

УДК 637.531.45

*В. Я. ГРУДАНОВ¹, А. А. БРЕНЧ¹, А. Л. ЖЕЛУДКОВ², В. М. ПОЗДНЯКОВ¹***МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МЯСА ПТИЦЫ
В ПРОЦЕССЕ ТОНКОГО ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ НА КУТТЕРАХ
С НОВЫМ РЕЖУЩИМ ИНСТРУМЕНТОМ**¹*Белорусский государственный аграрный технический университет,*²*Могилевский государственный университет продовольствия**(Поступила в редакцию 17.02.2011)*

Введение. Многообразие процессов пищевой технологии, большая номенклатура изделий, высокая стоимость и ограниченные сроки хранения пищевых продуктов вынуждают в исследовательской практике меньше использовать натуральное сырье, а искать и совершенствовать их заменители, которые достаточно полно воспроизводят наиболее существенные свойства натурального продукта в данном процессе.

Исследование продуктов пищевой технологии усложняется тем, что они нестойки при хранении, а при изменении их пищевых свойств меняются и другие их свойства (например, структурно-механические). Проведение исследований с применением фаршей различного состава и рецептуры приготовления представляет определенные трудности: использованные при экспериментах сырье и полуфабрикаты не пригодны для дальнейшей переработки. В связи с этим большое значение придается замене натуральных объектов исследований на модельные тела [1].

Теоретические аспекты моделирования структурно-механических свойств мясных фаршей. Проведенные исследования показали, что универсальным моделирующим объектом для многих пищевых продуктов служит материал на основе бентонитовой глины [2]. Результаты исследования физико-механических свойств, величина предельного напряжения сдвига различных фаршей и модельного материала подтвердили, что реальные объекты при проведении экспериментальных исследований с успехом могут быть заменены модельными телами.

Натуральный объект заменяют модельным телом таким образом, чтобы изменения численных значений их характерных параметров под воздействием аналогичных факторов были одинаковыми. Кроме того, натуральное сырье и модельное тело должны иметь одинаковую структуру. Сплошной пространственный каркас структуры образуется путем соприкосновения дисперсных частиц или макромолекул. Это вызывает проявление сил взаимодействия, которые определяют механическую прочность каркаса и его строение. Академик П. А. Ребиндер классифицирует структуры по трем типам: коагуляционный, кристаллизационный, конденсационный [1].

Структуры коагуляционного типа образуются путем сцепления частиц через тончайшие остаточные прослойки свободной или адсорбционно связанной с ними дисперсной среды. Сцепление осуществляется силами, которые способствуют протеканию самопроизвольных процессов приближения к более устойчивому термодинамическому состоянию: упрочнению вследствие способности к самопроизвольному восстановлению после разрушения и самоуплотнению.

Структуры кристаллизационного типа образуются путем срастания частиц или молекул при их активном химическом взаимодействии из расплава при охлаждении, а также из раствора при повышении концентрации или охлаждении. Хаотическое срастание частиц на свободных участках вначале увеличивает прочность, затем приводит к неустойчивому состоянию с наличием внутренних напряжений.

Структуры конденсационного типа обладают наибольшей прочностью при данной степени заполнения объема, но после разрушения, так же, как и кристаллизационные структуры, не восстанавливаются и являются, скорее, хрупкими, чем пластичными. Они образуются из коагуляционных структур при полном удалении жидкой фазы. В процессе образования конденсационных структур их прочность постепенно увеличивается, оставаясь затем постоянной.

В своих исследованиях А. В. Горбатов и И. А. Рогов провели сравнения внутреннего строения мясного фарша и модельных тел на основе бентонитовой глины. Для выяснения типа структуры наблюдения выполнялись путем микроскопирования. На гистологическом препарате фарша при малом и среднем увеличении микроскопа видны в преобладающем количестве мышечные волокна, а также жировые клетки, частицы, коллагеновые волокна, отверстия от воздушных полостей или капелек воды и водяные прослойки между частицами. Диаметр отдельных мышечных волокон колеблется от 24 до 160 мкм; размер жировых клеток достигает 120–160 мкм, но встречаются также и мельчайшие частицы, имеющие в поперечном сечении 20 мкм. Водяные прослойки между этими дисперсными частицами достигают по толщине 12 мкм.

В процессе проведения исследований установлено, что мясной фарш и модельные тела на основе бентонитовой глины аналогичны по структуре, т. е. имеют коагуляционный тип, характеризующийся относительно слабыми силами сцепления между частицами или белковыми молекулами через тончайшие водяные прослойки в областях контакта. Разница в происхождении материалов (органические и неорганические) не играет большой роли при рассмотрении реологических свойств и типа структуры.

Модельные тела на основе бентонитовой глины обладают способностью к самопроизвольному упрочнению структуры в соответствии со схемой академика П. А. Ребиндера. Период упрочнения в основном заканчивается за 2–3 сут. В дальнейшем основные свойства модельного тела не изменяются, поэтому в начале и по окончании серии экспериментов можно получить одинаковые числовые значения параметров [2]. Результаты опытов с использованием модельных тел отличаются высокой достоверностью, при этом также можно сравнивать данные различных серий экспериментов.

Исследования, проведенные В. Д. Косым, показали, что дополнительное введение опилок в модельный материал на основе бентонитовой глины максимально приближает его структурно-механические свойства к свойствам натурального фарша.

Изменения структурно-механических свойств трехкомпонентной системы глинистой пасты с различной относительной влажностью и разным содержанием буковых опилок при экспериментах показали, что данное модельное тело хорошо воспроизводит основные реологические свойства различных мясных фаршей. Опилки в вискозиметрических исследованиях, располагаясь вдоль вектора скорости как частицы мяса, жилок, жира, создают подобие строения модельного тела и фарша. Комбинируя состав модельного материала (влажность, концентрацию опилок и бентонитовой глины), можно, получить систему с заданными структурно-механическими свойствами.

Изучение модельного материала, обладающего одинаковыми с моделируемым объектом свойствами, дает возможность получить расчетные зависимости, которые пригодны для данных объектов при соответствующей проверке. Одновременно с этим работа с модельными телами существенно повышает надежность результатов, так как они вследствие постоянства структуры хорошо воспроизводят числовые значения свойств, что невозможно обеспечить на натуральных объектах.

Результаты экспериментальных исследований. В исследованиях [1, 2] моделировалась структура фаршей из говядины или свинины, что не позволяет применять полученные данные на практике для других видов пищевых продуктов.

Пищевые продукты имеют уникальную макроскопическую и микроскопическую структуру. Подобное отличие характерно не только для продуктов различных групп, но и для внутригрупповых продуктов. Так, для мясных продуктов структура определяется видом мяса (говядина, свинина, мясо птицы и т. п.), возрастом, категорией и др.

На территории стран СНГ наиболее активно развивается производство колбасных изделий из мяса кур. При этом на переработку идут куры II категории. Мышечная ткань у куриного мяса

более плотная, меньше прослоена соединительной тканью, более нежной и рыхлой, чем у свиного и говяжьего мяса.

Полуфабрикаты и другие продукты из птицы вырабатывают главным образом из мяса механической обвалки. По составу и свойствам оно существенно отличается от мяса ручной обвалки. Во время механической обвалки мясокостная масса подвергается сильному сжатию, происходит разрушение костной ткани, содержащиеся в ней губчатое вещество, костный жир, минеральные компоненты попадают в мышечную ткань. Поэтому в данном исследовании была поставлена цель создания модельного материала, аналогичного по структуре мясу кур механической обвалки.

Исследования по подбору модельного тела с определенными структурно-механическими свойствами разбивали на следующие этапы.

1. Определение структурно-механических свойств мяса кур механической обвалки.
2. Определение процентного содержания компонентов модельного материала, обеспечивающих получение структурно-механических свойств, аналогичных мясу кур механической обвалки.
3. Сравнение структурно-механических свойств мяса кур механической обвалки и модельного материала.

Структурные свойства моделируемого продукта и модельного материала исследовали на измерителе деформации ИДК-4. Данный прибор используется для определения модуля упругости при осевом сжатии между двумя плоскостями при деформирующей нагрузке 1,2 Н·с и времени воздействия 30 с. Влажность моделируемого продукта и модельного материала измеряли в сушильном шкафу при температуре 150 °С в течение 1 ч.

Проведенные исследования показали, что значение модуля упругости мяса кур механической обвалки влажностью 72,1% составляет 0,0014 МПа. Данная влажность характерна для мяса птицы, которое применяется при промышленной переработке. В качестве модельного материала была выбрана трехкомпонентная система вода – бентонитовая глина ППТ1К/А – сосновые опилки размером 0,5–1 мм. Влажность модельного материала меняли в пределах 0,72–0,84 долей единицы, содержание опилок 0–0,1.

В результате проведенных исследований было установлено, что значение модуля упругости 0,0014 МПа, полученное в ходе изучения структурно-механических свойств мяса кур механической обвалки, достигается для модельного материала следующего состава: опилки – 3,5%; бентонитовая глина – 14,2%; вода – 82,3%. Были получены коэффициенты, определяющие оптимальный состав модельного материала для мяса кур механической обвалки.

Результаты исследований можно записать в виде математической зависимости

$$M = K_{\text{в}}M + K_{\text{оп}}M + K_{\text{г}}M, \quad (1)$$

где M – масса модельного материала, кг; $K_{\text{оп}}$ – содержание опилок в долях единицы ($K_{\text{оп}} = 0,035$); $K_{\text{г}}$ – содержание глины в долях единицы ($K_{\text{г}} = 0,142$); $K_{\text{в}}$ – содержание воды в долях единицы ($K_{\text{в}} = 0,823$).

Разработка новых технических решений. Как показывает опыт эксплуатации, эффективность работы куттера недостаточна из-за того, что не соотнесены геометрические размеры чаши и серповидных ножей, не обеспечивается равномерность измельчения продукта по всему объему чаши, вследствие этого понижается качество готового продукта. Качество измельчения можно улучшить, если каждая режущая кромка ножей находится в пределах двух соседних дуг условных окружностей с центром на оси вращения приводного вала, на которые разделено поперечное сечение чаши. Радиус окружностей R_{n-1} определен выражением:

$$R_{n-1} = \sqrt{\frac{(m+1-i)}{m+1} \left(\frac{\pi\beta_n - 180\sin\beta_n}{\pi\beta_{n-1} - 180\sin\beta_{n-1}} \right)}, \quad (2)$$

где R_n – радиус чаши относительно оси вращения приводного вала; β_n – угол между радиусами R_n , проведенными к противоположным краям чаши; β_{n-1} – угол между радиусами, проведенными

ми к крайним противоположным точкам дуги $(n-1)$ -й условной окружности; n – число условных окружностей; m – число режущих кромок, $i = 1, \dots, m$, а длина L_i каждой режущей кромки определена выражением:

$$L_i = \sqrt{R_{n+1-i}^2 + R_{n-1}^2 + 2R_{n+1-i}R_{n-1} \cos \varphi_i}. \quad (3)$$

Здесь R_{n+1-i} – радиус дуги $(n+1-i)$ -й условной окружности; φ_i – угол между двумя соседними радиусами R_{n+1-i} и R_{n-1} [3].

В основе вывода формулы для нахождения радиусов условных окружностей R_{n+1} лежит условие, что площади поперечного сечения чаши S_n , образованные дугами условных колец, равны между собой. Известными являются расстояние от оси вращения приводного вала до чаши R_n и количество режущих кромок m .

Площадь поперечного сечения чаши определяется из выражения

$$S_n = \frac{R_n^2}{2} \left(\frac{\pi \beta_n}{180} - \sin \beta_n \right), \quad (4)$$

где β_n – угол между радиусами R_n , проведенными к противоположным краям чаши; R_n – расстояние от оси вращения приводного вала до дна чаши.

Тогда площади поперечного сечения чаши S_n , образованные двумя соседними дугами условных окружностей, равны

$$S_n = \frac{R_n^2}{2(m+1)} \left(\frac{\pi \beta_n}{180} - \sin \beta_n \right) \quad (5)$$

(m – число режущих кромок).

Исходя из равенства площадей, образованных дугами условных окружностей, получаем следующее выражение:

$$S_n = S_n - S_{n-1} \text{ или } \frac{R_n^2}{2(m+1)} \left(\frac{\pi \beta_n}{180} - \sin \beta_n \right) = \frac{R_n^2}{2} \left(\frac{\pi \beta_n}{180} - \sin \beta_n \right) - \frac{R_{n-1}^2}{2} \left(\frac{\pi \beta_{n-1}}{180} - \sin \beta_{n-1} \right).$$

Здесь S_n – площадь поперечного сечения чаши, соответствующая радиусу R_n ; S_{n-1} – площадь поперечного сечения чаши, соответствующая радиусу R_{n-1} ; β_{n-1} – угол между радиусами R_{n-1} , проведенными к крайним противоположным точкам дуги $(n-1)$ -й условной окружности.

Выражаем R_{n-1} :

$$R_{n-1} = R_n \sqrt{\frac{(m+1-i)}{m+1} \left(\frac{\pi \beta_n - 180 \sin \beta_n}{\pi \beta_{n-1} - 180 \sin \beta_{n-1}} \right)}. \quad (6)$$

Используя теорему косинусов, получаем выражение для определения длины каждой режущей кромки

$$L_i = \sqrt{R_{n+1-i}^2 + R_{n-1}^2 + 2R_{n+1-i}R_{n-1} \cos \varphi_i}, \quad (7)$$

где φ_i – угол между двумя соседними радиусами R_{n+1-i} и R_{n-1} .

На рис. 1 представлена принципиально-конструктивная схема куттера, у которого геометрические размеры чаши и серповидных ножей взаимосвязаны между собой [4].

Серповидные ножи 3 с режущими кромками, выполненными в виде ломаной линии 4, посаженные на приводной вал 2, измельчают продукт, который загружают в чашу 6, до заданной степени измельчения. Крышка 1 закрывает рабочую зону куттера. К крышке прикреплены скребки 5, они направляют

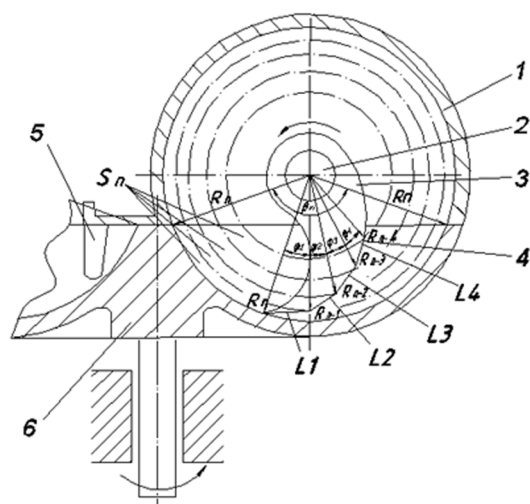


Рис. 1. Принципиально-конструктивная схема куттера с улучшенными геометрическими характеристиками рабочих органов по патенту РБ № 12028: 1 – крышка; 2 – приводной вал; 3 – серповидные ножи; 4 – ломаная линия; 5 – скребки; 6 – чаша

продукт под режущий механизм. Благодаря тому, что поперечное сечение чаши разделено дугами условных окружностей с центром на оси вращения ножа, обеспечивается то, что каждая режущая кромка серповидных ножей взаимосвязана с геометрическими размерами чаши. Это позволяет повысить качество готового продукта, и тем самым повышает эффективность работы куттера.

Конструкция серповидного ножа также может быть улучшена. На рис. 2 показана принципиально-конструктивная схема модернизированного серповидного ножа.

Нож куттера серповидный состоит из ступицы 1 и лезвия 2 с режущими кромками 3 в виде ломаной линии, выполненной в виде касательных к логарифмической спирали 4. Длина каждой режущей кромки может определяться из выражения

$$L_i = L_{i-1} \frac{R_{i-1}}{R_i}, \quad (8)$$

где R_{i-1} – расстояние от оси вращения ножа до середины $(i-1)$ -й режущей кромки; R_i – расстояние от оси вращения ножа до середины следующей кромки; i – количество режущих кромок.

Задаемся углом резания $\beta = 45^\circ$. Производная функция логарифмической спирали имеет вид

$$r' = r \operatorname{ctg} \beta, \quad (9)$$

где r – длина полярного радиуса, мм; $\operatorname{ctg} \beta$ – угол β между полярным радиусом и касательной, проведенной к логарифмической спирали.

Учитывая, что уравнение логарифмической спирали имеет вид

$$r = a^\varphi, \quad (10)$$

где a – постоянный коэффициент; φ – полярный угол, а ее производная равна $r' = a^\varphi \ln a$, получаем $a^\beta \ln a = a^\varphi \operatorname{ctg} \beta$, $\ln a = \operatorname{ctg} \beta$, $\operatorname{ctg} 45^\circ = 1$, $\ln a = 1$.

Следовательно, $a = e$, где e – основание натурального логорифма, равное 2,718; φ – полярный угол.

Подставив значения полярных углов φ с шагом угла, равным 30 град, в выражение (10), построим логарифмическую спираль с заданным углом резания $\beta = 45^\circ$. Значения полярных радиусов приведены в таблице.

Значение полярных радиусов

Параметр для построения логарифмической спирали	Угол φ , град					
	30	60	90	120	150	180
Полярный угол φ , рад	$\pi/6$	$\pi/3$	$\pi/2$	$2\pi/3$	$5\pi/6$	π
Полярный угол φ , рад	0,52	1,05	1,57	2,09	2,62	3,14
Полярный радиус r , см	1,68	2,86	4,81	8,1	13,7	23,1

Благодаря очертанию лезвия ножа куттера серповидного логарифмической спиралью с уравнением $r = a^\varphi$, где r – полярный радиус; a – постоянный коэффициент; φ – полярный угол, достигается постоянство угла резания β .

После построения логарифмической спирали с заданным углом β ломаная линия строится так, чтобы ее прямолинейные участки своей серединой касались логарифмической спирали. Этим достигается возможность получения постоянства угла резания в середине каждой режу-

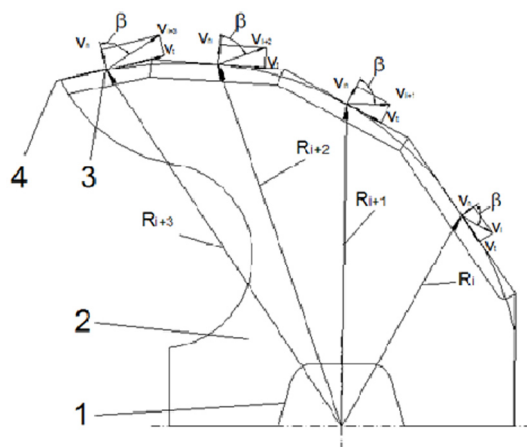


Рис. 2. Принципиально-конструктивная схема модернизированного серповидного ножа по патенту РФ № № 11597: 1 – ступица; 2 – лезвие; 3 – режущая кромки; 4 – логарифмическая спираль

щей кромки, что в свою очередь обеспечивает равномерность измельчения продукта по всей длине режущих кромок и позволяет повысить качество готового продукта.

Длина L_i каждой режущей кромки при выполнении ножа должна определяется из выражения (8) с уменьшением длины последующей режущей кромки, что позволит снизить затраты энергии, гидравлическое сопротивление и повысить эффективность работы куттера в целом.

Заключение. На основе анализа теоретических аспектов моделирования структурно-механических свойств мясных фаршей выбрана трехкомпонентная система, которая по основным свойствам моделирует структурные свойства фарша из мяса кур. Модельный материал позволяет четко отработать методику исследования и применять ее к натуральному объекту на заранее заданной стадии старения. Предложены новые технические решения, позволяющие снизить затраты энергии, а также гидравлическое сопротивление, что улучшает качество готового продукта и повышает эффективность работы куттера.

Литература

1. Горбатов А. В. Реология мясных и молочных продуктов. М., 1979.
2. Косой В. Д., Дорохов В. П. Совершенствование производства колбас (теоретические основы, процессы, оборудование, технология, рецептуры и контроль качества). М., 2006.
3. Груданов В. Я., Бренч А. А., Желудков А. Л. Нож куттера серповидный. Пат. № 11597 РБ.
4. Груданов В. Я., Бренч А. А., Желудков А. Л. Куттер. Пат. № 12028 РБ.

V. Ya. GRUDANOV, A. A. BRENCH, A. L. GHELUKOV, V. M. POZDNYAKOV

MODELLING OF RHEOLOGICAL PROPERTIES OF HENS MEAT AT FINE BREAKAGE WITH CUTTERS WITH NEW CUTTING TOOLS

Summary

Theoretical aspects of modelling of structurally-mechanical properties of forcemeat are analysed, results of experimental research on definition of percentage of components of the modelling material providing reception of structurally-mechanical properties of hens similar to meat mechanical cutting are resulted. New technical solutions to reduce energy costs, as well as the hydraulic resistance, which improves the quality of the finished product and increases the efficiency of the cutter, are proposed.