

РОЗРАХУНОК ПРОДУКТИВНОСТІ КУТЕРА

Некоз О.І., д.т.н., професор,

Національний університет харчових технологій

Вербицький С.Б.,

Технологічний інститут молока і м'яса УААН

Іванов П.В.,

ВАТ «Черкаська продовольча компанія»

Батраченко О.В.

Черкаський державний технологічний університет

Разработано математическую модель, позволяющую с большей точностью рассчитывать продуктивность куттеров, учитывая при этом все необходимые кинематические и геометрические параметры куттеров. Теоретически обосновано наличие неоднородности измельчения сырья в куттере, значения которой может принимать существенные для экономической эффективности использования куттеров величины. Установлено, что путем оптимизации геометрических параметров рабочих органов куттеров можно избавиться от необходимости использования эмульсификаторов в технологических линиях мясоперерабатывающих производств. Определены практические рекомендации по оптимизации конструкций куттеров в зависимости от поставленных исходных требований.

The mathematical model allowing to calculate more precisely the cutters efficiency including all the necessary cutters kinematics and geometrics. The presence of grinded raw material in the cutter is theoretically grounded, and its importance may be sufficient for cost effectiveness while using the cutters. It is determined that by means of cutters' operating parts geometrics optimization there is a possibility to escape the necessity of emulsifiers use in meat processing productions process lines. The practical recommendations for cutters construction optimazing are defined according to the formulated initial objectives needed.

Постановка проблеми. Позиціонування кутера, як найбільш складної та важливої в технологічному процесі виготовлення ковбасних виробів машини, обумовлюється такими чинниками. По-перше, параметри самого процесу подрібнення м'ясної сировини при виготовленні ковбасних виробів у значній мірі визначають якість готового продукту. По-друге, сучасний кутер може виконувати технологічні функції вовчка, мішалки та машини для тонкого подрібнення без перевантаження, завдяки чому скорочується загальна тривалість циклу. По-третє, можливе проведення процесу під вакуумом. Все це підвищує увагу до ступеня раціональності конструкцій даного виду м'ясо-різальних машин.

Сьогодні на вітчизняному ринку м'ясопереробного обладнання не бракує пропозицій від численних зарубіжних виробників кутерів. Серед зарубіжних зразків авторитетом серед м'ясопереробників користуються кутери виробництва таких машинобудівних фірм, як Alpina (Швейцарія), LASKA (Австрія), CFS (Нідерланди), Kilia, MADO, Düker-REX (Німеччина) та ін. На жаль, вакуумні та високопродуктивні машини цих виробників найчастіше є

занадто дорогими для вітчизняних підприємств. Продовжується випуск і вітчизняних моделей кутерів. Так кутери Л5-ФКБ та Л5-ФКМ замість ВАТ «Темп» в м.Черкаси випускають та відновлюють ВАТ «Техпродсервіс» та ПП «Алнат». Вважаємо, що встановлення залежностей між конструктивними і технологічними параметрами кутерів дозволить підвищити технічний рівень вітчизняних машин, і відповідно, їх конкурентоспроможність на ринку. До того ж, вказані залежності є важливими для практичної діяльності фахівців-технологів, оскільки сприяють уникненню браку та підвищенню якості продукту.

Як відомо, основною технологічною характеристикою кутера є продуктивність. Відомі математичні вирази для визначення продуктивності кутера, на думку авторів, не в повній мірі відображують особливості процесів, які відбуваються при роботі машини, що не сприяє підвищенню конкурентоспроможності вітчизняних моделей кутерів та ускладнює практичну роботу технологів ковбасних цехів. Таким чином, на даний час актуальною є розробка математичних виразів, які б дозволили більш коректно враховувати параметри маши-

ни, що використовуються для розрахунку продуктивності.

Аналіз джерел. Згідно [2] продуктивність кутера визначається як продуктивність будь-якої іншої машини періодичної дії для оброблення сировини у вигляді суцільної маси та вираховується за формулою, кг/год:

$$Q = \frac{3600b \cdot V \cdot r}{t_{\text{ц}}} = \frac{3600b \cdot V \cdot r}{t_3 + t_T + t_B}, \quad (1)$$

де V – об’єм чаші кутера, м^3 ;

ρ – густина оброблюваної сировини, $\text{кг}/\text{м}^3$;

β – коефіцієнт завантаження чаші кутера;

$t_{\text{ц}}$ – тривалість циклу обробки, с;

t_3 – тривалість операції завантаження сировини, с;

t_T – тривалість технологічної обробки сировини в кутері, с;

t_B – тривалість вивантаження сировини, с.

Недоліком цього виразу є відсутність врахування у значенні t_T конструктивних та кінематичних параметрів кутера: кількості та частоти обертання ножів, частоти обертання чаші та ін., які мають велике практичне значення. В значенні $t_{\text{ц}}$ не враховано параметр тривалості відкривання та закривання кришки чаші $t_{\text{кр}}$ при вакуумуванні сировини. Точне визначення коефіцієнта завантаження чаші β на практиці викликає значні труднощі.

Також даний вираз не відображує ступеня подрібнення сировини, що не дозволяє в повній мірі проводити порівняльний аналіз раціональності конструкцій кутерів. Ступінь подрібнення м’ясної сировини за [3] визначається так:

$$i = \frac{D_{\text{max}}}{D_{\text{min}}}, \quad (2)$$

де D_{max} – найбільший лінійний розмір частинки (або діаметр);

D_{min} – найменший лінійний розмір частинки.

Згідно [3] продуктивність кутера також визначається за (1), але вказується вираз по визначенню t_T , причому в ньому вводиться такий параметр, як узагальнена кінематична характеристика кутера Ω :

$$t_T = \frac{K \cdot e^{(0,25m_{\text{зов}} + 0,46)} \cdot 10^5}{\Omega} \quad (3)$$

де K – коефіцієнт пропорційності, $\text{м}^3/\text{кг}\cdot\text{с}$, який визначається:

$$K = K_{\text{зов}} \cdot m_{\text{зов}} + K_{\text{св}} \cdot m_{\text{св}} + K_n \cdot m_n$$

тут $K_{\text{зов}}$, $K_{\text{св}}$, K_n – коефіцієнти пропорційності відповідно для яловичини, свинини та добавок;

$m_{\text{зов}}$, $m_{\text{св}}$, m_n – вміст відповідно яловичини, свинини та добавок, кг на 1 кг вихідної сировини без води;

Ω – узагальнена кінематична характеристика кутера, $\text{м}^3/\text{кг}\cdot\text{с}\cdot\text{хв}$, яка визначається:

$$\Omega \cong \left(\frac{a_F \cdot z}{60 \cdot r} \right) \cdot \left(\frac{r_n \cdot n_n}{R} \right)^2 \frac{n_n}{n_{\text{ч}}} \quad (4)$$

тут a_F – коефіцієнт, що враховує площу перерізу ножом шару фаршу за 1 оберт ($a_F=0,95 \div 0,98$; a_F зростає при збільшенні маси сировини, і зменшується при збільшенні зазору між чашею і ножом; при зазорі 0,005 м $a_F=0,92$);

z – кількість ножів;

ρ – густина сировини, $\text{кг}/\text{м}^3$;

R – відстань від вісі обертання чаші до вісі обертання ножів, м;

r_n – радіус кола, що описується ножами при обертанні, м;

n_n – частота обертання ножів, хв^{-1} ;

$n_{\text{ч}}$ – частота обертання чаші, хв^{-1} .

Недоліком виразу (3) є відсутність врахування початкових розмірів часток сировини, оскільки (3) дозволяє вести розрахунок тільки за умови, що сировина перед кутеруванням була подрібнена на вовчку із вихідною решіткою з отворами діаметром 3 мм. Складно пояснити розмірність коефіцієнту пропорційності K ($\text{м}^3/\text{кг}\cdot\text{с}$). Узагальнена кінематична характеристика кутера містить компоненту n_n^3 , тоді як за відомими експериментальними дослідженнями залежність продуктивності кутера від n_n прямо пропорційна.

Згідно (4) тривалість t_T прямо пропорційна n_n , тоді як, на думку авторів, зміна значення $n_{\text{ч}}$ не впливає на t_T . Також складно пояснити отриману розмірність Ω ($\text{м}^3/\text{кг}\cdot\text{с}\cdot\text{хв}$), яка прямо не впливає з (4).

За [4] продуктивність визначається за (1), а значення t_T – за виразом:

$$t_T = \frac{m \cdot F_1}{K_F \cdot S \cdot z \cdot n_n} = \frac{m \cdot F_1}{K_F \cdot F} \quad (5)$$

де m – маса сировини, кг;

K_F – коефіцієнт використання різальної здатності різального механізму;

F_1 – площа поверхні розділу частинок на 1 кг сировини, м^2 :

$$F_1 = \frac{z_2 \cdot S_2 - z_1 S_1}{2}$$

тут z_1 , z_2 – кількість частинок сировини на 1 кг відповідно до подрібнення та після нього;

S_1 , S_2 – відповідно площа поверхні частинок на 1 кг сировини;

F – різальна здатність кутера, $\text{м}^2/\text{с}$:

$$F = S \cdot z \cdot n_n \quad (6)$$

тут S – площа перерізу шару сировини, що перерізається ножом за один оберт, м^2 .

Недоліком визначення продуктивності за [4] є: недостатня точність обрахунків; значна складність практичного визначення та недостатня наочність параметру F_I ; невірність представлення впливу конструктивних особливостей машини на продуктивність, якщо користуватись вказаними виразами безпосередньо, без математичних перетворень; за (5) тривалість τ_T залежить від ρ сировини, тоді як на думку авторів значення ρ впливає не на τ_T , а на енергоємність роботи кутера; відсутність відображення впливу частоти обертання чаші на показники роботи кутера; не відображено вплив значення R на показники продуктивності; відсутність відображення неоднорідності подрібнення сировини; низька точність, наочність та значна складність вимірювання коефіцієнту завантаження чаші β .

Існуючі математичні моделі по визначенню продуктивності кутера мають низку недоліків і не можуть в повній мірі задовольнити поставлені до них вимоги. Актуальним є розробка математичної моделі, що здатна вирішити вказані проблемні задачі.

Метою цієї статті є розробка математичної моделі, що дозволить більш коректно та із більшою точністю визначати параметри продуктивності кутера.

Основна частина. Виведемо математичну модель по визначенню продуктивності кутера. Для обробки у вакуумному кутері порції сировини масою m необхідно завантажити сировину в чашу кутера, створити необхідний вакууметричний тиск в робочій камері кутера, виконати подрібнення сировини та вивантажити готовий продукт. Таким чином, продуктивність кутера можна описати виразом:

$$Q = \frac{3600V \cdot r}{t_{\text{Ц}}} = \frac{3600V \cdot r}{k_3 \cdot t_3 + t_{\text{ПЕР}} + t_T + t_B + 2t_{\text{КР}} + t_{\text{З.ВАК}}} \quad (7)$$

де V – об’єм чаші кутера, заповнений сировиною, м³;

ρ – густина оброблюваної сировини, кг/м³;

$t_{\text{Ц}}$ – тривалість циклу обробки, с;

t_3 – тривалість операції завантаження сировини, с;

k_3 – кількість циклів завантаження;

$t_{\text{ПЕР}}$ – тривалість перемішування сировини, с;

t_T – тривалість технологічної обробки (різання) сировини в кутері, с;

t_B – тривалість вивантаження сировини, с;

$t_{\text{КР}}$ – тривалість закривання або відкривання кришки чаші, с;

$t_{\text{З.ВАК}}$ – тривалість збросу вакууму, с.

В даній роботі автори ставили за мету розробити математичні вирази по розрахунку тільки компоненти τ_T , як такої, що пов’язує основні конструктивні параметри кутера. Доцільно при цьому керуватись наступними міркуваннями.

В чаші кутера (рис. 1,а) наявний об’єм сировини V , яку необхідно подрібнити до заданого ступеня подрібнення i . На виконання цієї операції необхідно витратити деякий час τ_T . Значення часу τ_T залежить від заданого ступеня подрібнення i та від подрібнювальної здатності кутера F . Ступінь подрібнення м’ясої сировини визначаємо як:

$$i = \frac{l_1}{l_2}, \quad (8)$$

де l_1 – середнє значення найбільшого лінійного розмір частинки до подрібнення;

l_2 – середнє значення найбільшого лінійного розмір частинки після подрібнення.

Використання для визначення i лінійних розмірів частинок сировини дозволяє, на відміну від [2, 4], забезпечити наочність та практичну можливість визначення i . Так згідно [3] види подрібнення м’ясних продуктів класифікуються наступним чином: крупне (300–100 мм); середнє (60–10 мм); мілке (10–2 мм); тонке (2–0,4 мм); надтонке або колоїдне (0,075–0,001 мм). Таким чином, (8) може набувати, наприклад, значення: 7,5 (при тонкому подрібненні сировини, попередньо обробленої на вовчку із діаметром отворів решітки 3 мм); 375 (при тонкому подрібненні сировини із $l_1 = 150$ мм); 12,5 (при мілкому подрібненні сировини із $l_1 = 100$ мм). Так, як відомо, для сосисок м’ясо солять після подрібнення у вовчку, а для сирокочених ковбас солять у шматках вагою 300–400 г.

Під подрібнювальною здатністю F кутера будемо розуміти величину $K_{\text{лодр}}$, що показує на скільки частинок буде подрібнено шматочок вихідного розміру. Значення $K_{\text{лодр}}$ буде залежати від довжини l частинки, яка відділяється від вихідного шматочку за час, що дорівнює часу $\tau_{\text{пов.н}}$ повороту ножової головки на кут між лезами двох сусідніх ножів.

Умовний шматок сировини довжиною 1 м при проходженні ножової головки кутера буде подрібнений на кількість частин, яка залежить від кількості ножів z ножової головки, частоти їх обертання n_n та, що особливо слід виділити, від швидкості проходження шматка крізь ножову головку $v_{\text{шм.}}$.

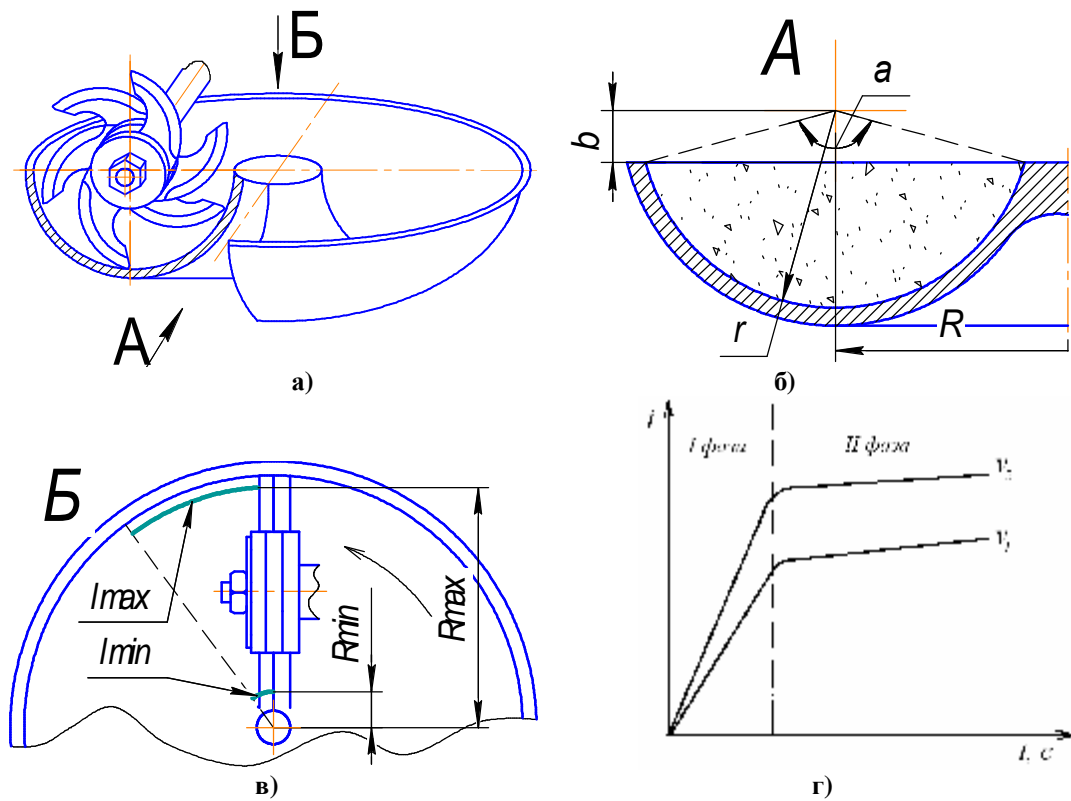


Рис. 1. Параметри кутера

Отже, подрібнювальна здатність кутера F визначається як, m^{-1} :

$$F = K_{подр} = \frac{1}{l} = \frac{1}{u_{шм.} \cdot t_{пов.н.}} = \frac{z \cdot n_n}{2p \cdot n_q \cdot R} \quad (9)$$

де $t_{пов.н.}$ – час між двома сусідніми різальними діями ножів, с, причому: $t_{пов.н.} = 1/z \cdot n_n$, тут z – кількість ножів;

n_n – частота обертання ножів, c^{-1} ;

$u_{шм.}$ – лінійна швидкість шматка сировини, м/с, причому: $u_{шм.} = \omega \cdot R = 2p \cdot n_q \cdot R$, тут ω – кутова швидкість чаші, $рад/с$;

R – радіус чаші, на якому розташовано вказаний шматок сировини, м;

n_q – частота обертання чаші, c^{-1} .

У (9) розмірність « m^{-1} » читається як «кількість частин, на які подрібнюється шматок сировини довжиною 1 м при однократному проходженні крізь ножову головку при заданому режимі роботи кутера». Так, згідно (9), при однократному проходженні сировини крізь ножову головку з метою забезпечення максимального ступеня подрібнення бажано обирати максимальне значення n_n і мінімальне значення n_q .

Таким чином, (9) дозволяє визначити, на яку кількість частин буде подрібнено 1 умовний метр сировини. Отже за один прохід шматок сировини довжиною l_1 буде подрібнено на

кількість шматків $y = l_1 \cdot F$. А згідно завдання кожен шматок сировини l_1 має бути подрібнений на i шматочків – цикл подрібнення слід повторити λ разів: $I = \frac{i}{l_1 \cdot F}$.

Тепер тривалість t_T може бути визначена як:

$$t_T = t_T^1 \cdot I,$$

де t_T^1 – тривалість 1 оберту чаші кутера, с. Тоді тривалість технологічної обробки сировини в кутері визначається як:

$$t_T = t_T^1 \cdot I = \frac{1}{n_q} \cdot \frac{i}{l_1 \cdot F} = \frac{i \cdot 2p \cdot n_q \cdot R}{n_q \cdot l_1 \cdot z \cdot n_n} = \frac{2p \cdot i \cdot R}{l_1 \cdot z \cdot n_n} \quad (10)$$

Залежність від t_T від R обумовлюється збільшенням лінійної швидкості проходження сировини крізь ножову головку із збільшенням R , а, отже, – зменшенням ступеня подрібнення за 1 оберт чаші, що потребує збільшення циклів проходження сировини крізь ножову головку. Те, що t_T не залежить від n_q обумовлюється тим, що при збільшенні n_q також відбувається зменшення ступеня подрібнення сировини за 1 оберт чаші, але, в той же час, у стільки ж разів збільшується кількість циклів проходження сировини крізь ножову головку за одиницю часу.

Значення V у (7) визначимо наступним чином. Об'єм тіла обертання – це $V = 2p \cdot R \cdot S_{сеч}$. Площа такого перерізу (рис. 1, б), як відомо, визначається за виразом

$$S_{сеч} = \frac{r^2}{2} \left(\frac{p \cdot a}{180} - \sin a \right), \text{ де } a = 2 \cdot \arccos \left(\frac{b}{r} \right).$$

Тоді об'єм чаші кутера буде дорівнювати, м³:

$$V_q = 2 \cdot p \cdot R \cdot \frac{r_n^2}{2} \left(\frac{p \cdot a}{180} - \sin a \right), \quad (11)$$

$$\text{де } a = 2 \cdot \arccos \left(\frac{b}{r_n} \right).$$

Підставимо виведені залежності у (7) та отримаємо кінцевий вираз по визначенню продуктивності кутера (враховуючи тільки тривалість τ_T):

$$\begin{aligned} Q_T &= \frac{3600V \cdot r}{t_T} = \\ &= \frac{3600 \cdot 2 \cdot p \cdot R \cdot \frac{r_n^2}{2} \left(\frac{p \cdot a}{180} - \sin a \right) r}{2p \cdot i \cdot R \cdot l_1 \cdot z \cdot n_n} = \quad (12) \\ &= 1800 \cdot \frac{l_1}{i} \cdot r \cdot r_n^2 \cdot z \cdot n_n \left(\frac{p \cdot a}{180} - \sin a \right) \end{aligned}$$

Загальну продуктивність кутера можна визначити за (7), підставивши туди значення (10) та (11). Визначення об'єму сировини за (11) дозволяє збільшити точність обрахунків та забезпечити вимірювання цього означення на практиці, завдяки оперуванням замість коефіцієнту заповнення чаші β параметром кута α , що характеризує сегмент перерізу чаші.

Використовуючи вираз (9), можна визначити неоднорідність подрібнення в кутері Δi (раціонально враховувати подрібнення за 1 прохід крізь ножову головку):

$$\Delta i = \frac{y_{\max}}{y_{\min}} = \frac{l_1 \cdot F_{\max}}{l_1 \cdot F_{\min}} = \frac{R_{\max}}{R_{\min}} \quad (13)$$

Отже, чим більша різниця між R_{\max} і R_{\min} – тим більша неоднорідність подрібнення сировини. Використовуючи відомості про значення радіусів ножових головок та радіусів центрального конусу чаші відомих кутерів [5], можна визначити які значення може приймати Δi . Так для кутерів Seydelmann та Kramer+Grebe (CFS) із об'ємом чаші 120 л, радіусом ножових головок 240 мм та радіусом центрального конусу 100 мм $\Delta i = 5,8$; для кутерів із об'ємом чаші 1200 л, радіусом ножових головок 500 мм та радіусом центрального конусу 100 мм $\Delta i = 11$, а при значенні радіусу центрального конусу 50 мм – $\Delta i = 21$. Як вка-

зувалось вище, згідно [3] зміна ступеню подрібнення на порядок може призводити до переходу у інший вид подрібнення. Так, наприклад, якщо ψ_{\max} відноситься до тонкого подрібнення, то ψ_{\min} підпадає під класифікацію м'якого подрібнення, а при ψ_{\max} , що відноситься до колоїдного подрібнення, ψ_{\min} може набувати значень як для м'якого подрібнення. Цей факт вказує на те, як суттєво конструктивні параметри кутера впливають на якість обробки сировини.

Слід зазначити, що використовуючи вирази (9, 13) можна пояснити характер зміни ступеню подрібнення сировини i під час II-ї фази кутерування (рис. 1, г, [6, 1]). При закінченні фази I подальше зростання i обумовлюється частковим перемішуванням сировини в зоні різання, що призводить до подачі частинок із l_{\max} з периферії чаші до центрального конусу, де розмір частинок зменшується до l_{\min} завдяки збільшенню F до значення F_{\max} при $R=R_{\min}$.

Експериментальне визначення показників продуктивності проводилось авторами на виробничих потужностях ВАТ «Черкаська продовольча компанія», що спеціалізується на виготовленні м'ясних виробів, зокрема – ковбасних. Об'єктами дослідження були два вакуумні кутери Laska KR-200-2V та Laska KR-330-2V, із об'ємами чаш відповідно 200 л та 330 л (рис. 2).

Кутер Laska KR-200-2V використовувався для виготовлення 200 кг сировини для напівкопченої ковбаси «Московская Новая» 1-го гатунку. На 100 кг готового продукту використовувалось 65 кг фаршу, що був подрібнений на вовчку через решітку із отворами діаметром 4 мм, 25 кг шпигу, який нарізаний у вигляді кубиків із стороною 6 мм на шпигорізці, та 10 кг води, спецій та нітриту натрію. Обробка сировини проводилась без вакуумування. В кутер спочатку завантажувалась фарш, який подрібнювався при наступних параметрах $n_n = 1500 \text{ хв}^{-1}$, $n_q = 18 \text{ хв}^{-1}$, із одночасним інтенсивним перемішуванням із водою, спеціями та нітритом натрію, які додавались. Після цього проводився етап кінцевого подрібнення із одночасним додаванням шпигу, режим роботи кутера – $n_n = 2950 \text{ хв}^{-1}$, $n_q = 18 \text{ хв}^{-1}$. Були визначені такі значення тривалості окремих операцій: $\tau_3 = 45 \times 2 = 90 \text{ с}$; $\tau_{ПЕР} = 240 \text{ с}$; $\tau_T = 12 \text{ с}$; $\tau_B = 36 \text{ с}$. Геометричні параметри кутера наступні: $r_n = 250 \text{ мм}$; $R = 390 \text{ мм}$; $b = 100 \text{ мм}$; діаметр верхньої основи центрального конусу чаші $d_q = 200 \text{ мм}$; діаметр периферії чаші $D_q = 1280 \text{ мм}$; радіус конусу по площині рівня сировини в чаші $r_{ч.пл.} = 140 \text{ мм}$; $z = 6$.



Рис. 2. Експериментальне визначення параметрів продуктивності кутерів:
а – чаша кутера Laska KR-200-2V із обробленої сировини;
б – визначення тривалості окремих операцій при роботі кутера Laska KR-330-2V

Кутер Laska KR-330-2V використовувався для виготовлення 325 кг сировини для вареної ковбаси «Говяжья» 1-го гатунку. На 100 кг готового продукту використовувалось 90 кг фаршу, що був подрібнений на вовчку через решітку із отворами діаметром 4 мм та 10 кг льоду, спецій, нітриту натрію. Обробка сировини проводилась під вакуумом. В кутер спочатку завантажувался фарш, спеції та нітрит натрію і проводилось перемішування сировини на протязі $\tau_{пер} = 60$ с при $n_n = 1500$ хв⁻¹, $n_ч = 18$ хв⁻¹. Після цього проводилось завантажування льоду, герметизація робочого об'єму чаші, вакуумування його із одночасним тонким подрібненням сировини при $n_n = 2950$ хв⁻¹ та $n_ч = 18$ хв⁻¹. Були визначенні такі значення тривалості окремих операцій: $\tau_3 = 20 \times 2 = 40$ с; $\tau_{пер} = 60$ с; $\tau_T = 435$ с; $\tau_{кр} = 2 \times 7 = 14$ с; тривалість збросу вакууму $\tau_{з.бак} = 3$ с; $\tau_B = 19$ с. Геометричні параметри кутера наступні:

$r_n = 300$ мм; $R = 450$ мм; $b = 65$ мм; діаметр верхньої основи центрального конусу чаші $d_ч = 200$ мм; діаметр периферії чаші $D_ч = 1500$ мм; радіус центрального конусу по площині рівня сировини в чаші $r_{ч.пл.} = 150$ мм; $z = 6$.

Розрахуємо параметри продуктивності за відомими та за розробленою методиками (табл. 1). При цьому розрахунок за методикою [2, 1] вести не будемо внаслідок відсутності за ними виразів по визначенню τ_T та i . Введемо умовне позначення моделей кутерів: для Laska KR-200-2V – I; для Laska KR-330-2V – II. Також введемо поняття тривалості допоміжних операцій $\tau_{доп} = \tau_3 + \tau_{пер} + \tau_{кр} + \tau_{з.бак} + \tau_B$. Відповідно до виду продукції, що виготовлялась, та до класифікації видів подрібнення за [3] приймемо значення довжин частинок сировини: для обробці на кутері I – $l_1 = 4$ мм, $l_2 = 0,5$; для обробці на кутері II – $l_1 = 4$ мм, $l_2 = 0,02$ мм.

Таблиця 1

Порівняльний розрахунок параметрів продуктивності кутера

Визначення параметрів	Параметри									
	τ_T, c		$\tau_{доп}, c$		$Q_T, кг/год$		$Q, кг/год$		Δi	
	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II
За [3]	190	174	-	-	3789	6724	1295	3774	-	-
За [4]	$9,3F_1^1$	$10F_1^2$	-	-	-	-	-	-	-	-
За розробл. методикою	16	480	-	-	45000*	2300	1885	1899	4,57	5,00
Експерим. значення	12	435	126	76	60000*	2693	1905	2049	не вим.	не вим.

1 – якщо прийняти експериментальне значення $\tau_T = 12$, то має бути $F_1 = 1,29$ м²/кг;

2 – якщо прийняти експериментальне значення $\tau_T = 435$, то має бути $F_1 = 43,1$ м²/кг, що викликає сумніви;

* – обумовлене малим τ_T , яке бралось до уваги без врахування значно більшого значення $\tau_{пер}$.

Як видно з таблиці 1, найбільш близькими розрахованими значеннями τ_T є значення, що визначались за розробленою методикою, при цьому похибка розрахунків відносно експериментальних значень склала 25 % та 10 % для куте-

рів I та II відповідно. Значення τ_T , що визначались за [3], відрізняються у 15 та у 2,5 разів по відношенню до експериментально визначених. Така велика похибка за [3] обумовлена відсутністю можливості відображення початкових роз-

мірів частинок та необхідного ступеня подрібнення, недостатньою достовірністю відображення впливу конструктивних особливостей машини. За [4] стало неможливим розрахувати значення τ_T і, як наслідок, Q_T та Q . Причина цього – неможливість визначення параметру F_I ($\text{м}^2/\text{кг}$) для різних видів сировини. Також викликає сумніви значення $F_I = 43,1 \text{ м}^2/\text{кг}$ для варених ковбас, яке впливає із порівняння розрахункових значень складових τ_T і експериментальних.

Із розрахованих значень Q такими, що найбільш відповідають експериментальним, також є значення, отримані за розробленою методикою. Похибка обрахунків при цьому склала 1 % та 8 % відповідно для кутерів I та II. Значення Q за [3] відрізняються від експериментальних відповідно на 47 % та на 84 %.

Жодна з раніше відомих методик не дала змогу визначити параметр Δi , який для даних умов склав значення близько 5. Слід зазначити, що при менших значеннях d_c , як для моделей кутерів попередніх років випусків, параметр Δi набуде більшої величини.

Висновки. Розроблено математичну модель по визначенню продуктивності кутера, що дозволяє підвищити точність обрахунків та що більш коректно враховувати конструктивні та кінематичні параметри машини.

Введене поняття та виведено відповідний математичний вираз для визначення неоднорідності подрібнення сировини в кутері. Експериментально досліджено точності методик, що порівнювались. Найкращу точність розрахунків показала авторська методика. При цьому встановлено, що:

- за розробленою методикою значення тривалості технологічної обробки більше за експериментально визначене на 10-25 %, а значення продуктивності кутера менше до 8 %;
- найбільший вплив на точність теоретичного визначення параметрів продуктивності чинить коректність вибору значень l_1 та l_2 частинок сировини до та після кутерування.
- різне конструктивне виконання чаші (параметр R) призводить до різного необхідного значення τ_T при виготовленні одного і того самого виду продукту (це обумовлює необхідність змінювати τ_T при переході на іншу модель кутера);
- при обробці сировини, що швидко псується, слід використовувати кутера із мінімальним значенням R (наприклад, при виготовленні сирокочених ковбас типу «Салямі», де, як відомо [7], використовують навіть кутери із двома ножовими головками);
- значення неоднорідності подрібнення сировини в кутері може досягати 5-20 разів, що чинить суттєвий вплив на погіршення якості готового продукту;

- зменшення значення Δi можна досягти шляхом збільшення радіусу центрального конусу чаші та зменшенням r_n , це може дати можливість підвищити однорідність подрібнення сировини, уникнувши при цьому необхідності використовувати емульсатор;
- продуктивність кутера не залежить від частоти обертання чаші;
- збільшувати продуктивність шляхом збільшення об'єму за рахунок збільшення значення R недоцільно, оскільки в такому разі наскільки збільшиться значення V настільки ж збільшиться і значення τ_T ;
- доцільно збільшувати продуктивність шляхом збільшення значення r_n або z , оскільки при значному збільшенні n_n , як відомо, відбувається різке збільшення нагріву сировини;

Подальшим напрямком дослідження може бути визначення залежності зміни зазору між ножами і поверхнею внутрішнього конусу чаші від зміни його радіусу з метою оптимізації значення зазорів, неоднорідності ступеня подрібнення сировини та тривалості технологічної обробки. Це обумовлює необхідність подальших теоретичних та експериментальних досліджень кутерів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Василевский О.М., Соловьев О.В., Трифонова Д.О. Машини периодического действия для приготовления фарша // Мясные технологии. – № 5, 2007. – 42 с.
2. Пелеев А.И. Технологическое оборудование предприятий мясной промышленности. – М.: Пищевая промышленность, 1971. – 532 с.
3. Чижилова Т.В. Машини для измельчения мяса и мясных продуктов. – М.: Легкая промышленность, 1982. – 302 с.
4. Механічні процеси та обладнання переробного та харчового виробництва: Навч. посібник / П.С. Берник та ін. – Львів: Видавництво Національного університету „Львівська політехніка”, 2004. – 336 с.
5. Проспект фірми Kramer+Grebe Wetter, 2008; режим доступу <http://www.kgwetter.de>.
6. Горбатов А.В., Косой В.Д., Елкин В.В. Влияние некоторых технологических факторов на реологические свойства колбасного фарша и готовых изделий // Мясная индустрия СССР №1, 1976. – С. 23–26.
7. Проспект фірми CFS; режим доступу – www.CFS.com.

Некоз О.І., д.т.н., професор, Національний університет харчових технологій.

Вербицький С.Б., с.н.с., Технологічний інститут молока і м'яса УААН.

Іванов П.В., ВАТ «Черкаська продовольча компанія».

Батраченко О.В., Черкаський державний технологічний університет.