DOI: 10.17117/na.2015.12.02.088

<http://ucom.ru/doc/na.2015.12.02.088.pdf>

Поступила (Received): 28.12.2015

**Кабулов Б.Б., Какимов А.К.,
Мустафаева А.К., Джилкишева А.Г., Абдилова Г.Б.
Реологическая механическая модель мясокостного
фарша и ее электрический аналог**

**Kabulov B.B., Kakimov A.K., Mustafaeva A.K.,
Jilkisheva A.G., Abdilova G.B.
Rheological mechanical model of meat-bone
minced meat and its electric counterpart**

Статья посвящена разработке реологической механической модели мясокостного фарша и ее электрического аналога. Реологическая механическая модель мясокостного фарша разработана на основе модели Бингама и состоит из элементов Гука, Ньютона, Сен-Венана, а также элемента, отражающего изменение прочности мясокостного фарша. Кроме того, разработан электрический аналог реологической механической модели мясокостного фарша, состоящий из элементов Генри, Ома, Фарадея

Ключевые слова: реологическая механическая модель, электрический аналог

The article is devoted to the development of meat-bone minced meat rheological mechanical models and its electrical analogue. Meat-bone minced meat rheological mechanical model was developed based on the Bingham model and consists of Hooke, Newton, Saint-Venant elements, as well as the element reflecting the strength change of meat-bone minced meat. Also, developed an electrical analog of the meat-bone minced meat mechanical rheological model consisting of the elements Henry, Ohm, Faraday

Key words: rheological mechanical model, electrical analog

Кабулов Болат Бейсенгалиевич

*Кандидат технических наук, доцент
Государственный университет им. Шакарима
Казахстан, г. Семей, ул. Глинки, 20 А*

Kabulov Bolat Beysengalieovich

*Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
State university named Shakarim
Kazakhstan, Semey, Glinka st., 20 A*

Какимов Айтбек Калиевич

*Доктор технических наук, профессор, декан
Государственный университет им. Шакарима
Казахстан, г. Семей, ул. Глинки, 20 А*

Kakimov Aitbek Kalievich

*Doctor of Technical Sciences, Professor, Dean
State university named Shakarim
Kazakhstan, Semey, Glinka st., 20 A*

Мустафаева Аялулм Какеновна

*Кандидат технических наук, доцент
Государственный университет им. Шакарима
Казахстан, г. Семей, ул. Глинки, 20 А*

Mustafaeva Ayalum Kakenovna

*Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
State university named Shakarim
Kazakhstan, Semey, Glinka st., 20 A*

Джилкишева Асем Габдылгалимовна

*Старший преподаватель
Государственный университет им. Шакарима
Казахстан, г. Семей, ул. Глинки, 20 А*

Jilkisheva Asem Gabdulgalimovna

*Senior Lecturer
State university named Shakarim
Kazakhstan, Semey, Glinka st., 20 A*

Абдилова Галия Бекеновна

Кандидат технических наук, доцент
Государственный университет им. Шакарима
Казахстан, г. Семей, ул. Глинки, 20 А

Abdilova Galia Bekenovna

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
State university named Shakarim
Kazakhstan, Semey, Glinka st., 20 A

Для исследования различных явлений и процессов, происходящих в сложных объектах, широко применяется моделирование, которое основано на аналогии математических моделей изучаемых объектов и соответствующих им электрических цепей и устройств. Процессы в механических, гидравлических и тепловых системах описываются дифференциальными уравнениями различного типа и порядка, многие из которых аналогичны уравнениям, составленным для мгновенных значений токов и напряжений в электрических цепях. Таким образом, применяя простые и точные методы анализа электрических цепей при различных режимах их работы, можно моделировать и изучать процессы, происходящие в сложных системах и объектах [1]. Для выполнения этих исследований в настоящее время применяют аналоговые и цифровые ЭВМ.

Моделирование деформационного поведения пищевых материалов можно проводить на основе не только механических моделей, но и их электрических аналогов [2]. При этом механическое напряжение сопоставляют с напряжением электрической цепи, скорость деформации – с электрическим током, модуль упругости – с обратной величиной емкости, а вязкость – с сопротивлением. Последовательное соединение элементов механической модели эквивалентно параллельному соединению элементов электрической цепи, а параллельное в механической модели – последовательному соединению в электрической.

На основе изучения реологических механических моделей пищевых продуктов и проведенного обоснования для описания поведения мясокостного фарша была разработана реологическая механическая модель на основе модели Бингама (рисунок 1, а), которая состоит из элементов Гука, Ньютона, Сен-Венана и элемента, отражающего изменение прочности мясокостного фарша. При измельчении давление через нож передается фаршу с частицами кости, которые измельчаются при напряжении, превышающем предельное напряжение резания (θ_p). Время приложения силы резания настолько мало, что мгновенно достигается предельное напряжение резания. Измельченные частицы фарша вначале испытывают вязко-упругую деформацию ($G, \eta_{пл}$), затем при напряжении, превышающем ПНС (θ_0), сырье пластически деформируется и начинает течь.

Реологическое уравнение механической модели мясокостного фарша можно получить следующим образом.

Общая деформация механической модели фарша равна сумме деформаций

$$d\gamma = d\gamma_G + d\gamma_H + d\gamma_C, \quad (1)$$

где $d\gamma_G, d\gamma_H, d\gamma_C$ – угловые деформации соответственно тел Гука, Ньютона, Сен-Венана.

Беря производную от левой и правой частей уравнения (1), получим

$$\frac{d\gamma}{dt} = \frac{d\gamma_{\Gamma}}{dt} + \frac{d\gamma_H + d\gamma_C}{dt} \quad (2)$$

Величину $\frac{d\gamma_H + d\gamma_C}{dt}$ определим из реологического уравнения тела Ньютона с учетом условия Сен-Венана

$$\frac{d\gamma_H + d\gamma_C}{dt} = \dot{\gamma} = \frac{\theta - \theta_0}{\eta_{nl}} \quad (3)$$

θ - напряжение сдвига; θ_0 - предельное напряжение сдвига; θ_p - предельное напряжение резания; G - модуль упругости; η_{nl} - пластическая вязкость; u - напряжение; K - ключ; R - сопротивление; C - емкость; L - индуктивность

Рис. 1. Реологическая механическая модель мясокостного фарша (а) и ее электрический аналог (б)

Величину $\frac{d\gamma_{\Gamma}}{dt}$ определим из реологического уравнения тела Гука

$$\frac{d\gamma_{\Gamma}}{dt} = \frac{1}{G} \cdot \frac{d\theta}{dt} \quad (4)$$

Подставив уравнения (3, 4) в (2), получим реологическое уравнение механической модели фарша

$$\dot{\gamma} = \frac{\dot{\theta}}{G} + \frac{\theta - \theta_0}{\eta_{nl}}, \quad (5)$$

В ходе исследований разработан электрический аналог реологической механической модели мясокостного фарша, состоящий из элементов Генри L, Ома R, Фарадея C. Элементы Ома и Генри соединены последовательно, а вместе параллельно с элементом Фарадея и предохранителем (рисунок 1, б). Эта модель характеризуется законом Ома.

Приведенные реологическая механическая модель мясокостного фарша, ее электрический аналог и физико-механические характеристики необходимы

не только для объективной оценки консистенции продукта, но и для изучения поведения мясокостного сырья на всех стадиях его механической обработки.

Таким образом, в результате исследований разработана реологическая механическая модель мясокостного фарша и ее электрический аналог. Использование электрического аналога упрощает моделирование поведения мясокостного фарша, позволяет значительно повысить точность и скорость измерения экспериментальных данных, а также снизить расходы на проведение экспериментов.

Список используемых источников:

1. Кабулов Б.Б., Какимов А.К., Косой В.Д., Мустафаева А.К., Джилкишева А.Г., Пашкевич А.И. Инновационный метод разработки реологических механических моделей пищевого сырья // Теория и практика актуальных исследований. Краснодар. 2012. С. 210-213.
2. Кабулов Б.Б., Какимов А.К., Косой В.Д., Пашкевич А.И. Способ моделирования реологического поведения мясного и мясокостного сырья на основе электромеханических аналогий // Пищевая и перерабатывающая промышленность Казахстана: современное состояние и перспективы развития. Семей: СГУ им. Шакарима, 2013. С. 196-197.

© 2015, Кабулов Б.Б., Какимов А.К., Мустафаева А.К., Джилкишева А.Г., Абдилова Г.Б.
Реологическая механическая модель мясокостного фарша и ее электрический аналог

© 2015, Kabulov B.B., Kakimov A.K., Mustafaeva A.K., Jilkisheva A.G., Abdilova G.B.
Rheological mechanical model of meat-bone minced meat and its electric counterpart