

УДК 637.03, 637.5.033, 66.974.434

**ВИВЧЕННЯ ПРАКТИЧНИХ ПІДХОДІВ
ДО БЕЗПЕЧНОГО КОПЧЕННЯ ХАРЧОВИХ ПРОДУКТІВ**

Усатенко Н. Ф.¹, к.т.н., ст. викладач кафедри
професійної освіти (харчові технології)
<https://orcid.org/0000-0002-0339-5189>

Вербицький С. Б.², к.т.н., зав. відділу інформаційного забезпечення,
інноваційного провайдингу, стандартизації та метрології
<https://orcid.org/0000-0002-4211-3789>

Козій Т. В.¹, ст. викладач кафедри
професійної освіти (харчові технології)
<https://orcid.org/0000-0002-8242-3394>

Щесюк О. В.³, к.т.н., доцент
кафедри автоматизації комп'ютерно-інтегрованих технологій
<https://orcid.org/0000-0003-1467-3751>

¹Університет Григорія Сковороди в Переяславі, Переяслав, Україна

²Інститут продовольчих ресурсів НААН, Київ, Україна

³Чорноморський національний університет ім. Петра Могили, Миколаїв, Україна

<https://doi.org/10.31073/foodresources2024-22-18>

Предмет. Фізико-хімічні характеристики коптільного диму і конструктивні елементи обладнання для його генерації. **Мета.** Дослідити процес копчення задля підвищення технічного рівня виробництва сирокопчених харчових продуктів. **Методи.** Дослідження виконували із застосуванням розробленого та виготовленого дымогенератора. За допомогою використовуваних науково-виробничій практиці методів і приладів визначали об'ємну витрату робочого середовища, швидкості руху та температуру його потоків. Масу дослідних зразків вимірювали за допомогою ваг. Контролювання наявності та концентрації шкідливих сполук виконували лінійно-колористичним методом із застосуванням універсального газоаналізатора УГ-2. **Результати.** Оцінювання ефективності системи очищення коптільного диму в дымогенераторі шляхом визначання забруднювальних речовин, що утворюються в процесі генерації диму, виконали шляхом порівняння отриманих результатів зі встановленими санітарними нормативами допустимого вмісту забруднюючих речовин в повітрі. Виконані вимірювання підтвердили доцільність примусового транспортування коптільного диму із зони генерації в зону копчення продукції шляхом ежекції, рушійною силою якої була кінетична енергія струменя димоповітряного робочого середовища. Також обґрунтовано раціональність технічного рішення щодо організації системи очищення генерованого коптільного диму водоінерційним способом і охолодження його шляхом інтенсивного перемішування з димоповітряним робочим середовищем в дымоході-рекуператорі. Температура утвореного димоповітряного робочого середовища на виході з дымоходу-рекуператора мала значення не більше ніж 30 °С, а ефективність його очищення від забруднювальних речовин порівняно із зоною генерації становила не менше ніж 80%. **Сфера застосування результатів:** результати виконаних досліджень сприятимуть технічному вдосконаленню спеціалізованого обладнання для копчення харчових продуктів шляхом удосконалення наявного обладнання та належного урахування при конструюванні та виготовленні нових його зразків.

Ключові слова: харчова промисловість, копчення, м'ясо, риба, димоповітряна суміш, безпечність.

**STUDY OF PRACTICAL APPROACHES
TO THE SAFE SMOKE TREATMENT OF FOOD PRODUCTS**

Nina Usatenko¹, PhD, Engineering, Senior Lecturer of the Chair
of Professional Education (food technologies)
<https://orcid.org/0000-0002-0339-5189>

Sergii Verbytskyi², PhD, Engineering, Head of the Department of Informational Support,
Innovative Providing, Standardization and Metrology
<https://orcid.org/0000-0002-4211-3789>

Tetiana Koziiy¹, Senior Lecturer
of the Chair of Professional Education (food technologies)
<https://orcid.org/0000-0002-8242-3394>

Oleg Shchesiuk³, PhD, Engineering, Associate Professor
Department of Automation and Computer-Integrated Technologies
<https://orcid.org/0000-0003-1467-3751>

¹Hryhorii Skovoroda University in Pereiaslav, Pereiaslav, Ukraine

²Institute of Food Resources of NAAS, Kyiv, Ukraine

³Petro Mohyla Black Sea National University, Mykolaiv, Ukraine

Subject. Physical and chemical characteristics of smoke to treat foods and structural elements of equipment for its generation. **Purpose.** To study the smoking process to improve the technical level of production of raw smoked food products. **Methods.** The studies were carried out using a specially developed and manufactured smoke generator. Using the scientific and production methods and instruments used, the volumetric flow rate of the working medium, the speed of its movement and the temperature of its flows were determined. The mass of the samples was measured using scales. Monitoring of the presence and concentration of harmful compounds was carried out using the linear-coloristic method using a universal gas analyzer UG-2. **Results.** An assessment of the effectiveness of the smoke purification system in a smoke generator by determining the pollutants formed during the smoke generation process was carried out by comparing the results obtained with sanitary standards in force for the allowed content of pollutants in the air. The measurements performed confirmed the feasibility of forced transportation of smoke from the generation zone to the product smoking zone by ejection, the driving force of which was the kinetic energy of the smoke-air working medium jet. The rationality of the technical solution for organizing a system for purifying generated smoke using a water-inertial method and cooling it by intensive mixing with the smoke-air working environment in the recuperator smoke pipe is also substantiated. The temperature of the resulting smoke-air working environment at the outlet of the recuperator smoke pipe was no more than 30 °C, and the efficiency of its purification from pollutants compared to the generation zone was no less than 80%. **Scope of results.** The results of the research performed will contribute to the technical improvement of specialized equipment for smoking food products by improving existing equipment and taking proper account in the design and manufacture of new machines.

Key words: food industry, smoking, meat, fish, smoke-air mixture, safety.

Постановка проблеми.

Однією з принципових засад гарантування продовольчої безпеки є використання передових технологій у виробництві, переробці та збереженні харчових продуктів, які повинні відповідати засадам здорового харчування, вимогам якості, харчової безпечності тощо [1, 2]. Переверненим впродовж століть способом оброблення м'ясних, рибних та інших харчових продуктів, що забезпечує тривале зберігання та набуття зазначеними продуктами цінних якостей у сенсі смаку, аромату та інших органолептичних характеристик, є копчення. В Україні численні підприємства різної потужності практикують залучення зазначеного технологічного процесу, повсякденно розв'язуючи проблему формування якості та забезпечення стійкості копчених виробів впродовж терміну зберігання. Зокрема, потребує ретельного контролю склад коптильних димів і препаратів, що містять багато хімічних речовин, які можуть становити небезпеку здоров'ю людини [3].

При виробництві сирокочених виробів (м'ясних, рибних) процес їх копчення традиційним методом, незважаючи на його складність, є щонайпоширенішим. Зазначене є цілком обґрунтованим, оскільки тривале оброблення виробів холодним коптильним димом сприяє їх стійкості впродовж зберігання та, до того ж, надає зазначеним виробам бажаних для споживачів специфічних відтінків смаку, аромату, а також забарвлення [4, 5].

Чинниками, що забезпечують належні органолептичні та фізико-хімічні властивості копченого продукту, є такі параметри, як температура, густина, інтенсивність та обсяг утвореної димоповітряної суміші у робочій зоні копчення упродовж виконання зазначеного технологічного процесу [6–8]. Складність цього процесу полягає, насамперед, у забезпеченні потрібних характеристик процесів, які безпосередньо передують копченню, а також у певній суперечливості виробничих умов, за яких відбувається формування виразного ефекту прокопченості виробів [9].

Процесу копчення передують такі процеси, як от: генерація якісного коптильного диму з подрібненої деревини методом термічного її тління за обмеженого доступу кисню; охолодження генерованого диму до певної температури і транспортування його в зону копчення продукції; забезпечення в робочій зоні раціональних умов для проведення процесу тепломасобміну між виробами і робочим середовищем.

Формування ефекту прокопченості виробів у процесі їхнього копчення відбувається під одночасним впливом низки фізико-хімічних процесів у камері копчення з протилежно направленими векторами дії: неусталеного температурного градієнта між продукцією і робочим середовищем; випаровування вологи з виробу і одночасній конденсації на його поверхні компонентів коптильного диму; дифузії коптильних речовин в товщу продукту на фоні осмосу вільної вологи в протилежному напрямку; сорбції коптильних речовин білками м'ясної сировини в умовах їх структурної трансформації.

Безумовно, результативність перебігу процесу копчення традиційним методом залежить, суттєвим чином, від технічної досконалості залученого для реалізації процесу обладнання, а також від належного забезпечення його експлуатаційних характеристик [10, 11]. Стосується це, насамперед, димогенераторного агрегата, функціонально призначеного для виробництва холодного коптильного диму і примусової його подачі в зону копчення продукції, і технічного кондиціонера з програмним управлінням роботою, необхідного для регулювання і підтримування на належному рівні фізико-хімічних параметрів робочого середовища

Слід зазначити, що в розвиток фізико-хімічних і хімічних основ процесу копчення вагомий внесок зробили такі вчені як R. Whitelaw-Gray та H. S. Patterson, H. S. [12] та W.C. Hinds [13]. Вони вивчали хімічний склад різноманітних аерозолів з твердою дисперсною фазою та довели, що коптильний дим, генерований з деревини методом термічного піролізу, є хімічно агресивною багатокомпонентною системою з властивостями, притаманними нестійкій полідисперсній конденсаційній аерозолі. Також досліджували фізичні та хімічні властивості коптильного диму такі відомі вчені як G.W. Mulholland [14], T.G. Cleary [15].

Численні дослідження коптильного диму дозволили встановити, що до 95% коптильних речовин в димі (фенолів, кислот, карбонільних з'єднань) зосереджено саме у дисперсній фазі і безпосередньо в твердих частинках діаметром менше ніж 4 мкм. А от частинки діаметром більше ніж 4,0 мкм є баластними.

Висновок про те, що деякі компоненти летючого аморфного вуглецю в коптильному димі є зайвими і шкідливими, зробили свого часу українські вчені [9, 11]. В процесі досліджень тепло- масообміну в процесах термічної обробки м'ясної продукції вони спостерігали значні забруднення сажею, смолою і дьогтем внутрішніх поверхонь деяких вузлів елементної бази коптильної камери, димогенератора і стінок димопроводів. Також ними було з'ясовано чинники впливу на інтенсивність процесів забруднення, а також наслідки зазначеного впливу. Наприклад, рушійною силою осадження компонентів летючого аморфного вуглецю на лопатках і на корпусі відцентрового вентилятора, який подає дим з зони генерації в транспортні димопроводи, є відцентрові сили, направлені в радіальному напрямку при обертанні робочого колеса. Накопичення осаду на цих елементах, за відсутності належного обслуговування, стає причиною динамічної невірноваженості крильчатки, виходу з ладу підшипникових вузлів, інших рухомих елементів, включно з електроприводом.

Осадження компонентів дисперсійної фази диму на внутрішній поверхні транспортної магістралі відбувається через зниження температури коптильного диму і режимних параметрів криволінійного його руху конструктивно складними димоходами з численними фасонними елементами.

У цілому, аналізування науково-технічної інформації з доступних літературних джерел, зокрема [16, 17], і результатів науково-практичних досліджень дає підстави для

висновку про те, що механізм отримання безпечного коптильного диму з певними фізичними параметрами та хімічними властивостями, які б щадно впливали на експлуатаційні характеристики залученого обладнання, вивчено недостатньо.

Мета роботи – дослідити процес копчення задля підвищення технічного рівня виробництва сировокопчених харчових продуктів.

Матеріали та методи. Відповідно до мети і завдань досліджень було розроблено і виготовлено дослідний зразок димогенератора, схематично зображеного на рис. 1 і призначеного для генерування безпечного коптильного диму з подрібненої деревини методом термічного її тління за обмеженого доступу кисню, охолодження цього диму до необхідної температури і транспортування в зону копчення сировокопчених виробів. Конструкція димогенератора забезпечує виконання процесу генерування коптильного диму і в ручному, і в автоматичному режимі. Також у ході проведення досліджень авторами використано власні напрацювання [11, 18] щодо зменшення ризику утворення поліциклічного ароматичного вуглеводню 3, 4-бенз(а)пірену в коптильному димі.

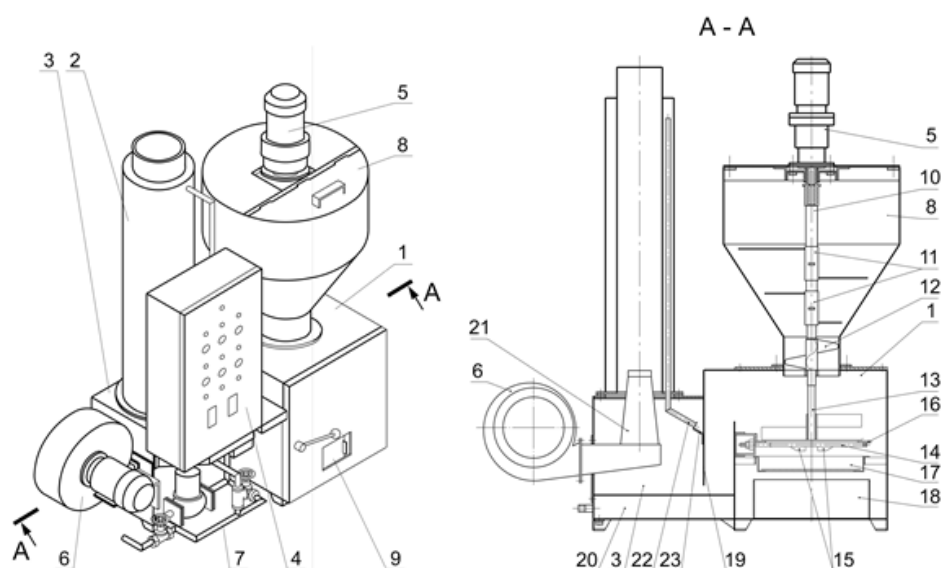


Рис. 1. Схема дослідного зразка димогенераторного агрегата, де:

- 1 – камера генерації диму; 2 – димохід-рекуператор; 3 – камера очищення диму;
- 4 – пульт управління роботою димогенератора; 5 – електропривод перемішувача тирси;
- 6 – відцентровий вентилятор РСС 2,5/6,3; 7 – система водопостачання; 8 – бункер-накопичувач;
- 9 – шибер подачі повітря; 10 – вал перемішувача тирси; 11 – перемішувач тирси;
- 12 – шнек подачі тирси; 13 – скребачка для вирівнювання висоти шару тирси;
- 14 – електронагрівач для розпалювання тирси; 15 – фіксатори; 16 – перфорований під;
- 17 – розподільник повітря; 18 – зольник; 19 – відбійник; 20 – піддон з проточною водою;
- 21 – конфузор; 22 – переливна труба; 23 – перфорований лоток

Відбирання проб для порівняльних досліджень хімічного складу коптильного диму здійснювали з дотриманням умов ізокінетичності на виході його з зони генерації і на виході з димогенераторного агрегата.

Об'ємну витрату газоповітряних потоків визначали за стандартною методикою із застосуванням трубки Піто та мікроманометра.

Визначення швидкості руху потоків повітря здійснювали за допомогою: анемометра ручного індукційного АРІ-49, межа вимірювання 1,0÷30,0 м/с, похибка $\pm 0,5$ м/с; анемометра чашкового МС-13, межа вимірювання 1,0÷20,0 м/с, похибка $\pm 0,1$ м/с та термоанемометра – ТА-ЛПОТ, межа вимірювання 0,0÷5,0 м/с, похибка $\pm 0,1$ м/с.

Температуру димоповітряних потоків вимірювали за допомогою стандартних ртутних термометрів та термопар хромель-копелевих ТХК та хромель-алюмелевих ТХА з виведенням показань на вторинні прилади – потенціометр КСП-4 та мілівольтметр цифровий 4300.

Масу дослідних зразків вимірювали за допомогою ваги квадрантної CHIRANA P3/200 та ваги торсійної ВТ-1г.

Контролювання наявності та концентрації досліджуваних шкідливих сполук виконували лінійно-колористичним методом із застосуванням універсального газоаналізатора УГ-2.

Для отримання достовірних даних, всі дослідження виконували у потрійній повторюваності. Обробку експериментальних даних проводили методами математичної статистики.

Результати досліджень. Процес виробництва коптільного диму в димогенераторі (рис. 1) проводили в автоматичному режимі і, ситуативно – в ручному. На пульті 4 вмикали кнопку введення режиму "Робота". Електропривод 5 приводив в обертання ступінчастий вал перемішувача тирси 10, на якому послідовно встановлені на окремих ступицях три функціонально різнопланові пристрої 11, 12, 13. Перемішувач тирси 11 запобігав налипанню тирси на стінки бункера. Шнек подачі тирси 12 виштовхував певну порцію тирси на перфорований під 16. Вирівнювальна скребачка 13 рівномірно розподіляла тирсу поверхнею поду 16, висота шару до 50 мм. Конструктивно була передбачена можливість регулювання положення кожної ступиці по висоті вала. Під 16 знизу підігрівали електронагрівачем 14, щільно притисненим до поверхні поду фіксаторами 15. Надходження свіжого повітря в камеру генерації диму 1 відбувалося через отвір з шибером 9, а рівномірність його розподілу по зоні тління забезпечувалася встановленим під подом розподільником повітря 17, що являє собою перфорований короб. Під час експлуатації димогенератора у цьому розподільнику одночасно відбувається догоряння тирси до стану попелу, який потім просіюється в зольник 18. Потік генерованого диму, при проходженні крізь лабіринтний перехід в камері очищення 3, в зоні відбійника 19 за інерцією б'ється об дзеркало води в піддоні з проточною водою 20. Проточна водопровідна вода з температурою не вище ніж 20°C [19] стікає з димоходу-рекуператора 2 в піддон 20 через переливну трубу 22 і перфорований лоток 23. При зіткненні з дзеркалом води, рідкі та тверді компоненти дисперсної фази диму уловлюються водою, розчиняються в ній, залишаючи нерозчинні часточки на її поверхні. При наповненні піддона, вода з часточками сажі та попелу стікає до централізованої системи очищення, а смола, як важчий компонент диму, осідає на дно піддона і періодично видаляється з нього у спеціальний контейнер.

Рушійною силою руху диму з зони генерації в камеру копчення є кінетична енергія струменя газового середовища, що нагнітається вентилятором 6 в конфузор 21. Вихідний переріз конфузору розташовано співвісно із вхідним перерізом димоходу-рекуператора 2. Конструкція конфузора 21 характеризується такими геометричними параметрами: ступінь звуження – $n_k = 2$, кут конусності – $\alpha_k = 15^\circ$, діаметр вихідного отвору (гирла) – $d_{гк} = 0,07$ м.

Залежно від потрібної щільності та температури коптільного диму, передбачена можливість підведення до всмоктувального патрубку вентилятора підготованого за чинними санітарно-гігієнічними вимогами повітря або димоповітряної суміші, яка, в умовах рециркуляції робочого середовища, може відбиратися безпосередньо з камери копчення.

Вентилятор 6 підбирали на основі розрахунку сумарного аеродинамічного опору елементів системи димопостачання ($P = 545$ Па) і необхідної кількості диму в камері копчення при швидкості його руху біля продукції $w_d = 0,1$ м/с. Згідно з результатами розрахунку, димогенератор було укомплектовано відцентровим вентилятором середнього тиску РСС 2,5/6,3 з такими технічними характеристиками: продуктивність – $V_b = 315$ м³/год, повний тиск – $P_b = 611$ Па, потужність електродвигуна – $N_{ед.в} = 0,12$ квт, число обертів – $n_{ед.в} = 2750$ об/хв.

При проведенні досліджень процес копчення здійснювали в умовах рециркуляції робочого середовища за схемою на рис. 2.

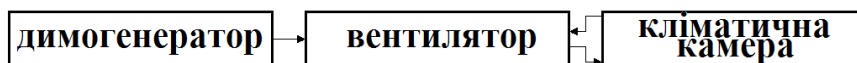


Рис. 2. Схема рециркуляції робочого середовища

До регульованих параметрів генерованого диму належали: вид деревини, яка входила в склад тирси; вологість тирси; товщина шару тирси на перфорованому поді в процесі її тління, кількість свіжого повітря в зоні генерації диму; кількість водопровідної води, яка надходила в рекуператор,

За таких умов, температуру генерації диму підтримували в межах від 450°C до 500°C [18]. Середня осьова швидкість руху струменя димоповітряного середовища на виході з гирла конфузора становила $w_o \approx 19,1$ м/с, а його температура – $t_{дс} \leq 23^\circ\text{C}$. Середня місячна температура водопровідної води, яка надходила в рекуператор в процесі досліджень, дорівнювала $t_b = 18^\circ\text{C}$;

Очищений і охолоджений в камері 3 копильний дим ежектувався струменем димоповітряного середовища, що витікало з гирла конфузора в димохід-рекуператор коаксіального типу 2 з внутрішнім діаметром $D_p = 0,15$ м. Зіткнення всіх шарів змішаного потоку з холодною стінкою димохода-рекуператора відбувалося за рахунок його руху в рекуператорі в турбулентному режимі. Як наслідок, температура отриманого копильного диму на виході з рекуператора не перевищувала $t_{кд} \leq 30^\circ\text{C}$, а масова швидкість його руху на виході з рекуператора і на вході в кліматичну камеру становила в середньому $w_\gamma \approx 4,6$ м/с, що відповідає загальній кількості копильного диму, який надходить в зону копчення продукції $V_{кд} = 351$ м³/год.

Ефективність системи очищення копильного диму в димогенераторі визначали на основі порівняльних досліджень концентрації декількох основних забруднювальних речовин на вході в камеру очищення диму 3 і на виході з рекуператора 2. Перелік цих забруднювальних речовин, що утворюються в процесі генерації диму і які встановлені санітарними нормативами допустимого вмісту забруднюючих речовин в атмосферному повітрі [20], наведено в таблиці 1.

Таблиця 1

Перелік хімічних індикаторів, задіяних в дослідженні компонентів копильного диму

Назва компоненту диму, який аналізується	Хімічні індикатори, якими заповнювали індикаторні трубки (складові компоненти в порядку заповнення):	Зовнішній діаметр індикаторної трубки, мм
Сірчистий ангідрид	- шамот, оброблений сірчанокислою міддю і дифеніламіном	4,5
Етиловий ефір	- хлористий кальцій; - суміш фосфорного ангідриду та кварцового піску; - їдкий натр; - хлористий кальцій	4,5
Оксид вуглецю	- селікагель, просочений розчином ртуті сірчанокислої закисної; - сухе активоване вугілля; - селікагель, просочений розчином хромового ангідриду.	4,2
Вуглеводні нафти	шамот, оброблений розчином: - сірчанокислої міді, - ртуті сірчанокислої закисної, - азотнокислого срібла	4,5

Результати ефективності системи очищення копильного диму викладено в табл. 2.

Аналіз табличних даних доводить, що видалення з генерованого копильного диму забруднювальних речовин складає не менше ніж 80% від кількості їх на виході з зони

генерації. Це свідчить про достатньо значну ефективність запропонованого технічного рішення та організаційних заходів з безпеки експлуатації задіяного в процесі копчення обладнання.

Таблиця 2

Результати ефективності системи очищення коптильного диму

Речовина, яка аналізується	Клас небезпеч- ності	Концентрація речовини в коптильному димі, мг/м ³				Результати вність очищення, %	ГДК забрудню- ючої речовини в атмос- ферному повітрі, мг/м ³
		до очищення		після очищення			
		експерим- енти	в серед- ньому	експерим- енти	в серед- ньому		
Сірчистий ангідрид	3	30	30	7	6	80,0	10
		25		5			
		35		6			
Етиловий ефір	4	850	700	100	75	89,3	-
		500		65			
		650		60			
Оксид вуглецю	4	250	213	30	25	88,2	20
		200		25			
		190		20			
Вуглеводні нафти	4	950	1050	120	100	90,5	- (4 – 10)
		1200		100			
		100		80			

Підтвердженням результативності очищення диму є зображення утворених з різних металів двох теплообмінних поверхонь випарників кондиціонерів, кожен з яких експлуатували протягом 28 діб при виробництві відповідних партій сирокочених ковбас з м'яса птиці (рис. 3).



Рис. 3. Наслідки контакту хімічно агресивних компонентів диму з теплообмінною поверхнею випарника кондиціонера,

де: а – біметалева труба (гарячекатана труба оребрена алюмінієм); б – мідні оребрені трубки

Візуально можна відмітити, що на антикорозійній біметалевій теплообмінній поверхні, утвореній методом лиття алюмінієвої чушки АК-6 на сталеву трубу, відсутні осадження сажі, смоли і дьогтю (рис. 3а). На теплообмінній поверхні зафіксовано лише точкову корозію, яка може бути наслідком агресивної дії кислот з рідинної дисперсної фази диму на вкраплений в сплав алюмінію не стійкий до окислення інший метал: імовірно – окис заліза.

На рис. 3б спостерігається незначне ($s \leq 1$ мм) забруднення мідної теплообмінної поверхні, яке легко змивалось під час санітарної обробки кліматичної камери спеціальною рідиною.

Висновки. Вивчення практичних підходів до безпечного копчення харчових продуктів базувалося на основі аналітичних і експериментальних досліджень технічних характеристик обладнання, задіяного в процесі копчення харчових продуктів.

В результаті проведених досліджень, було запропоновано і натурно випробувано технічне рішення та організаційні заходи з безпеки експлуатації задіяного в процесі копчення обладнання що, як наслідок, сприяло покращенню екологічного стану довкілля і безпечності копченостей.

Здійснено удосконалення схеми димозабезпечення процесу копчення харчових продуктів завдяки частковій зміні технічної функціональності вентилятора при експлуатації його в режимі рециркуляції робочого середовища.

Доведено доцільність примусового транспортування коптильного диму із зони генерації в зону копчення продукції шляхом ежекції, рушійною силою якої була кінетична енергія струменя димоповітряного робочого середовища, яке відсмоктувалося вентилятором з камери копчення і нагніталось через конфузорну насадку в димохід-рекуператор зі швидкістю руху струменя на виході з гирла конфузора $w_0 \approx 19,1$ м/с.

Обґрунтовано раціональність технічного рішення щодо організації системи очищення генерованого коптильного диму водоінерційним способом і охолодження його шляхом інтенсивного перемішування з димоповітряним робочим середовищем в димохіді-рекуператорі.

Встановлено, що температура утвореного димоповітряного робочого середовища на виході з димоходу-рекуператора мала значення не більше ніж 30 °С, а ефективність його очищення від забруднювальних речовин порівняно із зоною генерації становила не менше ніж 80%.

Візуально відмічено щадний вплив утвореного димоповітряного робочого середовища на стан обладнання: незначна забрудненість летючим аморфним вуглецем крильчатки вентилятора рециркуляції і теплообмінних поверхонь кондиціонерів в процесі експлуатації впродовж 28 діб.

Бібліографія

1. García A. C. Figuras, normas y protocolos de calidad como herramienta de mejora de la seguridad alimentaria. *Anales de la Real Academia de Ciencias Veterinarias de Andalucía*. 2004. Vol. 17 (1), 229–245.
2. Вербицький С. Б., Черняк О. В., Пацера Н. М. Продовольча безпека та агропромисловий комплекс: засадничі принципи та можливість їхньої реалізації у практиці технічного регулювання. *Продовольчі ресурси*. 2016. № 7, 79–86.
3. Алексеев О. А., Белов В. В., Калініна Г. П. Удосконалення технології копчених м'ясних продуктів. Наукові пошуки молоді у XXI столітті. Новітні технології виробництва та переробки продукції тваринництва. Харчові технології: матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції магістрантів і молодих дослідників, Біла Церква, 16 листопада 2023 р. Біла Церква: Білоцерківський національний аграрний університет, 2023. С. 3, 4.
4. Yang K.-M.; Chiang P.-Y. Effects of smoking process on the aroma characteristics and sensory qualities of dried longan. *Food Chem.* 2019. 287, 133–138. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.02.017>.
5. Krarup Hansen, K.; Sara, R. B. M. E.; Smuk, I. A.; Brattland, C. Sámi Traditional Knowledge of Reindeer Meat Smoking. *Food Ethics*. 2022. 7, 13. <https://doi.org/10.1007/s41055-022-00106-2>.
6. Kubiak M. S., Jakubowski M.. Model symulacyjny warunków przepływu w komorze wędzarniczej. *Postępy Techniki Przetwórstwa Spożywczego*, 2010. 1, 55–57.
7. Kubiak M. S., Jakubowski M. Trójwymiarowa analiza symulacyjna CFD rozkładu pola prędkości przepływu mieszaniny dwufazowej w komorze wędzarniczej. *Nauka Przyroda Technologie*, 2010. 4, 5–66.
8. Usatenko N., Verbytskyi S. Upgrading air distribution system in the thermal units for fish and meat products aiming at improving efficiency of heat-exchange processes. *Aquatic Sciences and Engineering*, 2021 36 (3), 146–151. <https://doi.org/10.26650/ASE2020832579>.
9. Вивчення тепломасообмінних процесів при термічній обробці м'ясопродуктів для оптимізації технології і конструкції обладнання: звіт по НДР та ДКР. Київ : ТІММ УААН, 1994. 102 с.
10. Вербицький С. Б., Усатенко Н. Ф., Доброскок С. С., Калашник М. Г. Забезпечення стабільності теплотехнічних характеристик теплообмінників при копченні м'ясопродуктів. *Продовольчі ресурси*. 2018. № 11, 33–40. <https://doi.org/10.31073/foodresources2018-11-04>.

11. Усатенко Н. Ф. Дослідження конвективного підведення теплоти до ковбасних виробів та створення раціональної конструкції термоагрегата: дисертація кандидата технічних наук. Київ : Український державний університет харчових технологій, 2000.
12. Whitelaw-Gray R., Patterson H. S. (1932). *Smoke*. London : Edward Arnold Company, London.
13. Kalasee W. Improvement of equipment for separating soot particles for rubber smoking chambers. *Air quality aerosol Res.* 2009, 9, 333–341. <https://doi.org/10.4209/aaqr.2009.01.0005>.
14. Mulholland G. W. *Smoke Production and Properties*. The SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, P. J. DiNenno et al. Eds., 2nd ed., Quincy, MA: National Fire Protection Association, 1995, sec. 2, chap. 15.
15. Cleary T. G. *Measurements of the Size Distribution and Aerodynamic Properties of Soot*: PhD thesis. College Park, MD: University of Maryland, 1989.
16. Iko Afe, O. H., Kpoclou, Y. E., Douny, C., Anihouvi, V. B., Igout, A., Mahillon, J., ... Scippo, M. L. Chemical hazards in smoked meat and fish. *Food science nutrition*. 2021. 9(12), 6903-6922. <https://doi.org/10.1002/fsn3.2633>.
17. Chellaiah R., Shanmugasundaram M., Kizhekkedath J. Advances in meat preservation and safety. *Int. J. Sci. Res.* 2020. 9, 1499–1502. <https://doi.org/10.21275/SR20326194523>.
18. Усатенко Н. Ф., Доброскок С. С., Калашник М. Г., Вербицький С. Б. Передумови підвищення безпечності копчених харчових продуктів. *Наукові горизонти*. 2019. № 6 (79), 29–35. <https://doi.org/10.33249/2663-2144-2019-79-6-29-35>.
19. ДСанПіН 2.2.4-171–2010 (ДСанПіН 2.2.4-400–2010) Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною, затверджені Міністерством охорони здоров'я України від 12.05.2010 № 400, зареєстровано в Міністерстві юстиції України 01.07.2010 № 452/17747.
20. Наказ Мінприроди Про затвердження нормативів граничнодопустимих викидів забруднюючих речовин із стаціонарних джерел від 27.06.2006 р. № 309, зареєстровано в Міністерстві юстиції України 01.08.2006 № 912/12786.

References

1. García, A. C. (2004). Figuras, normas y protocolos de calidad como herramienta de mejora de la seguridad alimentaria. *Anales de la Real Academia de Ciencias Veterinarias de Andalucía*, 17(1), 229–245. [in Spanish].
2. Verbytskyi, S. B., Cherniak, O. V., Patsera, N. M. (2016). Prodovolcha bezpeka ta ahropromyslovyi kompleks: zasadnychi pryncypy ta mozhlyvist yikhnoii realizatsii u praktytsi tekhnichnoho rehulivannia [Food security and agroindustrial complex: basic principles and possibility of their implementation in practice of technical regulation]. *Prodovolchi Resursy [Food Resources]*, 7, 79–86. [in Ukrainian].
3. Alekseyev, O. A., Belov, V. V., Kalinina, H. P. (2023). Udoskonalennia tekhnolohii kopchenykh miasnykh produktiv [Improving the technology of smoked meat products]. *Naukovi poshuky molodi u 21st stolitti. Novitni tekhnolohii vyrobnytstva ta pererobky produktii tvarynnystva: materialy Vseukrinskoii naukovo-praktychnoi konferentsii mahistrantiv i molodykh doslidnykiv [Scientific searches of youth in the 21st century. The latest technologies for the production and processing of livestock products. Food technologies: materials of the All-Ukrainian scientific and practical conference of undergraduates and young researchers]*, Bila Tserkva, 16 November 2023. Bila Tserkva: Bila Tserkva National Agrarian University, 2023, 3,4., Bila Tserkva, November 16, 2023. Bila Tserkva: Bila Tserkva National Agrarian University, 3,4. [in Ukrainian].
4. Yang, K.-M. Chiang, P.-Y. (2019). Effects of smoking process on the aroma characteristics and sensory qualities of dried longan. *Food Chem.*, 287, 133–138. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.02.017>.
5. Krarup Hansen, K.; Sara, R. B. M. E., Smuk, I. A., Brattland, C. (2022). Sámi Traditional Knowledge of Reindeer Meat Smoking. *Food Ethics.*, 13. <https://doi.org/10.1007/s41055-022-00106-2>.
6. Kubiak, M. S., Jakubowski, M. (2010). Model symulacyjny warunków przepływu w komorze wędzarniczej. *Postępy Techniki Przetwórstwa Spożywczego*, 1, 55–57. [in Polish].
7. Kubiak, M. S., Jakubowski, M. (2010). Trójwymiarowa analiza symulacyjna CFD rozkładu pola prędkości przepływu mieszaniny dwufazowej w komorze wędzarniczej. *Nauka Przyroda Technologie*, 4, 5–66. [in Polish].
8. Usatenko, N., Verbytskyi, S. (2021). Upgrading air distribution system in the thermal units for fish and meat products aiming at improving efficiency of heat-exchange processes. *Aquatic Sciences and Engineering*, 36(3), 146–151. <https://doi.org/10.26650/ASE2020832579>.
9. Vychennia teplomasoobminnykh protsesiv pry termichnii obrobtsi miasoproduktiv dlia optymizatsii tekhnolohii i konstruksii obladnannia : zvit pro ND Ota DKR [Study of heat and mass transfer processes during heat treatment of meat products to optimize technology and equipment design: report on research and development work]. (1994). Kyiv : DMTI of UAAS, 102 p. [In Ukrainian].
10. Verbytskyi, S., Usatenko, N., Dobroskok, S., Kalashnik, M. (2018). Zabezpechennia stabilnosti teploekhnichnykh kharakterystyk teploobminnykiv pry kopchenni miasoproduktiv [Providing

thermotechnical parameters of heat exchangers used for smoking of meat products]. *Prodovolchi resursy* [Food resources]. 11, 33–40. <https://doi.org/10.31073/foodresources2018-11-04> [In Ukrainian].

11. Usatenko, N. F. (2000). *Doslidzhennia konvektyvnoho pidvedennia teploty do kovbasnykh vyrobiv ta stvorennia ratsionalnoi konstruktsii nermoahrehata* [Study of the processes of convective heat supply to sausages and the creation of a rational design of a thermal unit] : PhD Thesis, Ukrainian State University of Food Technologies, Kyiv, Ukraine. [in Ukrainian].

12. Whitelaw-Gray, R., Patterson, H. S. (1932). *Smoke*. London : Edward Arnold Company, London.

13. Kalasee, W. Improvement of equipment for separating soot particles for rubber smoking chambers. *Air quality aerosol Res.* 2009, 9, 333–341. <https://doi.org/10.4209/aaqr.2009.01.0005>.

14. Mulholland, G. W. (1995). *Smoke Production and Properties*. The SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, P. J. DiNenno et al. Eds., 2nd ed., Quincy, MA: National Fire Protection Association, sec. 2, chap. 15.

15. Cleary, T. G. (1989). *Measurements of the Size Distribution and Aerodynamic Properties of Soot*: PhD thesis. College Park, MD: University of Maryland.

16. Iko Afe, O. H., Kpoclou, Y. E., Douny, C., Anihouvi, V. B., Igout, A., Mahillon, J., Scippo, M. L. (2021). Chemical hazards in smoked meat and fish. *Food science nutrition*, 9(12), 6903–6922. <https://doi.org/10.1002/fsn3.2633>

17. Chellaiah, R., Shanmugasundaram, M., Kizhekkedath, J. (2020). Advances in meat preservation and safety. *Int. J. Sci. Res.* 9, 1499–1502. <https://doi.org/10.21275/SR20326194523>.

18. Usatenko N., Dobroskok, S., Kalashnik, M., Verbytskyi, S. (2019). *Peredumovy pidvyshchennia bezpechnosti kopchenykh kharchovykh produktiv* [Prerequisites to improve the safety of smoked foodstuffs]. *Naukovi horyzonty* [Scientific horizons], 6 (79). 29–35. <https://doi.org/10.33249/2663-2144-2019-79-6-29-35>. [In Ukrainian].

19. DSanPiN 2.2.4-171–2010 (DSanPiN 2.2.4-400–2010) *Hihyenychni vymohy do vody pytnoi, pryznacheniidlia spozhyvannia liudynoyu* [Hygienic requirements for drinking water intended for human consumption] approved by the Ministry of Health of Ukraine on May 12, 2010 № 400, 0. 2010 № 452/17747. [in Ukrainian].

20. *Nakaz Minpryrody Pro zatverdzhennia normatyviv hranychnodopustymykh vykydiv zabrudniuiuchykh rehovyn iz statsionarnykh dzherel* [Order of the Ministry of Natural Resources on approval of standards for maximum permissible emissions of pollutants from stationary sources] dated June 27, 2006 N 309, registered with the Ministry of Justice of Ukraine dated August 1, 2006 № 912/12786. [in Ukrainian].