

ЖАЛҒАНСҰЙЫЛУ ҚАБАТЫМЕН КЕПТІРГІШ ҚОНДЫРҒЫСЫНЫҢ ИНЖЕНЕРЛІК ЕСЕПТЕУ ӘДІСТЕМЕСІН ӘЗІРЛЕУ

¹Н.О. ТУСИПОВ , ¹Г.Б. АБДИЛОВА * , ¹Б.Б. КАБУЛОВ ,
²А.Л. КАСЕНОВ , ³Г.Н. КОНАРБАЕВА 

(¹ «Шәкәрім университеті» КеАҚ, Қазақстан Республикасы, 071412, Семей қаласы, Глинка көшесі, 20а

² «С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті» КеАҚ,

Қазақстан Республикасы, 010011, Астана қаласы, Жеңіс даңғылы, 62

³ «Д.Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті» КеАҚ, Қазақстан Республикасы,
070010, Өскемен қаласы, Серікбаев көшесі, 19)

Автор-корреспонденттің электрондық поштасы: abdilova1979@bk.ru*

Тамақ өнімдерін кептіру процесі тамақ өнеркәсібіндегі энергияны көп қажет ететін және технологиялық тұрғыдан күрделі операциялардың бірі болып табылады, оған өнімнің сапасын сақтау және оның сақтау мерзімі тікелей байланысты. Дәстүрлі кептіру әдістері көбінесе қоректік заттардың жоғалуымен және органолептикалық қасиеттердің деградациясымен бірге жүреді, бұл тиімдірек технологиялық шешімдерді әзірлеуді қажет етеді. Қарқынды жылу және масса алмасуды қамтамасыз ететін, шикізаттың жылу зақымдануын азайтатын және жоғары сапалы өнім алуға ықпал ететін жалғансұйылу қабаты бар кептіргіштерді пайдалану перспективалы бағыт болып саналады. Жұмыста полидисперсті материалдарға арналған жалғансұйылу қабаты бар кептіргіштің инженерлік есептеу әдістемесі келтірілген. Әдістемеге кептіру агентінің қозғалу жылдамдығын анықтауға, қондырғының гидравликалық кедергісін есептеуге, сондай-ақ қопсытқыштардың жетек қуатын анықтауға арналған тәуелділіктер кіреді. Ұсынылған есептік тәсілдерді іске асыру айналмалы көлденең біліктердегі қопсытқыштары бар кептіргіштің құралмасын жасауға мүмкіндік береді. Бұндай жинастыру өнім кесектерінің пайда болуына жол бермейді, бөлшектердің біркелкі таралуына ықпал етеді және сонымен бірге айтарлықтай гидравликалық кедергі тудырмайды. Алынған нәтижелер әзірленген әдістеме мен құрылмалық шешімдерді қолдану процесінің экономикалық тиімділігін арттыруды, регидратацияланатын өнімдердің сапасын жақсартуды және тамақ өнеркәсібінде жалғансұйылу қабаты бар кептіргіштерді практикалық пайдалану мүмкіндіктерін кеңейтуді қамтамасыз ететінін көрсетеді.

Негізгі сөздер: кептіру, кептіргіш, жалған сұйылу қабаты, инженерлік есеп.

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ИНЖЕНЕРНОГО РАСЧЕТА СУШИЛЬНОЙ УСТАНОВКИ В ПСЕВДООЖИЖЕННОМ СЛОЕ

¹Н.О. ТУСИПОВ, ¹Г.Б. АБДИЛОВА, ¹Б.Б. КАБУЛОВ,
²А.Л. КАСЕНОВ, ³Г.Н. КОНАРБАЕВА

(¹ НАО «Шәкәрім университет», Республика Казахстан, 071412, город Семей, улица Глинки, 20а

² НАО «Казахский агротехнический исследовательский университет имени С. Сейфуллина,

Республика Казахстан, 010011, город Астана, проспект Женис, 62»

³ НАО «Восточно-Казахстанский технический университет имени Д.Серикбаева»,

Республика Казахстан, 070010, город Усть-Каменогорск, улица Серикбаева, 19)

Электронная почта автора-корреспондента: abdilova1979@bk.ru*

Процесс сушки пищевых продуктов является одной из наиболее энергоёмких и технологически сложных операций в пищевой промышленности, от которой напрямую зависят сохранение качества продукции и её срок хранения. Традиционные методы сушки часто сопровождаются потерей питательных веществ и деградацией органолептических свойств, что требует разработки более эффективных технологических решений. Перспективным направлением считается использование сушилок с псевдоожиженным слоем, которые обеспечивают интенсивный тепло- и массообмен, снижают тепловые повреждения сырья и способствуют получению продукта высокого качества. В работе представлена методика инженерного

расчёта сушилки псевдооживленного слоя для полидисперсных материалов. В методику включены зависимости для определения скорости движения сушильного агента, расчёта гидравлического сопротивления установки, а также мощности привода ворошителей. Реализация предложенных расчётных подходов позволила разработать конструкцию сушилки с вращающимися горизонтальными валами с ворошителями. Такая компоновка предотвращает образование комков продукта, способствует равномерному распределению частиц и одновременно не создаёт значительного гидравлического сопротивления. Полученные результаты демонстрируют, что применение разработанной методики и конструктивных решений обеспечивает повышение экономической эффективности процесса, улучшение качества регидратируемых продуктов и расширение возможностей практического использования сушилок с псевдооживленным слоем в пищевой промышленности.

Ключевые слова: сушка, сушилка, псевдооживленный слой, инженерный расчет.

DEVELOPMENT OF AN ENGINEERING CALCULATION METHODOLOGY FOR A FLUIDIZED BED DRYING UNIT

¹N.O. TUSSIPOV, ¹G.B. ABDILOVA, ¹B.B. KABULOV,
²A.L. KASSENOV, G.N. KONARBAYEVA³

(¹NPJSC «Shakarim University», 071412, Semey city, Glinka Street, 20a

²NPJSC «S. Seifullin Kazakh Agro Technical Research University», 010011, Astana city, Zhenis avenue, 62

³NJSC «D. Serikbayev East Kazakhstan technical university», 070004, Oskemen city, D. Serikbayev Street, 19)

Corresponding author's email: abdilova1979@bk.ru*

The food drying process is one of the most energy-intensive and technologically complex operations in the food industry, which directly affects the preservation of product quality and shelf life. Traditional drying methods are often accompanied by loss of nutrients and degradation of organoleptic properties, which requires the development of more efficient technological solutions. The use of fluidized bed dryers, which provide intensive heat and mass transfer, reduce thermal damage to raw materials and contribute to the production of high-quality products, is considered a promising area. The paper presents a technique for engineering calculation of a fluidized bed dryer for polydisperse materials. The methodology includes dependencies for determining the speed of movement of the drying agent, calculating the hydraulic resistance of the installation, as well as the drive power of the agitators. The implementation of the proposed computational approaches made it possible to develop a dryer design with rotating horizontal shafts with agitators. This arrangement prevents the formation of product lumps, promotes uniform particle distribution, and at the same time does not create significant hydraulic resistance. The results obtained demonstrate that the application of the developed methodology and design solutions ensures an increase in the economic efficiency of the process, an improvement in the quality of rehydrated products, and an expansion of the practical use of fluidized bed dryers in the food industry.

Keywords: drying, dryer, fluidized bed, engineering calculation.

Kіpicne

Тамақ өнімдерінде құнды қоректік заттар бар, бірақ оларды сақтауға шаралар қолданбаса олар бактериялармен, ашытқылармен, зеңмен тез бұзылуы мүмкін. Қоректік заттардың сақталуына ықпал ететін негізгі факторларға ылғалдың төмендігі, сүт қышқылды бактерияларын қосу арқылы қышқылдандыру және тұздау жатады. Тамақ өнімдерінің бұзылуын кептіру арқылы алдын алуға болады [1].

Бұрын кептіру күннің сәулелену энергиясын (атмосфералық кептіруді) қолдану арқылы жүзеге асырылса, қазір өнімдерді сусыздандыру үшін күрделі жабдықтардың көптеген түрлері мен әдістері қолданылады [2, 3,4].

Кептіру кезінде және кептіруден кейінгі кептірілген өнімдердің сапалық аспектісі өте күрделі құбылыс [5, 6]. Соңғы уақытта сусыздандыру кезінде болатын химиялық және биохимиялық өзгерістерді түсінуге және қажетсіз сапа шығындарының алдын алу әдістерін әзірлеуге айтарлықтай күш салынды [7, 8].

Құрамында ақуызы бар өнімдердің жабысқақтық қабілетінің жоғарылауы және жоғары термиялық сезімталдығы материалды шекті рұқсат етілген температурадан жоғары температураға дейін қыздыруға жол бермейді және біркелкі қыздыру мен кептіруді қамтамасыз ететін процестер мен қондырғыларды қолдану қажеттілігін тудырады

[9, 10]. Құрамында ақуызы бар өнімдерді кептіру кезінде ақуыздардың термолабильдігіне байланысты бірқатар қиындықтар туындайды, бұл термиялық ПӘК-ті айтарлықтай арттыруға мүмкіндік бермейді.

Осыны ескере отырып, өнімнің термиялық деградациясын және кептіргіштегі өнімнің жабысқақтығы сияқты қыздырумен байланысты басқа мәселелерді барынша азайту үшін қалыпты температура диапазоны ұсынылады. Сонымен қатар кептіру процесінің тиімділігін арттыру үшін оны механикалық қопсытумен бірге жалған сұйылу қабатта жүргізген жөн [11, 12].

Жалғансұйылу қабатта кептіру процесін эксперименттік зерттеу арқылы полидисперсті тамақ материалдарына арналған кептіргіштің құрылысын жетілдіру мақсатында келесі міндеттер шешілді: полидисперсті тамақ материалдары үшін жалғансұйылу қабат жасаумен жұмыс істейтін қолданыстағы кептіргіштердің конструкцияларын зерттеу; қолданыстағы кептіргіштердің артықшылықтары мен кемшіліктерін анықтау; кептіру қондырғы-ларының құрылыс пен жұмысын талдауына сүйене отырып, полидисперсті материалдарға арналған кептіргіштің құрылысын жасау; шикізатты қарқынды араластыру кезінде кептіру процестерінің тиімді гидродинамикалық шарттарын анықтау; жалғансұйылу қабатта кептірілген материалға кептіру процесінің әсерін зерттеу.

Зерттеу барысында жаңа ғылыми нәтижелер алынды, атап айтқанда: жалғансұйылу қабаттағы полидисперсті материалдарға арналған кептіргіш әзірленді және жасалды; тиімді гидродинамикалық жағдайдың шарттары эксперименталды түрде анықталды; шикізат пен кептірілген өнімге зертханалық зерттеулер жүргізілді, сүзбенің физика-химиялық құрамы, витаминдік құрамы, микроқұрылымы анықталды; жалғансұйылу қабаттың гидродинамикасын зерттеу негізінде айналмалы қопсытқыштары бар полидисперсті материалдарға арналған кептіргішті есептеу әдістемесі жасалды; кептірілетін материалдың қабатын араластыру үшін қажетті қуат анықталды.

Зерттеу әдістері мен материалдар

Жұмыстың мақсаты – полидисперсті материалдарды кептіру үшін жалған сұйылу қабатындағы эксперименталды қондырғының инженерлік есептеудің әдістемесі кептіргіш агенттің жылдамдығы мен мөлшерін, кептіргіш

қондырғының гидравликалық кедергісін, қопсытқыштар жетегінің қуатын анықтау мақсатында әзірленді [13].

Кептірілген материалдың G_2 , кг/с және буланған ылғалдың мөлшерлері W , кг/с төмендегі формулалар бойынша есептеледі:

$$G_2 = G_1 \cdot \frac{100-w_1}{100-w_2} \quad (1)$$

$$W = G_1 - G_2 \quad (2)$$

мұнда: G_1 – бастапқы ылғалды материалдың мөлшері, кг/с; w_1 – материалдың бастапқы ылғалдығы, %; w_2 – материалдың соңғы ылғалдылығы, %.

Жылу шығыны Q , Вт келесідей анықталады:

$$Q = 1,15 \cdot [W \cdot (r + c_{6y} \cdot (t_2 - t_1)) + G_2 \cdot c_m \cdot (t_2 - t_1)] \quad (3)$$

мұнда: 1,15 – материалды қыздыруға және ылғалды буландыруға жұмсалған жылу шығынын ескеретін коэффициент; r – булану жылуы, кДж/кг; c_{6y} – будың жылу сыйымдылығы, кДж/кг·К; c_m – материалдың жылу сыйымдылығы, кДж/кг·К; t_1 , t_2 – кептірілетін материалдың бастапқы және соңғы температурасы, °С.

Жылудың меншікті шығыны q , кДж/кг:

$$q = \frac{Q}{W} \quad (4)$$

Ылғалдың материалдық баланс тендеуінен:

$$L \cdot x_0 + W = L \cdot x_2 \quad (5)$$

мұнда: L – кептіру агентінің шығыны, кг/с; x_0 – калориферге дейін кептіру агенттің ылғал мөлшері, кг/кг; x_2 – кептіргіштің шыға берісінде кептіру агентінің ылғал мөлшері, кг/кг.

Кептіру агентінің L , кг/с шығыны:

$$L = \frac{W}{x_2 - x_0} \quad (6)$$

Кептіру агентінің меншікті шығыны l , кг/кг:

$$l = \frac{L}{W} \quad (7)$$

Кептіру камерасының ішіндегі кептіру агентінің жылдамдығы келесідей есептеледі. Кептірілетін материалдың орташа өлшемді

бөлшектері үшін $Lu = f(Ar)$ графигін пайдалана отырып, оны ауаның сыртқа шығару температурасына $t_2 = 65^\circ\text{C}$ тең деп жалған сұйылудың сыни жылдамдығын алдын ала есептейміз.

Архимед критерийін есептейміз:

$$Ar = \frac{d^3 \cdot \rho_m \cdot g}{v^2 \cdot \rho_a} \quad (8)$$

мұнда: d – кептірілетін материалдың орташа өлшемі, м; ρ_m – материалдың тығыздығы, кг/м^3 ; g – еркін түсу үдеуі, м/с^2 ; v – ауа (кептіру агенті) тұтқырлығының коэффициенті, $\text{м}^2/\text{с}$; ρ_a – ауа (кептіру агенті) тығыздығы, кг/м^3 .

Жалған сұйылудың сыни жылдамдығы $w_{кр}$, м/с :

$$w_{кр} = \sqrt[3]{\frac{Lu_{кр} \cdot v \cdot g \cdot \rho_m}{\rho_a}} \quad (9)$$

мұнда: $Lu_{кр}$ – жалған сұйылудың сыни жылдамдығы кезіндегі Лященко критерийі.

Жалған сұйылу коэффициенті келесідей есептеледі:

$$K_w = \sqrt[3]{\frac{Lu}{Lu_{кр}}} \quad (10)$$

мұнда: Lu – Лященко критерийі.

Кептіру камерасындағы ауаның жылдамдығы w , м/с :

$$w = K_w \cdot w_{кр} \quad (11)$$

Кептіру қондырғысының сепарациялық кеңістігі келесідей есептеледі.

Ауаның ағыс әрекеті аймағының биіктігі h_a , м (гидродинамикалық тұрақтандыру аймағы):

$$h_a = 20 \cdot d_{жал} \quad (12)$$

мұндағы: $d_{жал}$ – кептіру агентінің өтуіне арналған жалюзидегі арнаның биіктігі, м.

«Қайнау қабатының» биіктігі h , м:

$$h = (2 \div 4) \cdot h_a \quad (13)$$

Кептіру қондырғысының жалпы биіктігі:

$$H = h + h_{сеп} \quad (14)$$

мұнда: $h_{сеп}$ – сепарациялық кеңістік биіктігі, м. $h_{сеп} = (3 \div 5) \cdot h$ деп қабылданады.

Жалған сұйылу қабатымен кептіру қондырғысының гидравликалық кедергісі $\Delta P_{к.қ}$, Па:

$$\Delta P_{к.қ} = \Delta P_{қаб} + \Delta P_{жал} \quad (15)$$

мұнда: $\Delta P_{қаб}$ – кептірілетін материалдың «қайнау» қабатының кедергісі, Па; $\Delta P_{жал}$ – жалюзидің кедергісі, Па, оны кептірілетін материалдың «қайнау» қабатының кедергісінің 1% тең деп қабылдаймыз:

$$\Delta P_{сл} = \rho_m \cdot (1 - \varepsilon) \cdot g \cdot h \quad (16)$$

мұнда: ε – «қайнау қабатының» кеуектілігі.

Калориферге кіретін кептіру агентінің көлемдік шығыны, V_0 , $\text{м}^3/\text{с}$:

$$V_0 = \frac{L}{\rho_0} \quad (17)$$

мұнда: L – кептіру агентінің (ауаның) шығыны, кг/с ; ρ_0 – калорифердің кіреберісіндегі ауаның тығыздығы, кг/м^3 .

Калориферден шығатын ауаның көлемдік шығыны, V_1 , $\text{м}^3/\text{с}$:

$$V_1 = \frac{L}{\rho_1} \quad (18)$$

мұнда: ρ_1 – калорифердің шығаберісіндегі ауаның тығыздығы, кг/м^3 .

Кептіру камерасынан шығатын ауаның көлемдік шығыны, V_2 , $\text{м}^3/\text{с}$:

$$V_2 = \frac{L}{\rho_2} \quad (19)$$

мұнда: ρ_2 – кептіру камерасынан шығаберісіндегі пайдаланған ауаның тығыздығы, кг/м^3 .

Кептіру қондырғысы үшін калорифердің есептелуі. Кептіру агентің 70°C қыздыру үшін ТЭН-дары бар калорифер қолданылады. Кептіру қондырғы калорифердің ТЭН-дарының қуаты Q , кВт келесі формула бойынша есептеледі:

$$Q = L \cdot c \cdot (t_1 - t_0) \quad (20)$$

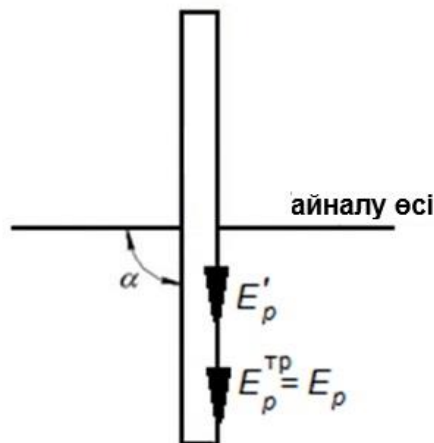
мұнда: c – ауаның меншікті жылусыйымдылығы, $\text{Дж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$; t_0 – калориферге дейінгі ауа температурасы, $^\circ\text{C}$; t_1 – калориферден кейінгі ауа температурасы, $^\circ\text{C}$.

Қопсытқыштар жетегінің қуатын есептейміз. Жалған сұйылу қабатының гидравликалық кедергісін айтарлықтай

арттырмау үшін саптамалардың шеңберлік жылдамдығын U кептіру камерасындағы жалған сұйылу жылдамдығына w теңестіріп табамыз.

Араластырылатын өнімдегі радиалды саптаманың қозғалысы кезінде ол ауырлық

күшімен өнімнің ішкі үйкелісінен де, өнімнің саптамаға үйкелісінен де туындаған қарсылықты жеңуі керек. Радиалды қарсылық күшін 1-суретте көрсетілген тәсілмен анықтауға болады.



Сурет 1. Радиалды саптамаға әсер ететін қарсылық күштерін анықтауға арналған есептеу тәсілі: α – саптаманың көлбеу бұрышы, град; E'_p – саптамаға әсер ететін өнімнің қарсылық күші, Н; E_p^{TP} – саптамаға өнімнің үйкеліс күші, Н; E_p – саптамаға өнімнің тең әсерлі қарсылық күші, Н.

$$\begin{aligned}\bar{E}_p &= \bar{E}'_p + \bar{E}_p^{TP} \\ E'_p &= E \cdot \cos \alpha = 0 \\ E_p^{TP} &= E_{TP} \cdot \sin \alpha = E \cdot \mu \cdot \sin \alpha = E \cdot \mu \\ E_p &= E \cdot \mu = \mu \cdot \gamma \cdot h_{cp} \cdot f \cdot tg^2(45^\circ + \beta/2)\end{aligned}\quad (21)$$

мұнда: E – қарсылық күштерінің тең әсерлі күші, Н; α – саптаманың көлбеу бұрышы, град.; μ – өнімнің саптамаға үйкеліс коэффициенті; γ – өнімнің ауырлық күші, Н; β – өнімнің ішкі үйкеліс бұрышы, град.; h_{cp} – саптаманың өнімге батырылуының орташа тереңдігі, м; f – өнімге батырылған саптаманың ауданы, m^2 .

Саптамаға өнімнің тең әсерлі қарсылық күшін (21) формула бойынша анықтаймыз және шеңберлік жылдамдықтың U орнына кептіру камерасындағы жалған сұйылу жылдамдығын w қойып қажетті қуатты анықтаймыз.

Көлденең біліктерді айналдыру үшін қажетті жетек қуаты үздіксіз араластырғыштың типтік есебіне сәйкес есептеледі. Саптамалары бар біліктерді айналдыру үшін қажетті қуат:

$$N_B = \sum_1^z \frac{E_p \cdot w}{1000} \quad (22)$$

мұнда: E_p – өнімге батырылған саптамаға әсер ететін өнімнің тең әсерлі қарсылық күші, Н; w – саптаманың шеңберлік жылдамдығына тең келетін жалған сұйылу жылдамдығы, м/с; z –

өнімге бір мезгілде батырылған саптамалардың саны, дана.

Зерттеу материалдары мен әдістері

Кептіру қондырғысының инженерлік есептеудің әзірленген әдістемесі бойынша есептеу келесі жағдайларда жүргізілді: бастапқы өнім бойынша өнімділік $G_1 = 10$ кг/ч; өнімнің бастапқы ылғалдылығы $w_1 = 70\%$; өнімнің соңғы ылғалдылығы $w_2 = 5\%$; өнімнің бастапқы температурасы $t_1 = 20^\circ\text{C}$; өнімнің соңғы температурасы $t_2 = 60^\circ\text{C}$; ауа температурасы: калориферге кірер алдында $t_0 = 20^\circ\text{C}$; калориферден кейін $t_1 = 70^\circ\text{C}$; кептіру қондырғысынан шыққан кезде $t_2 = 65^\circ\text{C}$; ауаның салыстырмалы ылғалдылығы $\varphi_0 = 70\%$; өнімнің жылу сыйымдылығы $C_m = 3,266 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$; тығыздығы $\rho_m = 1060$ кг/м³.

Кептірілген материалдың мөлшері:

$$G_2 = G_1 \cdot \frac{100 - w_1}{100 - w_2} = 10 \cdot \frac{100 - 70}{100 - 5} = 3,15 \frac{\text{кг}}{\text{сағ}}$$

Буланған ылғал мөлшері :

$$W = G_1 - G_2 = 10 - 3,15 = 6,85 \frac{\text{кг}}{\text{сағ}}$$

Жылу шығыны:

$$Q = Q_{\text{исп}} + Q_{\text{нагр}} + Q_{\text{пот}}$$

$$= 1,15 \cdot [W \cdot (r + c_{\text{п}} \cdot (t_2 - t_1)) + G_2 \cdot c_{\text{м}} \cdot (t_2 - t_1)]$$

$$Q = 1,15 \cdot [6,85 \cdot (2448,2 + 1,923 \cdot (60 - 20)) + 3,15 \cdot 3,903 \cdot (60 - 20)]$$

$$= 20457,18 \text{ кДж/сағ}$$

мұндағы: r – будың пайда болу жылуы
 $t_1 = 20^\circ\text{C}$, ($r = 2448,2 \text{ кДж/кг}$)
 $c_{\text{п}}$ – будың жылусыйымдылығы, $\text{кДж/(кг}\cdot\text{K)}$,
 $(c_{\text{п}} = 1,923 \text{ кДж/(кг}\cdot\text{K)})$

$Q_{\text{пот}}$ – материалды жылытуға және ылғалдың булануына жылу шығыны 15% тең деп қабылдаймыз.

Меншікті жылу шығыны:

$$q = \frac{Q}{W} = \frac{20457,18}{6,85} = 2986,45 \frac{\text{кДж}}{\text{кг ылғал}}$$

Ауа шығыны:

$$L = \frac{Q}{c_{\text{в}} \cdot (t_1 - t_2)} = \frac{20457,18}{1,008 \cdot (70 - 65)} = 4058,96 \text{ кг/сағ}$$

Басқа көрсеткіштердің есептеу нәтижелері 1-кестеде келтірілген.

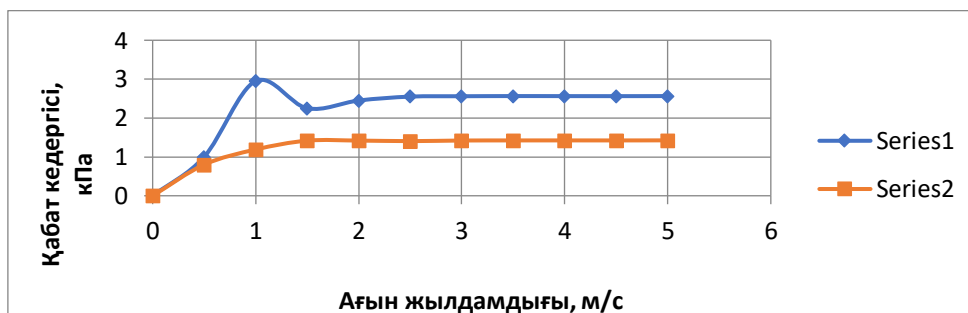
Кесте 1. Жалғансұйылу қабаты бар кептіру қондырғысының есептеу нәтижелері

Көрсеткіштер және оның өлшемі	Мәні
Ауаның меншікті шығыны l , кг/кг	592,55
Архимед саны Ar	1660613,5
Жалған сұйылудың сыни жылдамдығы $w_{\text{кр}}$, м/с	0,83
Жалған сұйылу коэффициенті K_w	2,74
Кептіру камерасының ішіндегі ауа жылдамдығы w , м/с	2,27
Кептіру камерасына кіре берістегі ауа жылдамдығы (80% жалюзидің есептік кимасы кезінде) $w_{\text{жал}}$, м/с	2,875
«Қайнау қабатының» биіктігі h , м	0,24
Сепарациялық кеңістігінің биіктігі $h_{\text{сеп}}$, м	0,96
Кептіру қондырғысының жалпы биіктігі H , м	1,2
Жалған сұйылу қабаты бар кептіру қондырғысының гидравликалық кедергісі $\Delta P_{\text{сұш}}$, Па	1498,1
ТЭН-дардың қуаты N , кВт	56,8
Біліктерді айналдыруға арналған жетек қуаты $N_{\text{в}}$, кВт	0,3

Мақала авторларымен жүргізген есептеулер негізінде эксперименттік қондырғы әзірленді, оның құрылма ерекшеліктері камера-ның төменгі жағына орнатылған жетекке жалғанған саптамалары бар өзара параллель көлденең біліктер және кептіру камерасына кептіру агентті енгізу үшін

тангенциалды келте құбырлар болып табылады [14-16].

Жалғансұйылу қабатының гидродинамикасы газдың жылдамдығы мен материал қабатының кедергісі арасындағы байланысты білдіретін жалғансұйылу қисығымен айқын сипатталады.



Сурет 2. Кептіру агентінің ағынының жылдамдығына байланысты кептірілетін материал қабатының кедергісі: 1 – газ тарату торы бар қондырғы; 2 – айналмалы саптамалары бар эксперименттік қондырғы.

2-суретте жалғансұйылу қабат күйінің классикалық қисығынан қабат үрленген кезде оның кедергісі ауа жылдамдығына пропорционалды түрде n дәрежесіне (ОА учаскесі) өсетінің көруге болады. АВ учаскесінде (қисық 1) қабат қопсытыла бастайды. $w_{кр}$ жылдамдығымен қабаттың кедергісі максималды мәнге жетеді, жылдамдықтың одан әрі шамалы жоғарлауымен, әдетте, ауаның бір бөлігі өтетін арналардың пайда болуынан туындаған қарсылықтың төмендеуі байқалады. Қаналдардың пайда болуы қабаттың кедергісі төмендеген кезде ауа жылдамдығының біршама жоғарлауына әкеледі [17].

Эксперименттік қондырғыдағы жалған сұйылу қабаттың күйін зерттеу кезінде алынған 2-қисықта газ тарату торының болмауына және саптамалардың көмегімен материал қабатын қопсытылуына байланысты қабаттың кедергісі 1,5-2 есе төмен болады.

Қорытынды

Орындалған есептеу мақала авторларына жалған сұйылу қабаты бар эксперименттік кептіру қондырғысының оңтайлы құрылмасын жасау үшін құрылма параметрлерін алуға мүмкіндік берді.

Қондырғының бұл құрылмасы кептіру процесін қарқындылатуға, қабаттың кеуектілігін реттеуге, тұрақты жалған сұйылту режимін құруға мүмкіндік береді, тоқырау аймақтары мен каналдардың пайда болуы мен кептірілген материал бөлшектерінің агрегациясын болдырмайды.

Корпуста орнатылған айналмалы көлденең біліктерге бекітілген камераның ішкі бетімен өзара әрекеттесу мүмкіндігі бар саптамаларды қолдану камераның қабырға-ларын материалдан үздіксіз тазартуға, өнімді ыдыратуға мүмкіндік береді, осылайша кептірілген материалдың түйіршіктелуіне және камерада тоқырау аймақтарының пайда болуына жол бермейді.

Зерттеулердің алдын-ала нәтижелері көрсеткендей, кептіру қондырғысының мұндай құрылмасы кептірілген материал қабатының кедергісінің төмендеуіне байланысты энергия шығынын азайтуға мүмкіндік береді.

Процестің жоғары қарқындылығы, демек, оның өңдеу ұзақтығының қысқаруы, әрбір жеке бөлшекті біркелкі термиялық өңдеу - мұның бәрі жоғары сапалы кептірілген өнімді алудың алғышарттарын құрайды.

ПАЙДАЛАНҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Hui, Y. H., Lisbeth Meunier-Goddik, and Jytte Josephsen. Handbook of Food and Beverage

Fermentation Technology. Technology & Engineering. 2004. p. 236.

2. Chen, Xiao Dong, and Arun S. Mujumdar, eds. Drying Technologies in Food Processing. Oxford: Blackwell Publishing Ltd., 2008. pp. 113–265.

3. Zhonghua, W., and A. S. Mujumdar. "Simulation of the Hydrodynamics and Drying in a Spouted Bed Dryer." Drying Technology 25, no. 1 (2007): 59–74.

4. Jangam, Sachin V., Chung Lim Law, and Arun S. Mujumdar, eds. Drying of Foods, Vegetables and Fruits. Volume 1. 2010. p. 232.

5. Haron, Nazrul Syaif, et al. "Untitled." IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 226 (2017): 012053. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/226/1/012053>.

6. Haron, N. S., et al. "Recent Advances in Fluidized Bed Drying." IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 243 (2017): 012038.

7. Torki-Harchegani, M., et al. "Dehydration Behaviour, Mathematical Modelling, Energy Efficiency and Essential Oil Yield of Peppermint Leaves Undergoing Microwave and Hot Air Treatments." Renewable and Sustainable Energy Reviews 58 (May 2016): 407–418.

8. Broiner, H., and D. Mtwes. Slolfastaus Cheinschließung Chshemischer Reaktionen. Aarau: Frankfurt, 2011.

9. Валентас, К.Дж., Ротштейн, Э., Сингх, Р.П. Пищевая инженерия: справочник с примерами расчетов / (ред.) / пер. с англ. Под общ. науч. ред. А. Л. Ишеевского. – СПб: Профессия, 2004. – С. 160-161.

10. Гальперин Н. И. Псевдооживление. – М.: Знание, 1968. – 63 с.

11. Гинзбург А.С., Резников В.Л. Сушка пищевых продуктов в кипящем слое. – М.: Пищевая промышленность. 1966. – 188 с.

12. Плаксин, Ю.М., Малахов, Н.Н., Ларин, В.А. Процессы и аппараты пищевых производств. – М.: Колос, 2007. – С. 525-530.

13. Тепляшин В.Н. Технологии и оборудование для сушки растительного сырья [электронный ресурс]: учеб. пособие / В.Н. Тепляшин, Л.И. Ченцова, В.Н. Невзоров; Краснояр. Гос. Аграр. Ун-т. – Красноярск, 2019. – 173 с.

14. Тусипов, Н.О., Акимов, М.М., Еренгалиев, А.Е., Давыдова, С.Г. Сушки с псевдооживленным слоем: аналитический обзор. – Усть-Каменогорск, 2014. – 60 с.

15. Тусипов, Н.О., Акимов, М.М., Еренгалиев, А.Е., Давыдова, С.Г. Установка для сушки полидисперсных материалов. Инновационный патент РК № 29537 от 16.02.2015, бюл. №2. – 3с.

16. Тусипов, Н.О., Акимов, М.М., Лобасенко, Б.А., Алиева, М.А. Установка для сушки полидисперсных материалов. Патент РК на полезную модель № 4989 от 29.05.2020, бюл. № 21. – 4 с.

17. Тодес О.М. Цитович О.Б. Аппараты с кипящим зернистым слоем (гидравлические и тепловые основы работы). – Л.: Химия. 1981. – 296 с.

REFERENCES

1. Hui, Y. H., Lisbeth Meunier-Goddik, and Jytte Josephsen. Handbook of Food and Beverage Fermentation Technology. Technology & Engineering. 2004. p. 236.
2. Chen, Xiao Dong, and Arun S. Mujumdar, eds. Drying Technologies in Food Processing. Oxford: Blackwell Publishing Ltd., 2008. pp. 113–265.
3. Zhonghua, W., and A. S. Mujumdar. "Simulation of the Hydrodynamics and Drying in a Spouted Bed Dryer." Drying Technology 25, no. 1 (2007): 59–74.
4. Jangam, Sachin V., Chung Lim Law, and Arun S. Mujumdar, eds. Drying of Foods, Vegetables and Fruits. Volume 1. 2010. p. 232.
5. Haron, Nazrul Syaif, et al. "Untitled." IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 226 (2017): 012053. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/226/1/012053>.
6. Haron, N. S., et al. "Recent Advances in Fluidized Bed Drying." IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 243 (2017): 012038.
7. Torki-Harchegani, M., et al. "Dehydration Behaviour, Mathematical Modelling, Energy Efficiency and Essential Oil Yield of Peppermint Leaves Undergoing Microwave and Hot Air Treatments." Renewable and Sustainable Energy Reviews 58 (May 2016): 407–418.
8. Broiner, H., and D. Mtwes. Slolfaustaus Cheinschlieffill Chshemischer Reaktionen. Aarau: Frankfurt, 2011.
9. Valentas, K.Dzh., Rotshtejn, E., Singh, R.P. Pishchevaya inzheneriya: spravochnik s primerami raschetov [Food Engineering: A Guide to Sample Calculations] / (red.) / per. s angl. pod obshch. nauch. red. A. L. Ishevskogo.– SPb: Professiya, 2004.– S. 160-161. (In Russian)
10. Gal'perin N. I. Psevdoozhizhenie [Pseudoliquefaction]. - M.: Znanie, 1968.– 63 s. (In Russian)
11. Ginzburg A.S., Reznikov V.L. Sushka pishchevyykh produktov v kipiyashchem sloe [Fluidized Bed Food Drying]. – M.: Pishchevaya promyshlennost'. 1966.– 188 s. (In Russian)
12. Plaksin, Yu.M., Malahov, N.N., Larin, V.A. Processy i apparaty pishchevyykh proizvodstv [Food production processes and apparatus]. – M.: Kolos, 2007.– S. 525-530. (In Russian)
13. Teplyashin V.N. Tekhnologii i oborudovanie dlya sushki rastitel'nogo syr'ya [Elektronnyy resurs]: ucheb. posobie [Technologies and equipment for drying plant raw materials [electronic resource]: tutorial] / V.N. Teplyashin, L.I. Chencova, V.N. Nevzorov; Krasnoyar. Gos. Agrar. Un-t.– Krasnoyarsk, 2019.– 173 s. (In Russian)
14. Tusipov, N.O., Akimov, M.M., Erengaliev, A.E., Davydova, S.G. Sushilki s psevdoozhizhennym sloem: analiticheskij obzor [Fluid Bed Dryers: An Analytical Review]. Ust'-Kamenogorsk, 2014.– 60 s. (In Russian)
15. Tusipov, N.O., Akimov, M.M., Erengaliev, A.E., Davydova, S.G. Ustanovka dlya sushki polidispersnykh materialov [Polydisperse drying unit]. Innovacionnyy patent RK № 29537 ot 16.02.2015, byul. № 2.– 3 s. (In Russian)
16. Tusipov, N.O., Akimov, M.M., Lobasenko, B.A., Alieva, M.A. Ustanovka dlya sushki polidispersnykh materialov [Polydisperse drying unit]. Patent RK na poleznuyu model' № 4989 ot 29.05.2020, byul. № 21.– 4 s. (In Russian)
17. Todes O.M. Citovich O.B. Apparaty s kipiyashchim zernistym sloem (gidravlicheskie i teplovye osnovy raboty) [Fluidized bed vessels (hydraulic and thermal foundations)]. – L.: Himiya. 1981.– 296 s. (In Russian)