

УДК 338.4 : 639.2

**МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ЕЛЕКТРОКОПЧЕННЯ РИБИ**

Петриченко С.В., к.т.н.,

Лобода О.І., к.т.н.

*Таврійський державний агротехнологічний університет*

Тел. (06192) 42-13-06

**Анотація** – у роботі представлені результати експериментальних досліджень кінетики осадження димових часток на різні поверхні в електростатичному полі як передумову електростатичної інтенсифікації процесу копчення. Надано теоретичне обґрунтування процесу.

**Ключові слова** – риба, процес копчення, електростатичне поле, заряджена частка, сила дзеркального відображення.

*Постановка проблеми і її зв'язок із найважливішими науковими та практичними завданнями.* Підвищення якості харчових продуктів і в той же час зменшення витрат енергоресурсів при їх виробництві є актуальним питанням на сьогоднішній день. Спосіб консервування, при якому риба просочується продуктами теплового розкладання деревини, називається копченням. Копчення риби проводять з метою її консервування та розширення асортименту. Консервування риби копченням проходить за рахунок хімічних речовин диму. Завдяки копченню збільшується термін зберігання риби. Копчена риба – смачний і поживний продукт, що користується попитом у населення. У їжу її вживають без додаткової кулінарної обробки.

На формування споживних властивостей копчених рибних товарів впливають вид і розмір риби, якість риби та іншої сировини, технологія виготовлення. Вплив більшості цих факторів на споживні властивості копчених рибних товарів такий, як і солених.

Залежно від температури розрізняють такі способи димового копчення риби: холодне, гаряче і напівгаряче.

Холодне димове копчення риби проводять при температурі до 40 °С. Для цього придатні риби з різним вмістом жиру. Кращими є жирні та особливо жирні риби. Перед копченням рибу підсушують. Процес димового копчення триває від 6 год до 2...3 діб. Це залежить від виду і розміру риби, виду розбирання, тощо. У процесі копчення риба втрачає багато води, її поверхня стає золотистою, м'ясо ущільнюється, відносна кількість солі підвищується. М'ясо набуває приємного смаку і запаху.

Гаряче димове копчення проводять при температурі 90...120 °С. Рибу спочатку підсушують, потім проварюють (пропікають) при температурі 110...140 °С протягом 10...15 хв і коптять. Рибу великих розмірів перед коптінням обв'язують. При коптінні температуру у камері знижують до 90...120° С і збільшують подачу диму. Залежно від виду та розміру риби, виду розбирання процес коптіння триває від 30 хв до 3 год.

Напівгаряче димове копчення проводять при температурі 70...90 °С протягом кількох годин.

При електрокопченні риби молекули хімічних речовин, які містяться у диму, внаслідок іонізації газу дістають додатний або від'ємний заряд. Це відбувається внаслідок зміни кількості електронів, які обертаються навколо ядра. При збільшенні кількості електронів виникає від'ємний заряд, при зменшенні їх - додатний. Якщо напруга електричного струму перевищує опір газу, відбувається пробивання повітряного шару. При цьому молекули повітря розпадаються на іони, які мають додатний і від'ємний заряди. Ці іони направляються до протилежно зарядженого електрода.

З технологічної точки зору вплив коптільних речовин і самого процесу копчення на якість виготовлених рибних продуктів виявляється у декількох аспектах:

- рибні продукти набувають гострий, приємний, своєрідний смак і запах, золотистий колір і блиск на поверхні;

- проникнення у продукт деяких фракцій диму і, особливо, фенольної і органічної кислот, що мають бактерицидну дію, придушє розвиток гнильної мікрофлори, підвищує термін зберігання, тобто копчення є одним із засобів консервування, особливо в сполученні з посолом і сушінням. Бактерицидна дія диму виявляється, насамперед, на поверхні продукту;

- одна з фракцій диму - феноли, добре поглинається жировою тканиною і, маючи високі антиокислювальні властивості, перешкоджає псуванню жиру. Крім того, феноли мають дубильну дію на колаген, у результаті чого як білкова оболонка, так і поверхневі прошарки риби піддаються усадці, змінюються, посилюються їхні захисні властивості до дії мікроорганізмів;

- процес копчення супроводжується тепло-, масопереносом і вологообміном, у результаті чого з продукту випаровується частина вологи, виріб збезводнюється і це, у свою чергу, затримує розвиток мікрофлори і надає виробові характерні органолептичні характеристики. У процесі копчення рибні продукти втрачають до 10 % вологи до початкової маси.

Враховуючи вищезазначене, інтенсивність осадження коптільних речовин на поверхню продукту, особливо при високотемпературному так званому гарячому копченні, стає одним із

головних чинників, від якого залежить якість і енергоємність усього процесу.

*Аналіз останніх досліджень і публікацій.* Коптильний дим являє собою систему, що складається з двох фаз: дисперсійного середовища і дисперсної фази. При деяких умовах органічні речовини дисперсійного середовища можуть конденсуватися, створюючи аерозоль із крапельками розміром 0,15...0,001 мкм. У коптильному димі утримується до 130...150 мг/м<sup>3</sup> зважених часток, що знаходяться у хаотичному броунівському русі, причому частки розміром більше 4 мкм у цьому прямуванні не беруть участь і випадають із системи під дією сили ваги. У процесі копчення основну роль грає тонкодисперсна колоїдна частина диму, кількість якої складає біля 10 % від вагової кількості усіх речовин диму.

Складну систему хімічних речовин піролізу деревини можна поділити залежно від температури їх кипіння на три групи.

Перша група об'єднує спирти, органічні кислоти і їх похідні. Температура кипіння цих речовин перебуває у межах 90...100 °С. Речовини цієї групи мають добрі антисептичні властивості. Однак антисептична дія цих речовин нетривала, оскільки відбувається випаровування їх з поверхні риби при високій температурі копчення.

У другу групу входять переважно феноли і їх похідні, температура кипіння яких від 180 до 210 °С. Ці речовини відіграють найважливішу роль при виготовленні копчених рибних продуктів: вони забарвлюють поверхню риби в інтенсивні тони, надають м'ясу характерного смаку і запаху.

Третя група об'єднує речовини диму з високою температурою кипіння (понад 300 °С). До них належать смоли, що надають продукту непривабливого забарвлення, неприємного смаку і запаху. У смолі міститься певна кількість багатоядерного ароматичного вуглеводню (C<sub>20</sub>H<sub>10</sub>) 3,4-бензпирену, який має проканцерогенні властивості, тобто при певних умовах спричинює захворювання у людей. При збільшенні подавання повітря на горіння дров з підвищенням температури горіння вміст 3,4 - бензпирену у смолі збільшується. Майже весь 3,4 - бензпирен міститься у смолі; у рідкому конденсаті його мало. Видалення смоли з диму за допомогою електрофільтра значно зменшує у ньому кількість канцерогенних речовин. На цьому ґрунтується бездимний (мокрий) спосіб копчення риби.

Ступінь процесу копчення риби залежить від вмісту в ній фенолів. Риба холодного копчення містить таку кількість фенолів, мг на 100 г: при добром смаку і запаху - у м'ясі 18-20, у шкірі - 28-30; при задовільному - відповідно 12-14 і 20-22; слабкому - 8-10 і 12-15. Феноли і їхні похідні мають сильні антиокислювальні властивості. У копченій рибі процес окислення жиру настає значно пізніше і відбувається повільніше, ніж у рибі, необробленій димом.

Антиокислювальна дія речовин диму на жир значно сильніша ніж синтетичних антиокислювачів. Антисептичні (бактерицидні) властивості копильного диму зумовлені також фенолами і їхніми похідними; велике значення мають також формальдегід та органічні кислоти.

Якість і склад копильного диму змінюються у залежності від умов спалювання: кількості повітря, подаваного в зону горіння, швидкості відводу диму, температури, повноти горіння, вологості ботанічного виду застосовуваної деревини.

Механізм копчення складається з двох фаз: осадження копильних речовин на поверхні і переносу їх від поверхні усередину виробу. При цьому швидкість першої фази, в основному, залежить від температури копчення (чим вона вище, тим більше осаджується речовин), від концентрації (щільності) диму, від швидкості його прямування та інтенсивності осадження на поверхні продукту.

Інтенсивність переносу копильних речовин усередину виробу також залежить від багатьох чинників і, у першу чергу, від різниці температур середовища та усередині риби, властивостей поверхні продукту, утримання вологи в сировині, співвідношення м'язової, жирової і сполучної тканини, ступеню здрібнювання та інших чинників.

Аналіз існуючих методів, які використовують для копчення рибної продукції, показує, що вони мають деякі недоліки, а саме: значні витрати енергії, великий викид диму у навколишнє середовище, в якому міститься велика кількість канцерогенних речовин. Застосування електростатичного поля дає змогу суттєво зменшити ці витрати, інтенсифікувати процес копчення та покращити якість готової продукції.

*Постановка завдання.* У статті поставлена задача провести експериментальні дослідження на установці і проаналізувати вплив електростатичного поля на кінетику процесу осадження димових часток у процесі копчення рибної продукції.

*Виклад основного матеріалу дослідження.* Експериментальні дослідження проводилися на кафедрі “Обладнання переробних та харчових виробництв імені професора Ф.Ю. Ялпачика” Таврійського державного агротехнологічного університету. Дослідження основних закономірностей впливу електростатичного поля на кінетику процесу осадження димових часток здійснювалось на моделі у вигляді фольги, яка з одного боку має металеве покриття, а з іншого – паперове. Така модель дозволяє з достатнім ступенем адекватності проаналізувати процеси, що відбуваються у процесі копчення рибних продуктів. Металеве покриття відіграє роль провідника, яку в реальному продукті виконує м'ясний сік і при цьому не випаровується, як волога

з продукту, що дозволяє контролювати інтенсивність осадження димових часток на поверхню моделі ваговим методом.

У якості об'єкту дослідження використовувалася коптильна шафа, до якої для отримання електростатичного поля підключався блок високовольтного живлення. Один полюс живлення підключався до корпусу шафи, інший - до ізолюваної від корпусу рамки для навішування продукту.

Фольга підвішувалася у різних положеннях. У першому положенні фольга підвішувалася у розправленому стані. У другому – фольга скручувалася у циліндр паперовою частиною назовні. В третьому – фольга скручувалася у циліндр металевою частиною назовні.

У першому випадку проводилось копчення без застосування електростатичного поля. Порядок проведення експерименту такий. При включенні коптильної шафи у мережу регулятор димогенератора ставився у максимальне положення. При досягненні температури  $60^{\circ}\text{C}$  у димогенератор коптильної шафи завантажувалися дерев'яні стружки та підвішувалася фольга, яка до цього зважувалася на аналітичних вагах. Після цього шафа прогрівалася на протязі 10 хвилин до температури  $t_{\text{коп}} = 75^{\circ}\text{C}$  і процес продовжувався на протязі 30 хвилин. Після завершення процесу копчення фольга знову зважувалася і отримані результати фіксувалися.

У другому випадку процес копчення проводився із застосуванням електростатичного поля. Порядок проведення експерименту аналогічний першому, але при увімкненому блоці живлення генератора електростатичного поля та зміні напруги, що подається до коптильної шафи за допомогою автотрансформатора.

Усі експериментальні дослідження проводилися у трикратній повторності. Обробка результатів проводилась за стандартною методикою.

На підставі отриманих результатів були побудовані графіки.

З рисунка 1 видно, що кращий ефект отримано при застосуванні фольги у розпрямленому стані (рис.1, А), та у стані паперовою частиною назовні (рис.1,В). Це пояснюється тим, що заряджені частки диму, які знаходяться в електричному полі, яке створене між електродом (фольгою) та корпусом коптильної шафи, прискорюються за рахунок сили дії на заряджену частку в електричному полі та рухаються до фольги. Потрапивши на паперову поверхню фольги частка утримується за рахунок сили дзеркального відображення і сили, яка діє на заряджену частку зі сторони поля. Отримання найгіршого результату, коли фольга підвішувалася у вигляді циліндру металевою частиною назовні (рис.1, С), пояснюється тим, що заряджена частка, яка осіла на поверхню, швидко втрачає свій заряд,

який стікає по фользі. Після цього вона отримує заряд відповідної полярності фольги і відштовхується від неї.

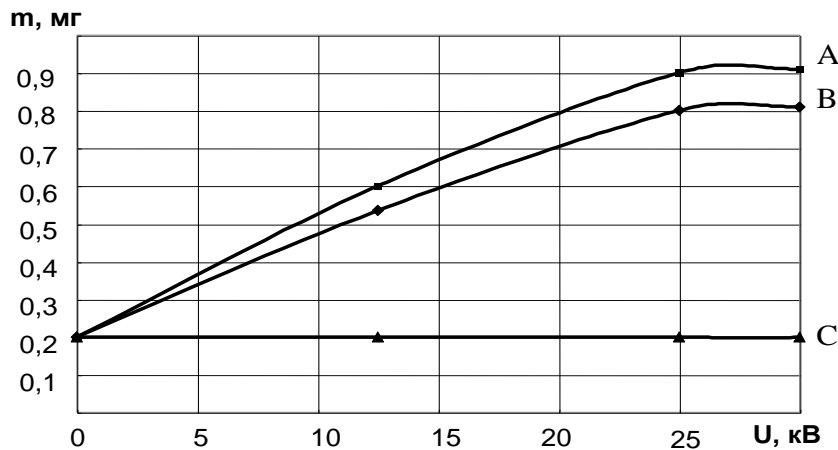


Рис. 1. Залежність маси зразка від напруги блока живлення

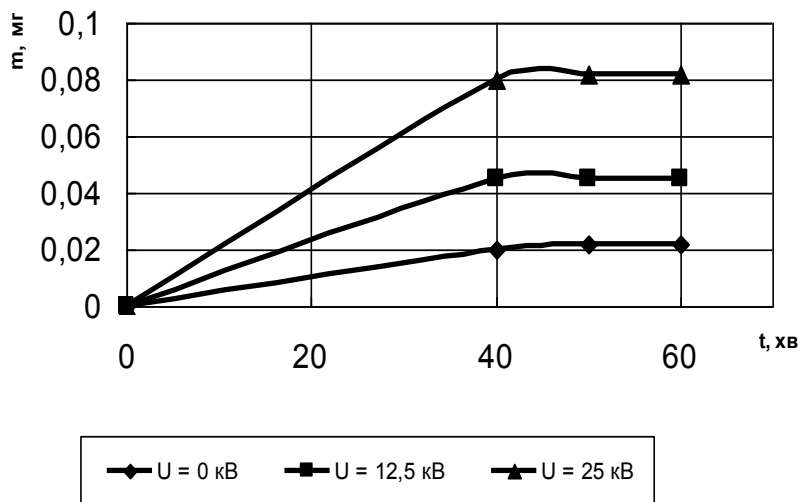


Рис. 2. Залежності маси зразка від часу знаходження у коптильній камері

Після проведення експерименту і побудови графіків був проведений аналіз результату взаємодії димових часток з електричним полем. Він показав, що для складання математичної моделі кінетики процесу осадження димових частинок в електростатичному полі, та методики розрахунку електростатичного димогенератора слід застосовувати наступні положення.

Вплив середовища (повітря) на швидкість руху частинок диму визначається їх механічною рухомістю

$$V_p^1 = \frac{1}{6\pi\eta r_p}, \quad (1)$$

де  $\eta$  - динамічний коефіцієнт в'язкості газу, дорівнює для повітря  $1,81 \times 10^{-5}$  кг/м сек;  
 $r_p$  - радіус частки, м.

Максимальний заряд отриманої частки в електричному полі

$$q_{p,max}^1 = 4\pi\varepsilon^* \frac{3\varepsilon_{cp}}{\varepsilon_p + 2} E_{зовн} r_p^2, \quad (2)$$

де  $\varepsilon_{cp}$  - відносна електрична проникність середовища, Ф/м;

$\varepsilon^*$  - електрична проникність вакууму, Ф/м;

$\varepsilon_p$  - відносна електрична проникність частки, Ф/м;

$E_{зовн}$  - напруженість електричного поля на місці знаходження частки, В/м.

Швидкість дрейфу поляризованих аерозольних часток

$$v_{p,кон}^* = V_p^* q_{p,max}^* \times E_{зовн}. \quad (3)$$

*Висновки і перспективи подальших досліджень.* На підставі проведеного експерименту та розрахункових формул можна зробити висновок, що найбільш відчутну дію на частку виявляє сила взаємодії поля із зарядженою часткою. Отриманий результат показує, що за час знаходження димової частки в коптильній шафі при застосуванні електростатичного поля вірогідність її потрапляння на продукт різко збільшується, тому що при відстані від стінок шафи до продукту 0,2 м і часі перебування частки в шафі 2..5 секунд більшість часток встигає осісти на продукт. Виходячи з позитивних результатів, отриманих у процесі проведення експериментальних досліджень процесу коптіння з використанням електростатичного поля, можна рекомендувати застосування цього способу на рибопереробних підприємствах.

Література:

1. *Васюкова, Г.Т.* Переробка риби на харчових підприємствах малої потужності: навчальний посібник для студентів ВНЗ / Г.Т. Васюкова, Л. П. Ющенко. –К. : Кондор, 2011. – 96 с.

2. *Сатбалдина, Т.* Технология производства рыбы холодного и горячего копчения / Т. Сатбалдина // Продукты & ингредиенты. – 2010. – № 9. – С. 70

3. Очистка газов в химической промышленности. Процессы и аппараты / Балабеков О.С., Балтабаев Л.Ш. – М.: Химия, 1991 – 256 с.

4. *Калашиников, Э.Г.* Электричество. – М.: Наука, 1977. – 592 с.

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ЭЛЕКТРОКОПЧЕНИЯ РЫБЫ

Петриченко С.В., Лобода А.И.

**Аннотация** - в работе представлены результаты экспериментальных исследований кинетики осаждения дымовых частиц на различные поверхности в электростатическом поле,

**как предпосылка электростатической интенсификации процесса копчения.**

## **MODELING OF THE PROCESS OF FISH ELECTROSTATIC SMOKING**

S. Petrychenko, O. Loboda

### *Summary*

**In this work perfumes outcomes of experimental researches of subside processes of smoke particles on different surfaces in electrostatic field as supposition of electrical intensification of smoke process.**