

Секция 1: Переработка и хранение сельскохозяйственной продукции

равномерного развития рисунка. После бродительной камеры сыр возвращают в холодную камеру на 2 дня до конца созревания.

В работе оценивали влияние степени разбавления сыворотки с целью снижения концентрации молочного сахара и уровня активной кислотности в сыре после прессования. В работе сравнивали три варианта разбавления сыворотки технологической водой: удаление 40% сыворотки и внесение 10% воды (сыр вариант KN1), 20% воды (сыр вариант KN2), 30% воды (сыр вариант KN3). Влияние количества добавленной воды на органолептические показатели сыров приведено в табл. 1.

Влияние количества добавленной воды на физико-химические показатели сыров приведено в табл. 2.

Таблица 2 – Влияние количества добавленной воды на физико-химические показатели сыров

Вариант сыра	Массовая доля жира в сухом веществе, %	Массовая доля влаги после прессования, %	Массовая доля влаги в готовом сыре, %	Массовая доля соли, %	pH сыра после прессования	pH готового сыра
KN1	44,5	48,4	44,9	1,5	4,9	4,8
KN2	44,9	47,6	43,5	1,5	5,2	5,1
KN3	45,5	46,5	41,8	1,5	5,5	5,3

Заключение

Таким образом, учитывая влияние технологических режимов и применение заквасок со специально подобранными штаммами, стало возможным внедрить в производство новые виды сыров, аналоги дорогостоящих сыров импортного производства. Кроме того, адаптированная технология позволяет уменьшить общее время производства за счет сокращения времени созревания и получить сыры с высокими органолептическими и физико-химическими показателями.

Литература

1. Гудков А.В. Сыроделие: технологические, биологические и физико-химические аспекты / Под ред. С.А. Гудкова, 2-е изд., испр. и доп. - М.: ДеЛи принт, 2004. - С. 213-227.
2. Piveteau P. Metabolisme of lactate and sugars by dairy propionibacteria: a review /
3. P. Piveteau // Lait. – 1999. – Vol. 79. – P. 23 – 41.
4. Горбатова К.К. Биохимия молока и молочных продуктов/К.К. Горбатова, 3-е изд., перераб. и доп. – СПб: ГИОРД, 2003. –С.174-176.
5. Grappin R. Advances in the biochemistry and microbiology of Swiss-type / R. Grappin, E. Beuver, Y. Bouton, S. Pochet // Lait. – 1999. – Vol. 79. – P. 3 – 22.
6. Crow V.L. DSA, 1986. – 48(11).- P. 769.
7. Г.Г. Шилер. Справочник технолога молочного производства. Технология и рецептуры. Т.3. Сыры / Кузнецов В.В., Шилер Г.Г.; под общ. Ред. Г.Г. Шилера.- СПб: ГИОРД, 2003. – С. 294-326.
8. Izco, J.M. Rapid simultaneous determination of organic acid, free amino acid and lactose in cheese by capillary electrophoresis // J.M. Izco, M. Tormo, R. Jimenez-Flores / J. Dairy Sci. – 2002. – Vol. 85. – P. 2122 – 2129.

УДК 641.512

МЕТОДИКА РАСЧЕТА ПРОЦЕССА РЕЗАНИЯ ДИСКОВЫМ НОЖОМ ПРИ КАЧАТЕЛЬНОМ СПОСОБЕ ПОДАЧИ ПИЩЕВОГО МАТЕРИАЛА

*Заплетников И.Н. д.т.н. проф., Пильненко А.К.
(ДонНУЭТ им. Михаила Туган-Барановского, Украина)*

Введение

Резание, как один из технологических процессов обработки пищевых материалов, широко применяется в различных отраслях пищевой, мясной, рыбной, комбикормовой промышленности. Материалы, подвергаемые резанию, имеют разнообразные физико-механические свойства. В зависимости от реологических свойств материала выбирают способ резания, вид режущего инструмента, режимы процесса резания.

Все исследователи сходятся в оценке важности энергозатрат при резании как обобщенного показателя эффективности процесса резания. Правильный учет всех факторов, влияющих на энергозатраты при резании, имеют решающее значение при разработке конструкции режущих машин.

Энергозатраты и высокое качество разреза поверхности можно обеспечить выбором соответствующей формы лезвия ножа. Для резания пластичных пищевых материалов наибольшее распространение получили дисковые ножи.

Дисковым ножом скользящее резание производится путем вращения ножа при возвратно-поступательном, качательном и вращательном движении продукта, а также планетарном движении ножа при неподвижном продукте [1].

Анализ научной и справочной литературы показал отсутствие теоретических и экспериментальных данных процесса резания дисковым ножом при качательном способе подачи продукта, математических

закономерностей, методик расчета машин для нарезания дисковым ножом при качательном способе подачи продукта. Существующие способы определения усилий, мощности в процессе резания дисковым ножом достоверны только для прямолинейного движения режущего инструмента или материала.

Цель статьи – разработка методики расчета процесса резания дисковым ножом пищевых материалов в машинах, обеспечивающих качательную подачу материала.

Принцип резания дисковым ножом лежит в определении направлении движения элемента режущей кромки (рис. 1). Дуга АВ настолько мала, что замена ее хордой – прямой линией – не изменит движение выделенного элемента режущей кромки. Продукт подается со скоростью подачи – $V_{под}$, окружная скорость режущей кромки $V_{окр} = \omega r$. Сопоставив положение режущей кромки с направлением $V_{рез}$, получаем, что кромка АВ внедряется в материал как нож с наклонной режущей кромкой. Проведя нормаль к вектору скорости $V_{рез}$, найдем угол наклона режущей кромки γ (рис. 1):

$$\cos \gamma = \frac{\sin \varphi}{\sqrt{1 + \lambda^2 - 2\lambda \cos \varphi}}, \quad (1)$$

где φ – угол, определяющий положение режущей кромки; λ – отношение окружной скорости $V_{окр}$ к скорости подачи материала $V_{под}$, $\lambda = V_{окр}/V_{под}$.

Значение $\cos \gamma$ меняется в пределах от 0 при $\varphi_k = 0$ до $1/(\sqrt{1 + \lambda^2})$ при $\varphi_k = 90^\circ$.

Это отношение λ имеет большое значение в теории резания дисковым ножом. Отметим, что угол фактического раздвижения материала дисковым ножом не превышает 1,5-2,0 град. Поэтому дисковые ножи очень остры при работе. КПД на кромке дискового ножа достигает 99%.

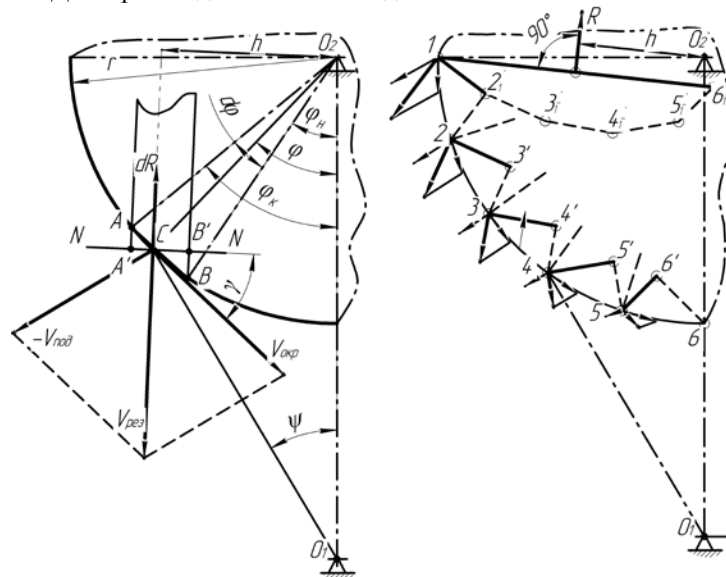


Рисунок 1 – Схема сил, действующих на кромочную часть дискового ножа
 1–2'; 2–3' и т.д. – проекции режущих кромок на нормаль к вектору скорости;
 φ_n и φ_k – углы, определяющие положение активного участка режущей кромки;
 1–2'–3'–4'–5'–6'– многоугольник проекций режущих кромок

Сила, приложенная к режущей кромке элементарного ножа, например опирающегося на кромку 2-3, будет равна [2]:

$$dR = \sigma_{np} (2-3)_{\perp V} = \sigma_{np} (2-3') = \frac{\sigma_{np} \cdot r \cdot \sin \varphi \cdot d\varphi}{\sqrt{1 + \lambda^2 - 2\lambda \cos \varphi}}, \quad (2)$$

где σ_{np} – удельная сила резания, Н/м; $(2-3)_{\perp V}$ – проекция режущей кромки на нормаль к вектору скорости V , r – радиус режущей кромки.

Момент силы R_{2-3} относительно оси вращения дискового ножа:

$$M_{2-3} = dR_{2-3} h_2 \quad (3)$$

Суммарная сила, приложенная к режущей кромке ножа равна геометрической сумме сил, приложенных ко всем элементарным ножам:

$$\overline{dR_{рез}} = \overline{dR_{1-2}} + \overline{dR_{2-3}} + \overline{dR_{3-4}} + \overline{dR_{4-5}} + \overline{dR_{5-6}} \quad (4)$$

Моменты сил dR_{1-2} , dR_{2-3} , dR_{3-4} , ... вычисляются по формуле (3).

Суммарный момент сил, приложенных к кромочной части ножа равен:

$$M_{кр} = M_{1-2} + M_{2-3} + M_{3-4} + M_{4-5} + M_{5-6} \quad (5)$$

Секция 1: Переработка и хранение сельскохозяйственной продукции

Для расчета ножевого вала на прочность суммарную силу, приложенную к кромочной части ножа, разложим на горизонтальную и вертикальную составляющие силы R.

Для аналитического расчета силы и моментов сил, действующих на кромочную часть ножа, необходимо пользоваться формулами [2]:

$$R_c = \frac{\sigma_{np} \cdot r}{2\eta_n} \left(1 - \cos \varphi + \frac{1 - \lambda^2}{2\lambda} \ln \frac{1 + \lambda^2 - 2\lambda \cos \varphi}{1 + \lambda^2 - 2\lambda}\right) = \sigma_{np} \cdot r \int_{\varphi_n}^{\varphi_k} A d\varphi \quad (6)$$

$$R_g = \frac{\sigma_{np} \cdot r}{2\eta_n} \left(\frac{1 - \lambda^2}{2\lambda} \varphi - \sin \varphi + \frac{1 + \lambda^2}{2\lambda} \arctan \frac{\lambda + 1}{\lambda - 1} \tan \varphi / 2\right) = \sigma_{np} \cdot r \int_{\varphi_n}^{\varphi_k} B d\varphi \quad (7)$$

где подинтегральные функции A и B представим формулами:

$$A = \frac{\sin \varphi \cdot (\lambda \cdot \cos \varphi - 1)}{1 + \lambda^2 - 2\lambda \cdot \cos \varphi}, \quad B = \frac{\lambda \cdot \sin^2 \varphi}{1 + \lambda^2 - 2\lambda \cdot \cos \varphi} \quad (8)$$

Общая сила резания, генерируемая на режущей кромке ножа, будет равна

$$R_{рез} = \sqrt{R_g^2 + R_c^2} \quad (9)$$

Момент на валу дискового ножа от сил резания определяется по формуле:

$$M_{кр} = \frac{\sigma_{np} \cdot r^2}{2\lambda\eta_n} \left(1 - \cos \varphi + \frac{\lambda^2 - 1}{2\lambda} \ln \frac{1 + \lambda^2 - 2\lambda \cos \varphi}{1 + \lambda^2 - 2\lambda}\right) = \sigma_{np} \cdot r^2 \int_{\varphi_n}^{\varphi_k} \frac{(\lambda - \cos \varphi) \sin \varphi}{1 + \lambda^2 - 2\lambda \cos \varphi} d\varphi \quad (10)$$

Анализ выражений (6), (7) и (10) позволяет сделать вывод: с увеличением λ движущая сила резания и момент на валу дискового ножа уменьшаются; с увеличением толщины разрезаемого материала повышаются движущая сила резания и момент на валу; при постоянных толщине материала и скорости подачи для данного ножа момент на валу уменьшается во столько раз, во сколько раз увеличивается окружная скорость ножа, т.е. моменты обратно пропорциональны отношению скоростей.

Момент сил трения разрезаемой части материала о боковые поверхности дискового ножа В.И. Карповым [2] предложено определять следующим образом. Момент сил трения, приложенных к обеим плоскостям дискового ножа, равен

$$\Delta M_i = 2\mu \cdot E \cdot \frac{\delta}{l} \cdot \varphi_i \cdot r_i^2 \cdot \Delta r \quad (11)$$

где δ – толщина ножа; μ – коэффициент трения ножа о разрезаемый материал; E – модуль упругости материала, Па; l – длина деформируемых слоев материала, м; Δr – шаговое приращение радиуса, м.

Для всего разрезаемого материала момент сил трения относительно оси ножа определяется суммированием моментов ΔM_i .

$$M_{тр} = 2\mu \cdot E \cdot \frac{\delta}{l} \cdot \Delta r \cdot \sum_{r_{\min}}^{r_{\max}} \varphi_i \cdot r_i^2, \quad (12)$$

Таким образом, может быть определена величина момента от сил трения, генерируемых упругостью объекта резания (без учета давления массы материала на боковые поверхности ножа).

Общий суммарный момент сил, приложенных к ножу, равен

$$M_{рез} = M_{кр} + M_{тр} \quad (13)$$

Определение аналитическим путем полной работы или усилий на процесс резания пищевых продуктов является неточным из-за влияния большого числа факторов. Поэтому динамические нагрузки и энергию на резание дисковым ножом при качательном способе подачи материала определяли экспериментальным путем.

Для экспериментального исследования процесса резания, энергозатрат, крутящего момента на валу дискового ножа и нагрузок на рычаге подачи разработан универсальный экспериментальный стенд, позволяющий в режиме реального времени регистрировать эксплуатационные параметры процесса резания дисковым ножом при качательном способе подачи.

Были приняты следующие постоянные значения: толщина нарезания 0,015 м, угол заточки ножа 12° , частота вращения ножа 320 об/мин⁻¹, скорость подачи 0,65 м/с, диаметр ножа D=0,3 м, поперечное сечение продукта S=0,01м².

Согласно разработанной методике экспериментальных исследований определялся крутящий момент на валу дискового ножа $M_{рыч}=f(t)$.

В результате обработки результатов экспериментальных исследований было получено полиномиальное уравнение изменения крутящего момента на валу дискового ножа в пределах рабочего цикла:

$$M_{кр}(t) = 0,001 \cdot t^6 - 0,0061 \cdot t^5 + 0,1297 \cdot t^4 - 1,24 \cdot t^3 + 5,142 \cdot t^2 - 5,96 \cdot t + 2,15; \quad R^2 = 0,9516. \quad (14)$$

В интервале времени 0,3...0,7с значения крутящего момента на валу и рычаге возрастает до максимума $M_{кр\max}=10,2$ Н (рис. 2). В этом интервале времени происходит взаимодействие дискового ножа и продукта.

В пределах резания аппроксимация крутящего момента на валу дискового ножа, в интервале времени

$t=0,3\dots0,7$ с, описывается полиномом второй степени:

$$M_{кр}(0,4\dots0,6) = -67,504t^2 + 60,376t - 3,83; R^2 = 0,9519. \quad (15)$$

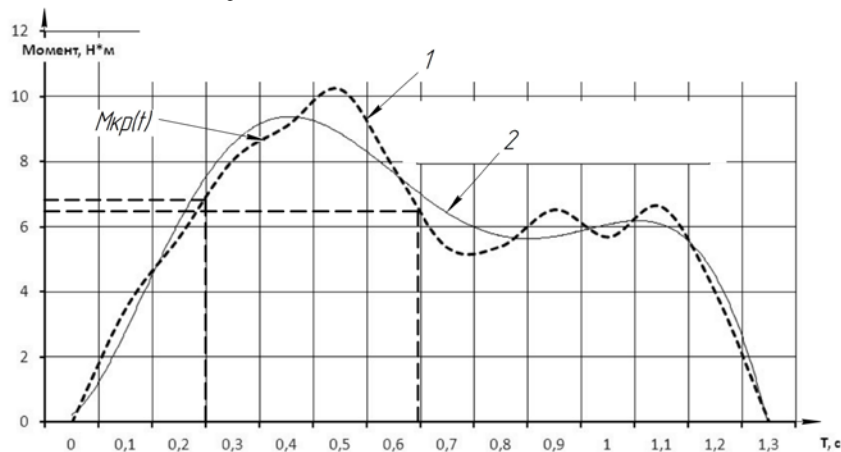


Рисунок 2 – График изменения крутящего момента на валу дискового ножа
1 – изменение крутящего момента по осциллограмме; 2 – аппроксимация крутящего момента

Нагрузка в процессе резания дисковым ножом при качательном способе подачи носят циклический характер. Возрастание и снижение нагрузки объясняется изменением длины дуги резания. Погрешность расчетных данных с экспериментальными составила до 8% [3].

Заключение

Разработанная методика расчета процесса резания дисковым ножом пищевых материалов в машинах, обеспечивающих качательную подачу материала, учитывает влияние конструктивных и кинематических характеристик на динамические параметры процесса.

Литература

1. Даурский А.Н., Мачихин Ю.А. Резание пищевых материалов. – М.: Пищ. пром-сть, 1980. – 240 с.
2. Карпов В.И. Технологическое оборудование рыбообработывающих предприятий / В.И. Карпов. – М.: Колос, 1993. – 304 с.
3. Заплетников И.Н. Кинематическое исследование механизма подачи продукта / И.Н. Заплетников, А.К. Пильненко // сб. науч. трудов ОНАПТ. – Одесса: ОНАПТ, 2012. – Вып. 41, т. 2 – С. 115-120.

УДК 621.929.1

СМЕСИТЕЛЬ СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ

Шило И.Н., д.т.н., профессор; Романюк Н.Н., к.т.н., доцент; Агейчик В.А., к.т.н., доцент (БГАТУ, Минск),
Нукешев С.О., д.т.н., доцент (Казахский агротехнический университет им. С.Сейфуллина, Астана)

Введение

Смешивание сыпучих материалов широко применяется в различных отраслях химической технологии, энергетической промышленности, в агропромышленном комплексе, строительстве и многих других. При этом задача приготовления однородных по составу смесей связана с целым рядом трудностей, таких как широкий спектр изменения физико-механических свойств перерабатываемых материалов, требования, предъявляемые к качеству и составу продукта, производительности, энерго- и металлоемкости и т.д.

Задачи повышения эффективности устройств, используемых при приготовлении сыпучих смесей, склонных к адгезии и агломерированию, сегрегации по физико-механическим свойствам частиц (размерам, плотности и другим), отличающихся большим соотношением объемов компонентов (1:10 и более) обуславливают необходимость постоянного совершенствования известных типов смесительного оборудования и создания новых.

Практика показывает, что наиболее эффективные методы создания нового оборудования должны основываться на системном подходе, предполагающем взаимообусловленность и взаимодействие всех уровней исследования и разработки. [1].

Перспективными направлениями при переработке сухих дисперсных материалов являются [2]:

- а) переход на аппаратное оформление стадии смешивания по непрерывной схеме;
- б) разработка принципиально нового поколения аппаратов, в которых процесс смешивания осуществляется в тонких или разреженных слоях для обеспечения наибольшей поверхности контакта между частицами;
- в) возможность совмещения в одном аппарате нескольких процессов;
- г) организация направленного движения материальных потоков за счет использования различных рециклов.

Целью наших исследований явилось повышение качества смешивания смесителя сыпучих материалов.