

**Колоскова Г.М.**

Національний аерокосмічний університет імені М.Є. Жуковського  
«Харківський авіаційний інститут»

## ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ТЕМПЕРАТУРНОГО ГРАДІЄНТУ У ВИПАДКУ ЗАПАЮВАННЯ ПЛАСТИКОВОЇ ТАРИ НА ЯКІСТЬ ЇЇ ВМІСТУ

*Проведено аналіз факторів, що впливають на зберігання якості харчових продуктів у полімерній упаковці. Використовуючи метод скінчених елементів, проведено розрахунок передачі тепла від нагрівального елемента зварювального штампна до продукту, який запаковується в пластикові стаканчики. На прикладі закупорювання меду проаналізовано вплив конструкції зварювального штампна, а також його матеріалу на прогрівання продукту в упаковці в процесі її запаювання. Проаналізовано зміну температури продукту в залежності від виду матеріалу упаковки. У результаті аналізу запропоновані оптимальні параметри штампна та вид матеріалу упаковки, які дають мінімальне підвищення температури продукту за доброї якості зварного шва. У подальших дослідженнях відмічена необхідність розгляду більш широкого спектра упаковуваних продуктів, яка обумовлена граничною безпечною температурою нагрівання.*

**Ключові слова:** полімерна упаковка, платинка, запаювання, прогрівання, безпека.

**Постановка проблеми.** Асортимент пакувань для в'язких харчових продуктів на сучасному ринку є достатньо широким. Однак традиційною упаковкою для розфасовування харчових продуктів малими дозами (до 0,5 кг) є пластикові стаканчики та інші ємності, виготовлені з полімерів. Біля 60% в'язких харчових продуктів сьогодні реалізуються саме таким чином. Зручність та привабливість такого пакування визнані як виробниками, так і споживачами.

Втім, у процесі запаювання заповненого стаканчика відбувається його контакт зі штампом, температура якого досягає 200°C, що може негативно вплинути на якість самого продукту, не змінюючи при цьому його зовнішній вигляд та смакові властивості. Наприклад, під час нагрівання йогурту понад 45°C усі корисні бактерії гинуть, а нагрівання меду до температури понад 43°C призводить до утворення в ньому канцерогенних речовин. Виходячи з вищезгаданого, завдання визначення ступеню прогріву продукту в процесі його пакування в полімерну тару є актуальним.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Сьогодні під час пакування продуктів харчової промисловості найбільш поширеною є полімерна тара. У роботі [1, с. 33] зазначено, що основні тенденції розвитку пластикової упаковки на законодавчому рівні диктують такі вимоги: мінімальна

міграція, в тому числі при підвищених температурах пастеризації та стерилізації; стійкість до гарячої води, тобто збереження форми та розміру; висока стійкість до вертикального навантаження; висока стійкість до ударного навантаження; висока прозорість. Таким чином, дослідження, що проводяться в галузі існуючих полімерних пакувальних матеріалів, умовно можна розділити на два напрямки.

1. Забезпечення механічної міцності пакувальних матеріалів за різноманітних умов навантаження тари. Дослідження в цій галузі майже завжди базуються на експериментальних випробуваннях [2, с. 33; 3, с. 65].

2. Забезпечення хімічної міцності пакувальних матеріалів, тобто попередження міграції складових матеріалу в продукт чи навколишнє середовище за різноманітних умов. Оскільки більшість методів пакування пов'язані з використанням високих температур, у цьому напрямку велику увагу приділяють процесам, що виникають під час нагрівання. Так, у роботі [4, с. 146] відзначено, що підвищення під час пакування температури на 10°C збільшує швидкість біохімічних реакцій і знижує термін придатності продукту. Існують методики, які дозволяють розрахувати терміни придатності основних продуктів [5, с. 217], однак надійного критерію для оцінки придатності

упаковки для збереження рівня якості продукції немає. Так, у роботі [6, с. 135] запропоновано таким критерієм вважати зміну антиоксидантної активності продукту. Проте існують продукти, антиоксидантна активність яких змінюється не за рахунок мігруючих компонентів, а лише під впливом підвищених температур. Наприклад, під час підігрівання меду до 43°C у ньому утворюється гідроксиметілфурфурол – небезпечна токсична речовина, здатна викликати виникнення онкоутворень у травному тракті [7], а продукти, які містять підсоложувач аспартам, не можна нагрівати до температури понад 30°C, оскільки він починає розпадатися на формальдегід та ментол [8, с. 270].

Втім, можна зробити загальний висновок про те, що результати досліджень, представлені в сучасних публікаціях, не дають можливості провести оцінку прогріву продукту під час запаювання тари.

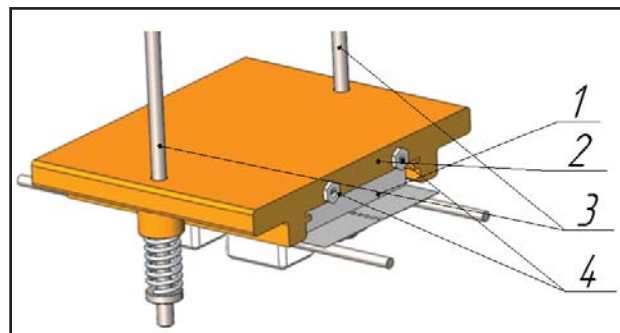
**Формулювання цілей статті.** Метою даної роботи є дослідження впливу температури зварювання на якісні характеристики продукту, що пакується. Для досягнення поставленої мети в представленому дослідженні було вирішено такі задачі:

1. Досліджено температуру прогріву продукту в залежності від конструкції зварювального штампу та його матеріалу.

2. Досліджено температуру прогріву продукту в залежності від матеріалу, використаного для його пакування.

**Виклад основного матеріалу.** Під час розрахунків в якості продукту було обрано мед 21-відсоткової вологості, теплопровідність якого становить 0,5375 Вт/(м К). Питома вага меду коливається в межах 1,420...1,440 кг/дм<sup>3</sup>. За температури -36°C мед замерзає, зменшуючись в об'ємі на 10 відсотків, а при нагріванні він, навпаки, розширюється [9].

Оптимальною тарою для продажу меду невеликими обсягами є пластикові стаканчики з приварюваною автоматом платинкою. Конструкція вузла запаювання платинки (рис. 1) являє собою штамп прямокутної форми, виготовлений з кераміки або алюмінію, який розміщено в сталевому



**Рис. 1. Конструкція штампа для запаювання:**  
1 – штамп; 2 – корпус; 3 –направляючі осі;  
4 – нагрівальні елементи

корпусі [10]. Зварну плівку й тару з продуктом подають до позиції штампа за допомогою крокового двигуна стрічкового конвеєра. Час контакту зварного шва з плівкою та продуктом знаходиться в інтервалі від 1 до 4 секунд. Матеріали які було обрано для дослідження, представлені в табл. 1.

Було задано конвекцію на усіх поверхнях, які контактують із повітрям. Температура навколишнього середовища складає 25°C. Потужність нагрівального елемента становить 50 Вт. Тепловий опір та тепловідвід між поверхнями конструкції до уваги не приймалися.

Дослідження залежності прогрівання продукту від конструкції зварювального штампу та його матеріалу

Розглянемо розподіл температур від нагрівального елемента за всім вузлом зварювання в залежності від типу матеріалу штампа та його конструкції. На рис. 2 та 3 наведено два різновиди конструкції штампа, що найчастіше використовуються в пакувальних машинах: перший із заглибленням для зменшення контакту штампа з платинкою (рис. 2), другий – без заглиблення – забезпечує контакт штампа з платинкою за всією поверхнею (рис. 3).

Розрахунок проводився з використанням метода скінчених елементів в системі Solid Works Simulation. Під час розрахунків розглядалася одна чверть штампа, що дозволило суттєво підвищити точність отриманих результатів. Час контакту

Таблиця 1

**Матеріали досліджуваного вузла**

| № з/п | Найменування елемента        | Матеріал                                         |
|-------|------------------------------|--------------------------------------------------|
| 1     | Нагрівальний елемент         | Сталь                                            |
| 2     | Корпус штампа                | Сталь                                            |
| 3     | Штамп (зварювальний елемент) | Кераміка, алюміній                               |
| 4     | Платинка                     | Поліпропілен<br>Алюмінієва фольга + поліпропілен |
| 5     | Тара для дозування продукту  | Поліетилен                                       |

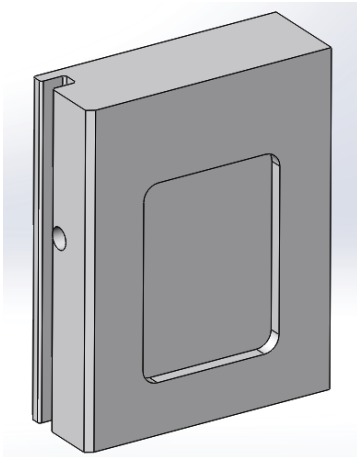


Рис. 2. Штамп із заглибленням

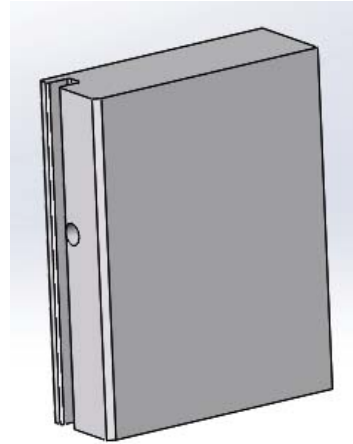


Рис. 3. Штамп без заглиблення

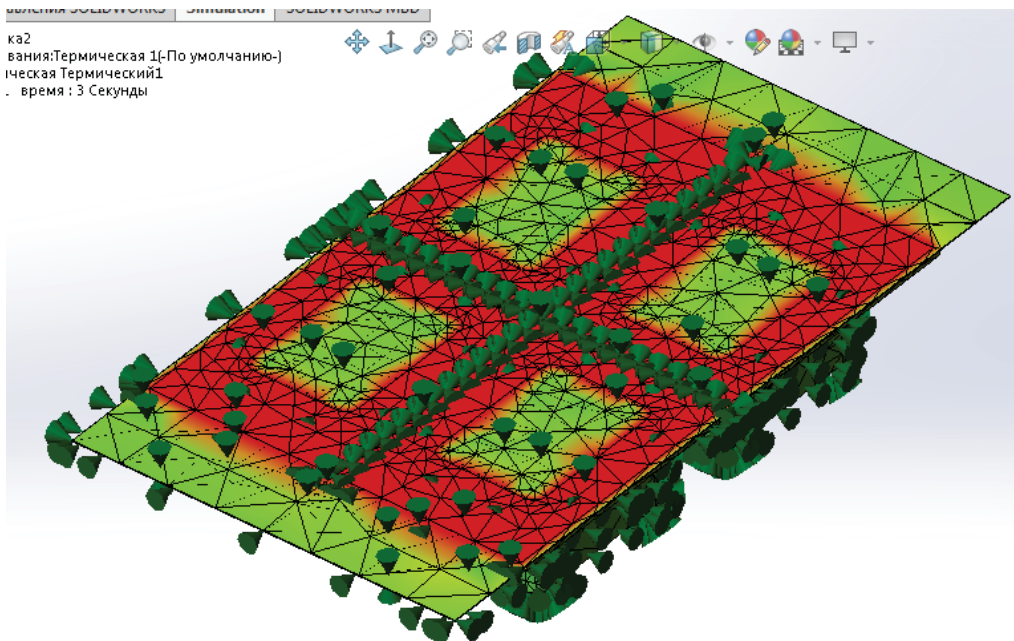


Рис. 4. Еюра термічного аналізу за площею нагрівання для керамічного штампа

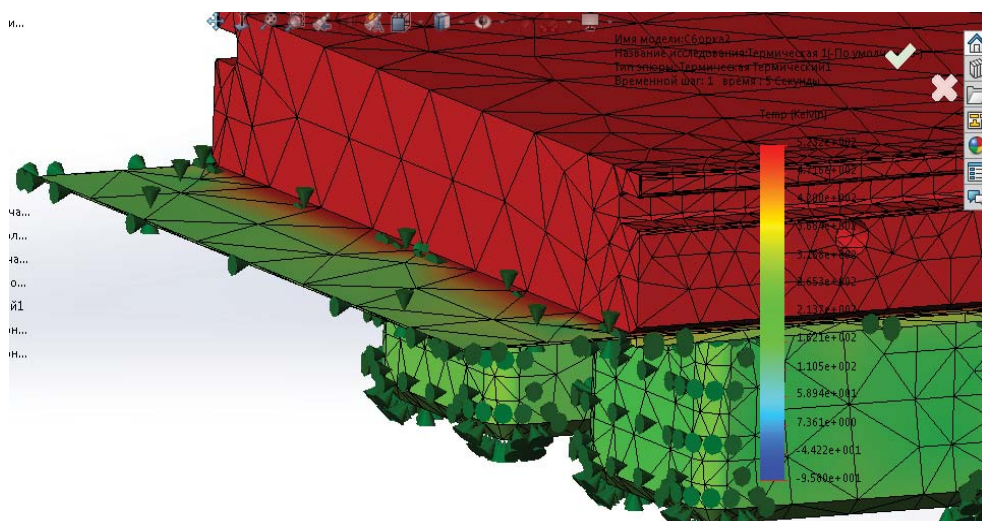


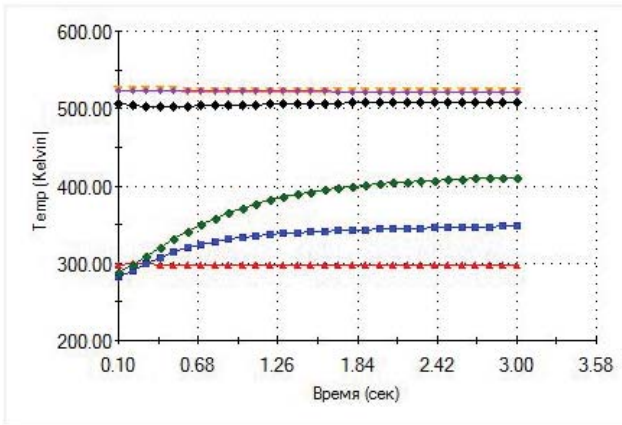
Рис. 5. Еюра термічного аналізу за глибиною прогріву для керамічного штампа

нагрітого штамп з тарою розглядався в діапазоні від 0 до 3 секунд.

Для проведення досліджень було розглянуто два керамічних зварюючих штампи різної конструкції, що дало можливість провести порівняльний аналіз зміни прогріву всіх елементів вузла.

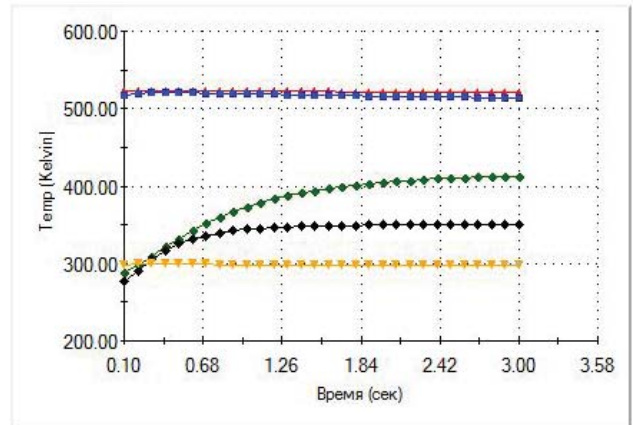
На рис. 4 та 5 приведено епюри розподілу температур при припаюванні поліпропіленової плівки за допомогою штамп із заглибленням. Результати розрахунків теплопередачі від нагрівача до тари з продуктом представлено у вигляді графіків (див. рис. 6, 7).

Аналіз отриманих даних показав, що за умови зміни конструкції штамп процес передачі тепла до тари практично не змінюється. За час контакту штамп з тарою (3 секунди) температура зварної плівки досягає 410 К, температура верхньої точки тари при цьому складає 350 К. Сам продукт нагрівається під час контакту упаковки зі штампом у діапазоні від 298,18 К до 302 К, що відповідає встановленим безпечним межам, оскільки початкова температура продукту складала 25°C, а після нагрівання складала 29°C, за гранично припустимого значення 43°C. Із зазначеного витікає висно-



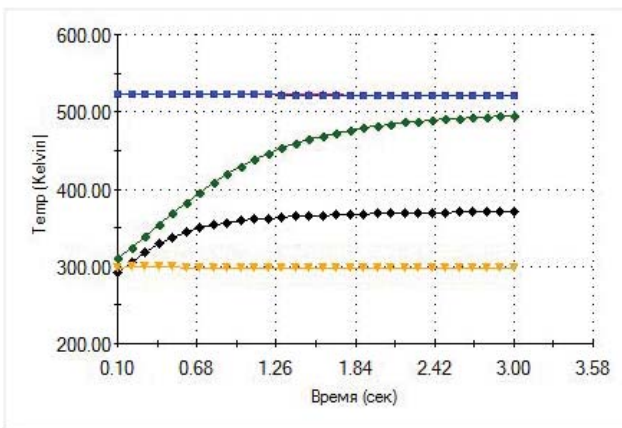
**Рис. 6. Графіки зміни температури за часом під час передачі тепла від керамічного штамп із заглибленням:**

- температура верхньої точки корпусу штамп;
- температура нижньої точки корпусу штамп;
- температура внутрішньої точки керамічного штамп;
- температура точки полімерної зварної плівки;
- температура верхньої точки тари продукту;
- температура точки центру розміщення продукту.



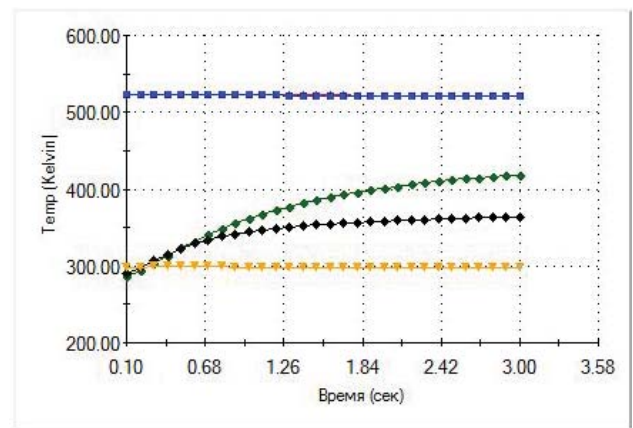
**Рис. 7. Графіки зміни температури за часом при передачі тепла від керамічного плоского штамп без заглиблення:**

- температура точки корпусу штамп;
- температура внутрішньої точки штамп;
- температура точки полімерної зварної плівки;
- температура верхньої точки тари продукту;
- температура точки центру розміщення продукту.



**Рис. 8. Графіки зміни температури за часом при передачі тепла від алюмінієвого штамп із заглибленням:**

- температура точки корпусу штамп;
- температура внутрішньої точки штамп;
- температура точки полімерної зварної плівки;
- температура верхньої точки тари з продуктом;
- температура точки центру розміщення продукту (меду).



**Рис. 9. Графіки зміни температури за часом при передачі тепла від алюмінієвого плоского штамп без заглиблення:**

- температура точки корпусу штамп;
- температура внутрішньої точки штамп;
- температура точки полімерної зварної плівки;
- температура верхньої точки тари з продуктом;
- температура точки центру розміщення продукту (меду).

вок, що якість продукту в процесі пакування втрачено не буде.

Для порівняння розглянемо два зварювальних штампа різної конструкції, які виготовлено з алюмінієвого сплаву AA380.0-F. При розрахунках теплопередачі від нагрівача до тари з продуктом було отримано результати, наведені у вигляді графіків (див. рис. 8, 9). Аналіз отриманих даних показав, що під час використання алюмінієвого штампа в незалежності від його конструкції процес передачі тепла до тари практично не змінюється. За час контакту штампа з тарою (3 секунди) температура зварної плівки досягає 410 К, температура верхньої точки тари при цьому складає 350 К. Сам продукт нагрівається під час контакту упаковки зі штампом у діапазоні від 298,18 К до 305 К, що також відповідає встановленим безпечним межах, оскільки початкова температура продукту складала 25°C, а після нагрівання складала 32°C, за гранично допустимого значення 43°C. Із зазначеного витікає висновок, що якість продукту в процесі пакування втрачено не буде.

Окремо слід відмітити, що під час застосування алюмінієвого штампа кінцева температура прогріву продукту буде хоча й безпечною, однак дещо більшою за температуру, отриману під час використання керамічного штампа. Тому в дослідженні залежності прогрівання продукту від матеріалу платинки в якості базового розрахункового випадку було обрано саме алюмінієвий штамп.

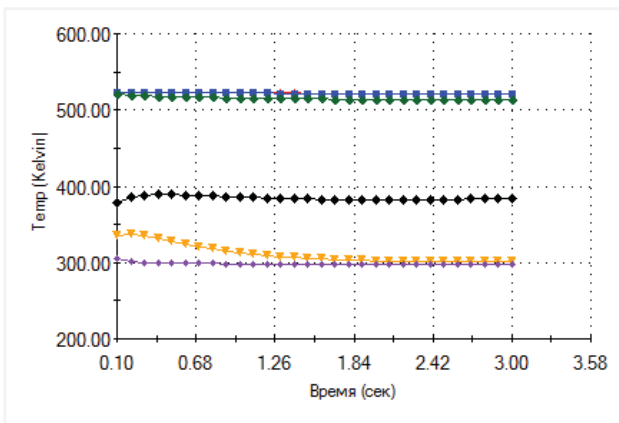
Дослідження залежності прогрівання продукту від матеріалу платинки

Матеріали, що використовують для виготовлення тари, мають бути придатними для термозварювання, оскільки на експлуатаційні показники упаковки разом із властивостями самої плівки суттєво впливають також і зварні шви. Стаканчик зазвичай виконують з полістиролу, поліетилену або харчового поліпропілену.

Для закупорювання використовують платинку, виготовлену з полімерних або комбінованих матеріалів. Існує два основних види плівок з полімерних матеріалів, які доступні для використання: плівка зі штучної целюлози та плівка на основі пластиків. Найбільш поширеним комбінованим матеріалом для виготовлення платинок є алюмінієва фольга, комбінована з полімером (зазвичай поліпропіленом або поліетиленом) [11, с. 7]. У порівнянні з більшістю інших пакувальних матеріалів означена композиція отримує вражаючі бар'єрні характеристики.

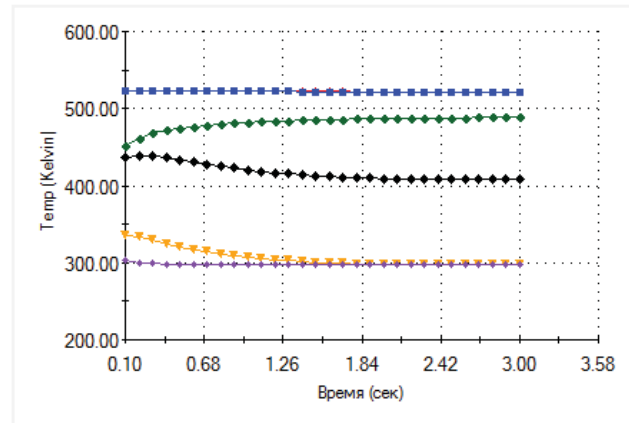
Розрахунки було проведено для штампів різних конструкцій. В якості матеріалу штампа було обрано алюміній, оскільки, як було вказано вище, він дає більш високий прогрів розфасованого продукту. На рис. 10 та 11 наведено графіки залежності розподілу температури в різних точках упаковки з платинкою, виконаною з комбінованого матеріалу. Результати розрахунків для випадку полімерної платинки за тих же умов пакування наведено на рис. 8 та 9.

Порівнюючи результати, отримані для двох зварних матеріалів, які використовуються для



**Рис. 10. Графіки зміни температури за часом при передачі тепла від алюмінієвого штампа із заглибленням:**

- температура точки корпусу штампа;
- температура внутрішньої точки штампа;
- температура точки комбінованої зварної плівки;
- температура верхньої точки тари з продуктом;
- температура точки верхнього шару продукту (меду);
- температура точки центру розміщення продукту (меду)



**Рис. 11. Графіки зміни температури за часом при передачі тепла від алюмінієвого плоского штампа без заглиблення:**

- температура точки корпусу штампа;
- температура внутрішньої точки штампа;
- температура точки комбінованої зварної плівки;
- температура верхньої точки тари з продуктом;
- температура точки верхнього шару продукту (меду);
- температура точки центру розміщення продукту (меду)

пакування досліджуваного продукту, можна помітити такі розбіжності:

1) за наявності в штампі заглиблення платинка, виготовлена з полімерного матеріалу, розігрівається до 495 К (222°C), а плівка в комбінації з фольгою – до 515 К (242°C).

2) для випадку використання суцільного алюмінієвого штампа, плоского, без заглиблення, платинка, виготовлена з полімерного матеріалу, розігрівається до 420 К (147°C), а плівка в комбінації з фольгою – до 485 К (212°C).

Отже, можна зробити висновок, що комбінований матеріал з алюмінієвої фольги та плівки забезпечить якісніший зварний шов, аніж звичайна полімерна плівка. Також кращим з точки зору забезпечення якості зварного шва буде використання модифікації штампа із заглибленням.

#### Висновки:

1. Аналіз отриманих результатів показав, що алюмінієвий штамп за однакової потужності нагрівального елемента розігріває тару та продукт до більшої температури, ніж керамічний. Максимальний нагрів продукту за час контакту зі штампом при цьому досягає значення 32°C, що є меншим за гранично допустиму величину, встановлену для меду. Із вищезазначеного можна

зробити висновок, що під час контакту штампу та продукту мед не втрачає своїх корисних властивостей.

2. За результатами порівняння даних стосовно температури прогріву платинок, виготовлених з полімерної плівки та комбінованого матеріалу «алюмінієва фольга – полімерна плівка», було встановлено, що остання забезпечує більшу температуру розігрівання, а отже, й якісніший зварний шов, без погіршення властивостей продукту. Додаткового підвищення якості зварного шва можна досягнути за використання штампів із заглибленням.

3. У роботі було досліджено зміну температури запакованого продукту. Найбільше значення температури, яку продукт отримував у всіх дослідках, становить 33°C. Таким чином, можна вважати, що в процесі короткотермінового контакту штампа з тарою жодних негативних впливів на властивості та якість продукту не виникне, оскільки критичне значення температури для меду складає 43°C. Отже, досліджений вид пакувальної операції для меду можна вважати безпечним.

У подальших дослідженнях доцільним є розглянути більш широкий спектр продуктів, що пакуються, оскільки діапазони безпечного нагріву для багатьох із них суттєво відрізняються між собою.

#### Список літератури:

1. Коваленко О., Крылова В., Абрамова Л., Платонова Н. Упаковка нового поколения. Пластикс. 2012. № 5(111). С. 30–34.
2. Коваленко О., Молодиченко М. Упаковка потребительская полимерная. Тара и упаковка. 2015. № 5. С. 30–33.
3. Колоскова А.Н. Экспериментальное исследование Т-образного сварного соединения полимерных пленок. Вопросы проектирования и производства конструкций летательных аппаратов. 2015. Вып. 3(83). С. 65–68.
4. Пашкова Е.С., Рассолько Л.А., Атрашонок И.В., Кудрина Я.В. Современная упаковка товара как составляющая часть сбытовой политики предприятия. Переработка и управление качеством сельскохозяйственной продукции: сборник статей III междунар. науч.-практ. конф. (Минск, 23-24 марта 2017 г). Минск, 2017. С. 146–147.
5. Стеле Р. Срок годности пищевых продуктов. Расчет и испытание. СПб., 2006. 480 с.
6. Сухарева К.В., Чалых Т.И., Попов А.А. Влияние материала полимерной упаковки на активность жидких пищевых сред. Вестник Казанского технологического университета. 2017. Т. 20. № 2. С. 135–139.
7. Вред меда. В каких случаях мед вреден? // MagicWorld.su. URL: <http://www.magicworld.su/o-vrednom/275-vred-mjoda-v-kakikh-sluchayakh-mjod-vreden.html> (дата звернення: 10.03.2018).
8. Малахова Л.П. Продукты без тайн! Защити свой стол от уловок пищевой индустрии. М., 2012. 272 с.
9. Физические и химические свойства меда. // Апилак: искусство лечения медом и другими продуктами пчеловодства URL: <http://apilak.com/honey-svoistva-fiz-him.html> (дата звернення: 10.03.2018).
10. Фасовочные автоматы. // Дальтехпрогресс: Дальневосточный сервисный центр промышленного оборудования. URL: [http://daltech-progress.ru/equipment/profitex/packaging\\_machines/adnk\\_39/](http://daltech-progress.ru/equipment/profitex/packaging_machines/adnk_39/) (дата звернення: 15.03.2018).
11. Колоскова, А.Н. Классификатор многослойных комбинированных упаковочных материалов. Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія «Механіко-технологічні системи і комплекси». 2017. № 16(1238). С. 7–11.

### ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕМПЕРАТУРНОГО ГРАДИЕНТА ПРИ ЗАПАИВАНИИ ПЛАСТИКОВОЙ ТАРЫ НА КАЧЕСТВО ЕЕ СОДЕРЖИМОГО

*Проведен анализ факторов, влияющих на сохранность качества пищевых продуктов в полимерной упаковке. Используя метод конечных элементов, провели расчет передачи тепла от нагревательного элемента сваривающего штампа к продукту, упаковываемому в пластиковые стаканчики. На примере укупорки меда проанализировано влияние конструкции сваривающего штампа, а также его материала на прогрев продукта в упаковке в процессе ее запаивания. Проанализировано изменение температуры продукта в зависимости от вида материала упаковки. В результате анализа предложены оптимальные параметры штампа и вид материала упаковки, дающие минимальное повышение температуры продукта при хорошем качестве сварного шва. В дальнейших исследованиях отмечена необходимость рассмотрения более широкого спектра пакуемых продуктов, обусловленная различной предельной безопасной температурой нагрева.*

**Ключевые слова:** полимерная упаковка, платинка, запаивание, прогрев, безопасность.

### Investigation of impact of the temperature gradient at plastic packaging sealing on its content quality

*We have accomplished analysis of factors influencing on food products preservation in polymeric packaging. Using finite element method we have calculated heat transfer from heating element of the welding stamp to product packaged in plastic cups. At the example of the honey packing we have analyzed the impact of welding stamp construction and material on product heating during the process of packaging sealing. We have analyzed the variations of the product temperature depending on packaging material type. As the result of the analysis we have proposed optimal stamp parameters and packaging materials which ensure minimal increase of the product temperature together with the proper weld seam quality. In the following research we have noticed the necessity of observation of the wide spectrum of packaged products due to different maximal safe heating temperature.*

**Key words:** polymeric packaging, platinka, sealing, heating, safety.