеними, оскільки шов має охолонути в стислому стані, щоб не розійтися. Час притискання колодок після нагріву контролюється секундоміром. Приєднання живлення до ніхромової смуги на верхній зварній колодці захищене кожухами з обох боків.

Рисунок 3.1 – Установа експериментальна імпульсного зварювання полімерної плівки

1 – корпус установки; 2 – зварна колодка нижня; 3 – зварна колодка верхня; 4 – тефлонова стрічка; 5 – смуга ніхромова; 6 – регулятор часу; 7 – ЛАТР; 8 – вимірювальний мультиметр.

#### **3.4. Експериментальне дослідження зварювання плівок полімерних**

Основою розрахунку є рівняння теплового балансу: кількість тепла  $Q_1$  (Дж), що виділяється при нагріванні ніхромової нитки (зварювального елемента) під час проходження імпульсного струму величиною  $I$  (А) за час  $t$  (с), повинна дорівнювати кількості тепла  $Q_2$  (Дж), яке необхідно для нагріву ніхромової нитки масою  $m$  (кг) на температуру, що відповідає різниці  $\Delta T$  ( $^{\circ}\text{C}$ ):

$$Q_1=Q_2, \quad (3.3)$$

де  $Q_1 = I^2 \times R \times t$ ,  
 $Q_2 = c \times m \times (T_2 - T_1)$ ;  
 $R = \rho \times l / S$  – опір нитки ніхромової,  
 $\rho$  – опір питомий ніхрому,  
 $c$  – теплоємність питома ніхрому,  
 $T_2$  – температура кінцева ніхромової нитки,  
 $T_1 = 18^\circ\text{C}$  – температура початкова нитки ніхромової.

За рівнянням визначається температура  $T_2$  нагріву нитки ніхромової (температура зварювання полімерного матеріалу), припускаючи, що вся кількість тепла, що виділяється при нагріванні ніхромової нитки, повністю (без втрат) передається на зварювання полімерної плівки.

Розрахунок здійснюється за допомогою програми MathCAD. У вихідних даних вказуються одиниці вимірювання фізичних величин, задаються геометричні характеристики ніхромової нитки та значення фізичних сталих (Додаток А).

$m := m$        $mm := mm$        $Om := ohm$        $A := A$        $kg := kg$        $K := K$

$c := s$        $Дж := joule$        $^{\circ}\text{C} := 274.15 K$

$l := 264mm$      $a := 0.08mm$      $b := 2.4mm$

$\rho := 1.08 \cdot 10^{-6} Om \cdot m$

$S := a \cdot b$

$R := \rho \cdot \frac{l}{S}$                        $R = 1.485 \cdot Om$

$i := 1 .. 40$                        $j := 1 .. 5$

$I_i := (1 \cdot i)A$                        $t_j := (1 \cdot j)c$

$t_j =$
1
2
3
4
5

$I_i =$
1
2
3
4
...

$$Q_{i,j} := (I_i)^2 \cdot R \cdot t_j$$

Графік виділення кількості тепла  $Q_1 = f(t, I)$  має наступний вигляд на рис.

3.2.

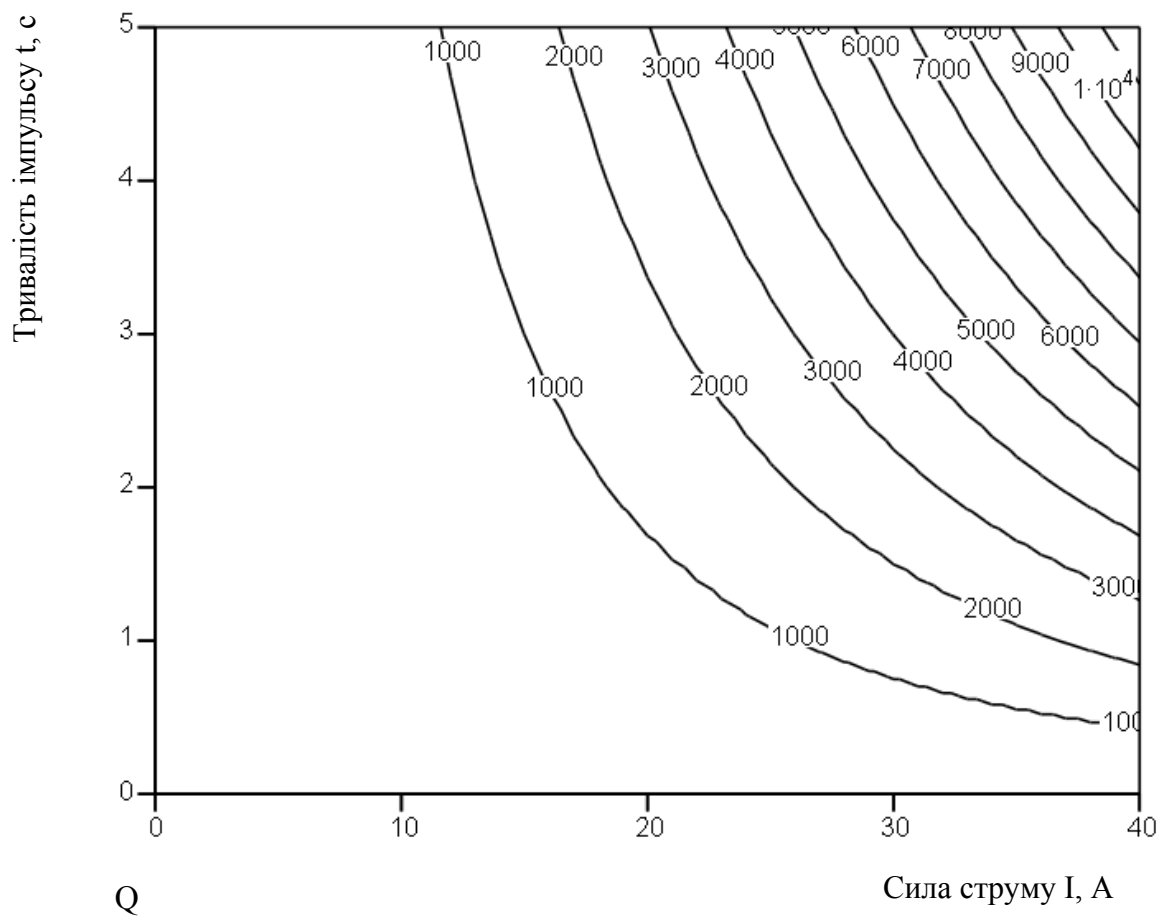


Рисунок 3.2 – Поля к-ті тепла при різних значеннях струму  $I$  та часу імпульсу  $t$ .

Можна отримати результати кількості тепла для цілих значень струму та тривалості імпульсу. Наприклад:

$$I_{28} = 28 \text{ A}$$

$$I_{30} = 30 \text{ A}$$

$$t_5 = 5 \text{ c}$$

$$t_3 = 3 \text{ c}$$

$$Q_{28,5} = 5.821 \times 10^3 \cdot \text{Дж}$$

$$Q_{38,5} = 1.072 \times 10^4 \cdot \text{Дж}$$

Відповідно розраховується температура  $T_2$  нагріву нитки ніхромової масою  $m$ :

$$c_1 := 440 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{K}} \quad c_1 = 1.206 \times 10^5 \cdot \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{°C}} \quad \rho_n := 8400 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$T_1 := 18 \cdot \text{°C} \quad m_1 := \rho_n \cdot S \cdot l \quad m_1 = 4.258 \times 10^{-4} \text{ кг}$$

$$T_{2,i,j} := \frac{Q_{i,j}}{c_1 \cdot m_1} + T_1$$

де  $T_{2,i,j}$  – температура розрахункова зварювання;  $i$  - сила зварювання струму, А;  $j$  - імпульсу тривалість, с.

На рисунку 3.3 показана область цілих значень температури зварювання.

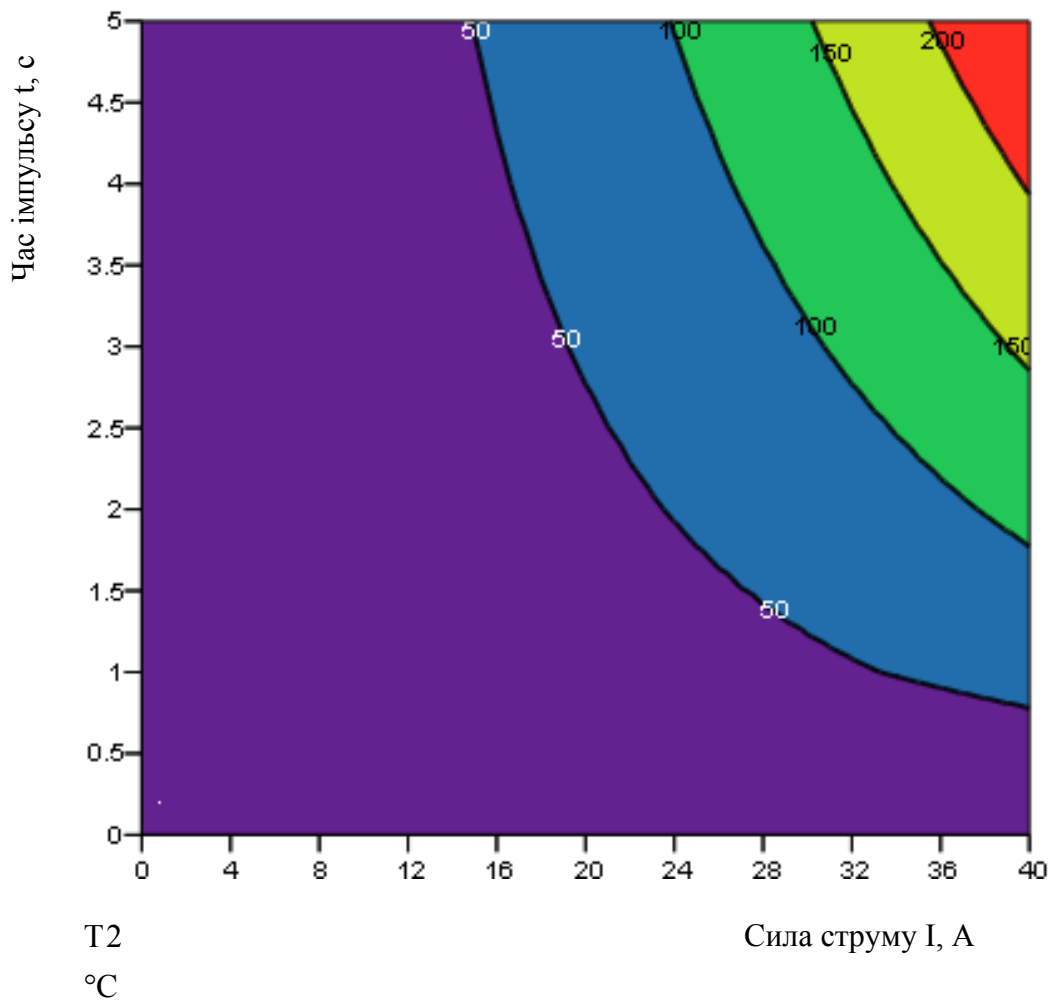


Рисунок 3.3. – Поля температури зварювання при різних значеннях сили струму  $I$  і тривалості імпульсу  $t$ .

Наприклад, можна отримати такі результати:

$$T_{2,30,4} = 122.089 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_{2,35,3} = 124.257 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_{2,40,2} = 110.523 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Результати теоретичних та експериментальних досліджень наведено на рисунках 3.4, 3.5 та в додатках. Якість шва оцінювалась за допомогою візуального контролю (шов має бути рівним, гладким, без повітряних включень, таких як

бульбашки). Міцність шва перевірялась шляхом розриву плівки вручну. Задовільним результатом вважався розрив плівки в місці, де зварювання не проводилось, оскільки міцність зварного шва перевищує міцність плівки в точці розриву.

На рисунку 3.4 зображена експериментально-теоретична діаграма режимів зварювання поліетиленової плівки ПЕ товщиною 80 мкм. У ході експерименту для фіксованих значень сили струму (30, 35, 40 А) шляхом зміни тривалості імпульсу зварювання (від 0 до 6 с) визначалися області можливого та неможливого зварювання. Зазначено, що при збільшенні сили струму тривалість імпульсу зменшується, і одночасно звужується зона якісного зварювання плівки. У точках дослідження також наведено теоретичні значення температури зварювання. Так, для струму 30 А температурний діапазон зварювання становить 90-140 °С при тривалості імпульсу 2,8-4,5 с; для струму 35 А – 95-115 °С і 2-2,8 с; для струму 40 А – 100-105 °С і 1,4-1,8 с.

На рисунку 3.5 представлена діаграма раціональних режимів зварювання полімерних матеріалів, побудована на основі експериментальних даних. У групі 1 матеріали згруповані за часом зварювання, у групі 2 – за силою струму, а в групі 3 – за температурою.

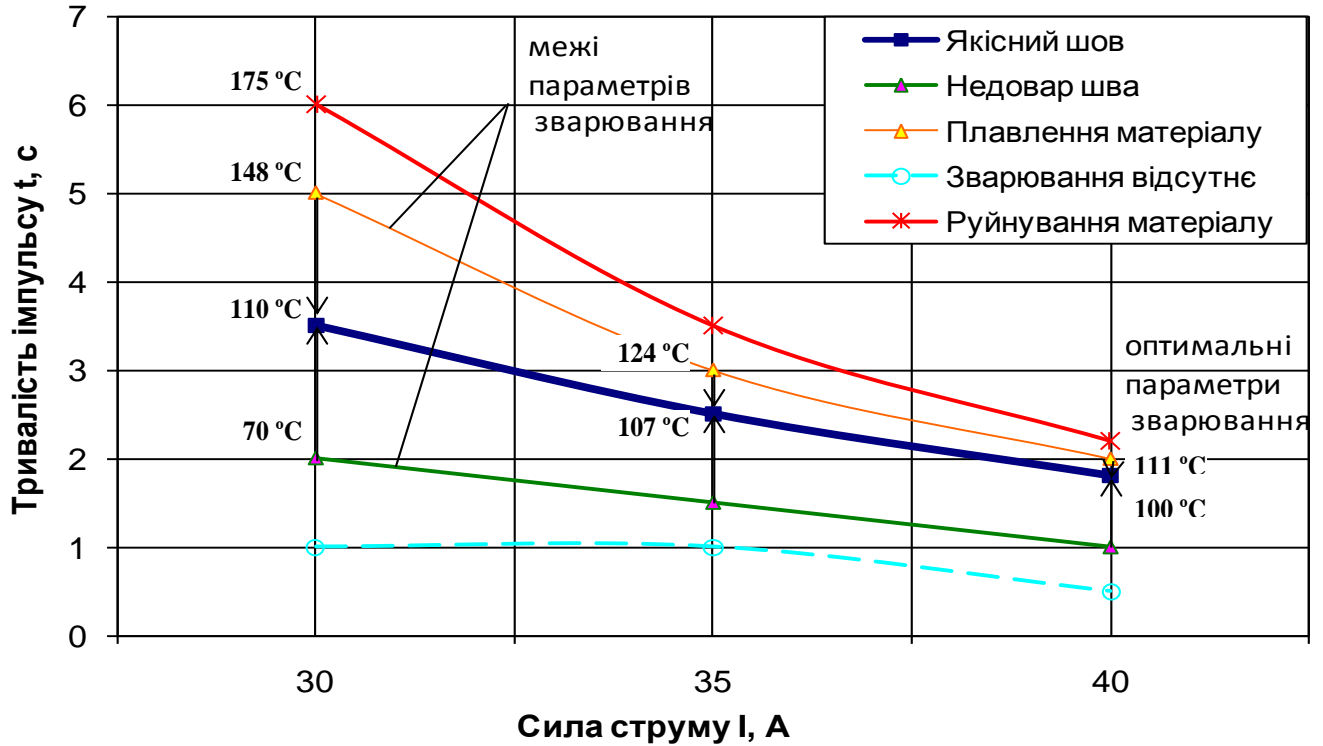


Рисунок 3.4 – Експериментально-теоретичний графік режимів зварювання плівки поліетиленової, 80 мкм.

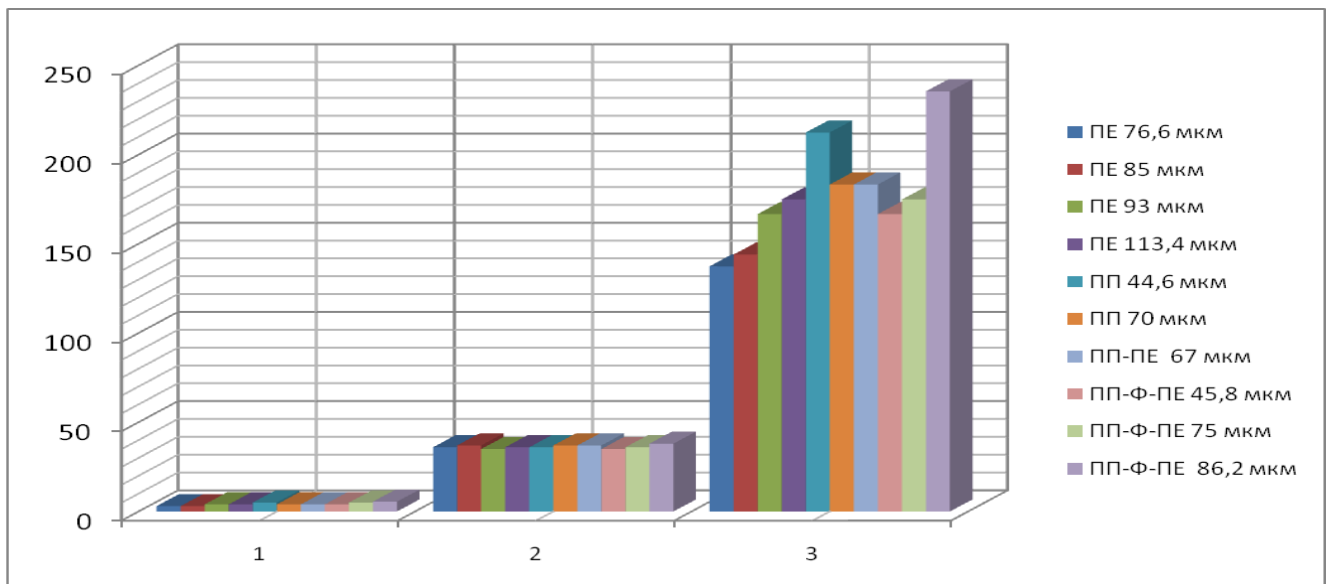


Рисунок 3.5 – Діаграма режимів раціональних зварювання полімерних плівок

## Висновки до розділу



1. Описано методику визначення кількості тепла та температури зварювання полімерного матеріалу на основі основних фізичних та геометричних параметрів зварювального елемента – ніхромової нитки.
2. Досліджено поля температурних режимів роботи установки експериментальної за основними параметрами: тривалістю імпульсу та силою струму..
3. Експериментально досліджено зварюваність полімерних плівок при фіксованих значеннях сили струму. На основі отриманих результатів побудовано експериментальну діаграму, на якій зазначені теоретичні значення температури зварювання та визначено оптимальні межі параметрів зварювання полімерного матеріалу.

## **4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ**

### **4.1. Структурно функціональний аналіз процесів експлуатації обладнання для зварювання плівки**

Під час технологічного процесу зварювання плівки на працівника діють різноманітні середовища: механічні, хімічні, теплові, електричні, біологічні та інші. Організм людини здатний переносити без наслідків такі дії лише тоді, коли вони не перевищують певних рівнів і тривалості. За межами цих рівнів і тривалості виникає пошкодження організму, яке кваліфікується як нещасний випадок, травма тощо.

Поміж різних чинників виробництва з використанням підйомно-транспортних, дорожніх, будівельних, меліоративних машин та обладнання можуть спричинити певні дії на людину, виділяють шкідливі і небезпечні виробничі чинники. Небезпечний виробничий чинник – це такий, дія якого на працюючих у певних умовах призводить до травми або іншого раптового погіршення здоров'я [25].

Процес зварювання упаковки (плівки) за допомогою спеціального обладнання характеризується певною травмо- та аварійною небезпекою, яка може вплинути на стан здоров'я оператора машини. Стан безпеки праці на робочому місці оператора, який займається зварюванням поліетиленової упаковки, значним чином впливає на використання робочого часу і на продуктивність машини загалом. Таким чином, створення безпечних умов праці є одним із шляхів підвищення ефективності виконання технологічного процесу зварювання поліетиленової упаковки.

Групи чинників травмонебезпечних та аварійно небезпечних ситуацій характеризуються тією особливістю, що зумовлюють формування умов та підвищення ймовірності виникнення нещасних випадків на виробництві. Для їх

аналізу розглянемо види технологічних операцій, етапів, явищ, подій тощо, що мають місце у процесі зварювання поліетиленової плівки:

технологічні етапи: 1) заповнення упаковки; 2) зварювання упаковки; 3) зняття запакованого продукту;

небезпечні чинники: 1) можливість ураження електричним струмом; 2) термічні впливи матеріалу упаковки; 3) механічне травмування та ін;

технологічні операції: 1) завантаження поліетиленового пакета; 2) утворення шва зварювання поліетиленового пакета; 3) зупинка зварювання.

#### **4.2. Умови і обставини виникнення небезпечних ситуацій та їх наслідки**

Процес зварювання поліетиленової упаковки є послідовністю операцій заповнення упаковки, утворення шва і зняття запакованого продукту з машини. Кожен з цих процесів містить свої небезпечні фактори, які можуть негативно вплинути на життя та здоров'я працівників при недотриманні правил техніки безпеки.

Під час роботи машини для зварювання поліетиленової упаковки виникають такі небезпечні фактори як механічне травмування, ураження електричним струмом, опіки від нагрітих частин машини та хімічний.

До механічних факторів виникнення небезпечних ситуацій належать машини та механізми, що передають навантаження на нагрівні елементи машини, а нагріті частини машини можуть спричинити опіки оператора. Небезпечні зони повинні бути недоступні для випадкового попадання в них частин тіла оператора, тобто огорожені та захищені спеціальним захисним обладнанням.

Ураження електричним струмом виникають в результаті несправностей в електричних системах, або під час неправильної експлуатації електричних пристроїв, несправність захисного заземлення. Під дією цього фактора

відбувається ураження обслуговуючого персоналу. Для запобігання цьому необхідно вчасно проводити перевірки стану електрообладнання та заземлення.

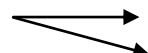
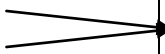
Під час процесу нагрівання плівки, формування шва, відбувається випаровування поліетилену, тому в зоні утворення випарів необхідна витяжка або вентиляція приміщення.

Опишемо найбільш ймовірні ситуації, які можуть призвести до тяжких наслідків, пов'язаних з травмуванням обслуговуючого персоналу табл. 4.1.

Таблиця 4.1.

## Аналіз процесів формування травмонебезпечних ситуацій

Вид роботи, виробничий підрозділ	Виробнича безпека			Мож-ливі наслід-ки	Заходи запобігання
	Небезпечна умова НУ	Небезпечна дія НД	Небезпечна ситуація НС		
1	2	3	4	5	6
Експлуатація машини для зварювання плівки.	НУ <sub>1</sub> – машина для зварювання необладнана захисним пристроєм для притискання рухомої губки;  НУ <sub>2</sub> – несправна машина для зварювання.	НД <sub>1</sub> – працюючий перебуває в зоні дії машини;	НС – контакт оператора з гарячою частиною машини.	Т – травма; А – аварія.	Розробка і впровадження захисних пристроїв згідно вимог охорони праці.
Блок-схема	<p>НУ<sub>1</sub> → НУ<sub>2</sub> →</p>	НД <sub>2</sub> →	НС →	Т	

1	2	3	4	5	6
Утворення шва на поліетиленовій плівці	НУ – нагрівні елементи не обладнанні захисними пристроями	НД <sub>1</sub> – перебування біля машини для зварювання; НД <sub>2</sub> – обслуговування машини для зварювання	НС <sub>1</sub> – попадання частин тіла в небезпечну зону машини; НС <sub>2</sub> – відлітання частини нагрітого матеріалу (поліетилену).	Т А	Організувати контроль безпеки машини перед роботою; проводити інструктажі з техніки безпеки
Блок-схема	НУ 	НД <sub>1</sub> НД <sub>2</sub> 	НС <sub>1</sub> → НС <sub>2</sub> →	Т	
Ремонт агрегатів машини для зварювання	НУ – агрегати необладнані захисними і обгороджуючи пристроями	НД – ввімкнення агрегатів в роботу без попередження	НС – нанесення травми оператору або працівнові	Т – Травма.	Розробити захисні конструкції, проводити інструктажі з техніки безпеки
Блок-схема	НУ →	НД →	НС →	Т	

В процесі роботи машини для зварювання упаковки можуть виникати травмонебезпечні та аварійні ситуації, аналіз їх дає змогу розробити заходи запобігання.

### 4.3. Безпека в надзвичайних ситуаціях

На території Львівщини можливе виникнення небезпечних природних явищ і процесів геологічного, гідрогеологічного та метеорологічного походження. До них належать великі повені, катастрофічні затоплення, землетруси та зсувні процеси, лісові та польові пожежі, великі снігопади та ожеледі, урагани, смерчі та шквальні вітри тощо.

Виходячи з визначення стихійного лиха як природного явища, що безпосередньо впливає на стан навколишнього середовища і добробут населення та

є екстремальним екологічним фактором, територія України характеризується дуже складними умовами, що визначає полігенетичний характер стихійних лих та певні просторові закономірності їх прояву в різних географічних зонах і районах.

Особливості географічного положення України, атмосферні процеси, наявність гірських масивів, підвищень, близькість теплих морів зумовлює різноманітність кліматичних умов: від надлишкового зволоження в західному Поліссі до посушливого в Південній Степовій зоні. Виняткові кліматичні умови на Південному березі Криму, в горах Українських Карпат та Криму. У результаті взаємодії всіх цих факторів виникають небезпечні стихійні явища. В окремих випадках вони носять катастрофічний характер для навколишнього природного середовища та населення.

Стихійні лиха виникають раптово і носять надзвичайний характер. Вони можуть руйнувати будівлі, споруди, знищують цінності, порушують процес виробництва, з викликом загибелі людей. Стихійні явища, як правило, виникають у комплексі, що значно посилює їх негативний вплив. Небезпечні природні явища, в основному, визначаються проявом трьох головних груп факторів - ендегенних, екзогенних та гідрометеорологічних процесів. Стихійні лиха, що мають місце па території України, можна поділити на прості, що включають один елемент, наприклад, сильним вітер, зсув або землетрус, та складні, що включають декілька одночасно діючих процесів однієї групи або кількох груп, наприклад, негативних атмосферних та геодинамічних екзогенних процесів, ендегенних, екзогенних та гідрометеорологічних процесів у поєднанні з техногенними.

До стихійних лих, які можуть відбуватись у регіоні Львівщини, належать: землетруси, пожежі, буревії – сильні вітри, зсуви.

Землетруси - коливання земної кори, що виникають у результаті вибухів у глибині землі, розламів шарів земної кори, активної вулканічної діяльності. Ділянка підземного удару викликає пружні коливання (сейсмічні хвилі), що поширюються землею у всіх напрямках. Ділянку землі, з якої виходять хвилі

землетрусу, називають центром, а розташовану на поверхні землі ділянку – епіцентром землетрусу. У Львові спостерігаються осередки землетрусів з інтенсивністю 3 – 5 балів за шкалою Ріхтера.

В Україні серед стихійних явищ найпоширенішими є сильні дощі, град (зливи). Вони спостерігаються щорічно і поширюються на значні території. В теплий період року сильні дощі супроводжуються градом, що завдає відчутних збитків сільськогосподарським культурам, спричиняє руйнування дахів будівель і споруд. Найчастіше град випадає у гірських районах Криму та Карпат. На рівнинній території України число днів з градом не перевищує двох. У 40% випадків випадання граду спостерігається дрібний інтенсивний град.

Для населення Львівщини значно більшу небезпеку можуть мати хімічно небезпечні об'єкти. Причинами аварій і катастроф на таких об'єктах є: перевищення нормативних запасів сильнодіючих отруєних речовин, порушення правил транспортування і зберігання, невиконання вимог техніки безпеки при роботі з ними.

### **Висновки по розділу**

1. Під час роботи машини для зварювання упаковки є висока ймовірність виникнення ситуацій які можуть вплинути на стан здоров'я виконавця робіт. Охорона праці на робочому місці оператора біля машини для зварювання упаковки, значним чином впливає на використання робочого часу і на продуктивність технологічної лінії загалом. У процесі робіт з використанням машини можливими травмонебезпечними чинниками є: 1) механічне пошкодження рухомими частинами машини; 2) несправність окремих агрегатів машини; 3) невідповідність вимогам техніки безпеки і правилам пожежної безпеки; 4) пожежовибуху небезпека; 5) хімічні шкідливі чинники тощо.

2. За методом побудови “дерева” відмов і помилок операторів різних систем визначено умови і обставини під час роботи машини для зварювання упаковки у небезпечних ситуаціях.

3. Метод логічного моделювання процесів використовують для аналізу існуючих або потенційних небезпек, що виявлені при обстеженні робочих місць, окремих марок машин, агрегатів, а також різних споруд будівель, виробничих процесів і технологій. За розрахунками ймовірність виникнення травми оператора під час роботи з дозатором сипких матеріалів оснащеним пристроєм зварювання становить  $P_{19}=0,000083$ .

4. На сьогоднішній час ризик виникнення надзвичайних ситуацій природного та техногенного характеру невинно зростає, тому слід звернути увагу на те, які дії має виконувати цивільне населення при виникненні надзвичайних ситуацій. Тому слід забезпечити створення матеріальної бази захисту з метою захисту населення.



## 5. ТЕХНІКО–ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ

В роботі розробка вдосконалення технології зварювання плівки здійснюється не для масового випуску і реалізації на сторону, а для вдосконалення технологічного процесу конкретного підприємства шляхом заміни новою розробкою діючого устаткування. Обґрунтовуємо економічну доцільність інвестування в технологічну лінію пакування сипких продуктів в поліетиленову плівку. Практичне впровадження проекту є доцільним за наступних умов:

$$B_{qT} = (B_{pv} - I_{II}) \triangleright 0, \quad (5.1)$$

$$\xi = \left( \frac{B_{pv}}{I_{II}} \right) \triangleright 1, \quad (5.2)$$

$$\tau < \tau_m, \quad (5.3)$$

де  $B_{qT}$  – чиста теперішня вартість проекту, грн.;

$B_{pv}$  – теперішня вартість додаткових грошових надходжень період використання проектних рішень, грн.;

$I_n$  – початкові інвестиції, необхідні для реалізації проекту, грн.;

$\xi$  – індекс прибутковості;

$\tau, \tau_m$  – відповідно розрахунковий і граничний періоди окупності початкових інвестицій.

Період окупності інвестицій  $\tau$  визначається з такої умови:

$$I_{II} \approx \sum_{t=1}^T B_{pv_t} \quad (5.4)$$

де  $B_{pv}$  – додаткові грошові надходження в t-ому році з початку використання проектних рішень, грн./рік.

## 5.1. Визначення розміру початкових інвестицій

### 5.1.1. Розрахунок потреби в новому устаткуванні

Необхідна кількість нового устаткування. Оскільки проектування нової техніки здійснюється з метою вдосконалення діючого технологічного процесу.

Порівняння технічних характеристик нового і діючого устаткування (продуктивності) дозволяє визначити необхідну кількість нового устаткування ( $q^H$ ) За незміноного обсягу виробництва може бути визначений так:

$$q^H = q^C \cdot \frac{\Pi_{ТГ}^C}{\Pi_{ТГ}^H}, \text{ фіз. одиниць,} \quad (5.5)$$

де  $q^C = 2 \text{ фіз.од.}$  - кількість одиниць старого устаткування;

$\Pi_{ТГ}^C = 1800 \text{ уп./ год.}$  - годинна продуктивність одиниці старого устаткування;

$\Pi_{ТГ}^H = 3600 \text{ уп./ год.}$  - годинна продуктивність одиниці нового устаткування;

$$q^H = 2 \cdot \frac{1800}{3600} = 1 \text{ фіз.од.}$$

Оскільки площа нового устаткування не перевищує площу зайняту старим (діючим, яке планується замінити) то приріст виробничої площі, необхідний для заміни старого устаткування новим  $\Delta S$  рівний нулю.

### 5.1.2. Розрахунок собівартості та ціни нового устаткування

Для розрахунку собівартості нового використовуємо метод прямого розрахунку.

Вартість комплектуючих нового устаткування представлена у вигляді табл.5.1.

Таблиця 5.1

Розрахунок вартості комплектуючих виробів нового устаткування.

№ п/п	Назва комплектуючих виробів	Одиниці вимірювання	Норма витрат на 1 виріб	Ціна за одиницю вимірювання, грн.	Вартість комплектуючих, грн.	Вартість комплектуючих з урахуванням трансп.-заготів. витрат, грн.
1	2	3	4	5	6	7
1.	Дозатор	шт.	1	9210	9210	9580
2.	Формуючий стіл	шт.	1	2970	2970	3090
3.	Механізм утворення упаковки	шт.	1	5450	5450	5670
4.	Механізм заправки	шт.	1	500	500	515
5.	Транспортер	шт.	1	1490	1490	1545
6.	Механізм подавання розгортки	шт.	1	2480	2480	2580
7.	Дататор	шт.	1	690		720
8.	Головний привід	шт.	1	3770	3770	3925
9.	Інші комплектуючі (болти, гайки, шпонки, гвинти, тощо)				500	515
Разом						$M^{ny}=28040$

1,04\* - коефіцієнт що враховує транспортно-заготівельні витрати.

Разом вартість основних матеріалів, п/ф, та комплектуючих з врахуванням транспортно-заготівельних затрат  $M^{HY}=28040$ .

Повна собівартість нового устаткування:

$$C_{HY} = [M^{HY} + Z_{00}^H \cdot (1 + K_{дон}) (1 + K_{ер}) + Z_{00}^H \cdot (K_{зв} + K_{зг})] \cdot (1 + K_{пв})$$

де  $Z_{00}^H$  - основна заробітна плата основних робітників при виробництві нового виробу, грн.;

$$Z_{00}^H = M^{HY} \cdot \frac{\Pi_{ЗП}^A}{\Pi_M^A}, \quad (5.6)$$

де  $\Pi_{ЗП}^A = 3,52\%$  - питома вага основної заробітної плати в собівартості аналога;

$\Pi_M^A = 71,26\%$  - питома вага матеріальних витрат в собівартості аналога;

$K_{дон} = 0,21$  - коефіцієнт додаткової зарплати основних робітників;

$K_{ер} = 0,372$  - коефіцієнт сумарних відрахувань на соціальні заходи (соцстрах, пенсійний фонд, фонд зайнятості, тощо);

$K_{зв} = 4,82$  - коефіцієнт загально виробничих витрат з урахуванням витрат на устаткування та експлуатацію устаткування;

$K_{зг} = 2,26$  - коефіцієнт загальногосподарських витрат;

$K_{пв} = 0,062$  - коефіцієнт позавиробничих витрат;

$$Z_{00}^H = 28040 \times \frac{3,52\%}{71,26\%} = 1385 \text{ грн.}$$

$$C_{HY} = [28040 + 1385 \cdot (1 + 0,21) \cdot (1 + 0,372) + 1385 \cdot (4,82 + 2,26)] \times (1 + 0,062) = 42635 \text{ грн.}$$

Ціна нового устаткування:

$$Ц_H = C_{HV} \cdot (1 + R), \text{ грн}, \quad (5.7)$$

де  $C_{HV} = 42635$  грн - собівартість одиниці нового устаткування;

$R = 0,195$  - рентабельність продукції;

$$Ц_H = 42635 \cdot (1 + 0,195) = 50949 \text{ грн}.$$

### **5.1.3. Визначення витрат на проектування нового устаткування і на технологічне обладнання**

Витрати на проектування нової техніки:

$$B_{PP} = Ц_H \cdot 5\% = 50949 \cdot 0,05 = 2547 \text{ грн}. \quad (5.8)$$

Витрати на технологічне обладнання для нової техніки:

$$B_{TL}^H = Ц_H \cdot q^H \cdot K_{DM} \cdot 7\%, \text{ грн}, \quad (5.9)$$

де  $Ц_H = 50949$  - ціна одиниці нового устаткування ;

$q^H = 1$  - кількість одиниць нового устаткування;

$K_{DM} = 1,12$  - коефіцієнт, що враховує витрати на доставку і монтаж устаткування,

$$B_{TL}^H = 50949 \cdot 1 \cdot 1,12 \cdot 0,07 = 3994 \text{ грн},$$

Витрати на технологічне лаштування для старої техніки:

$$B_{TL}^C = B_{II}^C \cdot q^H \cdot 7\%, \text{ грн},$$

де  $B_{II}^C = 30320$  грн - первинна вартість одиниці старого замінюваного устаткування;

$q^C = 2$  - кількість одиниць старого устаткування;

$$B_{TL}^C = 30320 \cdot 2 \cdot 0,07 = 4245 \text{ грн}.$$

#### 5.1.4. Визначення балансової вартості старого устаткування і технологічного обладнання

Балансова вартість одиниці старого устаткування:

$$B_B^C = B_{II}^C \cdot \left(1 - \frac{Ha}{100}\right)^{T_{\Phi}^C}, \text{ грн.}, \quad (5.10)$$

де  $B_{II}^C = 30320 \text{ грн.}$  - первинна вартість одиниці старого, замінюваного устаткування;

$Ha = 15\%$  - норма амортизаційних відрахувань;

$T_{\Phi}^C = 4 \text{ роки}$  - фактичний строк служби базових ОВФ до початку року впровадження нових ОВФ;

$$B_{\sigma}^C = 30320 \cdot \left(1 - \frac{15}{100}\right)^4 = 15827 \text{ грн.}$$

Балансова вартість старого технологічного обладнання:

$$B_{ml\bar{o}}^C = B_{ml}^C \cdot \left(1 - \frac{Ha}{100}\right)^{T_{\Phi l}^C}, \text{ грн.}, \quad (5.11)$$

де  $B_{ml}^C = 4245 \text{ грн.}$  (див. п. 5.1.3);

$Ha = 15\%$  - норма амортизаційних відрахувань;

$T_{\Phi l}^C = 2 \text{ роки}$  - фактичний строк служби старого технологічного обладнання;

$$B_{ml\bar{o}}^C = 4245 \cdot \left(1 - \frac{15}{100}\right)^2 = 3067 \text{ грн.}$$

#### 5.1.5. Розрахунок розміру початкових інвестицій в ОВФ

Розмір початкових інвестицій в ОВФ:

$$I_{II}^{OV\Phi} = I_{BK}^{OV\Phi} - D_P^{OV\Phi}, \text{ грн.}, \quad (5.12)$$

де  $I_{BK}^{OV\Phi}$  - початкові інвестиційні витрати на формування нових основних фондів, грн.;

$D_P^{OB\Phi}$  - початкові інвестиційні доходи від реалізації старого, зайвого майна, грн.

$$I_{BK}^{OB\Phi} = B_{IP} + B_{TL}^H + B_{IV}^H + \Delta B_{\delta S}, \text{ грн.}, \quad (5.13)$$

де  $B_{IP} = 2547$  грн. ;

$$B_{TL}^H = 3994 \text{ грн.};$$

$B_{IV}^H = 57063$  грн - первинна вартість нового устаткування, грн.;

$\Delta B_{\delta S}$  - балансова вартість приросту виробничої площі. Оскільки площа, необхідна для нового устаткування є меншою ніж площа, зайнята старим, то  $\Delta B_{\delta S}$  приймається рівним нулю.

$$B_{IV}^H = C_H \cdot q^H \cdot K_{DM}, \text{ грн.}, \quad (5.14)$$

де  $C_H = 50949$  грн.;

$$q^H = 1 \text{ фіз.од.};$$

$K_{DM} = 1,12$  - коефіцієнт, що враховує витрати на доставку і монтаж устаткування;

$$B_{IV}^H = 50994 \cdot 1 \cdot 1,12 = 57063 \text{ грн.}$$

$$I_{BK}^{OB\Phi} = 2547 + 3994 + 57063 + 0 = 63604 \text{ грн.}$$

$$D_P^{OB\Phi} = B_{\delta}^c \cdot q^c \cdot K_{\delta} \cdot K_{\delta} + B_{mlb}^c \cdot K_{\delta}^{TL} \cdot K_{\delta}^{TL}, \text{ грн.}, \quad (5.15)$$

де  $B_{\delta}^c = 15827$  грн.;

$$q^c = 2 \text{ фіз.од.};$$

$K_{\delta} = 1,4$  - відношення ціни реалізації до залишкової вартості діючого устаткування;

$K_{\delta} = 0,9$  - коефіцієнт, який враховує витрати на демонтаж і продаж замінюваного устаткування;

$$B_{\text{млб}}^c = 3067 \text{ грн.};$$

$K_6^{ТЛ} = 0,7$  - відношення ціни реалізації старого технологічного лаштування до його залишкової вартості;

$K_0^{ТЛ} = 1,0$  - коефіцієнт, який враховує витрати на демонтаж і продаж старого технологічного обладнання;

$$D_P^{OB\Phi} = 15827 \cdot 2 \cdot 1,4 \cdot 0,9 + 3067 \cdot 0,7 \cdot 1,0 = 42031 \text{ грн}$$

$$I_{\Pi}^{OB\Phi} = 63604 - 42031 = 21573 \text{ грн.}$$

Розрахунок  $I_{BK}^{OB\Phi}$ ,  $D_P^{OB\Phi}$  зведений в табл. 5.2.

## **5.2. Розрахунок зміни собівартості продукції, при виробництві якої буде використовуватись нове устаткування**

Оскільки, зміна собівартості продукції  $\Delta C$  по роках не змінюється, то визначаємо її середньорічне значення:

$$\Delta C = \Delta Z_{\text{пв}} + \Delta E + \Delta M_c + \Delta P, \text{ грн}, \quad (5.16)$$

де  $\Delta Z_{\text{пв}} = 6773$  грн - зміна витрат на заробітну плату основних робітників з усіма відрахуваннями в цільові фонди;

$\Delta E = 839,52$  грн - зміна витрат на силову і технологічну енергію;

$\Delta M_c = 358$  грн - зміна витрат на матеріали;

$\Delta P = 519$  грн - зміна витрат на ремонти.



Таблиця 5.2

Розрахунок приросту активної і пасивної частини ОВФ та розміру початкових інвестицій в ОВФ.

№ п/п	Показники	К-ть осн. фонд. д.	Факт. Відпр роки	Вартість осн. фондів, грн.		$K_6$	Вартість реалізації	$K_8$	Доходи від реалізації, грн.
				Первинна	Балансова				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1.	Нові основні фонди								
	Активна частина								
1.1	Фасувальний автомат	1	0	57063	57063				
1.2	Технологічне лаштування	-	0	3994	3994				
	Всього акт. Частина ОВФ	-	-	61057	61057				
1.3	Додаткові виробничі площі	-	-	0	0				
1.4	Витрати на проектування	-	-	2547	-				
	Всього за п. 1	-	-	-	$I_{BK}^{ОВФ} = 63604$				
2.	Основні фонди, що підлягають заміні								
2.1	Фасувальний автомат	2	4	60640	31654	1,4	44316	0,9	39884
2.2	Технологічне лаштування	-	2	4245	3067	0,7	2147	1,0	2147
	Всього за п.2	-	-	-	34721	-	-	-	$D_p^{ОВФ} = 42031$
3.	Зміна вартості ОВФ:								
3.1	Активної частини: $B_{П(акт)}^H - B_{Б(акт)}^C = 61057 - 34721 = 26336$								
3.2	Пасивної частини: $\Delta B_{\delta S} = 0$								
	Всього: $26336 + 0 = 26336$								
	4. Початкові інвестиційні витрати на ОВФ: $I_{BK}^{ОВФ} = 63604$								
	5. Початкові інвестиційні доходи від тсарих ОВФ: $D_p^{ОВФ} = 42031$								
	6. Початкові інвестиції в ОВФ: $I_{П}^{ОВФ} = 21573$								

### 5.2.1. Розрахунок зміни витрат на заробітну плату

Зміна витрат на заробітну плату з усіма відрахуваннями визначається за формулою:

$$\Delta Z_{ПВ} = 12 \cdot (Z_T^C \cdot q^C \cdot K_{БВ}^C - Z_T^H \cdot q^H \cdot K_{БВ}^H) \cdot (1 + K_{Доп}) \cdot (1 + K_{ВР}), \text{ грн.},$$

де  $Z_T^C = 1385 \text{ грн.}$  - місячна тарифна (основна) заробітна плата основного робітника при обслуговуванні одиниці існуючого устаткування;

$Z_T^H = 2430 \text{ грн.}$  - місячна тарифна заробітна плата основного робітника при обслуговуванні одиниці нового устаткування;

$q^H = 1 \text{ фіз.од.}$  - кількість одиниць нового устаткування;

$q^C = 2 \text{ фіз.од.}$  - кількість одиниць діючого устаткування, яке підлягає заміні;

$K_{БВ}^C = 1$  - коефіцієнт, що характеризує кількість робітників, які обслуговують одиницю старого устаткування;

$K_{БВ}^H = 1$  - коефіцієнт, що характеризує кількість робітників, які обслуговують одиницю нового устаткування;

$K_{дон} = 0,21$  - коефіцієнт доплат до основної заробітної плати;

$K_{ВР} = 0,372$  - коефіцієнт сумарних відрахувань на соціальні заходи.

$$\Delta Z_{ПВ} = 12 \cdot (1385 \cdot 2 \cdot 1 - 2430 \cdot 1 \cdot 1) \cdot (1 + 0,21) \cdot (1 + 0,372) = 6773 \text{ грн.}$$

### 5.2.2. Розрахунок зміни витрат на електроенергію

Зміна витрат на електроенергію може бути розрахована за наступною формулою:

$$\Delta E = \Delta E_{\text{тех}} + \Delta E_{\text{свл}}, \text{ грн.}, \quad (5.17)$$

де  $\Delta E_{\text{тех}}$  - зміна витрат на технологічну електроенергію, грн.;

Оскільки витрати на технологічну енергію відсутні, то  $\Delta E_{mex}$  рівна нулю;

$\Delta E_{cull}$  - зміна витрат на силову електроенергію, грн.

Зміна витрат на силову електроенергію визначається за формулою:

$$\Delta E = (M_{BCT}^C \cdot K_{3C}^C - M_{BCT}^H \cdot K_{3H}^C) \cdot \Phi_{YC} \cdot K_W \cdot C_e, \text{ грн.} \quad (3.16)$$

де  $M_{BCT}^C = 2,0 \text{ кВт}$  - встановлена потужність нагрівних елементів для старого устаткування;

$M_{BCT}^H = 2,4 \text{ кВт}$  - встановлена потужність нагрівних елементів для нового устаткування;

$K_{3H}^C = 0,8$  - коефіцієнт завантаження нового устаткування в часі;

$K_{3C}^C = 0,7$  - коефіцієнт завантаження старого устаткування в часі;

$K_W = 1,06$  - коефіцієнт, який враховує втрати електроенергії в електромережі;

$\Phi_{YC} = 2000 \text{ год.}$  - дійсний річний фонд часу роботи устаткування;

$C_e = 0,45 \text{ грн./}(кВт \cdot \text{год.})$  - ціна кВт·год електроенергії;

$$\Delta E_{cull} = \Delta E = (2 \cdot 2,0 \cdot 0,7 - 2,5 \cdot 0,8) \cdot 2000 \cdot 1,06 \cdot 0,45 = 762 \text{ грн.}$$

### 5.2.3. Розрахунок зміни витрат на матеріали

Річна зміна витрат на матеріали визначається за формулою:

$$\Delta M_C = M_C^C \cdot q^C - M_C^H \cdot q^H, \text{ грн.}, \quad (5.17)$$

де  $M_C^C$  - річні витрати матеріалів, які споживаються при експлуатації одиниці старого устаткування;

$q^C = 2 \text{ фіз.од.};$

$M_C^H$  - річні витрати матеріалів, які споживаються при експлуатації одиниці нового устаткування;

$$q^H = 1 \text{ фіз.од.}$$

$$M_C^C = B_{II}^C \cdot 10\% = 30320 \cdot 0,1 = 3032 \text{ грн.} \quad (5.18)$$

$$M_C^H = B_{III}^H \cdot 10\% = 57063 \cdot 0,1 = 5706 \text{ грн.} \quad (5.19)$$

$$\Delta M_C = 3032 \cdot 2 - 5706 \cdot 1 = 358 \text{ грн.}$$

#### 5.2.4. Розрахунок зміни витрат на ремонти устаткування

$$\Delta P = K_{PM} \cdot (B_{III}^C - B_{III}^H), \text{ грн.}, \quad (5.20)$$

де  $K_{PM} = 0,145$  - витрати на ремонт в частках первинної вартості устаткування;

$B_{III}^C = 2 \cdot B_{II}^C = 60640 \text{ грн.}$  - первинна вартість усього діючого устаткування;

$B_{III}^H = 57063 \text{ грн.}$  - первинна вартість усього нового устаткування;

$$\Delta P = 0,145 \cdot (60640 - 57063) = 519 \text{ грн.}$$

Зміна собівартості продукції:

$$\Delta C = 47811,456 + 839,52 + 358 + 519 = 49527,976 \text{ грн.}$$

#### 5.3. Розрахунок зміни нормативу оборотних коштів та загального розміру початкових інвестицій

Розрахунок зміни нормативу оборотних коштів проводиться для кожного елементу (j) за формулою:

$$\Delta \text{ОбК}_j = \frac{\Delta P_{nj} \cdot T_{Hj}}{T_K}, \text{ грн.}, \quad (5.21)$$

де  $P_{nj}$  - зміна річної потреби  $j$ -го елемента ресурсу на річну програму, грн.;

$T_{Hj}$  - норматив запасу  $j$ -го елемента ресурсів, дні;

$T_K = 365$  днів - календарна тривалість року.

Зміна річної потреби елементів “Матеріали” та “Готова продукція” приймається на рівні відповідно,  $\Delta M_C$  та  $\Delta C$ , а для елемента “Малоцінний та швидкозношуваний інструмент і пристрої” визначається за формулою:

$$\Delta Pn_{\text{МЦШП}} = 0,08 \cdot (B_{\text{ПВ}}^C - B_{\text{ПВ}}^H), \text{ грн.}, \quad (5.22)$$

де 0,08 – коефіцієнт, який ураховує усереднене співвідношення вартості малоцінного та швидкозношуваного інструменту і пристроїв до вартості технологічного устаткування.

$$\Delta Pn_{\text{МЦШП}} = 0,08 \cdot (60640 - 57063) = 286 \text{ грн.}$$

Зміна нормативу за елементом “Інші матеріальні цінності” приймається на рівні 10% від суми нормативів попередніх трьох елементів.

Розрахунок зміни нормативів оборотних коштів наводиться в табл. 5.3.

Таблиця 5.3

Зміна нормативу оборотних коштів.

№ п/п	Елементи нормативних оборотних коштів	Норма запасу ( $T_{Hj}$ ), дні	Зміна річної потреби ресурсів ( $\Delta P_{nj}$ ), грн..	Зміна нормативу оборотних коштів ( $\Delta ОБК_j$ ), грн
1	2	3	4	5
1.	Матеріали та напівфабрикати	45	358	44

продовження табл. 5.3

1	2	3	4	5
2.	Малоцінний та швидкозношуваний інструмент та пристрої	120	286	94
3.	Готові вироби	6	8352	137
4.	Інші матеріальні цінності	-	-	27
	Всього	-	-	$\sum \Delta ОбК_j = 302$

Приріст амортизаційних відрахувань для року  $t$  визначається наступним чином:

$$\Delta A_t = \Delta B(\bar{\sigma})_t \cdot \frac{Ha}{100}, \text{ грн.}, \quad (5.23)$$

де  $\Delta B(\bar{\sigma})_t$  - балансова вартість приросту ОВФ на початок року  $t$ , грн.;

$Ha = 15\%$  - норма амортизації;

Балансова вартість приросту ОВФ:

$$\Delta B(\bar{\sigma})_t = \Delta B(\bar{\sigma})_1 \cdot \left(1 - \frac{Ha}{100}\right)^{t-1}, \text{ грн.}, \quad (5.24)$$

де  $\Delta B(\bar{\sigma})_1 = 26336 \text{ грн.}$  - балансова вартість приросту ОВФ, визначена для першого року;

$$\Delta B(\bar{\sigma})_2 = 26336 \cdot \left(1 - \frac{15}{100}\right)^{2-1} = 22386 \text{ грн.}$$

$$\Delta A_1 = 26336 \cdot \frac{15}{100} = 3950 \text{ грн.}$$

Річний приріст прибутку для року  $t$  визначається за формулою:

$$\Delta Пр_t = \Delta C - (\Delta A_t), \text{ грн.}, \quad (5.25)$$

де  $\Delta C = 8352$  грн. - зміна собівартості продукції в рік;

$\Delta A_t$  - зміна річних амортизаційних відрахувань в  $t$ -ому році;

$$\Delta Pr_1 = 8352 - 3950 = 4402 \text{ грн.}$$

Приріст чистого прибутку для року  $t$  визначається так:

$$\Delta ЧПр_t = \Delta Pr_t \cdot (1 - K_{III}), \text{ грн.}, \quad (5.26)$$

де  $K_{III} = 0,3$  - коефіцієнт податку на прибуток;

$$\Delta ЧПр_1 = 4402 \cdot (1 - 0,3) = 3081 \text{ грн.}$$

Дисконтний множник або процентний фактор теперішньої вартості грошових надходжень в  $t$ -ому році розраховується за формулою

$$Pf_t = (1 + i)^{-t} \quad (5.27)$$

де  $i = 0,055$  - норма дисконту;

Значення  $pf_t$  по роках  $t$  для різних  $i$  вибираємо з додатку.

Теперішня вартість додаткових грошових надходжень:

$$Bpv_1 = (3081 + 3950) \cdot 0,948 = 6713 \text{ грн.}$$

Розрахунок  $\Delta A_t, \Delta Pr_t, \Delta ЧПр_t, Bpv_t$  і  $Bpv$  представлений у вигляді табл. 3.4.

Таблиця 3.4

Розрахунок зміни амортизаційних відрахувань та теперішньої вартості грошових надходжень по роках, грн.

№ п/ п	Показники	Роки							
		1	2	3	4	5	6	7	8
1.	$\Delta B(\bar{b})_t$ приросту активних ОВФ	26336	22386	19028	16174	13748	11686	9933	8443
2.	$\Delta A_t$ активних ОВФ	3950	3358	2854	2426	2062	1753	1490	1266
3.	$\Delta C_t$ ("-" приріст, "+" економія)	8352	8352	8352	8352	8352	8352	8352	8352
4.	Річний приріст прибутку $\Delta Pr_t$	4402	4994	5498	5926	6290	6599	9862	7086
5.	Річний приріст чистого прибутку $\Delta ЧПр_t$	3081	3496	3849	4148	4403	4619	4803	4960
6.	Щорічні додаткові грошові надходження	7031	6854	6703	6574	6465	6372	6293	6226
7.	Ставка дисконту (для $j=0,06$ ), $Pf_t$	0,948	0,898	0,852	0,807	0,765	0,725	0,687	0,652
8.	$Bpv_t$	6713	6155	5711	5305	4946	4620	4323	4059
9.	$Bpv$	$\sum_{t=1}^T Bpv_t = 41832$							



#### 5.4. Обґрунтування доцільності інвестування

Для отриманих значень  $I_{\Pi}$  і  $Bpv$  проводиться перевірка виконання умов доцільності інвестування.

Чиста теперішня вартість проекту:

$$B_{\text{чТ}} = (Bpv - I_{\Pi}) \triangleright 0, \text{ грн.}, \quad (5.28)$$

де  $Bpv = 41832 \text{ грн.}$  - теперішня вартість додаткових грошових надходжень за період використання проектних рішень;

$I_{\Pi} = 21271 \text{ грн.}$  - початкові інвестиції, необхідні для реалізації проекту;

$$B_{\text{чТ}} = (41832 - 21271) = 20561 \text{ грн.} \triangleright 0$$

Індекс прибутковості:

$$\xi = \left( \frac{Bpv}{I_{\Pi}} \right) = \left( \frac{41832}{21271} \right) = 1,92 \triangleright 1 \quad (5.29)$$

Термін окупності інвестицій визначається з тотожності:

$$I_{\Pi} \approx \sum_{t=1}^{\tau} Bpv_t \quad (5.30)$$

$$21271 \approx 6713 + 6155 + 5711 + 5305 \cdot 0,62$$

$$\tau_{\text{ок}} = 3,62 \text{ року} \triangleleft \tau_m = 8 \text{ років} \quad (5.31)$$

#### Висновки по розділу

Досліджувана робота є економічно вигідна і прийнятна для промислового впровадження. Індекс прибутковості складе 1,92, а термін окупності 3,62 року.

## ВИСНОВКИ

1. На основі існуючих розробок та рекомендацій щодо зварювання полімерних матеріалів узагальнено методику розрахунку технологічних параметрів, яка дозволяє безпосередньо оптимізувати параметри, що впливають на технологічні та економічні аспекти процесу зварювання, а також на ефективність і продуктивність роботи пакувальних машин.

2. Встановлено основні фізико-геометричні параметри, які слід враховувати при дослідженні режимів зварювання полімерних матеріалів.

3. Визначено поля температурних режимів роботи експериментальної установки за двома ключовими параметрами: тривалістю імпульсу та силою струму.

4. Проведено експериментальні дослідження зварюваності плівок полімерних при фіксованих значеннях сили струму. На основі цих досліджень побудовано експериментальну діаграму, що містить теоретичні значення температури зварювання та визначені оптимальні межі параметрів зварювання полімерного матеріалу.

5. Визначено обставини і умови під час роботи машини для зварювання полімерних матеріалів у небезпечних ситуаціях. Проаналізовано існуючі або потенційні небезпеки, що виникають під час роботи на окремих робочих місцях, окремих машинах, агрегатах, а також спорудах будівель.

6. Дана досліджувана робота є економічно доцільною та придатною для промислового впровадження. Індекс прибутковості становитиме 1,92, а термін окупності – 3,62 роки.

## БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Берник П.С. та ін. Механічні процеси і обладнання переробного та харчового виробництва: Навчальний посібник / П.С. Берник З.А. Стоцько І.П. Паламарчук В.В. , Яськов І.А., Зозуляк. – Львів:Видавництво Н.У «Львівська політехніка», 2004.-336с.
2. І.В.Сирохман, В.М.Завгородня. Товарознавство пакувальних матеріалів і тари
3. І.В. Сирохман Товарознавство пакувальних товарів і тари : підручник [для С 40 студ. вищ. навч. закл.] ; І.В.Сирохман ,В.М. Завгородня- К. : ”Центр учбової літератури, 2009. – 616с.-ISBN 978-966-364-800-2.”
4. Гавва О.М. Безпалько А.П., Волчко А.І Пакувальне обладнання в 3 кн. -1 кн. Обладнання для пакування продукції в споживчу тару / За ред. О.М. Гавви – Київ :ІАЦ «Упаковка», 2008. -436 с.
5. ДНАОП 1.1.10-1.01.97 „Правила безпечної експлуатації електроустановок”.
6. Жидецький В.Ц., Джигирей В.С., Сторожук В.М., Туряб Л.В., Лико Х.І. „Практикум з охорони праці”. – Львів, 2000 – 350 с.
7. Законодавство України про охорону праці. Збірник нормативних документів. Київ, 1997.
8. Мирончик В.Г., Орлов Л.О., Українець А.І. та ін.,Розрахунки обладнання підприємств переробної і харчової промисловості. Навчальний посібник – Вінниця: Нова книга ,2004.-288с.
9. Маслак О. І. Економіка промислового підприємства навч. посіб. / О. І. Маслак, Л. Д. Воробйова. — К. : ЦУЛ, 2016. — 172 с.
- 10.Попович В. В. Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство: [підручник для студ. вищ. навч. закл.] / В. В. Попович, В. В. Попович. — Львів: Світ, 2006. — 624 с.
- 11.Правила пожежної безпеки в Україні / Укр. НДПБ МВС України. – Київ: “Укрархбудінформ”, 1995. – 197 с.

- 12.Рожков А.П. „Пожежна безпека на виробництві”. К. – 1997 – 448 с.
- 13.Технологія конструкційних матеріалів: Підручник / М. А. Сологуб, І. О. Рожнецький, О. І. Некоз та ін.; За ред. М. А. Сологуба. — 2-ге вид., перероб. і допов. — К.: Вища школа, 2002. — 374 с.
- 14.Основи методології та організації наукових досліджень : навч. Посібник для студентів, курсантів, аспірантів і ад’ютантів ; за ред.. А. Є. Конверського. – К. : Центр учбової літератури, 2010. – 352 с.
- 15.Упаковка в нашому житті./ Кривошея В.М.К.: ІАЦ «Упаковка», 2001.160с.
- 16.Ялпачик Ф.Ю.,Пархоменко В.Д. Методичний посібник для студентів спеціалізації “Механізація переробки і збереження сільськогосподарської продукції”. Економічне обґрунтування модернізації і вдосконалення переробних виробництв.-Мелітополь.; ТДАТА,2001.-8 с.

## Розрахунок кількості теплоти ніхромової нитки:

$$m := \pi \quad \text{мм} := \text{mm} \quad \text{Ом} := \text{ohm} \quad A := A$$

$$c := s \quad \text{Дж} := \text{joule}$$

$$l := 264 \text{ мм} \quad a := 0.2 \text{ мм} \quad b := 2.5 \text{ мм}$$

$$\rho := 1.08 \text{ Ом} \cdot \frac{\text{мм}^2}{\text{м}} \quad S := a \cdot b \quad S = 5 \times 10^{-7} \text{ м}^2$$

$$R := \rho \cdot \frac{l}{S} \quad R = 0.57 \cdot \text{Ом}$$

$$j := 1..6$$

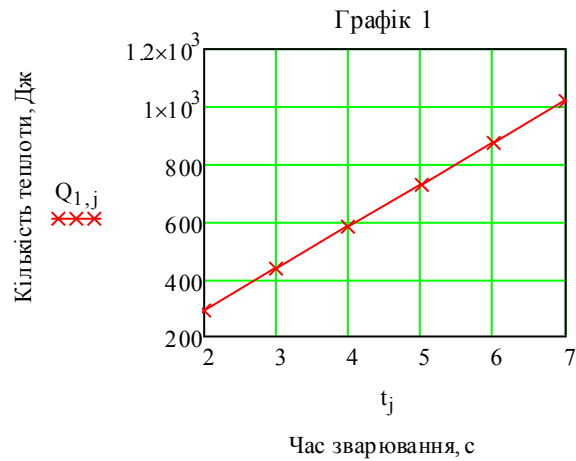
$$I_1 := 16 \text{ А} \quad t_j := (1 + j)c$$

$$Q_{1,j} := (I_1)^2 \cdot R \cdot t_j$$

$$Q_{1,j} =$$

291.963
437.944
583.926
729.907
875.889
1.022 · 10 <sup>3</sup>

· Дж



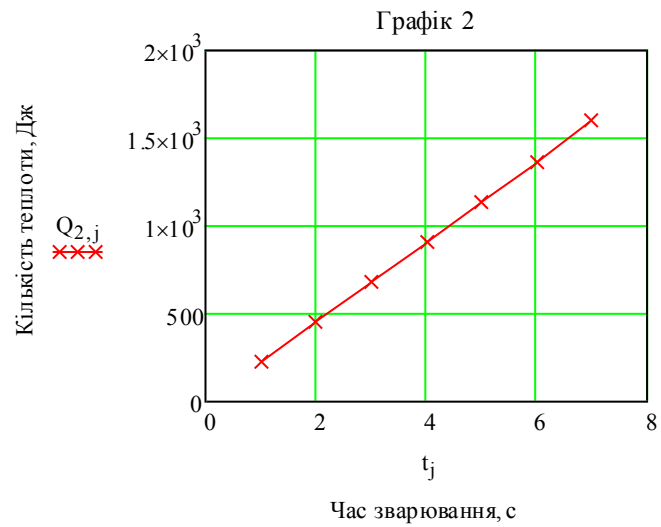
## продовження додатку А

$$I_2 := 20\text{A}$$

$$Q_{2,j} := (I_2)^2 \cdot R \cdot t_j$$

$$Q_{2,j} =$$

228.096	· Дж
456.192	
684.288	
912.384	
$1.14 \cdot 10^3$	
$1.369 \cdot 10^3$	
$1.597 \cdot 10^3$	



$$I_3 := 40\text{A}$$

$$Q_{3,j} := (I_3)^2 \cdot R \cdot t_j$$

$$Q_{3,j} =$$

912.384	· Дж
$1.825 \cdot 10^3$	
$2.737 \cdot 10^3$	
$3.65 \cdot 10^3$	
$4.562 \cdot 10^3$	
$5.474 \cdot 10^3$	
$6.387 \cdot 10^3$	

