

УДК 637.523.3

**ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СТАБІЛЬНОСТІ ТЕПЛОТЕХНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК
ТЕПЛООБМІННИКІВ ПРИ КОПЧЕННІ М'ЯСОПРОДУКТІВ**

С.Б. Вербицький, к.т.н., заст. зав. відділу
інформаційного забезпечення, стандартизації та метрології

Інститут продовольчих ресурсів НААН

ORCID ID: 0000-0002-4211-3789

Н.Ф. Усатенко, к.т.н., викладач

ORCID ID: 0000-0002-0339-5189

С.С. Доброскок, викладач

ORCID ID: 0000-0002-7590-9193

М.Г. Калашник, викладач

Переяслав-Хмельницький державний
педагогічний університет ім. Г.С. Сковороди

ORCID ID: 0000-0001-7015-3641

<https://doi.org/10.31073/foodresources2018-11-04>

Предмет дослідження – процес теплообміну, що здійснюють для копчення ковбасних виробів із застосуванням універсальних термокамер, а також трубчаті теплообмінники, використовувані із зазначеною метою. **Мета дослідження** обґрунтування та добір раціональних теплотехнічних характеристик теплообмінників, якими комплектують універсальні термокамери для копчення м'ясних продуктів. **Застосовано методи** визначання теплофізичних параметрів робочого димоповітряного середовища до і після теплообмінника в термокамерах, в основу цих методів покладено вимірювання неелектричних величин електричними методами. Для визначання коефіцієнта тепловіддачі від теплообмінної поверхні до робочого середовища використано методіку теплометрування, що передбачає застосування гнучких перфорованих перетворювачів теплового потоку за допомогою спеціального пристрою. **Результати дослідження.** За результатами порівняльних математичних обчислювань сучасних теплообмінних поверхонь прийнято рішення щодо створення теплообмінника раціональної конструкції на базі використання оребрених алюмінієм сталевих труб з висотою ребра h , що дорівнює діаметру труби, шагом оребрення труби $u = 13$ мм та ефективністю ребра $E = 0,77$. За результатами перевірки на експериментальному стенді динаміки змін електро- та теплотехнічних характеристик прийнятої біметалевої поверхні, розташованої в димоповітряному середовищі, визначена ефективність її використання в термокамерах для виробництва копченостей. Доцільність використання теплообмінника раціональної конструкції підтверджена результатами випробувань його в реальних умовах експлуатації при виробництві вареної та варено-копченої м'ясної продукції. Доведено, що протягом тривалого часу експлуатації в димоповітряному середовищі теплообмінники раціональної конструкції мають достатньо чисту поверхню і зберігають стабільно високі теплотехнічні характеристики. **Сфера застосування результатів дослідження.** Розроблений за результатами виконаних досліджень новий конкурентоспроможний тип теплообмінників з біметалевою поверхнею, які впродовж тривалої експлуатації в універсальних термокамерах для виробництва копченостей зберігають стабільно високі теплотехнічні характеристики, дозволить удосконалити використовувані із зазначеною метою технічні пристрої задля підвищення їх довговічності та енергетичної ефективності.

Ключові слова: біметалева поверхня, димоповітряне середовище, коефіцієнт теплопередачі, оребрення, теплообмінник, теплотехнічні характеристики.

**PROVIDING THERMOTECNICAL PARAMETERS OF HEAT EXCHANGERS
USED FOR SMOKING OF MEAT PRODUCTS**

S. Verbytskyi, Ph.D., dep. head
of Department of Informational Support, Standardization and Metrology

Institute of Food Resources of NAAS

ORCID ID: 0000-0002-4211-3789

N. Usatenko, Ph.D., Technique, lecturer

ORCID ID: 0000-0002-0339-5189

S. Dobroskok, lecturer

ORCID ID: 0000-0002-7590-9193

M. Kalashnik, lecturer,

Pereyaslav-Khmelnytsky Hryhoriy Skovoroda State Pedagogical University

ORCID ID: 0000-0001-7015-3641

The subject of research is the process of heat exchange, which takes place during smoking of sausage products in universal heat chambers, and tubular heat exchangers used for these purposes. The purpose of the study is the substantiation and selection of the thermal characteristics of heat exchangers of universal thermal chambers for smoking meat products. **The methods** for determining the thermal physical parameters of the working smoke-air environment before and after the heat exchanger in heat chambers, which are based on measurements of non-electric parameters by electrical methods, is used. To determine the heat transfer coefficient from the heat exchange surface to the working environment, the thermometric technique is used, which involves flexible perforated heat flux converters using a special device. **The results of the study.** According to the results of comparative mathematical calculations of modern heat exchange surfaces, it was decided to create a heat exchanger of a rational design based on the use of aluminum-finned steel pipes with a fin height equal to pipe diameter, fins spacing on tube $u = 13$ mm and fin efficiency $E = 0.77$. The efficiency of the heat exchange surface for the production of smoked meat products is proven on the basis of checking on the experimental stand the dynamics of changes in the electrical and heat-engineering characteristics of the adopted bimetallic surface located in smoke-air medium. The expediency of using a heat exchanger of a rational design is confirmed by the results of testing it in actual operating conditions in the production of boiled and cooked smoked meat products. It has been proven that for a long time in the smoke-and-air environment, heat exchangers of a rational design have a fairly clean surface and retain consistently high thermal performance. **Scope of research results.** The new competitive type of heat exchangers with a bimetallic surface are developed due to the results of completed studies these heat exchangers retaining consistently high thermal performance during long-term operation in universal heat chambers for smoked meat production, which will make it possible to improve the technical devices used for this purpose and to improve their durability and energy efficiency.

Keywords: bimetallic surface, smoke-and-air environment, heat transfer coefficient, finning, heat exchanger, thermal characteristics.

Вступ. Найбільш енерговитратною ланкою виробництва ковбасних виробів є процес їхньої термообробки, який відбувається завдяки конвективному теплообміну між теплообмінником та продуктом. Для реалізації зазначеного процесу в сучасній практиці м'ясопереробки використовують універсальні термокамери, які дозволяють, незалежно від умов довкілля, точно регулювати температуру, вологість повітря, циркуляцію повітря

та диму, а також інші технологічні параметри [1]. Термокамери оснащують засобами автоматичного управління на базі мікропроцесорів і комп'ютеризованих систем, що дає змогу здійснювати постановку виробничих завдань і контролювати їх виконання – дистанційно або безпосередньо на робочому місці. Зазвичай, до складу універсальної термокамери входить власне камера – складена з термоізоляційних панелей замкнута порожнина, що послугує для розміщення рам з підготовленими до термообробки виробами, димогенератор, система управління процесом тощо. Конвективне підведення тепла до оброблюваного продукту і рух робочої середовища в обсязі камери забезпечують аеродинамічний вузол і система трубопроводів для розподілу робочого середовища всередині робочої порожнини камери. Універсальні термокамери обладнують засобами нагріву і підтримки в температури необхідному діапазоні, а також регулювання вологості середовища, що подається всередину для здійснення технологічного процесу [2]. Залежно від виду продукту, технологічний процес проводять в декілька етапів, впродовж яких змінюються як фізичні параметри робочого середовища, так і його хімічний склад. Наприклад, температура робочого середовища у робочій порожнині термокамер в процесі термообробки варених ковбас варіює в межах від 20°C до 90°C, відносна вологість – від 30% до 100%, швидкість – від 0,5 м/с до 2,5 м/с. На етапі копчення склад робочого середовища доповнюється декілька сотнями низькоагресивних хімічних компонентів диму, які знаходяться в газоподібному, пароподібному, крапельно-рідкому і твердому (частки вугілля, сажі і золи) стані [3]. Склад і фізико-хімічні властивості димового копильного середовища суттєвим чином залежить від виду та якості деревинної сировини, використовуваної у технологічному процесі [4]. У складі диму, який отримують шляхом спалювання деревини, вже ідентифіковано понад 400 сполук, зокрема: 40 кислот, 22 спирти, 131 карбоніл, 22 ефіри, 46 фуранів, 16 лактонов і 75 фенолів. Утворення зазначених сполук спричинене хімічними реакціями між нагрітими полімерами сировини, газифікованими проміжними продуктами цих реакцій, а також вологою, що міститься у деревині [5]. В процесі копчення ці компоненти осаджуються не тільки на поверхню продукту, але й на теплообмінник, що з часом суттєво знижує коефіцієнт його тепловіддачі та, через зменшення живого перетину для проходження крізь теплообмінник робочого середовища, збільшує аеродинамічний опір. Відповідно, збільшується опір аеродинамічної системи термокамер в цілому, що спричиняє додаткові навантаження на електродвигуни вентиляторів рециркуляції, збільшуючи їхню використовувану потужність. Більшою мірою це явище спостерігається при використанні теплообмінних поверхонь, які утворені шляхом оребрення труб з малою відстанню між ребрами (від 4 до 5 мм). В цілому, проблема підтримання у належному стані теплообмінних поверхонь різних конструкцій у процесі їхньої експлуатації у димоповітряному середовищі досі залишається однією із самих актуальних у м'ясній та рибній промисловості.

Для захисту поверхонь теплообміну від забруднень користуються з низки способів, проте всі вони мають певні недоліки і не є достатньо ефективними. Наприклад, у димоходах застосовують іонізатори, до яких з метою утворення електричного поля коронного розряду подають струм високої напруги. У такому разі очищення диму від баластних компонентів супроводжується небажаною зміною його компонентного складу в цілому. Це погіршує якість копчення продуктів, оскільки вміст фенолів в димі зменшується на 63%, кислот – на 28%. Окрім цього, система іонізації є вкрай небезпечною в процесі експлуатації, оскільки термообробку виконують з високою відносною вологістю (до 100%).

Практиковане у промисловості очищення диму за допомогою фільтрів не є економічно ефективним, оскільки вони потребують надміру частої профілактики, або й заміни, через накопичення на їхній поверхні сажі та смолистих речовин, яке спричиняє зростання аеродинамічного опору мережі і, як наслідок, підвищені витрати електроенергії, пов'язані з необхідністю його подолання. Застосування для очищення поверхонь

теплообмінників механічних пристроїв або хімічних засобів є також трудомістким процесом значної тривалості, який, зазвичай, передбачає демонтаж теплообмінників.

Матеріали та методи досліджень. Для виконання досліджень використовували зразок оребреної біметалевої теплообмінної поверхні «сталь – алюміній», виконаної шляхом лиття розплавленої алюмінієвої чушки марки АК-6 на гарячекатану сталеву трубу. Використання зазначеного зразка обумовлено значним коефіцієнтом теплопровідності алюмінію, з якого утворені ребра ($\lambda_{\text{ал}}=196 \text{ Вт/м}\cdot\text{К}$).

Раціональну конфігурацію ребер на трубі визначали, виконуючи порівняльні теплотехнічні розрахунки трьох моделей теплообмінників, створених з використанням залежностей, викладених у [6-8]. Призначали таке співвідношення висоти ребра h до зовнішнього діаметра труби d_0 : $h=0,4d_0$, $h=0,7d_0$, $h=d_0$. Для розрахунку приймали незмінними наступні параметри: зовнішній діаметр труби $d_0=25 \text{ мм}$; шаг оребрення труби $u=13 \text{ мм}$; кількість ребер на трубі $i=77$; кількість труб в живому перетині для проходу робочого середовища $n_1=7$; загальна кількість оребрених труб $n_3=14$). Теплофізичні параметри було прийнято такими: теплове навантаження на теплообмінник $Q=31500 \text{ кДж}$, середня температура теплоносія $T_{\text{сер}}=132^\circ\text{C}$, коефіцієнт тепловіддачі від теплоносія до труби $\alpha_{\text{вн}}=3000 \text{ Вт/м}^2\cdot\text{К}$, продуктивність вентилятора рециркуляції $V=3000 \text{ м}^3/\text{год}$.

Для вимірювання швидкості робочого димоповітряного середовища до і після теплообмінника в термокамерах використовували анемометр чашковий типу МС-13 з межею вимірювань від 1,0 до 20,0 м/с та похибкою $\pm (0,3+0,05 V) \text{ м/с}$; електротермоанемометр ТА-ЛІОТ з межею вимірювань 0 – 5,0 м/с та похибкою $\pm (0,1+0,05 V) \text{ м/с}$. Аеродинамічний опір теплообмінника визначали комбінованим пневмометричним насадком с циліндричною голівкою. Поправочний коефіцієнт скосу насадка при таруванні $k_n = 0,95 \div 1,0$. Для вимірювання тиску використовували диференційний спиртовий мікроманометр ММН-240(5)-1,0, клас точності 1,0.

Для досліджень теплообмінного процесу використовували спеціальні методики, в основу якої покладено вимірювання неелектричних величин електричними методами. Зокрема, для визначення коефіцієнта тепловіддачі α від теплообмінної поверхні до робочого середовища, було використано спеціальну методику теплотрування, яка дозволила отримати інформаційні дані щодо характеру та величини теплоти, що безпосередньо передається до продукту. Вимірювання здійснювали методом, який передбачає застосування гнучких перфорованих перетворювачів теплового потоку типу ПТП-1, що призначені для вимірювань густини теплового потоку q . Зазначений пристрій складається з великої кількості (біля 10000) об'єднаних диференціальних термопар, які розташовано в гнучкій трубочці з еластичною основою. Закріплений на поверхні оребреної труби перетворювач разом з диференційованою термопарою дозволив, із залученням цифрового комбінованого вольтметра типу Ф-283, визначити величину теплового потоку та різницю між температурою робочого середовища і поверхні теплообмінника. Електричний сигнал датчика ПТП-1 є пропорційним тепловому потоку, який проходить крізь нього. Теплофізичні властивості датчика на декілька порядків вищі ніж теплофізичні характеристики алюмінію, тому похибка вимірювань не перевищувала $\pm 5\%$. Дійсний коефіцієнт тепловіддачі визначали шляхом розділення числових значень густини теплового потоку на різницю температур (q/t).

Результати та обговорення. Виконані розрахунки моделей теплообмінників дозволили визначити, що пристрій, скомпонований з оребрених труб з висотою алюмінієвого ребра $h=d_0$ (теоретична ефективність ребра $E=0,77$) мав коефіцієнт теплопередачі $k=42,6 \text{ Вт / м}^2 \cdot ^\circ\text{К}$, що, у середньому, на 26 % нижче ніж у двох інших досліджених моделей. Теплове навантаження на нього було зменшено за рахунок збільшення для нього поверхні теплообміну, що, як наслідок, привело до незначного збільшення початкової вартості пристрою. Водночас, аеродинамічний опір цього теплообмінника в мережі був на 35% нижчий ніж у інших зразків, що дозволило знизити

на 35% потужність електродвигуна вентилятора рециркуляції і, у подальшому, зменшити витрати на експлуатацію аеродинамічної мережі термокамери в середньому на 16 %. Необхідність економії енергоресурсів стала вагомим аргументом на користь саме цієї моделі теплообмінника.

Дослідження динаміки змін теплотехнічних характеристик оребреної біметалевої поверхні з висотою алюмінієвого ребра $h = d_0$ в умовах нагріву димоповітряного середовища (за параметрами копчення м'ясопродуктів) проводили на спеціально виготовленому стенді (рис.1). Розміщену в замкнутому просторі оребрену біметалеву трубу обдували димоповітряним середовищем, яке утворювалося в димогенераторі внаслідок тління тирси за обмеженого доступ повітря. Рух робочого середовища біля труби організовували за допомогою вентилятора. Швидкість руху відповідала оптимальній швидкості протікання середовища по живому перетину теплообмінників у вітчизняних промислових термокамерах моделі РЗ-ФАТ-12 – $w=8,6$ м/с. Підведення теплоти до теплообмінної поверхні 1 здійснювали за допомогою термоелектронагрівача 2. Дослідження електрорушійної сили (е.р.с.), що утворювалася на поверхні теплообміну, проводили з допомогою цифрового вольтметра 5 з нижнім діапазоном вимірювань 20 мілівольт та відображенням в останній декаді цифрового табло показань в мікрвольтах. Використовували вольтметр типу Ф-283-2.

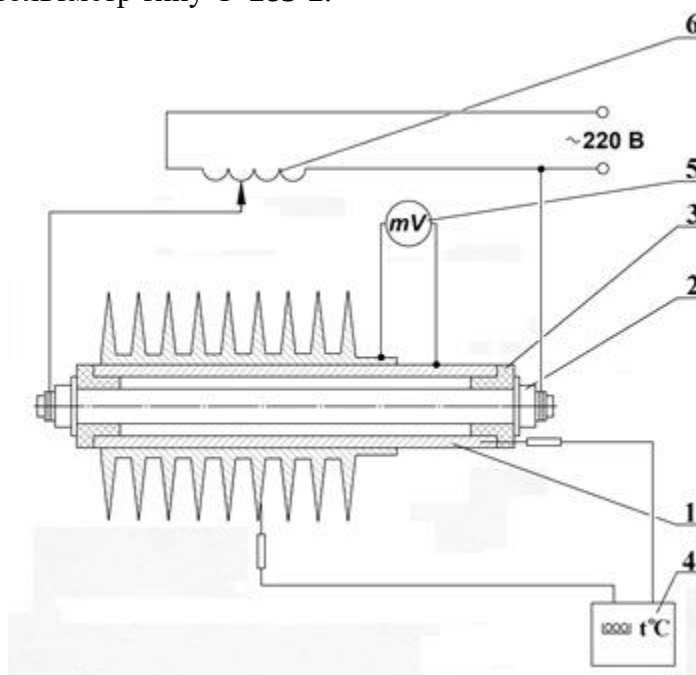


Рис. 1. Схема експериментального стенду: 1 – труба біметалева, 2 – термоелектронагрівач, 3 – теплоізолятор, 4 – потенціометр, 5 – мілівольтметр, 6 – автотрансформатор

Залежність е.р.с. від температури у вигляді кривої зростаючої лінії представлено на рис. 2. Характер зростання кривої лінії свідчить про те, що значення е.р.с. на біметалевій теплообмінній поверхні прямо пропорційне підвищенню температури. Так, за температури внутрішньої поверхні труби $t_n=150^{\circ}\text{C}$, яка при проведенні процесів підсушування та обжарювання ковбасних виробів відповідає величині температурного параметра теплоносія, значення від'ємної е.р.с. дорівнює майже 90 мкВ., що в 4,5 рази перевищує величину цього параметра за температури поверхні труби $t_n=20^{\circ}\text{C}$.

е.р.с., мкВ

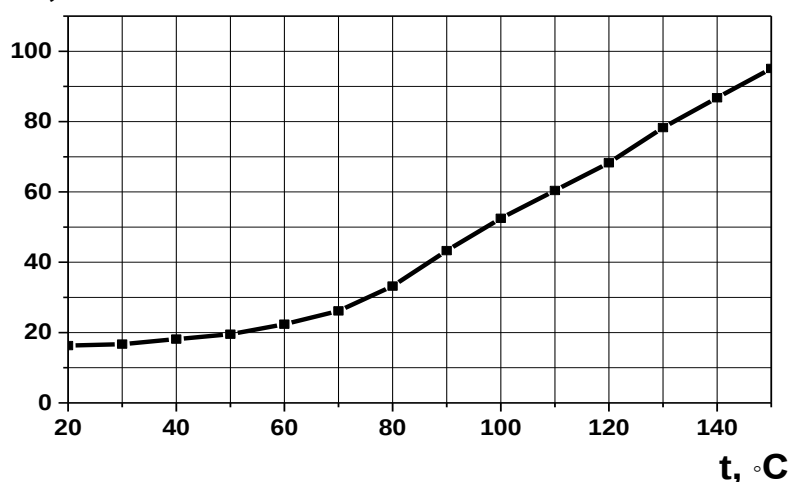


Рис. 2. Залежність е.р.с від температури

Візуальний огляд труби показав, що зовнішня її поверхня (алюмінієва) була майже чистою, без осадів хімічних компонентів диму. Відомо, що захист металів від окислювання здійснюється за допомогою зсуву їх потенціалу в негативну сторону – за рахунок е.р.с. [9, 10]. В досліджуваному випадку пасивність алюмінію і його стійкість в димоповітряному (низькоагресивному) середовищі, незважаючи на достатньо високий електронегативний стандартний потенціал ($E_0 = -1,66 \text{ В}$), пояснюється, з деяким припущенням, наявністю на його поверхні природної плівки Al_2O_3 або $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ товщиною від 0,005 до 0,015 мкм [11]. При цьому, вочевидь, зі збільшенням величини негативної е.р.с. на поверхні біметалевої труби зростає і пасивність алюмінію. Отже, саме природна плівка та висока температура поверхні труби запобігають її забрудненню та корозії.

Наведені вище аргументи та результати виконаних досліджень стали підставою для залучення оребреної біметалевої поверхні з висотою алюмінієвого ребра $h = d_0$ до конструкції теплообмінника дослідного зразка промислової термокамери. При цьому враховували вплив на біметалеву поверхню як специфіки експлуатації, так і конструктивних особливостей термообладнання в цілому. Експлуатація дослідного зразка термокамери дозволила перевірити коефіцієнт тепловіддачі – один з найвагоміших показників, що характеризують ефективність роботи цього теплообмінника. Для цього досліджували фізичні параметри робочого середовища в термокамері, стан теплообмінної поверхні та якість м'ясопродуктів, які виготовляли під час досліджень.

Було встановлено, що величина коефіцієнта тепловіддачі теплообмінника з біметалевою поверхнею, в середньому, дорівнювала $k = 42,6 \text{ Вт/м}^2\text{К}$. Величина коефіцієнта тепловіддачі теплообмінника зберігалася впродовж тривалого часу його експлуатації в димоповітряному середовищі.

Зразки біметалевих теплообмінних поверхонь теплообмінників представлено на рис. 3: на передньому плані – фрагмент поверхні теплообмінника, що експлуатувався у промислових умовах впродовж 8 років без очищення, на задньому плані – зразок оребреної біметалевої труби, яка не була в експлуатації. Ретельний візуальний огляд біметалевої теплообмінної поверхні теплообмінника після тривалої експлуатації показав, що на теплообмінній поверхні, яку використовували 8 років, практично відсутні нашарування. Внутрішня поверхня труби змін під час експлуатації не зазнала, а деякі пошкодження у вигляді точкової корозії має тільки поверхневий шар її матеріалу. Можна припустити, що причиною для цього можуть бути домішки активних металів, а саме,

заліза, яке присутнє в структурі сплаву в кількості до 1,0% [9]. Отже, воно зазнає пошкоджень під впливом компонентів диму, і саме ці пошкодження можна спостерігати під час огляду теплообмінної поверхні, що була в експлуатації.



Рис. 3. Зразки біметалевих теплообмінних поверхонь теплообмінників: на передньому плані фрагмент поверхні теплообмінника після 8 років експлуатації, на задньому плані – зразок, що не був у експлуатації

Висновки. За результатами порівняльних математичних обчислювань сучасних теплообмінних поверхонь прийнято рішення щодо створення теплообмінника раціональної конструкції на базі використання оребрених алюмінієм сталевих труб з висотою ребра $h = d_0$, шагом оребрення труби $u = 13$ мм та ефективністю ребра $E = 0,77$. На основі перевірки на експериментальному стенді динаміки змін електро- та теплотехнічних характеристик біметалевої поверхні, розташованої в димоповітряному середовищі, визначено ефективність її використання в термокамерах для виробництва копченостей. Доцільність використання теплообмінника раціональної конструкції підтверджено результатами випробувань його в реальних умовах експлуатації при виробництві вареної та варено-копченої м'ясної продукції. Доведено, що впродовж тривалого часу експлуатації в димоповітряному середовищі теплообмінники раціональної конструкції мають достатньо чисту поверхню і зберігають стабільно високі теплотехнічні характеристики (коефіцієнт тепловіддачі $k = 42,6$ Вт/м²°К) .

Бібліографія

1. Прянишников, В.В. Термокамеры для инновационных технологий мясопереработки / В.В. Прянишников // Научное обозрение. Технические науки. – 2016. – №. 6. – С. 106-109.
2. Вербицкий, С.Б. Производство п/к и в/к колбас / С.Б. Вербицкий // Мясной бизнес. – 2017. – №. 5. – С. 42-469.
3. Курко, В.И. Химия копчения / В.И. Курко – М.: Пищевая промышленность, 1969. – 343 с.
4. Maga, J.A. Smoke in food processing / J.A. Maga – Boca Raton: CRC Press. – 2018. – 165 p.
5. Toledo, R.T. Wood smoke components and functional properties / R.T. Toledo // Smoked seafood safety. – 2007. – P. 55-61.
6. Эккерт, Э.Л. Теория тепло- и массообмена (перевод с англ.) / Э.Л. Эккерт, Р.М.Дрейк – М.-Л.: Госэнергоиздат, 1961. – 680 с.

7. Карасина, Э.С. Теплообмен в пучках труб с поперечными рёбрами / Э.С.Карасина // Изв. ВТИ. – 1952. – №12. – С.12-16.
8. Карслоу, Г. Теплопроводность твердых тел (перевод с англ.) / Г. Карслоу, Д. Егер – М.: Наука, 1964. – 487 с.
9. Школьников, Е.В. Коррозия металлов и защита от коррозии / Е.В. Школьников, И.Я. Киселев. – Л.: ЛТА, 1984. – 20с.; Л.: ЛТА, 1991. – 16 с.
10. Семенова, И.В. Коррозия и защита от коррозии / И.В. Семенова, Г.М.Флорианович, А.В. Хорошилов – М.: Физматлит, 2010. – 416 с.
11. ГОСТ 1583-93 Сплавы алюминиевые литейные. Технические условия: действует с 1997-01-01. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2016. – 29 с. (Межгосударственный стандарт).

References

1. Pryanishnikov, V.V. 2016. Termokamery dlya innovatsionnykh tekhnologii myasopererabotki – Heating chambers for innovative technologies of meat processing. Nauchnoe Obozrenie. Tekhnicheskie nauki – Scientific survey. Technics, 6, 106-109 (in Russian).
2. Verbytskyi, S.B. 2017. Proizvodstvo p/k I v/k kolbas – Production of semi-smoked and boiled-smoked sausages. Myasnoi biznes – Meat business, 5, 42-469 (in Russian).
3. Kurko, V.I. 1969. Khimiya kopcheniya – Chemistry of smoking. Moscow: Pishchevaya promyshlennost, 343 (in Russian).
4. Maga, J.A. 2018. Smoke in food processing. Boca Raton: CRC Press, 165.
5. Toledo, R.T. 2007. Wood smoke components and functional properties. Smoked seafood safety, 55-61.
6. Eckert E.R. and R.M. Drake. 1961. Theory of Heat and Mass Transfer [Russian translation]. Gosenérgoizdat, Moscow-Leningrad, 680 (in Russian).
7. Karasina, E.S. 1952. Teploobmen v puchkakh trub s poperechnymi rebrami – Heat exchange in pipe clusters with transverse fins. Izvesiya VTI – Herald of VTI, 12, 12-16 (in Russian).
8. Carlsrow, G., and D. Jeger. 1964. Thermal conduction of solids [Russian translation]. Moscow, Nauka, 487 (in Russian).
9. Shkolnikov, E.V. and I.Ya. Kiselev. 1984 and 1991. Korroziya metallov i zashchita ot korrozii – Metals corrosion and protection against corrosion. Leningrad, LTA, 20 and 16 (in Russian).
10. Semenova, I.V., G.M. Florianovich and A.V. Khoroshilov. 2010. Korroziya i zashchita ot korrozii – Corrosion and protection against corrosion. Moscow, Fizmatlit, 416 (in Russian).
11. GOST 1583-93 Splavy alyuminivye liteinye. Tekhnicheskie usloviya – Aluminum casting alloys. Specifications. In force: 1997-01-01. Moscow: IPK Izdatelstvo standartov, 29 (in Russian).