

ОБГРУНТУВАННЯ ВИБОРУ РІЖУЧИХ ІНСТРУМЕНТІВ ТА РЕЖИМІВ РІЗАННЯ ДЛЯ КУТЕРІВ ПЕРІОДИЧНОЇ ДІЇ

За допомогою ЕОМ виконано аналіз впливу геометричних параметрів ножа на основі порівняння результатів дослідження затрат енергії при подрібненні м'ясопорошини ножами різних конструкцій. У результаті проведеного аналізу виконано обґрунтування вибору ріжучого інструмента та режимів різання для кутерів періодичної дії.

При виготовленні будь-яких ковбасних виробів невід'ємною частиною технологічного процесу є подрібнення м'яса. Для цього застосовують вовчки, емульсатори, кутери, м'ясорізки, ножові подрібнювачі безперервної дії. На сьогодні відомі різноманітні конструкції кутерів безперервної дії, однак найбільшого поширення на м'ясопереробних підприємствах України набули кутери періодичної дії. Основна перевага цих машин – висока універсальність, легкість налагодження, обслуговування і ремонту. Завдяки цьому кутери встановлюють в універсальні потокові лінії виготовлення широкого асортименту ковбасних виробів. М'ясо у кутері завантажується у чашу і подрібнюється за допомогою швидкохідних, найчастіше серпоподібних, ножів, що встановлюються комплектно на одному або двох ножових валах. До недоліків проведення процесу подрібнення у машинах цього типу можна віднести періодичність дії обладнання, високу енергоємність процесу при невисокій продуктивності машин.

Відомо, що кутерування є одним з найбільш енергоємних процесів у ковбасному виробництві, а якість готового продукту у значній мірі залежить від умов, в яких здійснюється подрібнення. Тому актуальним питанням на сьогодні є пошук шляхів зменшення енергоємності процесу кутерування та покращення якості фаршу.

Однією з причин погіршення якості подрібнення сировини – неправильно підібраний і загострений ніж. Часто на м'ясопереробних підприємствах при виробництві фаршу для різних видів ковбасних виробів у кутерах використовують один і той самий ніж, але ж відомо, що вид ножа, його форма, правильне загострення леза, кількість ножів і їхнє розташування в ножовій головці, а також відстань між ножами значно впливають на ступінь подрібнення фаршу, температуру нагрівання, функціонально-технологічні властивості, тривалість кутерування, а також на тривалість експлуатації як ножової головки, так і самого кутера.

Сировина, що піддається обробці у кутері, при виробництві безструктурних варених ковбас, сосисок, сардельок у початковий момент може бути однорідною чи неоднорідною, ізотропною чи анізотропною, містити у своєму складі більш міцні включення, ніж основна маса, тобто володіти різними фізико-механічними властивостями. Під час обробки в кутері необхідно подрібнити продукт до заданого ступеня, зберігаючи його харчову та біологічну цінність і якість при мінімальних втратах і енергоспоживанні. [1].

Розглянемо кутерний ніж і його взаємодію з м'язовими волокнами м'яса в точках 1 і 2 (рис. 1). На м'язове волокно в процесі кутерування діє сила P , спрямована перпендикулярно до радіусу обертання ножа. Ця сила складається з нормальної P_n і дотичної (тангенціальної) P_t складових.

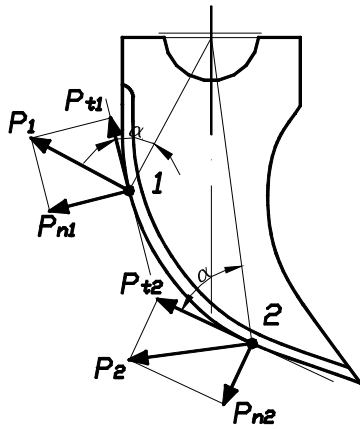


Рис.1. Ніж кутера з лінією леза у вигляді кривої II порядку

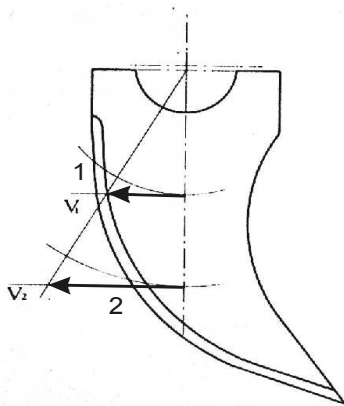


Рис.2. Епюра лінійних швидкостей на ножі кутера

Співвідношення цих двох сил залежить від кута α між дотичною в даній точці леза і радіусом обертання ножа R . Очевидно, чим менший кут α , тим більшою буде нормальна складова різання P_n , тому що $P_n = P \cos \alpha$ (рис. 1). І навпаки, якщо кут α збільшується, то нормальна складова сили різання зменшується, а дотична складова зростає, тому що $P_t = P \sin \alpha$.

Лезо ножа на м'язове волокно буде здійснювати двоякий вплив: воно буде стискувати і роздрібнювати його під впливом складових сили різання: нормальної P_n і дотичної P_t (рис.1).

На рис. 2 точки 1 і 2 знаходяться на різних радіусах обертання ножа, при цьому $R_1 < R_2$. Збільшення цього радіуса приводить до того, що лінійна швидкість у точці 2 стає більша, ніж у точці 1, а підвищення лінійної швидкості приводить до зростання сили різання P і її складових: нормальної P_n і дотичної P_t . Тому ефективність різання вища в кінцевій частині кутерного ножа. Крім того, у цій частині ножа забезпечується достатня щільність фаршу в пристінній зоні чаші, тому що відцентрова сила обертання чаші притискає кутеровану сировину до її стінок.

Ефективне і якісне подрібнення м'яса здійснюється при лінійній швидкості не менше $v = 100 \dots 110$ м/с [2]. На сьогодні більшість кутерів мають максимальну кількість обертів ножового вала $n = 3000$ об/хв. При такій кількості обертів (відповідно до формули $V = 2\pi nR$) зазначену лінійну швидкість можна одержати, якщо радіус чаші R не менший 350 мм, тобто варто використовувати кутери з чашею ємністю 300 л і більше. Для досягнення даної лінійної швидкості в кутерах меншої місткості чаш, наприклад 100-250 л, рекомендується збільшити кількість обертів ножового вала до 4000 об/хв і більше.

Не менш важливим для здійснення технологічного процесу подрібнення м'яса для варених ковбас є кут загострення леза ножа. Загострити його потрібно так, щоб, з одного боку, забезпечити якісне подрібнення, з іншого – стійкість ножа в процесі роботи. Максимальну стійкість леза ножа при якісному подрібненні м'ясної сировини забезпечує його кут загострення $\beta = 27-30^\circ$ [2]. Збільшення цього кута ($\beta > 30^\circ$) знижує якість подрібнення і різко збільшує швидкість нагрівання фаршу, тому що різко підвищується лобовий опір входження ножа у фарш. Зменшення кута ($\beta < 27^\circ$) знижує стійкість кромки ножа, на ній з'являються відколи і загини, ніж дуже швидко виходить з ладу. Циклічне навантаження на ніж, що виникає в процесі різання, приводить до того, що ці відколи стають концентраторами напружень у металі. Тому в ножі утворюються і розширюються втомні мікротріщини, що руйнують його. Оптимальний час між переточуваннями ножа складає 8 год безупинної роботи кутера.

Відмітною рисою варених ковбас вищих сортів є наявність у сировині, в основному, тільки м'язової тканини. Хрящі, сполучна тканина й інші

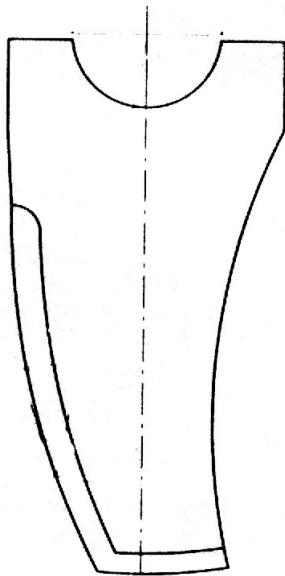


Рис.3. Ніж кутера з лінійною леза у вигляді незначно вигнутої лінії

більш міцні включення відсутні. Це створює добрі умови для обробки сировини кутерним ножом з прямим лезом або лезом у виді незначно вигнутої лінії, де переважає нормальна складова сили різання, а отже, створюються сприятливі умови для подрібнення м'язової тканини (рис. 3). Кут α при використанні такого виду ножа не перевищує $15-20^\circ$, а час кутерування в порівнянні з часом кутерування серпоподібним ножом з лезом у вигляді кривої другого порядку скорочується на $10-15\%$ [3]. Крім того, теоретичні дослідження математичної моделі процесу різання в кутері, проведені за допомогою програми Mathcad, показали, що при подрібненні такими ножами значно зменшується енергоспоживання в порівнянні з ножами серпоподібної форми.

На рисунках 4 і 5 розглянуто зміну складових швидкості різання при зміні кута нахилу (ковзання) леза α для ножів з прямолінійним лезом.

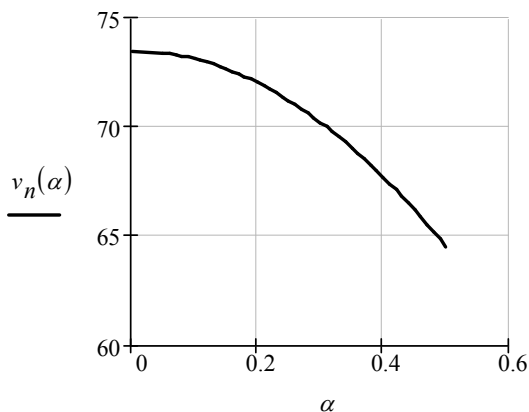


Рис.4. Графік залежності нормальної складової швидкості різання v_n від кута ковзання α для ножів з формою леза у вигляді прямої

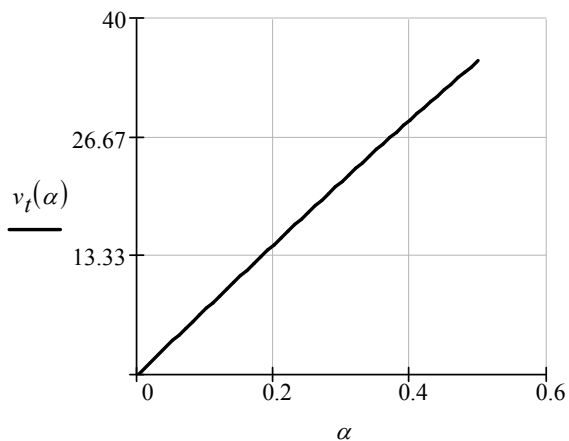


Рис.5. Графік залежності тангенціальної складової швидкості різання v_t від кута ковзання α для ножів з формою леза у вигляді прямої

Як видно з рис. 4 і 5, при зміні кута ковзання α відбувається значна зміна розподілу швидкостей, причому зміна нормальної швидкості здійснюється не за лінійним законом, тому при виборі ножів для подрібнення необхідно враховувати розподіл швидкостей леза, оскільки від цього значною мірою залежать показники енергоспоживання та якості подрібнення. На рис. 6 зображено графік зміни потужності в залежності від зміни кута ковзання леза α для ножів з прямолінійним лезом. При збільшенні нахилу леза прямих ножів потужність необхідна для подрібнення м'яса одного і того ж сорту значно зростає.

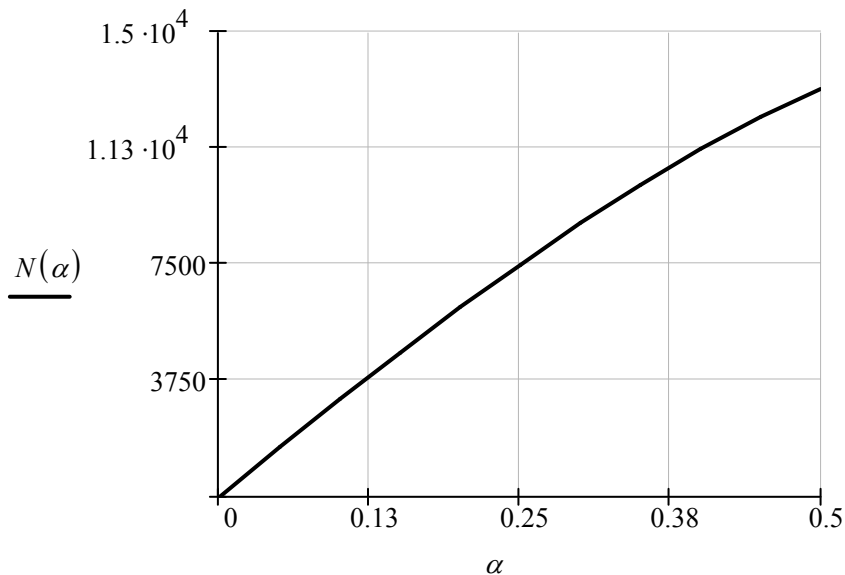


Рис.6. Графік залежності потужності N від кута ковзання α для прямих ножів (кут α в радіанах)

Варені ковбаси, сосиски, сардельки II-го сорту готують з більш твердої м'ясної сировини, яка містить багато сполучної тканини. Тому для її обробки необхідна нормальна складова сили різання - для подрібнення м'язової тканини і дотична складова – для подрібнення сполучної тканини.

Розглянутий на рис. 3 ніж не може забезпечити якісного подрібнення такого виду сировини, тому у цьому випадку більше підходить кутерний ніж з лезом у вигляді ламаної лінії, вписаної у криву другого порядку (рис. 7). Біля основи леза даного ножа переважає нормальна складова сили різання ($\alpha < 20^\circ$), а в кінцевій частині ножа діє дотична сила різання; ($\alpha < 50-60^\circ$).

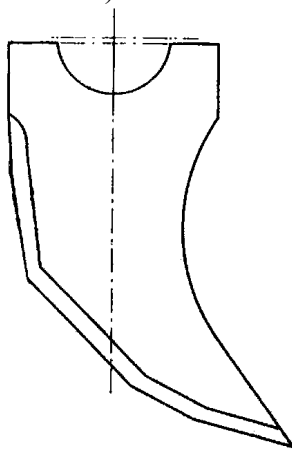


Рис.7. Ніж кутера з лінією леза у вигляді ламаної лінії

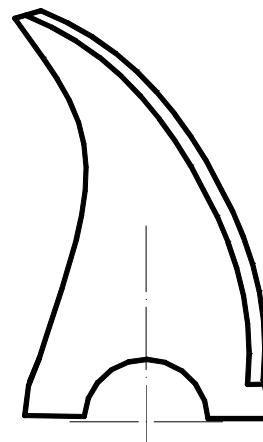


Рис.8. Ніж кутера з лінією леза у вигляді спіралі Архімеда

Також хорошим у цьому випадку буде ніж з лезом у вигляді спіралі Архімеда (рис. 8).

Архімедова спіраль – це крива, яка описується точкою, що рухається з постійною швидкістю по променю, який обертається навколо полюса з постійною кутовою швидкістю [4].

Рівняння кривої Архімеда у полярних координатах має вигляд [4]:

$$\rho = a \cdot \varphi, \quad (1)$$

де $a = \frac{v_n}{\omega}$ – постійна величина;

ρ – відстань від осі обертання до розглядуваної точки леза;

φ – кут повороту променя;

v_n – нормальна швидкість руху точки по променю, вона ж швидкість вклинювання леза в матеріал;

ω – кутова швидкість обертання променя.

Розглянемо, які показники будуть у леза, виконаного по спіралі Архімеда.

Тангенціальна швидкість будь-якої точки променя визначається з співвідношення [4]:

$$v_t = \omega \cdot \rho = \varphi \cdot v_n. \quad (2)$$

Відомо, що відношення тангенціальної швидкості v_t до швидкості вклинювання v_n в нашому випадку рівне k_c . Звідси:

$$k_c = \frac{v_t}{v_n} = \frac{\varphi \cdot v_n}{v_n} = \varphi.$$

Таким чином, нормальна швидкість буде постійною у будь-якій точці леза [4].

Для виробництва сирокочених ковбас також застосовується кутер, однак у цьому випадку при різанні діють: мінімальна нормальна і максимальна дотична сили різання. Для такого виду різання добре підходить кутерний ніж, що має лезо у вигляді сильно вигнутої лінії з кутом α , максимально наближеним до 90° (рис. 10). Найкраще у цьому випадку застосовувати ножі, виготовлені за логарифмічною спіраллю (рис. 11) [5].

Логарифмічна спіраль — це крива, яка перетинає всі промені, що виходять з однієї точки під одним і тим же кутом, який називається кутом зустрічі [4].

При використанні ножа з лезом у вигляді логарифмічної спіралі швидкість руху точки по променю пропорційна до довжини радіуса, причому при $\omega = \text{const}$ колова швидкість будь-якої точки леза теж пропорційна до радіуса [4]. Отже, коефіцієнт ковзання є постійною величиною і рівний:

$$k_c = \frac{v_t}{v_n} = \text{const}. \quad (3)$$

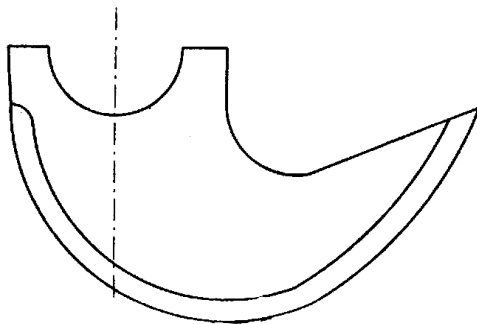


Рис.10. Ніж кутера з лінією леза у вигляді кривої другого порядку

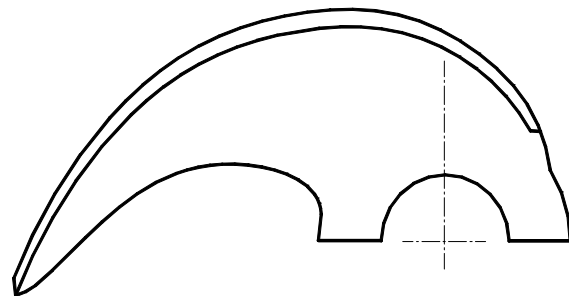


Рис.11. Ніж кутера з лінією леза у вигляді логарифмічної спіралі

Для готування в кутері емульсій із сирі свинячої шкіри рекомендується застосовувати ножі з зубчастою лінією леза, тому що міцність основного білка свинячої шкіри – колагену дуже висока. Спеціалістами підприємства “ДВА+К” (м. Воронеж, Росія) розроблений ніж, що подрібнює, як своєрідна пилка, у якого зуби «перепилюють» колагенові волокна, різко збільшуючи вологозв’язуючу здатність сировини (рис. 12). При подрібненні таким ножом консистенція подрібненої сировини нагадує кремону масу.

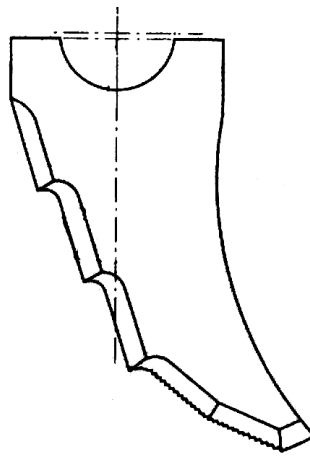


Рис.12. Кутерний ніж з лінією леза у вигляді зубцюватої лінії, розроблений науково-виробничим об'єднанням "ДВА+К" (м. Воронеж, Росія)

На основі дослідження математичної моделі процесу подрібнення м'ясної сировини у кутері за допомогою ЕОМ отримано графік залежності споживаної під час подрібнення потужності від форми різальної кромки ножа (рис.13). Як видно на рисунку13, мінімальні затрати потужності при різанні виникають, коли ріжуча кромка виконана по прямій з кутом ковзання, рівним 0 градусів. Тобто різання – рубаюче, без виникнення тангенціальної сили та швидкості. Однак таке різання не може задовольнити подрібнення м'яса, яке містить деяку кількість сполучної тканини. В такому випадку рекомендується використовувати ножі з ріжучою кромкою, виконаною за спіраллю Архімеда, оскільки при цьому споживання потужності не набагато більше, а якість подрібнення значно зростає. Прямі ножі доцільно використовувати, коли подрібнюється м'ясо вищого сорту з незначним вмістом сполучної тканини.

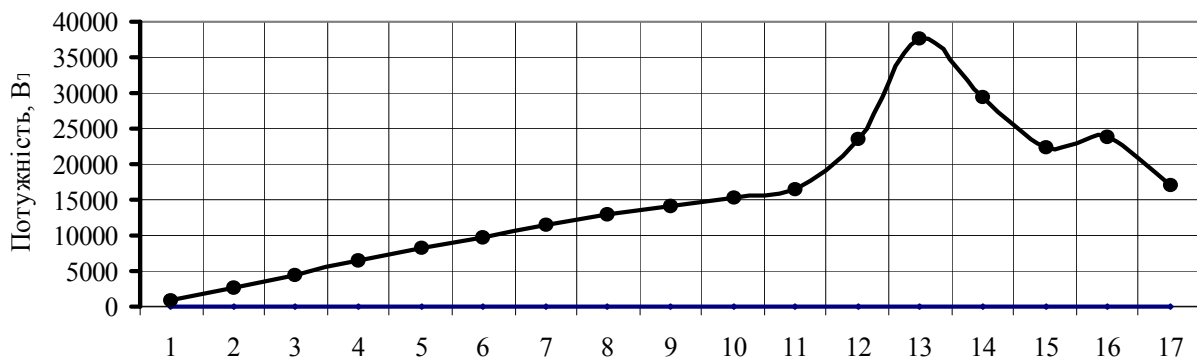


Рис.13. Залежність потужності, що затрачається на подрібнення м'ясної сировини для варених ковбас від форми різальної кромки ножа. 1-12 – прямі ножі (кут ковзання змінюється в межах від 0 до 20°); 13 – спіраль Архімеда; 14 – логарифмічна спіраль; 15 – евольвента; 16 – поєднання кривих спіраль Архімеда та логарифмічна спіраль; 17 – поєднання кривих спіраль Архімеда та логарифмічна спіраль і зменшена площа бічної поверхні ножа

Збільшення потужності на різання зі збільшенням кута ковзання можна пояснити зростанням довжини різальної кромки, тобто шляху різання, а також певними особливостями різних профілів ріжучих кромки. Найбільш вигідними з точки зору споживаної потужності і якості подрібнення є ножі 16, 17 (рис. 13), а зменшення площі бічної поверхні додатково зменшує споживання потужності на різання.

На рисунку 14 зображений ніж кутера з лінією леза у вигляді поєднання кривих спіраль Архімеда та логарифмічна спіраль, а на рисунку 15 – ніж кутера з лінією леза у вигляді поєднання кривих спіраль Архімеда та логарифмічна спіраль і зменшеною площею бічної поверхні ножа.

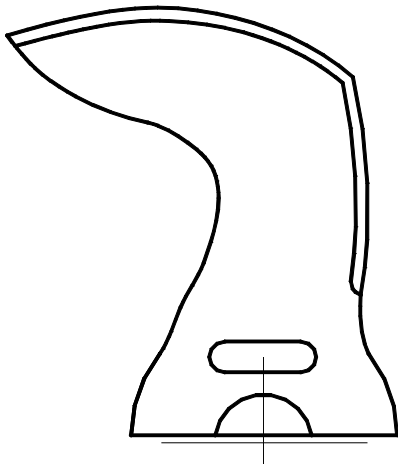


Рис.14. Ніж кутера з лінією леза у вигляді поєднання кривих спіраль Архімеда та логарифмічна спіраль

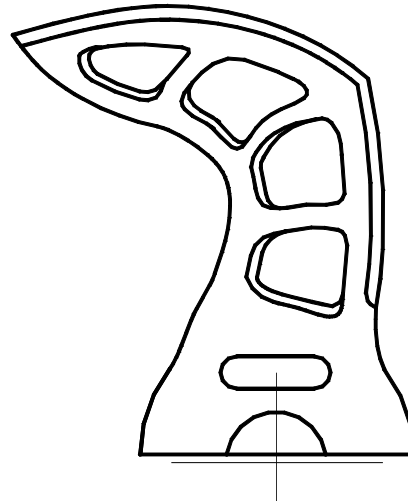


Рис.15. Ніж кутера з лінією леза у вигляді поєднання кривих спіраль Архімеда та логарифмічна спіраль та зменшена площа бічної поверхні ножа

Таким чином, при подрібненні у кутерах м'ясосировини різних сортів необхідний індивідуальний підхід до вибору ріжучого інструмента. Це може дати суттєву економію електроенергії і робочого часу на м'ясопереробних підприємствах, скоротити виробничі втрати і зменшити собівартість продукції в цілому.

Висновок

Виконавши аналіз впливу геометрії ножа на якість процесу подрібнення та енергоспоживання, можна зробити висновок, що застосовувати під час кутерування одні і ті ж ножі не рекомендовано, оскільки це призводить до погіршення якості продукції, зайвих енерговитрат і збільшення часу подрібнення сировини. Рекомендується підбирати ножі для процесу подрібнення в залежності від фізико-механічних властивостей сировини, яка підлягає обробленню в кутері. Це дасть суттєву економію енергії на підприємстві і покращить якість вихідного продукту. Найбільш перспективними з точки зору енергоспоживання та якості подрібнення є ножі з лінією леза виконаною у вигляді поєднання кривих спіраль Архімеда та логарифмічна спіраль і зменшеною площею бічної поверхні.

By means the computer the analysis of influencing geometrical parameters of knife is executed on the basis of comparison results of research expenses of energy at growing by the meet raw material knives of different constructions shallow. In the total conducted analysis the ground of choice of cutting instrument and modes of cutting is executed for cutters periodic action.

Література

1. Жаринов А.И. Основы современных технологий переработки мяса. Короткий курс, ч.1. – М.: Колос, 1994.
2. Дуда А.Н. Конструкция куттерных ножей влияет на качество измельчения фарша. М'ясная индустрия. – №10. – 2003.
3. Иванов В.И. и др. Новые режущие устройства куттеров. – М.: Колос, 1986.
4. Соколов В.Н. Конструирование оборудования пищевых производств.- М.: Пищевая промышленность, 1979-348с.
5. Пелеев А.Н. Технологическое оборудование предприятий мясной промышленности. – М.: Пищевая промышленность, 1971.-519с.

Одержано 12.05.2004 р.