

FTAMP 65.59.03

Б.Б. Кабулов¹ – негізгі автор, ©
Г.Б. Абдилова², Г.А. Жумадилова³,
А.Б. Бакиева⁴, Ж.А. Сергибаева⁵



^{1,2}Техн. ғылым. канд., қауымдас. профессор, ^{3,4}PhD, ⁵Докторант

ORCID

¹<https://orcid.org/0000-0002-7619-2622> ²<https://orcid.org/0000-0002-6647-6314>

³<https://orcid.org/0000-0003-0722-8860> ⁴<https://orcid.org/0009-0003-5904-1253>

⁵<https://orcid.org/0009-0004-1248-1304>



^{1,2,3,4,5} Семей қаласының Шәкәрім атындағы университеті,



Семей қ., Қазақстан



¹bolatkabylov@mail.ru

<https://doi.org/10.55956/LLXM5593>

ЕТ-СҮЙЕКТИ ФАРШЫНЫҢ РЕОЛОГИЯЛЫҚ МЕХАНИКАЛЫҚ МОДЕЛІ

Аңдатпа. Мақала ет-сүйекті фаршының реологиялық механикалық моделін жетілдіруге арналған. Ет өнімдерінің көпшілігі дисперстік жүйелер, суспензиялар, коллоидті ерітінділер болып табылады. Технологиялық жабдықтарды ғылыми түрде жобалау үшін бұл өнімдердің құрылымдық-механикалық сипаттамаларын білу қажет. Бейньютондық материалдардың тұтқырлығы деформация жылдамдығынан байланысты, ол ағу кезінде құрылымы мен оның өзгерісімен байланысты болады. Өз қатарында материалдың ағуы оның физика-химиялық өзгешілігіне байланысты болады: молекулалардың пішіні мен орналасуы, концентрация, температура, ылғалдылық, мицелла пайда болуы. Ет-сүйекті фарш ағуын сипаттау үшін Бингам реологиялық теңдеуі өте қолайлы болып табылатындығы дәлелденді. Бингам, Шведов, Шоффилд-Скотт-Блер, Пелег реологиялық механикалық моделдерді зерттеу мен механикалық өңдеу кезінде ет-сүйекті фаршының жүрісін сипаттау үшін жүргізілген талдау негізінде оның реологиялық механикалық моделін жетілдірілген. Ол тізбектеп қосылған Бингам моделі мен кесу кезінде материалдың беріктігін жоғалтуын сипаттайтын денеден тұрады. Зерттеу нәтижесінде ет-сүйекті фаршының моделінің реологиялық теңдеуі алынды. Ет-сүйекті фаршының реологиялық механикалық моделі және физика-механикалық сипаттамалары өнімнің консистенциясын объективтік бағалауға ғана емес, сонымен қатар өнімнің барлық механикалық өңдеу кезеңдерінде оның жүрісін зерттеуге қажет болады.

Тірек сөздер: ет, сүйек, фарш, реологиялық механикалық модель.



Кабулов, Б.Б. Ет-сүйекті фаршының реологиялық механикалық моделі [Мәтін] / Б.Б. Кабулов, Г.Б. Абдилова, Г.А. Жумадилова, А.Б. Бакиева, Ж.А. Сергибаева //Механика және технологиялар / Ғылыми журнал. – 2024. – №4(86). – Б.34-40. <https://doi.org/10.55956/LLXM5593>

Кіріспе. ҚР Президентінің жолдауында былай жазылған: «...Қазақстанның айналасында өнім өткізетін өте үлкен нарықтар бар. Онда сапалы азық-түлік өнімдері тапшы. Қазақстанның стратегиялық мақсаты – Еуразия құрлығындағы басты аграрлық орталықтың біріне айналу. Осы мақсатқа қол жеткіземіз десек, ең алдымен, өнімді жоғары деңгейде өңдеуге көшуіміз қажет. Онсыз болмайды. Біз алдағы үш жыл ішінде

агроөнеркәсіптегі өңделген өнім үлесін 70 пайызға жеткізуіміз керек. Бұл – нақты міндет...» [1].

Ет өнеркәсібі үшін жаңа жабдықтар мен жаңа технологияларды құру біздің алдымызға жақын болашақта қойылған белгілі бір міндеттерді шешуді талап етеді. Ет өнімдерін өндірудің тиімді технологияларын және жабдықтардың оңтайлы конструкцияларын жетілдіру қайта өңделетін шикізаттың физика-механикалық қасиеттерін ескере отырып, өндірістік процестерді терең зерттеу негізінде ғана қамтамасыз етілуі мүмкін. Өздеріңіз білетіндей, ет шикізатын механикалық өңдеу күрделі физика-химиялық, биологиялық және механикалық процестермен қатар жүреді, оларды зерттеу өндірістің технологиялық циклін басқаруды дұрыс ұйымдастыруға және объективті сапаны бақылауды қамтамасыз етуге мүмкіндік береді. Ет өнеркәсібінің көптеген процестері дисперсті жүйелерді, суспензияларды, коллоидты ерітінділерді, әртүрлі пластикалық тұтқыр материалдарды өңдеумен байланысты. Реологиялық зерттеулер ет шикізатын өңдеу кезінде болатын құбылыстардың физикасын тереңірек түсінуге мүмкіндік береді.

Ребиндер П.А., Волярович М.П., Горбатов А.В., Рогов И.А., Косой В.Д., Мачихин Ю.А. және т.б. сияқты көптеген танымал ғалымдардың іргелі еңбектері реологиялық зерттеулерге арналған [2-7]. Ет шикізатының физика-механикалық қасиеттерін оны механикалық өңдеу процестерін есептеу кезінде, машиналардың жаңа конструкцияларын құрастыру және қолданыстағы машиналарды жаңарту кезінде, сондай-ақ технологиялық жабдықтың оңтайлы жұмыс режимдерін және өндірістің оңтайлы технологиялық сұлбаларын таңдау кезінде пайдалануға болады. Ет шикізатының реологиялық қасиеттерінің көпшілігі өнімнің сапасын бақылаудың және машиналарды, агрегаттарды, өндірістік алаңдарды басқарудың автоматты жүйелерін құру кезінде ескеріледі.

Ет шикізаты, ет жартылай фабрикаттары және ет өнімдері әртүрлі физика-механикалық қасиеттерге ие. Ет өнімдерін механикалық өңдеу процестері басқа өндірістерден әртүрлілігімен және күрделілігімен ерекшеленеді. Ет шикізаты мен өнімдерінің қасиеттері температураға, ылғалдылыққа, механикалық әсердің ұзақтығы мен мөлшеріне, сондай-ақ сақтау мерзіміне, тасымалдауға, өнімді алу әдісіне және басқа да көптеген факторларға байланысты.

Осылайша, өнімнің тек бір түріне жататын өнімдердің реологиялық қасиеттері әртүрлі деп айтуға болады, өйткені реологиялық шамаларды анықтау кезінде шарттар орындалмады, әртүрлі құрылғылар мен құралдар қолданылды. Бұл сипаттамалар машиналар мен құрылғыларды жобалау кезінде ең тиімді жұмыс режимдерін таңдау үшін қажет. Ет шикізатының реологиялық қасиеттерінің өзгеру заңдылықтарын білу, яғни әртүрлі қоспаларды қосу, режимдерді реттеу және өңдеу әдістері ет өнімдерінің сапасы мен құрылымына әсер етеді.

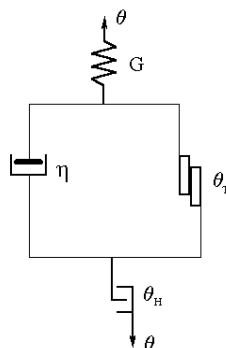
Зерттеу шарттары мен әдістері. Ет және ет-сүйекті өнімдері ішкі қасиеттерді өзгерту мақсатымен сыртқы факторлардың әсеріне ұшырайтын көп компонентті жүйелер болып табылады. Шикізат немесе өнімді реологиялық дене ретінде көрсетуге болады, оның механикалық моделі серпімділік, тұтқырлық, созылғыштық, беріктікпен сипатталатын денелерден тұратын денелер жиынтығы болып табылады, бұл денелердің деформациялық жүрісі күрделі реологиялық теңдеулермен сипатталады [3-5,12].

Ет өнімдері үшін құрлымның ең кең тараған коагуляциялық-кристалдық түрі, бұл кезде пышақтардың жоғары жылдамдықтарда

құрылымның бұзылуы қалпына келтіруге карағанда тез жүреді, өнімнің тұтқырлығы жылдам төмендейді.

Ет-сүйекті шикізатты ұсақтауда өнімге қысым пышақ арқылы беріледі, ол алғашқы кезде лезде-серпімділік деформацияға (G), ал ағу шегі (σ_T) жоғарлаған кезде баяу тұтқыр-пластикалық деформацияға (η , σ) және одан кейін сүйектің беріктік шегінен артық болатын кернеуде лезде-қайталанбайтын (σ_H) деформация мен материалдың бөлінуі (кесу мен ұнтақтау) іске асады [3-5,12,13].

Бингам, Шведов [5], Шоффилд-Скотт-Блер, Пелег [3, 10] реологиялық механикалық моделдерді зерттеу мен механикалық өңдеу кезінде ет-сүйекті фаршының жүрісін сипаттау үшін жүргізілген талдау негізінде реологиялық дененің – ет-сүйекті фаршының механикалық моделі жетілдірілген, ол тізбектеп қосылған Бингам моделі мен кесу кезінде материалдың беріктігін жоғалтуын сипаттайтын денеден тұрады (1-сурет).



Сурет 1. Реологиялық дененің – ет-сүйекті фаршының механикалық моделі

Ет-сүйекті фаршының жалпы деформациясы Бингам денесі мен ұсақтауда сүйектің жүрісін моделдеу элементтің қосындысына тең, ол кесу кезінде материалдың беріктігін жоғалтуын сипаттайтын және Шоффилд – Скотт-Блер қолданылатын модифицирленген элементі болып, формула бойынша анықталады:

$$\Delta\gamma = \Delta\gamma_B + \Delta\gamma_H \quad (1)$$

мұндағы: $\Delta\gamma_B$ – Бингам моделінің деформациясы; $\Delta\gamma_H$ – ұсақтау кезінде сүйек шикізатының жүрісін моделдейтін элементтің деформациясы.

(1) теңдеудің сол және оң жағынан уақыт бойынша туындысын алсақ, онда:

$$\frac{d\gamma}{d\tau} = \frac{d\gamma_B}{d\tau} + \frac{d\gamma_H}{d\tau} \quad (2)$$

$\frac{d\gamma_B}{d\tau}$ шамасы Бингам моделінің теңдеу арқылы анықталады:

$$\frac{d\gamma_B}{d\tau} = \frac{1}{G} \frac{d\theta}{d\tau} + \frac{(\theta - \theta_0)}{\eta} \quad (3)$$

$\frac{d\gamma_H}{d\tau}$ шамасы мына теңдеу арқылы анықталады:

$$\frac{d\gamma_H}{d\tau} = \dot{\gamma} = \frac{\theta_H}{\eta} \quad (4)$$

Бұл мәнді (2) тұжырымға қойсақ, ет-сүйекті фаршының теңдеуін аламыз.

Бұл кезде егер кернеу $\theta \leq \theta_H$, онда дененің жүрісі Бингам моделіне ұқсас болады, $\theta \geq \theta_H$ болғанда дененің жалпы тұтқырлығы тең болады:

$$\dot{\gamma} = \frac{\dot{\theta}}{G} + \frac{(\theta - \theta_0 - \theta_H)}{\eta} \quad (5)$$

мұндағы: $\dot{\gamma}$ – ығысу жылдамдығы; G – бұрыштық деформация кезінде серпімділік модулі; η – ығысу кезіндегі тұтқырлық; θ – ығысу кернеуі; θ_H – сүйек денелерінің лезде-қайталанбайтын деформация шегі.

Алынған реологиялық теңдеу жеткілікті дәлдік пен тәжірибелік қондырғыдағы ет-сүйекті фарштың ұсақтау процесті сипаттауға мүмкіндік береді. Бұл моделдің пайдалану облысы ұқсас жұмыс істеу принципі бар әртүрлі қондырғылар болуы мүмкін, яғни ауқымды өлшемдері бойынша шегі жоқ.

Зерттеу нәтижелері және оларды талқылау. Қорытындай келе, Семей қаласының Шәкәрім атындағы Университеттің мамандарымен реологиялық дененің – ет-сүйекті фаршының механикалық моделі жетілдірілді. Бұл модель Бингам, Шведов, Шоффилд-Скотт-Блер, Пелег реологиялық механикалық моделдерді зерттеу мен механикалық өңдеу кезінде ет-сүйекті фаршының жүрісін сипаттау үшін жүргізілген талдау негізінде жетілдірілген. Ол тізбектеп қосылған Бингам моделі мен кесу кезінде материалдың беріктігін жоғалтуын сипаттайтын денеден тұрады.

Ет-сүйекті шикізатты ұсақтауда өнімге қысым пышақ арқылы беріледі, ол алғашқы кезде лезде-серпімділік деформацияға, ал ағу шегі жоғарлаған кезде баяу тұтқыр-пластикалық деформацияға және одан кейін сүйектің беріктік шегінен артық болатын кернеуде лезде-қайталанбайтын деформация мен материалдың бөлінуі (кесу мен ұнтақтау) іске асады. Кесу күшінің салу уақыты өте аз, сондықтан шекті кесу кернеуі лезде жеткізіледі. Ет-сүйекті фаршының ұсақталған денелері алдымен тұтқыр-серпімді, лезде-қайталанбайтын деформацияларға және материалдың бөлінуіне ұшырайды, одан кейін шекті ығысу кернеуінің артық болатын кернеуде фарш пластикалық деформацияға ұшырап, ағып кетеді.

Қорытынды. Келтірілген реологиялық механикалық модель және физика-механикалық сипаттамалары өнімнің консистенциясын объективтік бағалауға ғана емес, сонымен қатар ет-сүйекті фаршының барлық механикалық өңдеу кезеңдерінде оның жүрісін зерттеуге қажет болады.

Әдебиеттер тізімі

1. Мемлекет басшысы Қасым-Жомарт Тоқаевтың «Әділетті Қазақстанның экономикалық бағдары» атты Қазақстан халқына Жолдауы, 01.09.2023 [Электрондық ресурс]. – Қол жетімділік режимі: <https://www.akorda.kz>. Пайдалану күні: 28.05.2024.

2. Косой, В.Д. Инженерная реология в производстве колбас [Текст] / В.Д. Косой, А.Д. Мальшев, С.Б. Юдина. – М.: КолосС, 2005. – 264 с.
3. Мачихин, Ю.А. Реометрия пищевого сырья и продуктов [Текст]: справочник / Ю.А. Мачихин. – М.: Агропромиздат, 1990. – 271 с.
4. Горбатов, А.В. Реология мясных и молочных продуктов [Текст]: монография / А.В. Горбатов. – М.: Пищевая промышленность, 1979. – 383 с.
5. Мачихин, Ю.А. Инженерная реология пищевых продуктов [Текст] / Ю.А. Мачихин, С.А. Мачихин. – М.: Легкая и пищевая пром-сть, 1981. – 215 с.
6. Горбатов, А.В. Структурно-механические характеристики пищевых продуктов [Текст] / А.В. Горбатов, А.М. Маслов, Ю.А. Мачихин. – М.: Легкая и пищевая пром-сть, 1982. – 296 с.
7. Еркебаев, М.Ж. Реология пищевых продуктов [Текст] / М.Ж. Еркебаев, Т.К. Кулажанов, Ю.А. Мачихин, Е.Б. Медведков. – Алматы, 2003. – 192 с.
8. Кулажанов, Т.Р. Научные основы технологических процессов обработки тестовых полуфабрикатов для мучных изделий [Текст]: автореферат дис. ... д-р. техн. наук / Т.Р. Кулажанов. – Алматы, 2005. – 40 с.
9. Горбатов, А.В. Гидравлика и гидравлические машины для пластично-вязких мясных и молочных продуктов [Текст]: учебник / А.В. Горбатов, В.Д. Косой, Я.И. Виноградов. – М.: Агропромиздат, 1991. – 176 с.
10. Gupta N.K., Tscheuschner H.D. Möglichkeiten zur Gestaltung des Schneid processes für die Herstellung von Schittbrot aus of enfrischem Brot. //Backer und Konditor. – 1976. – No. 10. – P. 300-302.
11. Кабулов, Б.Б. Интенсификация процессов механической обработки фарша [Текст]: дис. ... канд. техн. наук / Б.Б. Кабулов. – Семипалатинск: СГУ им. Шакарима, 2005. – 142 с.
12. Гуськов, К.П. Реология пищевых масс [Текст] /К.П. Гуськов, Ю.А. Мачихин, С.А. Мачихин, Л.Н. Лунин. – М.: Пищевая пром-сть, 1970. – 207 с.
13. Оспанов, А.А. Основы теории и моделирования процессов измельчения пищевого сырья и кормов [Текст] / А.А. Оспанов, Н.В. Остапчук. – Алматы: Ғылым, 1992. – 224 с.

Материал редакцияға 03.06.24 түсті.

Б.Б. Кабулов¹, Г.Б. Абдилова¹, Г.А. Жумадилова¹, А.Б. Бакиева¹, Ж.А. Сергибаева¹

¹Университет имени Шакарима города Семей, г. Семей, Казахстан

РЕОЛОГИЧЕСКАЯ МЕХАНИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ МЯСОКОСТНОГО ФАРША

Аннотация. Статья посвящена разработке реологической механической модели мясокостного фарша. Большинство мясных продуктов представляют собой дисперсные системы, суспензии, коллоидные растворы. Для научнообоснованного проектирования технологического оборудования необходимо знать конструктивно-механические характеристики этих продуктов. Вязкость неньютоновских материалов зависит от скорости деформации, которая связана с их структурой и изменениями при течении. В свою очередь, течение материала обусловлена его физико-химическими особенностями: формой и расположением молекул, концентрацией, температурой, влажностью, образованием мицелл. Установлено, что реологическое уравнение Бингама идеально подходит для описания течения мясокостного фарша. На основе проведенного анализа реологических механических моделей Бингама, Шведова, Шоффильд-Скотт-Блера, Пелега для описания течения мясокостного фарша при механической обработке разработана его реологическая механическая модель. Она состоит из последовательно соединенной модели Бингама и тела, характеризующего потерю прочности материала при резании. В результате исследования получено реологическое уравнение модели мясокостного фарша.

Реологическая механическая модель и физико-механические характеристики мясокостного фарша необходимы не только для объективной оценки консистенции продукта, но и для изучения его поведения на всех этапах механической обработки.

Ключевые слова: мясо, кость, фарш, реологическая механическая модель.

B. Kabulov¹, G. Abdilova¹, G. Zhumadilova¹, A. Bakiyeva¹, Zh. Sergibaeva¹

¹*Shakarim University of Semey, Semey, Kazakhstan*

RHEOLOGICAL MECHANICAL MODEL OF MEAT AND BONE MINCED MEAT

Abstract. The article is devoted to the development of a rheological mechanical model of minced meat. Most meat products are dispersed systems, suspensions, colloidal solutions. For scientifically based design of technological equipment, it is necessary to know the structural and mechanical characteristics of these products. The viscosity of non-Newtonian materials depends on the rate of deformation, which is related to their structure and changes during flow. In turn, the flow of the material is determined by its physico-chemical features: the shape and location of molecules, concentration, temperature, humidity, and the formation of micelles. It has been established that the Bingham rheological equation is ideally suited for describing the flow of minced meat. Based on the analysis of rheological mechanical models by Bingham, Shvedov, Shoffield-Scott-Blair, Peleg, a rheological mechanical model of minced meat was developed to describe the flow of minced meat during mechanical processing. As a result of the study, the rheological equation of the minced meat model was obtained. A rheological mechanical model and physico-mechanical characteristics of minced meat are necessary not only for an objective assessment of the consistency of the product, but also for studying its behavior at all stages of mechanical processing.

Keywords: meat, bone, minced meat, rheological mechanical model.

References

1. Message of the Head of State Kassym-Jomart Tokayev to the people of Kazakhstan "Economic course of fair Kazakhstan", 01.09.2023 [Electronic resource]. – Access mode: <https://www.akorda.kz>. Date of access: 28.05.2024.
2. Kosoy, V.D., Malyshev, A.D., Yudina, S.B. Inzhenernaya reologiya v proizvodstve kolbas [Engineering rheology in sausage production]. – Moscow: KolosS, 2005. – 264 p. [in Russian].
3. Machikhin, YU.A. Reometriya pishchevogo syr'ya i produktov [Rheometry of food raw materials and products]: reference book. – Moscow: Agropromizdat, 1990. – 271 p. [in Russian].
4. Gorbatov, A.V. Reologiya myasnykh i molochnykh produktov [Rheology of meat and dairy products]: monograph. – Moscow: Food Industry, 1979. – 383 p. [in Russian].
5. Machikhin, YU.A., Machikhin, S.A. Inzhenernaya reologiya pishchevykh produktov [Engineering rheology of food products]. – Moscow: Light and food industry, 1981. – 215 p. [in Russian].
6. Gorbatov, A.V., Maslov, A.M., Machikhin, YU.A. Strukturno-mekhanicheskiye kharakteristiki pishchevykh produktov [Structural and mechanical characteristics of food products]. – Moscow: Light and food industry, 1982. – 296 p. [in Russian].
7. Yerkebayev, M.ZH., Kulazhanov, T.K., Machikhin, YU.A., Medvedkov, Ye.B. Reologiya pishchevykh produktov [Rheology of food products]. – Almaty, 2003. – 192 p. [in Russian].
8. Kulazhanov, T.R. Nauchnyye osnovy tekhnologicheskikh protsessov obrabotki testovykh polufabrikatov dlya muchnykh izdeliy [Scientific foundations of

- technological processes for processing dough semi-finished products for flour products]: abstract of dis. ... Dr. of Engineering. sciences. – Almaty, 2005. – 40 p. [in Russian].
9. Gorbatov, A.V., Kosoy, V.D., Vinogradov, YA.I. *Gidravlika i gidravlicheskiye mashiny dlya plastichno-vyazkikh myasnykh i molochnykh produktov* [Hydraulics and hydraulic machines for plastic-viscous meat and dairy products]: textbook. – Moscow: Agropromizdat, 1991. – 176 p. [in Russian].
 10. Gupta N.K., Tscheuschner H.D. *Möglichkeiten zur Gestaltung des Schneid processes für die Herstellung von Schittbrot aus of enfrischem Brot. //Backer und Konditor.* – 1976. – No. 10. – P. 300-302.
 11. Kabulov, B.B. *Intensifikatsiya protsessov mekhanicheskoy obrabotki farsha* [ntensification of mechanical processing of minced meat]: dis. ... candidate of technical sciences. – Semipalatinsk: SSU named after. Shakarim, 2005. – 142 p. [in Russian].
 12. Gus'kov, K.P., Machikhin YU.A., Machikhin, S.A., Lunin, L.N. *Reologiya pishchevykh mass* [Rheology of food masses]. – Moscow: Food industry, 1970. – 207 p. [in Russian].
 13. Ospanov, A.A., Ostapchuk, N.V. *Osnovy teorii i modelirovaniya protsessov izmel'cheniya pishchevogo syr'ya i kormov* [Fundamentals of the theory and modeling of the processes of grinding food raw materials and feed]. – Almaty: Ğylym, 1992. – 224 p. [in Russian].