

Information about the authors

Botakoz Manarbekovna Kulushtaeva* – PhD, Senior Lecturer of the Department of «Food Technology», Shakarim University of Semey, Kazakhstan; e-mail: kulushtaeva_89@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0067-9872>.

Gulnara Tokenovna Zhumanova – PhD, Acting Associate Professor of the Department of «Food Technology», Shakarim University of Semey, Kazakhstan; e-mail: g-7290@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1785-2739>.

Arai Saginbekovna Kambarova – PhD, Acting Associate Professor of the Department of «Food Technology», Shakarim University of Semey, Kazakhstan; e-mail: kambarova@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4289-3818>.

Farida Kharisovna Smolnikova – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of «Food Technology», Shakarim University of Semey, Kazakhstan; e-mail: smolnikovafarida@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8777-5313>.

Janar Serikbolovna Nabieva – PhD, Associate Professor, Director of the Research Institute of Food Safety, Almaty Technological University, Kazakhstan; e-mail: atu_nabiyeva@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7258-746X>.

Редакцияға енуі 22.10.2024

Өңдеуден кейін түсуі 11.11.2024

Жариялауға қабылданды 20.11.2024

[https://doi.org/10.53360/2788-7995-2024-4\(16\)-20](https://doi.org/10.53360/2788-7995-2024-4(16)-20)

MPHTI: 65.13.23



М.М. Какимов, С.Д. Токаев, Г.Х. Оспанкулова, Б.М. Искаков*, Б.Т. Рзаев

С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті

010011, Қазақстан Республикасы, Астана қ., Жеңіс даң., 62

*e-mail: baissemey@bk.ru

БИДАЙ ҰНЫН ПНЕВМАТИКАЛЫҚ ОРАМДА ФРАКЦИЯЛАРҒА БӨЛУДІҢ МАТЕМАТИКАЛЫҚ МОДЕЛІ

Аңдатпа: Мақалада бидай ұны өнімдерін фракцияларға радиалды ағынды, пневматикалық орамды арнада бөлудің математикалық моделі ұсынылып, бидай ұнын ақуызды фракцияларға бөлу арқылы сапалы, құндылығы жоғары ұн өндіру мәселесі қарастырылған. Өртекті майда түйірлерді, пневматикалық орамда түйірлер ағынын ортадан тепкіш күштердің әсерімен бөлудің дифференциалдық теңдеулері берілген.

Математикалық теңдеулерді шешуде геометриялық, физикалық және шекаралық шарттар қойылып, ағынның біртұтастылығы, энергия тасымалдағыш (ауа) пен майда түйірлерінің қозғалыстары сияқты мәндер қолданылған. Сонымен қатар, өртекті майда түйірлерге әсер ететін күштерге талдау жасауда түйірлердің пішінін шар түрінде және ұн түйірлері арасында өзара әрекеттесу болмайтындықтан, олар тасымалдаушы ағында және түйірлердің турбулентті қозғалысы олардың қозғалысының орташа жылдамдығына әсері етпейді деп қарастырдық.

Радиалды ағысты, пневмоорамды арнаның геометриялық және технологиялық көрсеткіштерінен тәуелді түрде, біртұтас ортаның ағысын сипаттайтын аналитикалық өрнектерге сүйеніп, бидай ұны түйірлерінің гидродинамикалық көрсеткіштерімен, тұтас орта қозғалысының векторы бағытының әсерін есепке алатын яғни, бидай ұнын пневмосепаратор көмегімен құраушыларына бөлудегі түйірлердің жылдамдықтары мен траекторияларын есептеуге мүмкіндік беретін математикалық моделі жасалды.

Мақалада қарастырылған бидай ұнын пневмоорамды арнада фракцияларға бөлудің математикалық моделі, бидай ұнын аэродинамикалық көрсеткіштері бойынша фракцияларға бөлудің, ресурс үнемдейтін технологияларын әзірлеудің алдын ала есептеулеріне негіз болады.

Түйін сөздер: бидай ұны, пневмоорамды арна, ағын, түйірлер пішіні, әуелеп қалықтау жылдамдығы.

Кіріспе

Ауыл шаруашылық министрлігінің мәліметі бойынша елдің ішкі тұтынуынан артық 3,2 млн тонна көлеміндегі ұн сыртқы нарыққа шығарылып, ұнды экспорттау көлемі бойынша Қазақстан әлемде жетекші орындардың бірін иеленеді.

Бірақ, Қазақстаннан ұн импорттаушы елдер өздерінің астық өңдеу салаларын тұрақты түрде дамытулары нәтижесінде, еліміздің сыртқы нарыққа сататын ұн көлемі азаюда. Сондықтан, Қазақстанға астықты терең өңдеуді дамытумен қатар, қосымша ұнды байыту салаларын жетілдіріп, ұнды экспортқа шығару құрылымын әртараптандыру қажет.

Осыған байланысты еліміздің ауыл шаруашылығы министрлігі қайта өңдеу саласына инвестицияларды ынталандыру мақсатында қосымша мемлекеттік қолдау шараларын қабылдап, 2024-2026 жылдары Қазақстанда астық өңдеу бойынша 13 жобаны, оның ішінде 2024 жылы – 7 жобаны іске асыру жоспарлауда [1].

Жоғарыда айтылғандарға сай, жыл өткен сайын тұтынушылардың ұнға қойатын талаптары да жоғарылауда. Сондықтан қазіргі заман талаптарына сәйкес, сұрыпталған ұнға деген сұраныстар мен қатар, оның жекелеген құраушыларының көп немесе аз болуына деген қажеттіліктер де өсуде. Мысалы, нан, кондитерлік немесе арнайы өнімдер өндіруге арналған ұн құрамындағы ақуызбен крахмал мөлшеріне қойылатын талаптарға сай болуы. Сондықтан, тұтынушыларды сапалы азық-түлікпен қамтамасыз ету мәселесін, атап айтқанда, қазіргі уақытта сұраныс артып отырған функционалдық мақсатта тұтынатын өнімге деген қажеттіліктердің оң шешім табуыда маңызды мәселелердің біріне айналып, қолданыстағы жабдықтар мен әдістер бұл талаптарға сәйкес келе бермеуі қол байлау болуда.

Бұл мәселелер ірі қайта өңдеу кәсіпорындары сияқты дамыған технологиялық желілерді қолдана алмайтын, агроөнеркәсіптік кешеннің шағын қайта өңдеу кәсіпорындары мен фермерлік шаруашылықтарының алдында тұрған басты мәселелердің біріне айналуға.

Астық өңдеу кәсіпорындарында, ұн өндірудің технологиялық операциялары астықты және оны ұнтақтау өнімдерін бірнеше рет ұнтақтап, өндірілген ұнды фракцияларға бөлуден тұрады. Ұнды фракцияларға бөлу, дайын ұн өнімінің ассортименті мен мақсатына қойылатын талаптарына сәйкес физика-механикалық қасиеттерімен ерекшеленеді [2, 3].

Ұн түйірлерін құрылымдарымен ерекшеленетін құраушыларына яғни, ұн түйірлерін физика-механикалық, аэродинамикалық қасиеттерімен ерекшеленетін фракцияларға бөлу бидай ұнынан жоғары ақуызды құраушы фракцияларын бөліп алып, биологиялық құндылығы жоғары өнім алуды жетілдіру басты мақсат болып табылуда.

Қазіргі уақытта, ұн мен нан өнімдерінің құрамындағы ақуыз бен крахмал мөлшерін реттеу әр түрлі құрамы бар фракцияларды алудың жаңа тәсілдері мен жабдықтарын жетілдіріп, олардың құрылымдарының қарапайым, қол жетімді, қолданылуы оңай және көп функциялы болуы басты қажеттіліктердің бірі.

Бидай ұнын пневмоорамды арналы ауа сепараторларында құраушы фракцияларына бөлу процесіне көптеген шет елдік және отандық ғалымдардың жұмыстарында қарастырылғанымен, әлі де нарық талабына сай жетілдіруді қажет етеді.

Ұн өндірісінің қолданыстағы технологияларында ұнтақтаудың аралық кезеңдеріндегі бөлу дәлдігі өнімнің сапасына және шикізатты пайдалану дәрежесіне әсер етумен қатар, кәсіпорынның өнімділігі мен техника-экономикалық көрсеткіштеріне де әсер етеді [4, 5, 6].

Астықты ұнтақтау өнімдерін ірілігі мен басқа да көрсеткіштері бойынша ерекшеленетін фракцияларға бөлу әдістерін, сондай-ақ технологияларды құрып және қолданыстағы жабдықтарды жаңғырта отырып, жүзеге асыру үшін жоғары тиімді құрылғылар мен технологияларды әзірлеу, энергия үнемдеу және өнім сапасын жоғарылату мәселелерін шешудің басты міндеттерінің бірі болып табылады.

Материалдар мен тәсілдер

Пневмоорамды арналы ауа сепараторында ұн түйірлерін фракцияларға бөлу операциясы ауа ағынында орындалатын көп айнымалылары бар, күрделі процесс болып табылады.

Ұн түйірлерінің ауа ағынында қозғалысы барысында оған әр түрлі күштер әсер етіп, ұнның құраушы түйірлерінің қозғалысын, теориялық талдау кезінде барлық көрсеткіштерді ескеру мүмкін емес. Осыған байланысты, ауа ағынының астық қоспасымен өзара әрекеттесуінің математикалық сипаттамалары классикалық механика заңдарының болжамдарына негізделіп, бұл тәсіл ауа ағынында астық түйірлерінің пневмосепарациялауға

әсер ететін көрсеткіштерін теориялық тұрғыда анықтауға мүмкіндік береді. Оларды шешу негізінде жасалған, математикалық моделдеуде, оңтайландыру көрсеткіштері ретінде фракцияны, аэродинамикалық қасиеттері арқылы бөлу үшін, оның радиусына бұрылыс диаметрі яғни, бөлінетін түйірлердің айналу жылдамдығына байланысты бөлу аймағындағы ауа ағынының жылдамдығы сияқты құрылымдық өлшемдердің қатынасы қарастырылды.

Ұн түйірлерінің бастапқы жылдамдығына байланысты пневмоорамды арнада, олардың әуелеп ұшу жолы екі түрі болуы мүмкін. Біріншісі – ауырлық күшінің өрісіндегі дене қозғалысының қарапайым түзу сызықты қозғалыс, екіншісі-арнаның алыс қабырғасынан соғылып, шағылысқан яғни, бағыты өзгерген қозғалыс.

Зерттеу нәтижелері

Түйірлердің физико-механикалық қасиеттері мен тұтас орта жылдамдығының өрісі, бидай ұнын пневмоорамды арнада ортадан тебу күшінің әсерімен ажырату процесін моделдеуге бастапқы берілгендер болып табылады [7].

Жылдамдықтар өрісін моделдеу радиалды, пневмоорамды ағыстары бар, ауа ағындарының құрылымдарын зерттеу нәтижелері мен өріс үздіксіздігі теңдеуіне [8] негізделіп, жылдамдықтар өрісін сипаттайтын теңдеу қорытындысы келесідей жазылады:

$$\vec{U} = -grad\Phi, \quad (1)$$

Координаталардың цилиндрлі жүйесінде 1-теңдеу төмендегідей жазылады:

$$\Delta\Phi = \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial}{\partial r} \cdot \left(r \cdot \frac{\partial\Phi}{\partial r} \right) + \frac{1}{r^2} \cdot \frac{\partial^2\Phi}{\partial\varphi^2} + \frac{\partial^2\Phi}{\partial z^2} = 0 \quad (2)$$

2-теңдеудің шешімін радиус-вектормен сипатталатын орам сызық түрінде келесідей сипаттап жазуға болады:

$$\Phi(a, \varphi, z) = a(\varphi) \cdot \vec{e}_r + h \cdot \frac{\varphi}{2\pi} \cdot \vec{e}_z, \quad (3)$$

мұнда a – орам проекцияларының қисықтық радиусы, м; φ – бұрыштық координата, рад.; h – орам қадамы, м.

z өсі бойынша орам қадамын h тұрақты, арнаның бұрамалы көтерілу сызығының бұрышына α^0 пропорционалды деп қабылдаймыз.

Радиалды пневмоорамды ағыстың жүріс сызығы, қисықтық сызығы ауыспалы болатын орам сызықты түзеді [9]. Орам проекциясының қисықтық радиусы a , Архимедтың орамға арналған сызықтық тәуелділігіне сай өзгереді:

$$a = a_o - \frac{k \cdot \varphi}{2\pi}, \quad (4)$$

мұнда: a_o – қисықтықтың бастапқы радиусы, м ($r_{oc} \leq a_o \leq r_k$);

k – ағынның бір айналыста ығысуы, м;

r_{oc} – өстік келте құбырдың радиусы;

r_k – цилиндрлі тұрықтың радиусы, м.

Ағын ығысуын k пневмоарнадағы жылдамдықтың тангенциалды құраушысы U_t мен өстік келте құбырдың терезелеріндегі тұтас ортаның жылдамдықтары U_{oc} мәндеріне қарағанда тікелей пропорционалды деп қабылдаймыз, сонда:

$$k = K \frac{U_{oc}}{U_t}, \quad (5)$$

мұнда: K – пропорционалдық коэффициенті.

U_{oc} мен U_t жылдамдықтарын анықтағаннан кейін, пневмоорамды арнаның реттелетін технологиялық және геометриялық көрсеткіштерін байланыстыратын ағын сызығының ығысу коэффициентін аламыз:

$$k = \frac{K \cdot \varphi \sqrt{((U_{шығ.})^2 - (U_{өст.к.қ.})^2) \cdot r_{\phi max} \cdot b^2}}{\beta(\xi_1 U_{шығ.} \cdot b^2 + \xi_2 U_{өст.к.қ.} \cdot B) \cdot a_o \cdot e^{\frac{1}{r_{\phi max}}}} \quad (6)$$

мұнда $U_{шығ.}$ – келте құбырдың пневмоорамды арнасындағы ағынның орташа жылдамдығы, м/с; $U_{өст.к.қ.}$ – өстік келте құбырдағы ағынның орташа жылдамдығы, м/с; φ – саңылаулардың пішіні мен өлшемдерін есепке алатын коэффициент; $r_{\phi max}$ – тангенциалды жылдамдықтың ең жоғары шегіне U_{tmax} жететін радиус, м; B – өнімнің жабдықтан шығатын өстік келте құбырының ауданы, м²; b – арна қимасының беті, м; $\xi_1 = 0,769$ – пневмоорамды арнаның

кедергі коэффициенті; $\xi_2=0,505$ – өстік келте құбырдың кедергі коэффициенті; $\beta=1,5$ – арна құрылымына тәуелді болып келетін, ең жоғары және орташа жылдамдықтарының қатынастарының эмпирикалық коэффициенті.

4-6 теңдеулерді есепке алып, 3-теңдеуді дифференциалдай отырып, өстік келте құбырдағы радиалды ағысты ауа ағынының жылдамдық өрісін сипаттайтын теңдеуді аламыз:

$$\vec{U} = \left(-k \frac{\omega}{2\pi}\right) \cdot \vec{e}_r + \left(\omega \cdot \left(a_o - k \frac{\varphi}{2\pi}\right)\right) \cdot \vec{e}_\varphi + h \cdot \frac{\omega}{2\pi} \cdot \vec{e}_z \quad (7)$$

мұнда ω – ағынның бұрыштық жылдамдығы, рад/с.

7-өрнектегі $\vec{e}_r$, $\vec{e}_\varphi$, $\vec{e}_z$ коэффициенттері, энергиятасымалдағыш жылдамдығы векторының $\vec{U}$ координат жүйесі өстеріне сәйкес келетін проекцияларын көрсетеді.

Ұн түйірлеріне әсер ететін күштерді сараптау мақсатында келесідей бірқатар болжамдар жасаймыз:

1) тасымалдайтын ауа ағынына ұн түйірлері ешқандай әсер етпейді;

2) ауа ағынының турбулентті пульсті қозғалысы ұн түйірлерінің орталықтанған қозғалысына әсер етпейді.

Энергия тасымалдағышпен қозғалысқа келетін ұн түйірлеріне келесідей күштер әсер етеді: инерцияның тангенциалды күші $\vec{F}_T$, ортадан тепкіш күш $\vec{F}_Ц$, Кариолис күші $\vec{F}_{кор}$, аэродинамикалық кедергі күші $\vec{F}_C$, гидравликалық кедергі күші $\vec{F}_{ГД}$, Архимед күші $\vec{F}_A$ және ауырлық күші $\vec{G}$.

Басқа күштердің әсері ажырату процесіне өте аз болғандықтан, оларды есепке алмаймыз. Сонда, жекелеген ұн түйірлерінің қозғалыс теңдеуін Ньютонның екінші заңы бойынша келесідей жазамыз:

$$m \frac{d\vec{v}}{dt} = 2m\omega U_t + m\omega^2 r + 2m\omega(\vec{v} - \vec{U}) + 3\pi\mu_B d_3(\vec{v} - \vec{U}) + \frac{\xi\pi d_3^2 \rho_r (\vec{v} - \vec{U})^2}{8} + m\vec{g}(\rho_r/\rho_m) + m\vec{g} \quad (8)$$

мұнда m – түйірлер салмағы, кг; ω_1 – ауа ағынының бұрыштық жылдамдығы, рад/с; U_t – ағынның тангенциалды жылдамдығы, м/с; r – пневмоорамды арнаның радиусы, м; $\vec{v}$ – түйірлердің жылдамдық векторы, м/с; μ_B – ауаның динамикалық тұтқырлық коэффициенті, Па·с; ξ – гидродинамикалық кедергі коэффициенті; ρ_r – ортаның тығыздығы, кг/м³; ρ_m – материалдың тығыздығы, кг/м³; g – еркін түсу үдеуі, м/с².

Түйірлер пішінінің және түйірлердің қозғалысы барысында ағындағы тығыздық шартының әсерін, төмендегі тәуелділікпен анықталатын гидродинамикалық кедергі коэффициенті есепке алады:

$$\xi = k_1 k_2 \cdot (0,462 k_3 + 30/Re) \quad (9)$$

мұнда k_1 – түйірлердің өзара әрекеттесуі нәтижесінде, қозғалысының тығыздық шартын есепке алатын коэффициент; k_2 – жабдық қабырғасының әсері нәтижесінде түйірлердің тығыздық шартын есепке алатын коэффициент; k_3 – түйірлер пішінінің әсерін есепке алатын коэффициент.

Ұн түйірлерінің пішін факторының әсері, түйірлердің нақты әуелеп ұшу жылдамдығын u_e тәжірибелік тәсілмен табу арқылы есепке алынады [10]. Ары қарай, $\xi=f(Re)$ теңдеуімен және $Ar=3\xi Re^2/4$ қатынасының көмегімен, итерациялық тәсіл арқылы түйірлердің эквивалентті диаметрі келесідей есептеп шығарылады:

$$d_3 = \sqrt[3]{\frac{v^2 \cdot \rho \cdot Ar}{g(\rho_m - \rho)}} \quad (10)$$

Бидай ұнының майда түйірлерінің I дранды жүйеден кейінгі әуелеп ұшу жылдамдығы 0,5–5,5 м/с аралығында болып, бұл жағдайда түйірлердің есептік эквивалентті диаметрлері 122...1040 мкм аралығында болады [11]. Мысалы, әуелеп ұшу жылдамдығы $u_e=3,5$ м/с болса, эквивалентті диаметр $d_3=675$ мкм болады.

Векторлық шамадан, бір сандық мәнмен өзгешеленетін яғни, векторларды скалярлық көбейтуде сандық мәні алынатын, скалярлық шама бойынша 8-ші теңдеу төмендегідей үш теңдеулер жүйесіне тең болады:

$$\begin{cases} m \frac{dv_x}{dt} = -2m\omega U_t \cdot \cos\varphi + m\omega^2 r \cdot \cos\varphi - 2m\omega(v_x - U_x) - 3\pi\mu_B d_3(v_x - U_x) - \xi\pi d_3^2 \rho_z(v_x - U_x)^2/8 \\ m \frac{dv_y}{dt} = 2m\omega U_t \cdot \sin\varphi + m\omega^2 r \cdot \sin\varphi - 2m\omega(v_y - U_y) + 3\pi\mu_B d_3(v_y - U_y) + \xi\pi d_3^2 \rho_z(v_y - U_y)^2/8 \\ m \frac{dv_z}{dt} = 3\pi\mu_B d_3(v_z - U_z) + \frac{\xi\pi d_3^2 \rho_z(v_z - U_z)}{8} - mg \left(\frac{\rho_z}{\rho_M} \right) + mg \end{cases} \quad (11)$$

Жылдамдықтардың $\vec{v}^I$, $\vec{U}^I$ және координатаның ρ өлшемсіз мәндерін төмендегі қатынастармен анықтаймыз:

$$U_r^I = \frac{U_r}{U_{\text{kipic}}}; \quad U_\varphi^I = \frac{U_\varphi}{U_{\text{kipic}}}; \quad U_z^I = \frac{U_z}{U_{\text{kipic}}}; \quad v_r^I = \frac{v_r}{U_{\text{kipic}}}; \quad v_\varphi^I = \frac{v_\varphi}{U_{\text{kipic}}}; \quad v_z^I = \frac{v_z}{U_{\text{kipic}}}; \quad \rho = \frac{r}{r_k} \quad (12)$$

Майда ұн түйірлерінің салмағын оның тығыздығы мен көлемі бойынша сипаттап жаза отырып, 11 теңдеулер жүйесін кинематика теңдеулерімен толықтырып, математикалық түрлендіруден кейін төмендегі координатаның цилиндрлік жүйесіндегі толық теңдеулер жүйесін аламыз:

$$\begin{cases} \frac{d\rho}{d\varphi} = \rho \frac{v_r^I}{v_\varphi^I} \\ \frac{dv_r^I}{d\varphi} = v_r^I - 2(v_r^I - U_r^I) - \frac{\rho}{v_\varphi^I} \cdot \frac{1}{St_k} (v_r^I - U_r^I) - K_\xi \frac{\rho}{v_\varphi^I} (v_r^I - U_r^I)^2 \\ \frac{dv_\varphi^I}{d\varphi} = \frac{2U_t}{U_{\text{BX}}} - 2(v_\varphi^I - U_\varphi^I) + \frac{\rho}{v_\varphi^I} \cdot \frac{1}{St_k} (v_\varphi^I - U_\varphi^I) + K_\xi \frac{\rho}{v_\varphi^I} (v_\varphi^I - U_\varphi^I)^2 \\ \frac{dv_z^I}{d\varphi} = \frac{\rho}{v_\varphi^I} \cdot \frac{1}{St_k} (v_z^I - U_z^I) + K_\xi \frac{\rho}{v_\varphi^I} (v_z^I - U_z^I)^2 - \frac{1}{Fr} \cdot \frac{\rho}{v_\varphi^I} (\rho_z/\rho_M) + \frac{1}{Fr} \cdot \frac{\rho}{v_\varphi^I} \end{cases} \quad (13)$$

мұнда St_k – Стокс саны; Fr – Фруд саны; K_ξ – түйірдің гидравликалық кедергісін анықтайтын өлшемсіз көрсеткіш, $K_\xi = \frac{6R_k \cdot \xi \cdot \rho_r}{8\rho_M \cdot d_3}$.

Ғылыми нәтижелерді талқылау

Өстік келте құбырдағы радиалды ағысты ауа ағынының жылдамдық өрісін есепке ала отырып, координатаның цилиндрлік жүйесіндегі ұн түйірлерінің қозғалысын сипаттайтын, 13-теңдеулер жүйесі ұн фракцияларының радиалды ағынды, пневматикалық бұрамалы арнада бөлуді математикалық түрде сипаттайды.

Астықты ұсақтаудың өнімдерін радиалды ағынды, пневматикалық бұрамалы арнада бөлудің, алынған математикалық моделі көрсеткіштері берілген бөлшектердің қозғалыс траекторияларын пневмоорамды арнаның реттелетін технологиялық және геометриялық көрсеткіштерін байланыстыратын ағын сызығының ығысу коэффициенті түйірлер қозғалысының мәндерін есептеуге мүмкіндік береді.

Қорытынды

Математикалық модельдеу тұрғысынан дисперсті бөлшектерді ауа ағынынан бөлу әсерінің критерийі олардың спиральды бұрылыстың қисық бетіндегі бұрылып қозғалу болып табылады. Демек, ұн түйірлерінің бөліну аймағына жететін сәті яғни, орам бұрылысының сыртқы қабырғасының ішкі бетіндегі бөлшектердің жүріп өткен жолы ментүйірлердің орналасқан орындарындағы айырмашылығын анықтау теңдеулерін шешу негізінде алынған мәндер түйірлердің қозғалыс траекториялары болып табылады. Пневмоорамды арналы ауа сепараторында ұн түйірлерін фракцияға бөлуде, ауаның айналмалы қозғалысындағы бөлінетін түйірлердің қозғалысына әсер ететін күштерге талдау жасалып, ағынның технологиялық және геометриялық көрсеткіштерін есепке ала отырып, радиалды ағысты, пневмоорамды ағындағы энергия тасымалдағыштың (біздің жағдайымызда ауа) жылдамдығын есептеуге мүмкіндік беретін математикалық тәуелділік алынды. Сонымен қатар, астықты ұнтақтау өнімі болып табылатын ұн түйірлерінің әуелеп қалықтау жылдамдығынан осы түйірлердің эквивалентті диаметрінің есептік тәуелділігі мен энергия тасымалдағыш болып табылатын ауа ағынының радиалды ағысты пневмоорамды арнадағы ауа ағынының жылдамдығын сипаттайтын аналитикалық өрнек алынды.

Радиалды ағысты, пневмоорамды ауа сепараторында астық өңдеу өндірісінің өнімі болып табылатын ұнды фракцияларға бөлуді есептеуде, ұн түйірлерінің жылдамдықтары мен

траекторияларын есептеуге мүмкіндік беретін математикалық модел ұсынылған.

Пневмоорамды арналы ауа сепараторында түйірлерді бөлу көрсеткіштерін оңтайландырудың негізгі критерийі оның тиімділігі яғни, түйірдің орам арналарында айналып қозғалуын математикалық моделдеу арқылы алдын-ала анықтау, ұсақ майда түйірлердің жіктеліп, бөліну дәрежесін жоғарылатуға мүмкіндік береді.

Әдебиеттер тізімі

1. Глубокую переработку зерна начали развивать в Казахстане. [Электронный ресурс]. URL: <https://eldala.kz/novosti/zerno/19636-glubokuyu-pererabotku-zerna-nachali-razvivat-v-kazahstane>. Дата публикации: 05.07. 2024 г.
2. Проценко Г.И. Вентиляционные и пневмотранспортные установки зерноперерабатывающих предприятий: учеб. пособие / Г.И. Проценко, В.А. Анфалов – М.: Издательство ПРИР, 2000.
3. Туров А.К. Разделение целевых фракций размола зернав аэродинамическом потоке / А.К. Туров, А.А. Мезенов // Материалы межд. науч.-практ. конференции «Агроинженерная наука – итоги и перспективы». –Новосиб. гос. аграр. ун-т. Инж. ин-т., Новосибирск. – 2004. – С. 201-203.
4. Fistes A. The function for estimating the separation efficiency of the wheat flour milling process / A. Fistes, D. Rakic, A. Takaci // Journal of food science and technology. – 2013. – Т. 50. – Р. 609-614.
5. The potential of fiber-depleted starch concentrate produced through air currents assisted particle separation of barley flour in bio-ethanol production / Y. Lu et al // Bioresource technology. – 2020. – Т. 303. – Р. 122942.
6. Qualitative characterization of unrefined durum wheat air-classified fractions / A. Cammerata et al // Foods. – 2021. – Т. 10, № 11. – Р. 2817.
7. Lewko P. Distribution of arabinoxylans and their relationship with physiochemical and rheological properties in wheat flour mill streams as an effective way to predict flour functionality / P. Lewko, A. Wójtowicz, M. Gancarz // Applied Sciences. – 2023. – Т. 13, № 9. – Р. 5458.
8. The Process of Separating Buckwheat and Wheat Grain in a Pneumatic Cone Separator in the Context of Sustainable Agriculture / E. Kolankowska et al // Processes. – 2021. – Т. 10, № 1. – Р. 59.
9. Dry fractionation process operations in the production of protein concentrates: A review / M.K. Pulivarthi et al // Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety. – 2023. – Т. 22, № 6. – Р. 4670-4697.
10. Мезенов А.А. Анализ работы мини-мельниц при производстве сортовой муки / А.А. Мезенов // Материалы межд. науч.-практ. конференции «Научное обеспечение устойчивого развития АПК в Сибири» – Улан -Удэ. : Изд-во ФГОУ ВПО «БГСХА им. В.Р. Филипова. – 2004. – С. 172-175.
11. Туров А.К. Классификация пневмосепарирующих систем / А.К. Туров, А.А. Мезенов // Материалы межд. науч.-практ. конференции Современнеетенденции развития АПК в России. – Краснояр. гос. аграр. ун-т-Красноярск. – 2007. – Ч. 2. – С. 86-89.

References

1. Glubokuyu pererabotku zerna nachali razvivat' v Kazakhstane. [Ehlektronnyi resurs]. URL: <https://eldala.kz/novosti/zerno/19636-glubokuyu-pererabotku-zerna-nachali-razvivat-v-kazahstane>. Data publikatsii: 05.07. 2024 g. (In Russian).
2. Protsenko G.I. Ventilyatsionnye i pnevmotransportnye ustanovki zernopererabatyvayushchikh predpriyatii: ucheb.posobie / G.I. Protsenko, V.A. Anfalov – M.: Izdatel'stvo PRIR, 2000. (In Russian).
3. Turov A.K. Razdelenie tselevykh fraktsii razmola zernav aehrodinamicheskom potoke / A.K. Turov, A.A. Mezenov // Materialy mezhd. nauch.-prakt.konferentsii «Agroinzhenernaya nauka – itogi i perspektivY». –Novosib. gos. agrar. un-t. Inzh. in-t., Novosibirsk. – 2004. – S. 201-203. (In Russian).
4. Fistes A. The function for estimating the separation efficiency of the wheat flour milling process / A. Fistes, D. Rakic, A. Takaci // Journal of food science and technology. – 2013. – Т. 50. – R. 609-614. (In English).
5. The potential of fiber-depleted starch concentrate produced through air currents assisted particle separation of barley flour in bio-ethanol production / Y. Lu et al // Bioresource technology. – 2020. – Т. 303. – R. 122942. (In English).
6. Qualitative characterization of unrefined durum wheat air-classified fractions / A. Cammerata et al // Foods. – 2021. – Т. 10, № 11. – R. 2817. (In English).

7. Lewko P. Distribution of arabinoxylans and their relationship with physiochemical and rheological properties in wheat flour mill streams as an effective way to predict flour functionality / P. Lewko, A. Wójtowicz, M. Gancarz // Applied Sciences. – 2023. – T. 13, № 9. – R. 5458. (In English).
8. The Process of Separating Buckwheat and Wheat Grain in a Pneumatic Cone Separator in the Context of Sustainable Agriculture / E. Kolankowska et al // Processes. – 2021. – T. 10, № 1. – R. 59. (In English).
9. Dry fractionation process operations in the production of protein concentrates: A review / M.K. Pulivarthi et al // Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety. – 2023. – T. 22, № 6. – R. 4670-4697. (In English).
10. Mezenov A.A. Analiz raboty mini-mel'nits pri proizvodstve sortovoi muki / A.A. Mezenov // Materialy mezhd. nauch.-prakt. konferentsii «Nauchnoe obespechenie ustoichivogo razvitiya APK v Sibiri» – Ulan -Udeh.: Izd-vo FGOU VPO «BGSKHA im. V.R. Filipova. – 2004. – S. 172-175. (In Russian).
11. Turov A.K. Klassifikatsiya pnevmosepariruyushchikhsistem / A.K. Turov, A.A. Mezenov // Materialy mezhd. nauch.-prakt. konferentsii Sovremenneetendentsii razvitiya APK v Rossii. – Krasnoyar. gos. agrar. un-t-Krasnoyarsk. – 2007. – CH. 2. – S. 86-89. (In Russian).

Қаржыландыру туралы ақпарат

Зерттеулер Қазақстан Республикасы Ауыл шаруашылығы министрлігі қаржыландыратын 2024-2026 жылдарға арналған ғылыми, ғылыми-техникалық бағдарламалар бойынша бағдарламалық-нысаналы қаржыландыруға арналған конкурс (BR22883587 Қазақстан Республикасының азық-түлік қауіпсіздігін нығайту үшін ауыл шаруашылығы шикізатын терең қайта өңдеудің ғылымды қажет ететін технологияларын жетілдіру және әзірлеу) шеңберінде орындалды.

М.М. Какимов, С.Д. Токаев, Г.Х. Оспанкулова, Б.М. Исаков*, Б.Т. Рзаев
 Казахский агротехнический исследовательский университет имени С. Сейфуллина,
 010011, Республика Казахстан, г. Астана, пр. Жеңіс, 62
 *e-mail: baissemey@bk.ru

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ КОМПОНЕНТОВ ПРОДУКТА РАЗМОЛА ЗЕРНА В ПНЕВМОВИНТОВОМ КАНАЛЕ

В статье предложена математическая модель разделения продуктов пшеничной муки на фракции в радиальном потоке, пневмовинтового канала, рассмотрена проблема производства муки высшего качества и пищевой ценности путем разделения пшеничной муки на белковые фракции. Даны дифференциальные уравнения разделения потока неоднородных частиц муки под действием центробежных сил.

При решении математических уравнений были заданы геометрические, физические и граничные условия и параметры движения потока энергоносителя (воздуха) и мелких частиц. Кроме того, при анализе сил, действующих на разнородные мелкие частицы муки, рассматривали форму частиц в виде шара и из-за отсутствия взаимодействий между частицами муки, они находятся в потоке-носителе, турбулентное движение частиц не влияет на их среднюю скорость движения.

Опираясь на аналитические выражения, характеризующие течение однородной среды, в зависимости от геометрических и технологических показателей радиального потока пневмовинтового канала, разработана математическая модель, позволяющая рассчитать скорость и траекторию частиц муки при разделении их на фракции с помощью пневмосепаратора, учитывающая влияние направления вектора движения однородной среды с гидродинамическими показателями частиц пшеничной муки.

Рассмотренная в статье математическая модель разделения пшеничной муки на фракции в пневмовинтовом канале, служит основой для предварительных расчетов деления пшеничной муки на фракции по аэродинамическим показателям и разработки ресурсосберегающих технологий.

Ключевые слова: *пшеничная мука, пневмовинтовой канал, поток, форма частиц, скорость витания.*

M.M. Kakimov, S.D. Tokayev, G.Kh. Ospankulova, B.M. Isakov*, B.T. Rzaev
 S. Seifullin Kazakh Agro Technical Research University,
 010011, Republic of Kazakhstan, Astana, Zhenis Ave., 62
 *e-mail: baissemey@bk.ru

MATHEMATICAL MODELING OF GRAIN MILLING PRODUCT COMPONENTS DISTRIBUTION IN A PNEUMATIC SCREW CHANNEL

The article proposes a mathematical model for the separation of wheat flour products into fractions in a radial flow, a pneumatic screw channel, and considers the problem of producing flour of the highest quality and nutritional value by dividing wheat flour into protein fractions. Differential equations for the separation of the flow of inhomogeneous flour particles under the action of centrifugal forces are given.

When solving mathematical equations, geometric, physical and boundary conditions and parameters of the flow of energy carrier (air) and small particles were set. In addition, when analyzing the forces acting on heterogeneous fine flour particles, the shape of the particles in the form of a ball was considered and, due to the absence of interactions between flour particles, they are in a carrier stream, the turbulent movement of the particles does not affect their average speed of movement.

Based on analytical expressions characterizing the flow of a homogeneous medium, depending on the geometric and technological parameters of the radial flow of the pneumatic screw channel, a mathematical model has been developed that allows calculating the speed and trajectory of flour particles when dividing them into fractions using a pneumatic separator, taking into account the influence of the direction of the vector of motion of a homogeneous medium with hydrodynamic parameters of wheat flour particles.

The mathematical model of the separation of wheat flour into fractions in a pneumatic screw channel considered in the article serves as the basis for preliminary calculations of the division of wheat flour into fractions according to aerodynamic parameters and the development of resource-saving technologies.

Key words: wheat flour, pneumatic screw channel, flow, particle shape, soaring speed.

Авторлар туралы мәліметтер

Мұхтарбек Муканович Какимов – т.ғ.к., профессор, «Тамақ және қайта өңдеу өндірістерінің технологиясы» кафедрасының меңгерушісі, С.Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті; e-mail: muhtarbek@mail.ru.

Серік Дюсенғалиевич Тоқаев – т.ғ.к., «Тамақ және қайта өңдеу өндірістерінің технологиясы» кафедрасының аға оқытушысы, С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті; e-mail: tokaev_sd@mail.ru.

Гульназым Хамитовна Оспанкулова – биология ғылымдарының кандидаты, «Тамақ және қайта өңдеу өндірістерінің технологиясы» кафедрасының аға оқытушысы, С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті; e-mail: bulashevag@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6043-4658>.

Бауыржан Мырзабекович Исаков* – PhD, «Тамақ және қайта өңдеу өндірістерінің технологиясы» кафедрасының оқытушысы, С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті; e-mail: baissmey@bk.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7939-0210>.

Бахтияр Темірбекович Рзаев – докторант, «Тамақ және қайта өңдеу өндірістерінің технологиясы» кафедрасының оқытушысы, С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті; e-mail: bahtiyar_9128@mail.ru.

Сведения об авторах

Мухтарбек Муканович Какимов – к.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Технологии пищевых и перерабатывающих производств», Казахский агротехнический исследовательский университет имени С. Сейфуллина; e-mail: muhtarbek@mail.ru.

Серик Дюсенғалиевич Тоқаев – к.т.н., старший преподаватель кафедры «Технологии пищевых и перерабатывающих производств», Казахский агротехнический исследовательский университет имени С. Сейфуллина; e-mail: tokaev_sd@mail.ru.

Гульназым Хамитовна Оспанкулова – кандидат биологических наук, старший преподаватель кафедры «Технологии пищевых и перерабатывающих производств», Казахский агротехнический исследовательский университет им. С. Сейфуллина; e-mail: bulashevag@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6043-4658>.

Бауыржан Мырзабекович Исаков* – PhD, преподаватель кафедры «Технологии пищевых и перерабатывающих производств», Казахский агротехнический исследовательский университет имени С. Сейфуллина; e-mail: baissmey@bk.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7939-0210>.

Бахтияр Темірбекович Рзаев – докторант, преподаватель кафедры «Технологии пищевых и перерабатывающих производств», Казахский агротехнический исследовательский университет имени С. Сейфуллина; e-mail: bahtiyar_9128@mail.ru.

Information about the authors

Mukhtarbek Mukanovich Kakimov – Candidate of technical Sciences, professor, head of department «Technologies of food and processing industries», Kazakh Agrotechnical Research University named after S. Seifullin; e-mail: muhtarbek@mail.ru.

Serik Dyusengalievich Tokayev – Candidate of technical Sciences, senior lecturer of department «Technologies of food and processing industries»; Kazakh agrotechnical research university named after S. Seifullin; e-mail: tokaev_sd@mail.ru.

Gulnazym Khamitovna Ospankulova – Candidate of Biological Sciences, senior lecturer of the department «Technologies of food and processing industries», Kazakh Agrotechnical Research University named after S. Seifullin; e-mail: bulashevag@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6043-4658>.

Bauyrzhan Myrzabekovich Iskakov* – PhD, lecturer of department «Technologies of food and processing industries», Kazakh Agrotechnical Research University named after S. Seyfullin; e-mail: baissmey@bk.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7939-0210>.

Bakhtiyar Temirbekovich Rzaev – PhD student, lecturer of the department «Technologies of food and processing industries», Kazakh Agrotechnical Research University named after S. Seifullin; e-mail: bahtiyar_9128@mail.ru.

Редакцияға енуі 18.10.2024
Өңдеуден кейін түсуі 30.10.2024
Жариялауға қабылданды 31.10.2024

[https://doi.org/10.53360/2788-7995-2024-4\(16\)-21](https://doi.org/10.53360/2788-7995-2024-4(16)-21)



FTAXP: 65.51.03

Н.А. Есенкулова, Т.Б. Абдигалиева*

Алматы технологиялық университеті,
050012, Қазақстан республикасы, Алматы қ., Төле би көшесі, 100
*e-mail: tolkyn_07.08@mail.ru

СИДР ДАЙЫНДАУҒА АРНАЛҒАН АЛМА ШЫРЫНДАРЫНЫҢ ФИЗИКАЛЫҚ-ХИМИЯЛЫҚ ЖӘНЕ БИОХИМИЯЛЫҚ КӨРСЕТКІШТЕРІН САЛЫСТЫРМАЛЫ ЗЕРТТЕУ

Аңдатпа: Бұл мақалада сидр өндірісінде қолдануға арналған алманың әртүрлі сұрыптарынан алынған шырындардың физика-химиялық қасиеттерін салыстырмалы талдау нәтижелері берілген. Алманың үш сұрыптары зерттеуге алынды: 1) «Антоновка обыкновенная», 2) «Грушовка Верненская» және 3) «Голден Делишес». Жұмыс барысында әр сұрыптан шырындар бөлініп алынды және келесідей негізгі көрсеткіштері анықталды: қышқылдық, қант мөлшері, фенолдық қосылыстардың концентрациясы, органикалық сипаттамалары.

Алынған мәліметтерге сәйкес, бірінші үлгінің шырынындағы құрғақ заттардың мөлшері $14,3 \pm 1,12\%$ құрады. Бұл мән екінші үлгідегі құрғақ заттарға қарағанда $1,1\%$ жоғары, алайда үшінші үлгіден $0,6\%$ -ға аз болды. Қанттың ең көп мөлшері үшінші үлгіде, ал ең төмен мөлшері бірінші үлгіде анықталды. Ал, екінші үлгідегі шырын құрамында С дәруменінің деңгейі жоғары болғаны анықталды және оның мәні $21,1 \pm 1,63$ мг/100мл тең болды. Қалған екі шырын үлгілерінде бұл көрсеткіш $14,2 - 15,6$ мг/100мл аралығында болғаны анықталды. Сонымен қатар, шырын үлгілерінің биохимиялық көрсеткіштері бойынша аса айырмашылық байқалмады. Алайда, 2- үлгі құрамындағы глюкоза мен фруктозаның деңгейі 1-үлгімен салыстырғанда сәйкесінше $15,6\%$ және $8,4\%$ -ға, ал 3-үлгімен салыстырғанда $22,8\%$ және $20,5\%$ -ға төмен болды. Үлгілердің құрамындағы жалпы азоттың мөлшері 1-үлгіде ең жоғыры мөлшерде анықталса, ал аминды азот мөлшері барлық үлгілерде шамамен бірдей деңгейде анықталды. Сондай-ақ, барлық шырын үлгілерінің органолептикалық көрсеткіштері нормативтік құжаттардағы талапқа сәйкес болды.

Зерттеудің нәтижелері бойынша алманың әртүрлі сұрыптарынан өндірілген шырындардың физика-химиялық және биохимиялық қасиеттерінде айтарлықтай айырмашылықтар бар екені анықталды. Бұл айырмашылықтар сидр өндіру үшін алма сұрыптарын мұқият таңдаудың маңыздылығын көрсетеді. Алма сұрыпын дұрыс таңдау өнімнің соңғы сапасына, дәміне, хош иісіне, органолептикалық қасиеттеріне және химиялық құрамына айтарлықтай әсер етеді. Сидрдің қажетті сипаттамаларына қол жеткізу үшін алманың әр сортының ерекшеліктерін ескеру қажет. Мәселен, сидрдің тәттілігін арттыру үшін «Голден Делишес» сұрыпын қолдануды, ал С дәрумені мен басқа да пайдалы заттардың жоғары концентрациясын қамтамасыз ету үшін «Грушовка Верненская» сұрыпын қолдануды ұсынамыз.