*УДК 637.5.03*

# APPLICATION OF THE MANYBLADES TOOL FOR MILLING OF FROZEN MEAT BLOCKS

**I. Oshchypok**
*Lviv University Trade and Economic*

**Key words:**
meat,
blocks,
frozen,
cutting,
milling,
power

**Article history:**
Received 30.03.2018
Received in revised form 15.04.2018
Accepted 28.05.2018

**Corresponding author:**
him1960@ukr.net

**ABSTRACT**

The article deals with the most rational technological parameters of cutting frozen block meat of two species (beef and pork) with a multifarious instrument. The main focus of research is the study of the application of mills of different designs, as the working organ of the chopper. The obtained results can be used to calculate the specific energy consumption per unit area of the layer of meat that is removed simultaneously with cutting teeth cutters. The data of this calculation will allow to estimate the necessary power of the drive of the cutting tool of the milling machine intended for grinding blocks of frozen meat of industrial sizes and to determine the design parameters of mills.

The obtained results can be used to calculate the specific energy consumption per unit area of the layer of meat that is removed simultaneously with cutting teeth cutters. The data of this calculation will allow to estimate the necessary power of the drive of the cutting tool of the milling machine, intended for grinding blocks of frozen meat of industrial sizes, and to determine the design parameters of milling cutters.

It can be argued that the moment of resistance of the grinding, that is, the load on the cutter in operating mode, varies significantly by size. This is due to the considerable heterogeneity of the raw material. When changing the load on the cutter cutter in the operating mode changes the frequency of its rotation, which leads to an additional dispersion of linear dimensions of meat chips due to changes in the parameters of the cutting mode (feeding on the tooth cutters and cutting speed of raw materials). In view of this, it is necessary to ensure that the parameters of the cutting mode by means of the automatic control system (ACS) are stabilized by the grinding process in the working mode of the chopper. The structure of the ACS by the process of grinding the frozen meat raw with a mill with the use of a control computer is proposed in the work.

DOI: 10.24263/2225-2916-2018-23-14

# ЗАСТОСУВАННЯ БАГАТОЛЕЗНОГО ІНСТРУМЕНТУ ДЛЯ ПОДРІБНЕННЯ ЗАМОРОЖЕНИХ М'ЯСНИХ БЛОКІВ

**І.М. Ощипок, д-р техн. наук**
*Львівський торговельно-економічний університет*

*У статті розглянуто найбільш раціональні технологічні параметри різання замороженого блочного м'яса двох видів (яловичини і свинини) багатолезним*

© І.М. Ощипок, 2018

*інструментом. Основним напрямком досліджень вибрано вивчення застосування фрез різної конструкції як робочого органу подрібнювача. Оцінено технологічні й експлуатаційні характеристики оброблюваних матеріалів, визначено потужність і енерговитрати процесів обробки від умов фрезерування залежно від ряду факторів: площі дотику фрези до блоку м'яса, діаметра фрези, кількості зубів, кута нахилу зубів, подачі на зуб, кількості обертів, які зробила фреза з моменту початку різання, блоку м'яса, до досліджуваного моменту. Отримані результати можуть бути використані для розрахунку питомих енерговитрат, що припадають на одиницю площі шару м'яса, що знімається одночасно ріжучими зубами фрези. Запропоновано обґрунтовані технічні й технологічні рішення з оцінки ефективності та економічної доцільності прийнятних розв'язків у питанні подрібнення замороженого м'яса.*
***Ключові слова:*** *м'ясо, блоки, морожені, різання, фреза, потужність.*

**Постановка проблеми.** Технологічна підготовка нових і модернізація існуючих виробництв, розробка нового обладнання обумовлює необхідність прийняття обґрунтованих технічних і технологічних рішень з оцінки ефективності та економічної доцільності прийнятих розв'язків у питанні подрібнення замороженого м'яса. Це супроводжується виконанням великого обсягу організаційних і технічних робіт, в складі яких значне місце займають випробувальні і дослідні роботи, Процес подрібнення сировини є одним з найбільш енергоємних технологічних процесів м'ясної промисловості.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Подрібнення замороженого м'яса багатолезним інструментом має свої особливості і в повному обсязі ще не вивчено [1—3]. Зокрема, необхідно визначити енерговитрати на процес подрібнення замороженої м'ясної сировини фрезами й обґрунтувати параметри фрез залежно від умов їх роботи, тобто від умов фрезерування.

Заморожені блоки м'яса характеризуються суттєвою неоднорідністю за структурними і текстурними ознаками. Крім того, температура сировини перед подрібненням неоднакова в глибині блоку м'яса і на його поверхні. Ці фактори впливають на момент опору подрібнення як функції часу і, отже, на споживану потужність, мають стохастичний характер. У зв'язку з цим доцільно провести статистичний аналіз виміряних значень потужності, яку споживає привід механізму різання фрезерного подрібнювача [4—7].

Основним напрямком досліджень вибрано вивчення застосування фрез як робочого органу подрібнювача заморожених м'ясних блоків. Обґрунтовується такий вибір можна тим, що:

1) при подрібненні сировини фрезами площа контакту ріжучих крайок з м'ясом мінімальна порівняно з площею бічних поверхонь ножів кутера, тому можна забезпечити зниження енерговитрат на тертя й адгезію;

2) змінюючи параметри процесу подрібнення сировини методом фрезерування і застосовуючи змінні фрези різної конструкції і геометрії, можна впливати на формування розмірів частинок подрібненого м'яса, забезпечуючи заданий ступінь подрібнення сировини при підвищенні якості готових м'ясопродуктів;

3) переробляючи блоки замороженого м'яса промислових типорозмірів методом фрезерування в одну стадію, можна скоротити традиційний технологічний ланцюг переробки блочного м'яса (блокорізка–вовчок–кутер), що забезпечить ресурсозбереження та зниження витрат електроенергії в розрахунку на тонну вироблюваної продукції.

**Мета дослідження:** виявити найбільш раціональні технологічні параметри різання замороженого блочного м'яса багатолезним інструментом. Оцінка технологічних і експлуатаційних характеристик оброблюваних матеріалів; визначення потужності й енерговитрат процесів обробки від умов фрезерування, залежно від ряду факторів: площі дотику фрези до блоку м'яса, діаметра фрези, кількості зубів, кута нахилу зубів, подачі на зуб, кількості обертів, які зробила фреза з моменту початку різання, блоку м'яса, до досліджуваного моменту.

**Матеріали і методи.** Подрібнення різних експериментальних блоків замороженого м'яса двох видів (яловичина і свинина). Загальне число замірів потужності (обсяг вибірки) складає 36 значень. Згрупування статистичного ряду даних замірів споживаної потужності електродвигуном приводу механізму різання фрезою. Розрахунок щільності частоти за діапазонами значень споживаної потужності, чисельного розподілу влучень величини споживаної потужності електродвигуном приводу механізму різання фрези в обрані діапазони її значень, щільності і частоти розподілу потужності, споживаної електродвигуном приводу механізму різання установки з фрезою в робочому режимі за діапазонами її виміряних значень.

**Результати досліджень.** Розглянемо зміну площі поперечного січення стружки і дотичні зусилля різання, які відносяться до леза фрези залежно від умов її роботи, тобто від умов фрезерування. Площа поперечного січення стружки, яка знімається одночасно зубами фрези, залежить від ряду факторів: площі дотику фрези до блоку м'яса $S$, діаметра фрези $d$, кількості зубів $z$, кута нахилу зубів $\beta$, подачі на зуб $U_z$, кількості обертів $n$, які зробила фреза з моменту початку різання, блоку м'яса, до досліджуваного моменту.

Дослідимо роботу фрези з прямими зубами. При цьому товщина стружки, яку знімає один ніж, однакова по всій довжині леза і визначається залежністю:

$$E = U_z \cdot \sin\varphi, \tag{1}$$

де $E$ — товщина стружки, яку знімає ніж, м; $\varphi$ — миттєве значення кута контакту леза з блоком м'яса в діапазоні від 0 до 180°. У початковий період роботи кут $\varphi$ буде дорівнювати:

$$\varphi = 90 \pm \varphi_1, \tag{2}$$

де $\varphi_1 = arccos\dfrac{r - U_z n_z}{r}$; $r$ — радіус фрези, м.

Довжину стружки м'яса, яка знімається в період роботи фрези для $n$-го різця, визначимо із залежності:

$$b_n = 2\sqrt{S^2 - \left(S - U_z nz\right)^2}, \tag{3}$$

де $b_n$ — довжина стружки м'яса, м; $S$ — площа контакту фрези із замороженим блоком м'яса, м$^2$; $n$ — порядковий номер різця.

Площу поперечного січення, яка знімається за один раз лезом фрези, можна визначити як площу сегмента (перший раз) і в подальшому як площу зсіченого сегменту. Для спрощення розрахунків, з незначною втратою точності площі поперечного січення стружки, яка знімається, можна обчислити як площу трикутника (перший раз) і як площу трапеції (всі наступні різи) із залежності:

$$F_n = \frac{b_n + b_{n-1}}{2} U_z \sin\varphi = \left[\sqrt{S^2 - (S - U_z n_z)2} + \sqrt{S^2 - (S - U_z (n-1) z)^2}\right] U_z \sin\varphi, \quad (4)$$

де $F_n$ — площа поперечного січення, яка знімається за один раз лезом фрези, м$^2$.

Дотичне зусилля різання для цього випадку дорівнює:

$$P_n = F_n K_f, \quad (5)$$

де $P_n$ — дотичне зусилля різання замороженого блоку м'яса, Н; $K_f$ — питоме зусилля різання, Н/м$^2$.

У розглядуваному випадку фрезерування проходить як поздовжньо-торцеве різання м'яса, причому питомі зусилля різання суттєво залежать від кута зустрічі леза з волокнами м'яса. Питомі зусилля різання визначимо таким чином:

$$K_f = K_p cos^2\psi + K_n sin^2\psi, \quad (6)$$

де $K_p$ — питоме зусилля різання м'яса вздовж волокон, Н/м$^2$; $K_N$ — питоме зусилля різання м'яса перпендикулярно до волокон, Н/м$^2$; $\Psi = 90\text{-}\varphi$.

Підставивши значення $\psi$ в рівняння (6), отримаємо:

$$K_f = K_p sin^2\varphi + K_n cos^2\varphi. \quad (7)$$

Підставляючи тримані значення $F_n$ і $K_f$ у (5), отримаємо:

$$Pn = \left(\sqrt{S^2 - (S - U_z nz)^2} + \sqrt{S^2 - (S - U_z (n-1) z)^2}\right) \times \times U_z \sin\varphi * \left(K_p sin^2\varphi + K_n cos^2\varphi\right). \quad (8)$$

Дані вимірювань потужності [1—3] будемо розглядати як єдину статистичну вибірку даних. Це обумовлено тією обставиною, що статистичний аналіз споживаної потужності слід провести для всіх випадків експериментального подрібнення фрезою одного типу.

За отриманими експериментальними даними побудуємо гістограму чисельного розподілу влучень величини потужності, споживаної електродвигуном приводу механізму різання фрези, в обрані діапазони її значень (рис. 1).

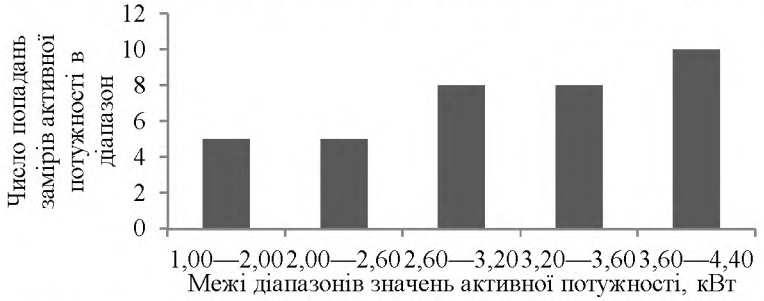


**Рис. 1. Гістограма чисельного розподілу влучень величини споживаної потужності електродвигуном приводу механізму різання фрези в обрані діапазони її значень**

Розрахуємо щільності частоти за діапазонами значень споживаної потужності.

Побудуємо гістограму щільності частоти розподілу потужності, споживаної в процесі подрібнення, в обрані діапазони її значень (рис. 2).

На відміну від гістограми чисельності розподілу влучень величини потужності в обрані діапазони її значень (рис. 1), тут ми отримуємо об'єктивну картину експериментального розподілу потужності як випадкової величини, усуваючи фактор суб'єктивного вибору границь діапазонів [5]. З огляду на гістограму, наведену на рис. 2, можна припустити, що закон розподілу потужності близький до закону Гаусса.

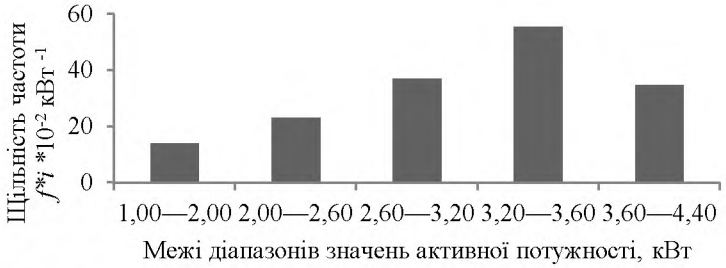


**Рис. 2. Гістограма щільності частоти розподілу потужності, споживаної електродвигуном приводу механізму різання установки з фрезою в робочому режимі за діапазонами її виміряних значень**

Оцінимо правдоподібність цієї гіпотези розрахунковим шляхом. Обчислимо оцінки числових характеристик дослідного розподілу потужності, споживаної в процесі подрібнення:

$$m^*_N = \sum_{i=1}^{k} N_{icp} * p_i^* = 3,07\,(кВт), \tag{9}$$

де $m^*_N$ — оцінка математичного очікування дослідного розподілу; $N_{icp}$ — середнє значення потужності в і-му діапазоні; $p_i^*$ — частота потрапляння в $i$-й діапазон; $k$ — число діапазонів.

$$\sigma^*_N = \sqrt{D_N^*} = \sqrt{a_2 - \left(m_N^*\right)^2} = 0,789\,(\text{кВт}), \tag{10}$$

де $\sigma^*_N$ — оцінка середнього квадратичного відхилення дослідного розподілу; $D^*_N$ — оцінка дисперсії дослідного розподілу; $\alpha_2$ — початковий момент другого порядку дослідного розподілу споживаної потужності в процесі подрібнення.

Висунемо гіпотезу, що дослідний статистичний розподіл споживаної потужності електродвигуном приводу механізму різання подрібнювача з фрезою підпорядковується нормальному закону з обчисленими вище параметрами:

$$f(a) = \left[\frac{1}{\sigma\sqrt{2\Pi}}\right] exp\left[-\frac{\left(a - m^2\right)}{\left(2*\sigma^2\right)}\right] = \left[\frac{1}{\left(0,789*\sqrt{2\Pi}\right)}\right] * exp\left[-\left(a - 3,07^2\right)/\left(2*0,622\right)\right]. \tag{11}$$

Перевірку правдоподібності висунутої гіпотези здійснимо, використовуючи критерій Пірсона. У табл. 3 наведені ймовірності попадання потужності в діапазони її значень, обчислені по гіпотетичному розподілу.

*Таблиця 3.* **Імовірність попадання значень потужності за гіпотетичним розподілом в обраному діапазоні**

| Межі діапазону значень потужності, кВт | 1,00—2,00 | 2,00—2,60 | 2,60—3,20 | 3,20—3,60 | 3,60—4,40 |
|---|---|---|---|---|---|
| Імовірність | 0,0824 | 0,1873 | 0,2933 | 0,1811 | 0,2059 |

Обчислимо значення критерію Пірсона:

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^{k} \frac{\left(n_i - n \cdot p_i\right)^2}{\left(n \cdot p_i\right)} \cong 3,70, \qquad (12)$$

де $i$ — номер діапазону значень потужності; $k$ — число діапазонів; число значень потужності в $i$-му діапазоні; $n$ — число вимірювань $n$ = 36, $\Sigma n_i = n$; $p_i$ — імовірність попадання значення потужності по гіпотетичного розподілу в $i$-й діапазон.

Табличне значення критерію Пірсона для рівня значущості 0,1 при трьох незалежних умовах і числі ступенів свободи одне: $r = k - 3 = 5 - 3 = 2$ [8]: $\chi^2_{табл} = 4,60$. Тож при прийнятих умовах розраховане значення критерію Пірсона менше за табличне значення (3,70 < 4,60). Отже, гіпотезу про нормальний розподіл активної потужності, споживаної електродвигуном приводу механізму різання подрібнювача з фрезою в процесі подрібнення як випадкової величини, можна вважати такою, що не суперечить дослідним даним.

Результати обчислень дають змогу припустити на підставі центральної граничної теореми, що стохастичні фактори (неоднорідність сировини по текстурних і структурних ознаках, зміни температури сировини в об'ємі блоку м'яса) мають рівнозначний вплив на енерговитрати процесу подрібнення блочного замороженого м'яса за методом фрезерування.

**Висновки**. Отримані результати можуть бути використані для розрахунку питомих енерговитрат, що припадають на одиницю площі шару м'яса, що знімається одночасно ріжучими зубами фрези. Дані цього розрахунку дають змогу оцінити потрібну потужність привода ріжучого механізму фрезерної машини, призначеної для подрібнення блоків замороженого м'яса промислових типорозмірів, і визначити конструктивні параметри фрез.

Можна стверджувати, що момент опору подрібнення, тобто навантаження на фрезу в робочому режимі, істотно змінюється за величиною. Це пояснюється значною неоднорідністю вихідної сировини. При зміні навантаження на фрезу подрібнювача в робочому режимі змінюється частота її обертання, що призводить до додаткової дисперсії лінійних розмірів м'ясної стружки в зв'язку зі зміною параметрів режиму різання (подачі на зуб фрези і швидкості різання сировини). З огляду на це слід забезпечити стабілізацію параметрів режиму різання засобами системи автоматичного управління (САУ) процесом подрібнення в робочому режимі подрібнювача. Структура САУ процесом подрібнення замороженого м'ясної сировини фрезою з використанням керуючої обчислювальної машини запропонована в статті.

***ЛІТЕРАТУРА***

1. *Ивашов В.И.* Современная практика переработки замороженного мясного сырья. [Текст] // В.И. Ивашов, А.Н. Захаров, А.Б. Лисицын, Б.Р. Каповский, О.Е. Кожевникова // Все о мясе. — 2014, — № 2. — С. 24—29.

2. *Лисицын А.Б.* Измельчение замороженного блочного мяса методом фрезерования [Текст] / А.Б. Лисицын, В.И. Ивашов, А.Н. Захаров, Б.Р. Каповский, Д.А. Максимов // Всё о мясе. — 2013. — № 4. — С.42—48.

3. *Лисицын А.Б.* Интеллектуальная система управления качеством мясных фаршей [Текст] / А.Б. Лисицын, В.И. Ивашов, А.Н. Захаров, Б.Р. Каповский, О.Е. Кожевникова // Всё о мясе. — 2013. — № 6. — С. 32—38.

4. *Белов, М.П.* Автоматизированный електропривод типовых производственных механизмов и технологических комплексов / М.П. Белов, В.А. Новиков, Л.Н. Рассудов. — Москва : Издательский центр «Академия», 2004. — 576 с.

5. *Максимов, Д.А.* Автоматическое управление процессом тонкого измельчения мясного сырья [Текст] / Д.А. Максимов, Б.Р. Каповский, А.Н. Захаров // Мясная индустрия. — 2013. — № 1. — С. 42—46.

6. Aktuelles aus der Fleischforschung Kurzfassungen der Fachvortzge von der 49 Kulmbacher Wochevom 6. bis. 8 // Fleischwirtschaft. — 2014. — № 6. — S. 84.

# ПРИМЕНЕНИЕ МНОГОЛЕЗВИЙНОГО ИНСТРУМЕНТА ДЛЯ ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ ЗАМОРОЖЕННЫХ МЯСНЫХ БЛОКОВ

**И.Н. Ощипок**
*Львовский торгово-экономический университет*

*В статье рассмотрены наиболее рациональные технологические параметры резки замороженного блочного мяса двух видов (говядины и свинины) многолезвийным инструментом. Основным направлением исследований выбрано изучение применения фрез различной конструкции как рабочего органа измельчителя. Оценены технологические и эксплуатационные характеристики обрабатываемых материалов, определена мощность и энергозатраты процессов обработки; от условий фрезерования в зависимости от ряда факторов: площади соприкосновения фрезы о блок мяса, диаметра фрезы, количества зубов, угла наклона зубьев, подачи на зуб, количества оборотов, которые сделала фреза с момента начала резки, блока мяса, к исследуемому моменту. Полученные результаты могут быть использованы для расчета удельных энергозатрат, приходящихся на единицу площади слоя мяса снимаемого одновременно режущими зубьями фрезы. Приняты обоснованные технические и технологические решения по оценке эффективности и экономической целесообразности приемлемых решений в вопросе измельчения замороженного мяса.*

***Ключевые слова:*** *мясо, блоки, мороженые, резки, фреза, мощность.*