

УДК 641.512.06

Заплетніков І.М., д-р техн. наук, проф.,
Пільненко А.К., канд. техн. наук

Донецький національний університет економіки
і торгівлі імені Михайла Туган-Барановського,
м. Донецьк, Україна, e-mail: pilnenko_a@mail.ru

ДОСЛІДЖЕННЯ ВЗАЄМОДІЇ ПРОДУКТУ З ОПОРНОЮ ПОВЕРХНЕЮ СТОЛУ МАШИНИ ДЛЯ НАРІЗАННЯ ГАСТРОНОМІЧНИХ ПРОДУКТІВ

Zapletnikov I.N., Dr. Sc. (Tech.), Prof.,
Pilnenko A.K., Cand. Sc. (Tech.)

Donetsk National University of Economics and Trade
named after Mykhailo Tugan-Baranovsky, Donetsk,
Ukraine, e-mail: pilnenko_a@mail.ru

STUDY OF INTERACTION THE PRODUCT WITH THE SURFACE OF CUTTING MACHINES GASTRONOMIC PRODUCTS

***Мета.** Удосконалення й оптимізація конструктивних параметрів машин для нарізання гастрономічних продуктів для покращення якості продукту та підвищення продуктивності.*

***Методика.** У роботі використовується сучасна методика проведення експериментального дослідження, а також математична обробка результатів за допомогою сучасних комп'ютерних програм. Аналіз, обробка й узагальнення експериментальних даних здійснювались із застосуванням методів теорії ймовірності та математичної статистики з використанням інформаційних технологій.*

***Результати.** Було розроблено методику проведення експериментального дослідження та стенд для визначення коефіцієнта тертя харчових продуктів. Отримано функціональні залежності коефіцієнта тертя гастрономічних продуктів від нормального тиску продукту з опорною поверхнею машини. Запропоновано вдосконалення конструктивних параметрів машин для нарізання гастрономічних продуктів для покращення якості нарізання продукту та підвищення продуктивності.*

***Наукова новизна.** Експериментально підтверджені результати аналітичних досліджень машин для нарізання гастрономічних продуктів.*

***Практична значущість.** Розроблено рекомендації щодо вдосконалення конструкції машин для нарізання гастрономічних продуктів. Результати дослідження були використані під час модернізації та проектування нової конструкції машини для нарізання гастрономічних продуктів. Інженерні рішення впроваджені на підприємствах.*

***Ключові слова:** коефіцієнт тертя, гастрономічні продукти, машина для нарізання гастрономічних продуктів, опорний стіл.*

Постановка проблеми в загальному вигляді та зв'язок із найважливішими науковими чи практичними завданнями. У зв'язку із зростанням цін на енергоносії значно збільшився попит і намітився перехід на ресурсозберігаючі технології та обладнання. Найважливішою тенденцією подальшого прогресу сучасної м'ясопереробної і молочної промисловості є зниження енерговитрат у процесі різання харчових продуктів.

Різання, як один із технологічних процесів обробки харчових продуктів, широко застосовується в різних галузях харчової, м'ясної, рибної, комбікормової промисловості.

На сьогодні одним із відповідальних процесів, застосовуваних на підприємствах харчування і торгівлі, є нарізання гастрономічних продуктів. Безперечним є той факт, що під час нарізання продукту виходить значна частина некондиційних частинок і якість різання не завжди задовольняє потребам підприємства. Це відбувається внаслідок того, що для здійснення цього процесу використовується не завжди досконале обладнання.

Аналіз останніх досліджень і публікацій, у яких започатковано розв'язання цієї проблеми та на які спирається автор, визначення невирішених раніше проблем, яким присвячується подана стаття.

Дослідженнями процесу різання харчових продуктів займалися такі вчені, як О.Н. Даурський, Ю.О. Мачихін, М.Є. Резник, В.М. Хромеєнков, М.М. Клименко, В.І. Карпов, В.В. Дуб, В.С. Гуць, І.М. Лебедев. Основними напрямками їх робіт було виявлення основних закономірностей процесу різання харчових продуктів і розробка практичних рекомендацій щодо вибору раціональних параметрів роботи різальних машин.

Зовнішнє тертя відіграє істотну роль у процесах, у яких відбувається прямий контакт продукту з поверхнею машин і робочих органів. Знання коефіцієнтів тертя продукту дозволяють визначити опору руху робочих органів, а також здійснювати розрахунок і конструювання механізмів подачі продукту.

Велика кількість наукових робіт, присвячених цій проблемі, свідчить про значущість і впливу тертя на основну частину всіх енергетичних витрат процесу різання.

Формування цілей статті (постановка завдання). Мета статті – вдосконалення й оптимізація конструктивних параметрів машин для нарізання гастрономічних продуктів з метою покращення якості продукту та підвищення продуктивності.

Виклад основного матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів.

Продукти, що піддаються різанню, мають різноманітні фізико-механічні властивості. Залежно від реологічних властивостей продуктів обирають спосіб різання, вид різального інструмента, швидкості різання та подачі продукту.

Праця багатьох дослідників [1-3] дозволила виявити фізико-механічні характеристики подрібнювальної сировини, визначити найбільш загальні закономірності процесу різання та розробити деякі практичні рекомендації щодо вибору оптимальних параметрів технологічних машин. Однак розроблялися вони головним чином для обробки одного або кількох споріднених за властивостями харчових продуктів. У багатьох роботах з теорії різання лезом є ряд суперечностей, протиріч.

Аналіз літератури показав, що немає впливу поверхневих властивостей гастрономічних продуктів (коефіцієнта тертя) на процес різання дисковим ножом за умови коливального способу подачі продукту.

Більшість досліджень вказують на те, що на значення коефіцієнта тертя впливають такі параметри [1]: матеріал поверхні ножа; шорсткість поверхні ножа; питомий тиск на поверхню контакту; для коефіцієнта тертя спокою тривалість контакту; для коефіцієнта тертя руху – швидкість ковзання та характер

взаємного переміщення (ковзання, кочення, обертання); температура поверхні контакту; площа контакту.

Дослідниками [1-3] визначено, що втрати енергії на тертя об різальний інструмент становлять від 20% до 70% від загальної кількості енергії. Дослідники рекомендують значення коефіцієнта корисної дії ножа $\eta = 0,35 \dots 0,45$. Таким чином вони припускають, що витрати на тертя продукту об поверхню ножа перевищують витрати на подрібнення продукту. Аналіз наукових праць свідчить про необхідність правильного обліку сили тертя під час розрахунку машин.

Для малих швидкостей тертя реалізується прямолінійне зміщення поверхні. І.В. Крагельський розподілив відомі методи визначення коефіцієнта тертя на чотири групи, поклавши в основу геометричний і кінематичний принципи.

Ураховуючи вищевикладене, було розроблено методика проведення експериментального дослідження та стенд для визначення коефіцієнта тертя, що відображено на рисунку 1. Стенд є опорною поверхнею 1 і встановлений з одного кінця в шарнірі 2, а другий кінець фіксується на вертикальній опорі 3. На останній 3 закріплено вимірювальну шкалу 4 для кріплення кінця опорної поверхні.

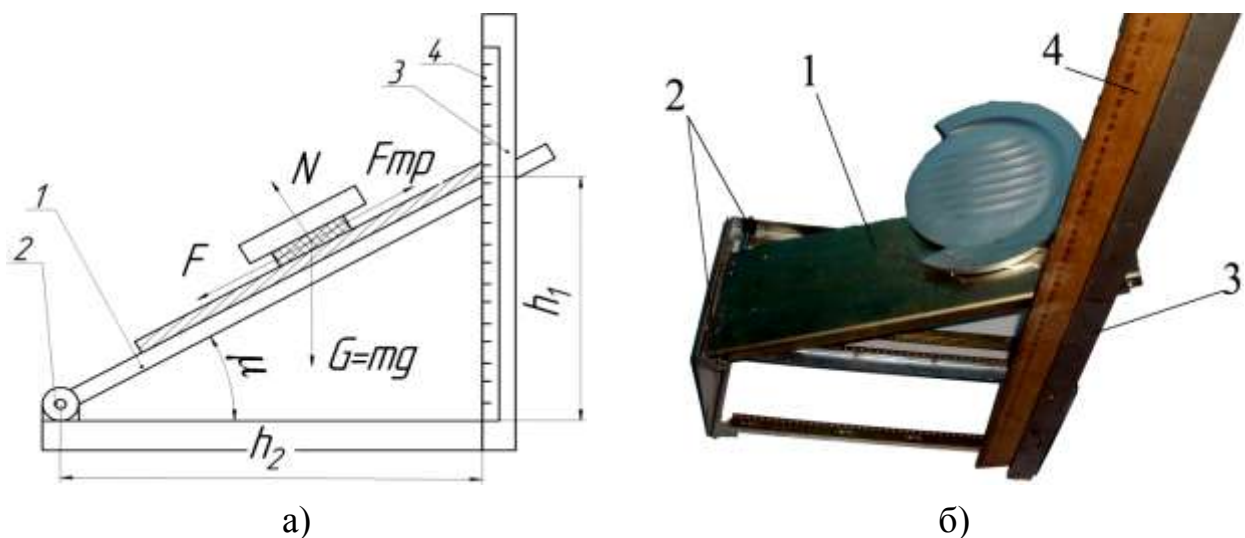


Рисунок 1 – Схема і загальний вигляд стенда для визначення коефіцієнта тертя

У ході визначення коефіцієнта тертя було розглянуто випадок, коли сила тертя дорівнює:

$$F_{\delta\delta} = N \cdot \mu_{\delta\delta} = mg \cdot \tan(\mu), \quad (1)$$

де μ_{mp} – коефіцієнт тертя; $\mu_{mp} = \tan(\mu)$.

Продукт контактував з різальною поверхнею короткий час, тому температура на поверхні контакту була постійною. Поверхню конструкції машини зроблено з нержавіючої сталі 12Х18Н, що дозволило виключити вплив природи інших матеріалів на коефіцієнт тертя продукту.

Тиск контакту N продукту на досліджувану поверхню в ході експериментальних досліджень змінював від 400 до 2000 Па. Продукт був прямокутної форми, однакового обсягу: висота $3 \cdot 10^{-3}$ м, ширина – $7 \cdot 10^{-3}$ м, довжина – $7 \cdot 10^{-3}$ м. Площа дотику продукту з поверхнею тертя в усіх дослідках була постійною та дорівнювала $S_{np} = 0,005 \text{ м}^2$. Для кожного продукту кількість дослідів становила $n = 8$.

Таблиця 1 – Коефіцієнт тертя гастрономії від тиску контакту

Продукт	Тиск контакту, Н/м ²		
	400	1000	2000
Докторська ковбаса	1,2	0,85	0,48
Ковбаса «Сервелат»	0,98	0,53	0,36
Сирокопчена ковбаса	0,83	0,7	0,52
Сир «Пармезан»	0,94	0,68	0,55
Сир «Російський»	0,76	0,55	0,35
Сир «Вершковий»	0,68	0,52	0,4

З таблиці 1 видно, що зі збільшенням тиску контакту коефіцієнт тертя зменшується в результаті меншого впливу липкості продукту. Коефіцієнти статичного тертя більші за динамічні для всіх продуктів. Коли продукт рухається по вологій поверхні, то коефіцієнти тертя менші, ніж під час руху по сухій поверхні.

Отримані в результаті дослідження коефіцієнти тертя подані у вигляді гістограми та графічних залежностей, які характеризують вплив на коефіцієнт тертя нормального тиску продукту, що відображено на рисунках 2-4 [4].

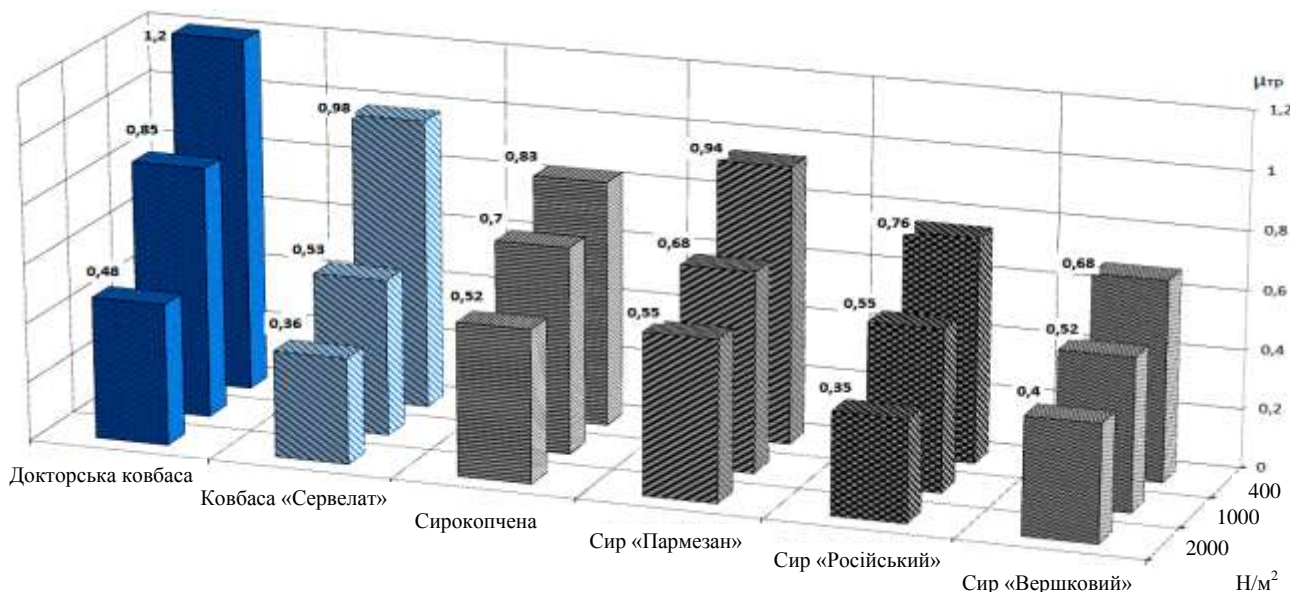


Рисунок 2 – Гістограма коефіцієнта тертя $\mu_{np} = f(N)$ гастрономічних продуктів

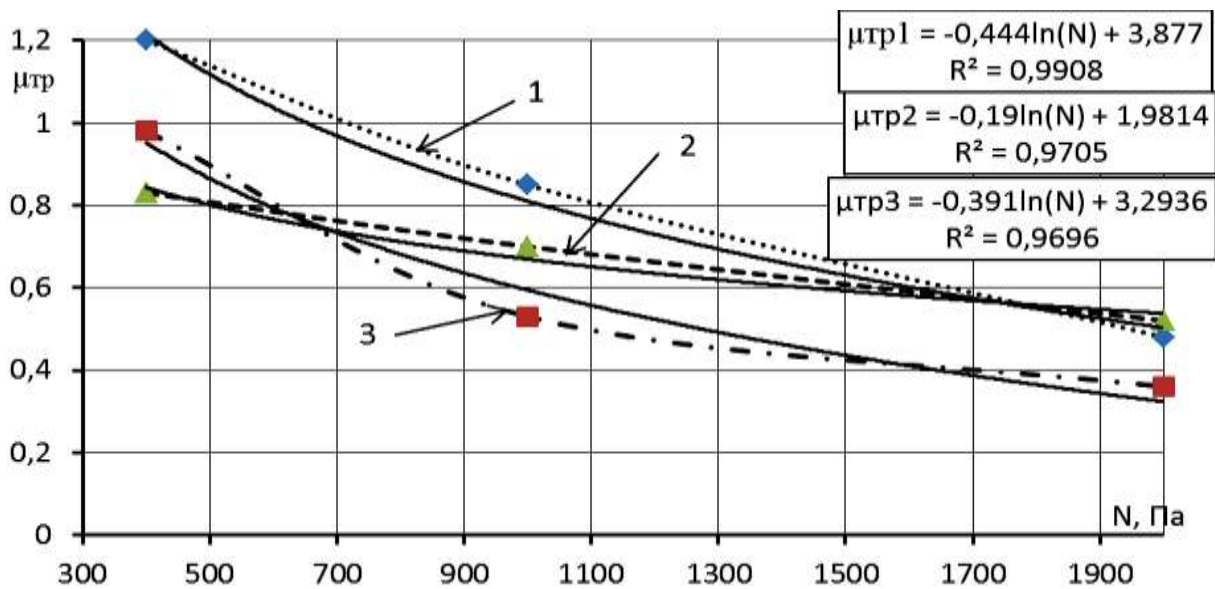


Рисунок 3 – Графік залежності коефіцієнта тертя $\mu_{тр}$ ковбасних виробів від нормального тиску контакту N продукту

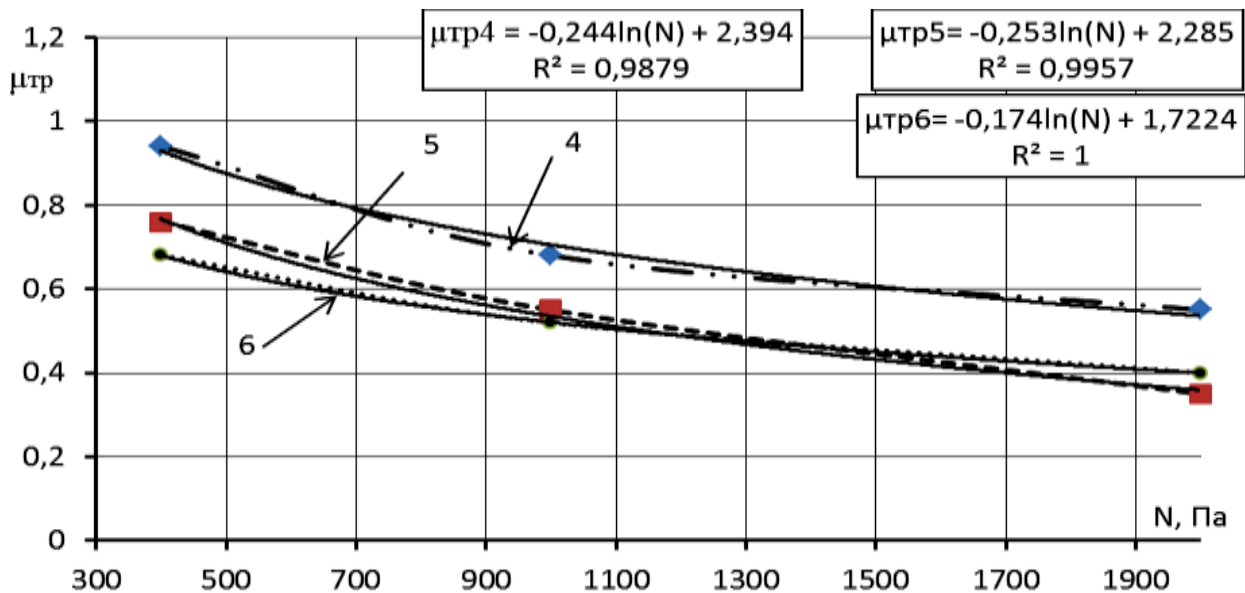


Рисунок 4 – Графік залежності коефіцієнта тертя $\mu_{тр}$ сирів від нормального тиску контакту N продукту

Для ковбасних виробів отримані такі коефіцієнти сухого тертя: варені ковбаси – 1,2; напівкопчені ковбаси – 0,98; сирокпчені ковбаси – 0,83. Згідно з рисунком 2, для сирів коефіцієнти тертя є такими: «Пармезан» – 0,68; «Російський» – 0,766; «Вершковий» – 0,94. Зі збільшенням тиску контакту ковбасних виробів на поверхню в 5 разів, коефіцієнт тертя зменшується в 1,5-2,5 разу. Якщо тиск контакту сирної продукції підвищується в 5 разів, коефіцієнт тертя зменшується в 1,7-2 рази [3; 4].

На основі експериментальних результатів були отримані функціональні залежності коефіцієнта тертя від нормального тиску, що відображено на рисунках 3, 4.

Лінія 1 – це залежність $\mu_{mp1} = f(N)$ докторської ковбаси, лінія 2 – залежність $\mu_{mp2} = f(N)$ ковбаси «Сервелат», лінія 3 – залежність $\mu_{mp3} = f(N)$ сирокоченої ковбаси, лінія 4 залежність $\mu_{mp4} = f(N)$ сиру «Пармезан», лінія 5 залежність $\mu_{mp5} = f(N)$ сиру «Російський» і лінія 6 залежність $\mu_{mp6} = f(N)$ сиру «Вершковий». Отримані дані показують логарифмічну залежність коефіцієнта тертя від нормального тиску продукту на поверхню [4].

Графічні залежності, подані на рисунках 3,4 апроксимуються логарифмічними рівняннями:

$$\begin{aligned} 1. \mu_{mp1} &= -0,444 \cdot \ln(N) + 3,87; R^2 = 0,99. & 4. \mu_{mp4} &= -0,244 \cdot \ln(N) + 2,39; R^2 = 0,98. \\ 2. \mu_{mp2} &= -0,19 \cdot \ln(N) + 1,98; R^2 = 0,97. & 5. \mu_{mp5} &= -0,253 \cdot \ln(N) + 2,28; R^2 = 0,99. & (2) \\ 3. \mu_{mp3} &= -0,391 \cdot \ln(N) + 3,29; R^2 = 0,97. & 6. \mu_{mp6} &= -0,174 \cdot \ln(N) + 1,72; R^2 = 1. \end{aligned}$$

Залежності коефіцієнта тертя $\mu_{mp} = f(N)$ дозволяють визначити опору руху робочих органів, а також здійснювати розрахунок і конструювання машин. Знання фрикційних властивостей продукту дозволяє правильно обирати конструктивні та кінематичні схеми механізмів і машин.

Таким чином, різноманіття в харчовій промисловості видів різання та інструменту пояснюється властивостями оброблюваних харчових продуктів, які змінюються в широкому діапазоні. Тому вибір раціональних режимів різання залежить від структурно-механічних властивостей оброблюваного продукту з урахуванням технологічних факторів.

Для здійснення різання необхідне відносне переміщення ножа та продукту: продукт є нерухомим а рухається ніж, на ніж подається продукт або рух обох цих тіл [2; 3].

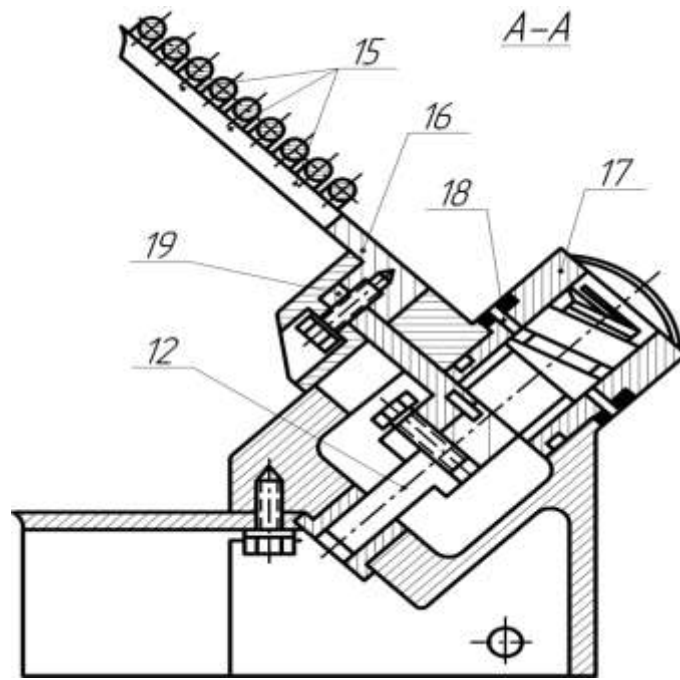
На ринку України найбільш поширені конструкції машин для різання гастрономічних продуктів, що складаються з обертового дискового ножа, опорного столу, механізму подачі та регулювання товщини різання.

Особливість принципу дії машини полягає в тому, що продукт рухається по опорній поверхні машини на обертовий дисковий ніж, який закріплений у корпусі машини.

Для усунення некондиційних відрізаних шматочків, значного тертя та налипання продукту на поверхню опорного столу, зминання продукту під час подачі на дисковий ніж було запропоновано вдосконалити поверхню опорного столу машини, по якому ковзає продукт.

Запропоновано поверхню опорного столу виконати з окремих прутків, розташованих на однаковій відстані один від одного. По довжині прутки зігнуті, радіус кривини прутків – від центру коливального руху шатуна подачі продукту, що відображено на рисунку 5. Це забезпечить мінімальну площу контакту продукту, силу тертя з поверхнею опорного столу, усуває налипання та зминання продукту [5].

На рисунку 5 зображено розріз по А-А, згідно з рисунком 5, на рисунку 6 – модернізований опорний стіл.



12 – напрямна; 15 – прутки опорного столу; 16 – каркас опорного столу; 17 – втулка рукоятки; 18 – штифт; 19 – кронштейн.

Рисунок 5 – Механізм регулювання товщини нарізання та кріплення опорного столу

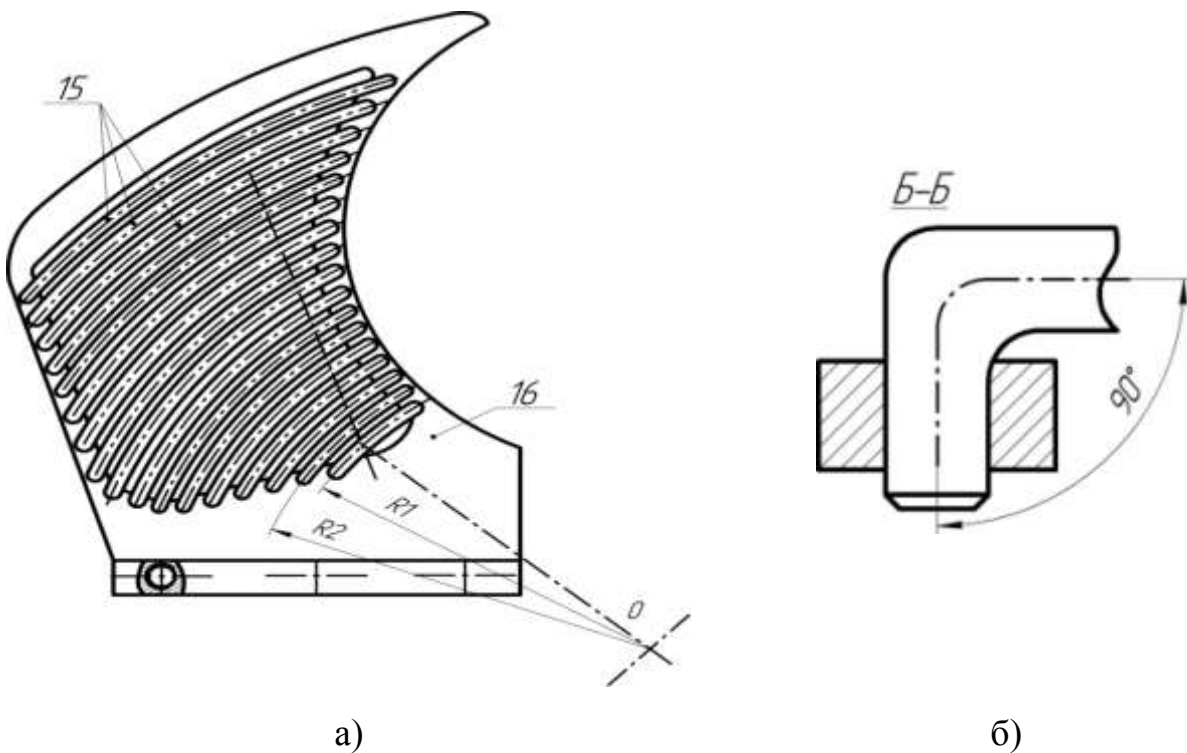


Рисунок 6 – Модернізований опорний стіл (а) машини для нарізання гастрономії та кріплення прутків (б) до опорного столу

Прутки мають круглу форму перетину, відстань між прутками 15 є однаковою, що не дозволяє деформувати продукт. Кінці прутків зігнуті під кутом 90° і запресовані в отвори каркасу опорного столу 16, що відображено на рисунку 6, б.

Важіль подачі 8 із завантажувальним лотком і продуктом направляє продукт на обертовий дисковий ніж. Продукт під власною вагою притискається до прутків 15 опорного столу 10 і ковзає.

Площа зіткнення продукту з поверхнею опорного столу й сила тертя знижена в 5 разів. Немає налипання, зминання продукту та некондиційні відрізані шматочки.

Інженерні рішення впроваджені на двох підприємствах м. Донецька ТОВ «Ремпромтех» і ПП «Укрпрогрес».

Висновки із зазначених проблем і перспективи подальших досліджень у цьому напрямку. Правильний облік усіх факторів, що впливають на енерговитрати під час різання, мають вирішальне значення в розробці конструкції різальних машин, а знання причин підвищення або зниження енерговитрат дозволяє уникнути помилок у проектуванні таких машин.

Перспективами подальших досліджень є розширення номенклатури продуктів, що нарізають на машинах для нарізання гастрономічних продуктів.

Список літератури / References:

1. Горбатов А.В. Приборы для измерения коэффициента внешнего трения мясо-продуктов / А.В. Горбатов, А.В. Пелеев, Н.Е. Федоров. – М., 1964. – № 11. – С. 85-90.
Gorbatov, A.V., Peleev, A.V. and Fedorov, N.E. (1964), “Instruments for measuring the coefficient of friction of meat products”, *Pishchevaya promishlennost*, Vol. 11, pp. 85-90.
2. Косой В.Д. Инженерная реология в производстве колбас / В.Д. Косой, А.Д. Малышев, С.Б. Юдина. – М.: Колос, 2005. – 264 с.
Kosoi, V.D., Malyshev, A.D. and Yudina, S.B. (2005), *Inzhenernaya reologiya v proizvodstve kolbas* [Engineering rheology in the production of sausages], Kolos, Moscow, Russia, 264 p.
3. Арет В.А. Физико-механические свойства сырья и готовой продукции / В.А. Арет, Б.Л. Николаев. – СПб.: ГИОРД, 2009. – 448 с.
Aret, V.A. and Nikolaev, B.L. (2009), *Fiziko-mekhanicheskiye svoystva syrya i gotovoy produktsii* [The physical and mechanical properties of raw materials and finished products], St.-Petersburg, GIORD, Russia, 448 p.
4. Пільненко А.К. Дослідження впливу фізико-механічних властивостей гастрономічних продуктів на процес нарізання / А.К. Пільненко // Обладнання та технології харчових виробництв. – 2008. – Вип. 19. – С. 57-62.
Pilnenko, A.K. (2008), “Research of influence of physical and mechanical properties of gastronomic products in the process of cutting”, *Obladnannia ta tekhnologii kharchovykh vyrobnytsv*, Vol. 19, pp. 57-62.

5. Пат. № 78597 Україна, МПК (2006.01) B26D1/153. Машина для нарізання харчових продуктів / І.М. Заплетніков, А.К. Пільненко. – № u201210753; заявл. 13.09.12; опубл. 25.03.13, Бюл. № 6.

Pat. № 78597 Ukraine, МПК (2006.01) B26D1/153, Machine for cutting food products / I.M. Zapletnikov, A.K. Pilnenko, u201210753; zaiavl. 13.09.12, opubl. 25.03.13, Biul. № 6.

Цель. Совершенствование и оптимизация конструктивных параметров машин для нарезания гастрономических продуктов для улучшения качества нарезаемого продукта и увеличение производительности.

Методика. В работе используется современная методика проведения экспериментального исследования, а также математическая обработка полученных результатов, с помощью современных компьютерных программ. Анализ, обработка и обобщение экспериментальных данных осуществлялись с применением методов теории вероятностей и математической статистики с использованием информационных технологий.

Результаты. Была разработана методика проведения экспериментального исследования и стенд для определения коэффициента трения пищевых продуктов. Получены функциональные зависимости коэффициента трения гастрономических продуктов от нормального давления продукта с опорной поверхностью машины. Предложено совершенствование конструктивных параметров машин для нарезания гастрономических продуктов для улучшения качества нарезаемого продукта и увеличение производительности.

Научная новизна. Экспериментально подтверждены инженерные рекомендации усовершенствования конструкции машин для нарезания гастрономических продуктов.

Практическая значимость. Разработаны рекомендации по совершенствованию конструкции машин для нарезания гастрономических продуктов. Результаты исследования были использованы при модернизации и проектировании новой конструкции машины для нарезания гастрономических продуктов. Инженерные решения внедрены на предприятиях.

Ключевые слова: коэффициент трения, гастрономические продукты, машина для нарезания гастрономических продуктов, опорный стол.

Objective. Improvement and optimization of design parameters of for cutting machines gastronomic products to improve product quality and increase productivity.

Methods. In work the modern methods of experimental research, as well as the mathematical treatment of the results, with sophisticated computer programs. Analysis, processing and generalization of experimental data carried out using the methods of probability theory and mathematical statistics using information technology.

Results. Has developed a methodology of the study and booth to determine the coefficient friction of food. Received functional dependence of the coefficient friction of gastronomic products from the normal pressure of the product with the support surface of the machine. Proposed improvement of design parameters of for cutting machines gastronomic products to improve product quality and increase productivity.

Scientific novelty. Experimentally confirmed engineering advice for improving the design of machines cutting of gastronomic products.

Practical value. The recommendations for improving the design of machines for cutting of gastronomic products. Results of the study were used for modernization and new construction design machine for cutting of gastronomic products.

Key words: coefficient of friction, gastronomic foods, machine for cutting gastronomic products, surface of the machine.

Рекомендовано до публікації д-ром техн. наук,
проф. Михайловим О.М.
Дата надходження рукопису 22.11.2013 р.