

УДК621.929.7

Г.М. Калетнік, проф., д-р екон. наук, акад. НААН України, В.П. Янович, доц., канд. техн. наук

Вінницький національний аграрний університет, м. Вінниця, Україна

E-mail: yanovichvitaliy@i.ua

Обґрунтування режимних параметрів вібраційної машини для змішування сипких мас

В статті наведено аналіз технологічних параметрів вібровідцентрового змішувача та їх вплив на кінетику процесу приготування сипких мас. Аналіз отриманих експериментальних даних дозволив встановити раціональні режимні параметри дослідної вібромашини за умови зменшення енерговитрат на організацію досліджуваного процесу.

сипкі маси, вібровідцентровий змішувач, режимні параметри, енерговитрати, неоднорідність суміші

Г.М.Калетник, проф., д-р экон. наук, акад. НААН Украины, В.П.Янович, доц., канд. техн. наук

Винницкий национальный аграрный университет, г.Винница, Украина

Обґрунтування режимних параметрів вібраційної машини для змішування сипких мас

В статье приведен анализ технологических параметров виброцентробежного смесителя и влияние его технологических параметров на кинетику процесса смешивания сыпучих масс. Анализ полученных экспериментальных данных позволил установить рациональные режимные параметры разработанной вибромашини при условии уменьшения энергозатрат на организацию исследуемого процесса смешивания.

сыпучие массы, виброцентробежный смеситель, режимные параметры, энергозатраты, неоднородность смеси

Постановка проблеми. За останні десятиріччя вібраційна технологія набула більш широкого використання в різних галузях господарства України. Її застосування дало змогу докорінно вдосконалити традиційні та розробити нові технологічні процеси і засоби для їх реалізації. Тому у більшості існуючих технологій може використовуватись вібротехніка, так як вібраційні машини значно ефективніші від звичайних, споживають менше енергії.

Підвищення вимог до якості готових сумішей сипучих матеріалів, що використовуються для отримання кінцевого продукту у харчовому та фармацевтичному виробництві, хімічній промисловості і переробці сільськогосподарської сировини, зумовило необхідність створення принципово нових, досконалих конструкцій обладнання для змішування.

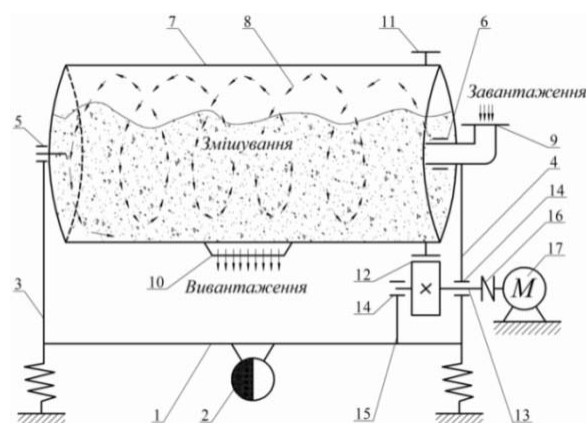
Аналіз останніх досліджень і публікацій. Різноманітність властивостей сипучої продукції, високі вимоги до однорідності сумішей створили умови для глибокого вивчення суті процесу змішування та його закономірностей[1-6]. Складність здійснення процесу змішування, насамперед, залежить від агрегатного стану компонентів суміші. Відповідно, до найбільш незручних для змішування належать сипучі матеріали. Це пояснюється складністю та специфічністю проведення аналізу властивостей сипучих матеріалів, якості складених композицій. Основною умовою досягнення максимальної однорідності сипких матеріалів є створення в мікро- та

макрооб'ємах значних градієнтів швидкостей зсувних деформацій, що неможливо здійснити у традиційних змішувачах, які, крім того, мають високі питомі енергозатрати та значну тривалість робочого циклу обробки.

Постановка завдання. Встановлення діапазону ефективних режимів роботи вібровідцентрового змішувача для приготування комплексних сумішей шляхом проведення експериментальних досліджень впливу його технологічних параметрів на кінетику досліджуваного процесу.

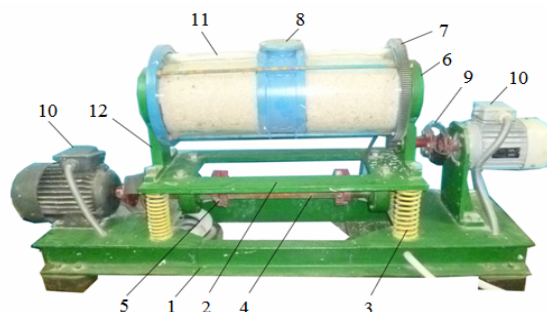
Викладення основного матеріалу. Для реалізації процесу приготування високооднорідних сипких субстанцій було спроектовано та виготовлено дослідну модель вібровідцентрового змішувача (рис. 1, 2) [7, 8]. Запропонована конструкція реалізує ідею комбінованої взаємодії вібраційного та обертового руху виконавчого органа з можливістю змішування у псевдозрідженому стані оброблюваного середовища.

Принцип роботи даної конструкції полягає в такому. Після завантаження необхідної кількості сировини через патрубок в циліндричний контейнер для приготування однієї партії продукції вмикають електродвигун та вібропривод, що призводить до плоского коливання підпружиненої платформи. В свою чергу крутний момент від електродвигуна через еластичну муфту, приводний вал та шестерню створює обертання вінця і, як наслідок, циліндричного контейнера із спіралеподібним інтенсифікатором. Після досягнення необхідної однорідності матеріалу, двигун і вібропривод вимикають та вивантажують сировину через патрубок.



- 1 – платформа; 2 – вібропривод; 3, 4 – стійки; 5, 6 – підшипникові вузли; 7 – контейнер; 8 – траскторія руху сировини; 9, 10 – патрубки для завантаження та вивантаження продукції; 11 – вінць; 12 – шестерня; 13 – приводний вал; 14 – підшипникові вузли; 15 – стійки; 16 – еластичні муфти; 17 – електродвигун

Рисунок 1 – Принципова схема вібровідцентрового змішувача



- 1 – станина; 2 – коливна платформа; 3 – пружні елементи; 4 – приводний вал; 5 – дебаланси; 6 – підшипникові вузли; 7 – зубчастий вінць; 8 – завантажувальна горловина; 9 – еластична муфта; 10 – електродвигун; 11 – змішувальна камера; 12 – стійки

Рисунок 2 – Загальний вигляд вібровідцентрового змішувача

Такий обертовий та коливальний технологічні рухи виконавчого органа змішувача дозволять значно послабити дію адгезійних сил, підвищити циркуляційний рух оброблюваного матеріалу і, як наслідок, покращити показники якості вихідної суміші. В результаті механічної взаємодії вібрації, інерційного та гравітаційного ефектів на виконавчий орган змішувача та масу продукції має місце значна інтенсифікація процесу перемішування.

Розроблена машина характеризується наявністю силового методу віброзбудження, максимальне значення змушуючої сили, що генерується внаслідок обертання ексцентрично розміщених мас, становить $F = 5,2$ кН.

Проведені експериментальні дослідження кінематичних та швидкісних характеристик змішувальної камери розробленої вібромашини засвідчили [9], що крива амплітуди коливань, залежно від кутової швидкості приводного вала, умовно поділяється на три характерних режими роботи: дорезонансний при $\omega = 0-31$ рад·с⁻¹, резонансний $\omega = 36-57$ рад·с⁻¹ та зарезонансний $\omega = 67-118$ рад·с⁻¹, де спостерігається стабілізація амплітуди коливань. При чому в робочому зарезонансному режимі, значення амплітуди коливань перебуватиме в діапазоні $A = 2-2,2$ мм.

Серед енергетичних параметрів вібрації варто відзначити роботу змушуючих сил або моментів та внутрішніх сил опору коливної системи. Робота зовнішніх сил створюється неврівноваженими масами та витрачається на здолаття сил опору системи і забезпечення коливного руху виконавчих органів вібраційної технологічної машини із заданими параметрами.

Для оцінення енерговитрат досліджуваної вібромашини було проведено серію експериментальних досліджень залежно від зміни ступеня завантаження та коефіцієнта вібрації, значення якого наведено у табл. 1.

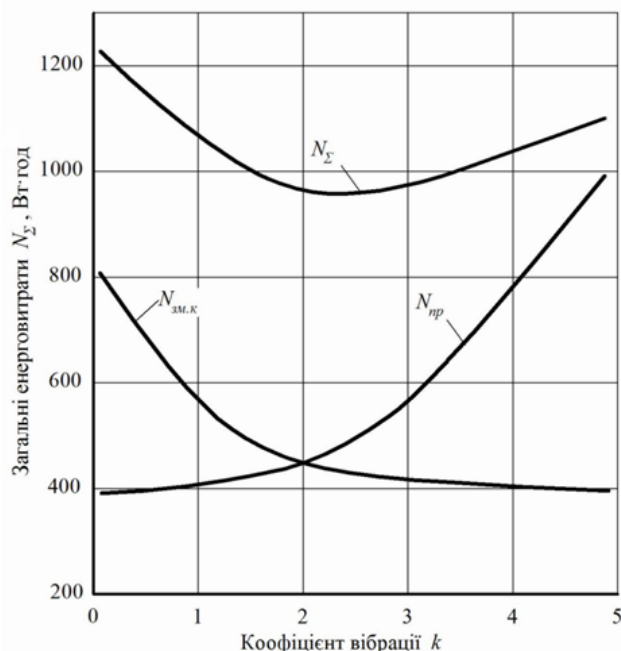
Таблиця 1 –Параметри коефіцієнта вібрації k

Кут розвороту дебалансів α , град.	Вимушуюча сила дебалансів F , кН	без завантаження			$\frac{1}{2}$ завантаження			$\frac{3}{4}$ завантаження		
		A , мм	$k = a^2 g^{-1}$	N , Вт·год	A , мм	$k = a^2 g^{-1}$	N , Вт·год	A , мм	$k = a^2 g^{-1}$	N , Вт·год
0	6,0	3,0	5,2	720	2,7	5,0	800	2,3	4,8	880
45	5,2	2,8	4,5	850	2,2	4,2	900	2,0	4,0	950
90	4,5	2,2	3,7	900	2,0	3,1	950	1,7	3,0	1000
112	3,0	2,0	2,5	980	1,8	2,2	1080	1,5	2,0	1110
135	1,5	1,5	1,2	1000	1,2	1,0	1150	1,2	0,8	1250

Графічна інтерпретація отриманих даних на рис. 3 засвідчила, що зростання коефіцієнта вібрації виконавчого органа машини з 1,2 до 5,2 супроводжується підвищенням енерговитрат віброзбуджувача з $N_{np} = 0,4$ кВт·год до $N_{np} = 1,0$ кВт·годта зменшенням енерговитрат на приводі змішувальної камери з $N_{з.м.к} = 0,8$ кВт·годдо $N_{з.м.к} = 0,4$ кВт·год. Це обумовлює появу мінімуму сумарних енерговитрат на реалізацію активної обробки сировини за умови безперервного підкидання частинок сипкого матеріалів. Зменшення енерговитрат на привод змішувальної камери зі зростанням

коефіцієнта режиму вібрації пояснюється зменшенням ефективних коефіцієнтів внутрішнього та зовнішнього тертя під дією вібраційного поля.

Базуючись на вищезазначених даних, можна зробити висновок, що зміна коефіцієнта вібрації є одним з домінуючих факторів сумарних енерговитрат розробленої вібромашини за реалізації процесу змішування.



$$N_{\Sigma} = N_{пр} + N_{зм.к} - \text{сумарні енергетичні витрати}$$

Рисунок 3 – Залежність енерговитрат віброзмішувача від коефіцієнта вібрації $k = a^2 g^{-1}$ при $n_{зм.к} = 70 \text{ хв}^{-1}$, $n_{пр} = 1100 \text{ хв}^{-1}$, ступінь завантаження $\frac{3}{4}$

Також було проведено аналіз енерговитрат привода змішувальної камери залежно від коефіцієнта вібрації та частоти обертання змішувальної камери (рис. 4), який засвідчив, що при збільшенні $n_{зм.к}$ до 70 хв^{-1} та кожного значення k від 1,2 до 5,2 спостерігається збільшення $N_{зм.к}$ на $50 \text{ Вт}\cdot\text{год}$.

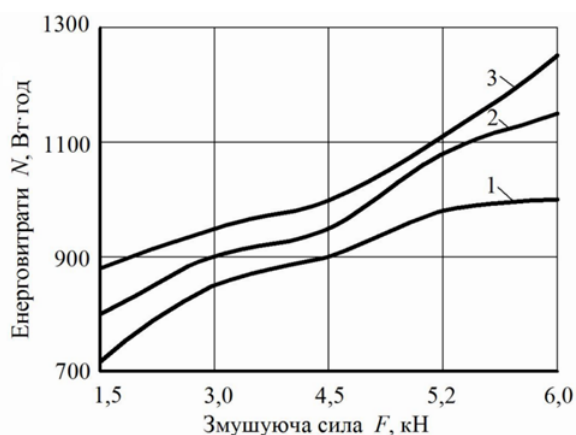


Рисунок 4 – Залежність енерговитрат привода змішувальної камери від частоти обертання контейнера та зміни коефіцієнта режиму вібрації

Проведена оцінка сумарних енерговитрат та загальної амплітуди коливань при варіації величини змушуючої сили та коефіцієнта завантаження оброблюваним

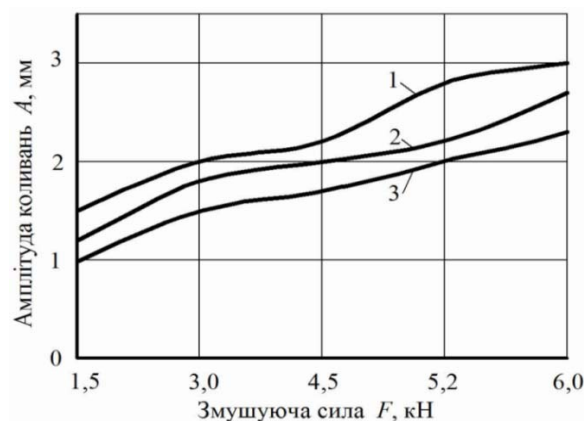
матеріалом (рис. 5, 6), засвідчили практично пропорційне зростання амплітуди коливань виконавчого органа машини та її енерговитрат. Так, без завантаження оброблюваного матеріалу: при $k=1,5 - N_{\Sigma}$ енерговитрати становлять $0,9$ кВт·год, $A = 1,5$ мм; при $k=4,5 - N_{\Sigma} = 1,0$ кВт·год, $A = 2,5$ мм; при $k=1,5 - N_{\Sigma} = 0,9$ кВт·год, $A = 1,5$ мм; $k=5,2 - N_{\Sigma} = 1,1$ кВт·год, $A = 2,8$ мм.

Також варто відзначити, що отримані експериментальні дані дозволили зробити висновок, що зі збільшенням ступеня завантаження сировини амплітуда коливань зменшується в $1,5$ раза, дане явище зумовлене значним зростанням дисипативних сил оброблюваного матеріалу та реалізує зміщення амплітуди коливань контейнера в напрямку збільшення кутової швидкості приводного вала вібробуджувача, тоді як загальні енерговитрати зростають в $1,6$ раза.



1 – при $r = 3/4$; 2 – при $r = 1/2$; 3 – без технологічного наповнювача

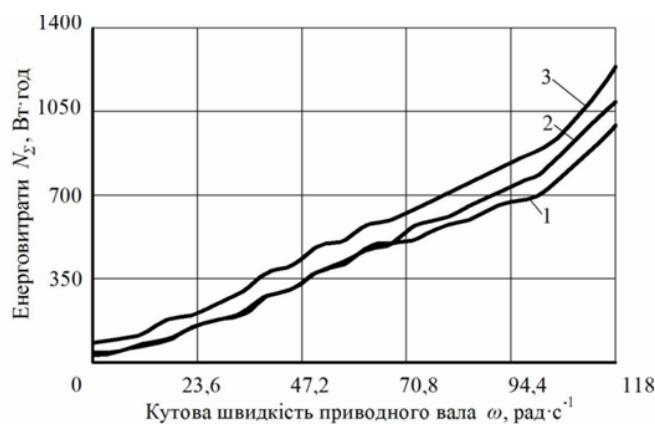
Рисунок 5 – Залежність енерговитрат вібротурбини від величини змущуючої сили та коефіцієнта завантаження оброблюваної сировини



1 – при $r = 3/4$; 2 – при $r = 1/2$; 3 – без технологічного наповнювача;

Рисунок 6 – Залежність амплітуди коливань від змущуючої сили та коефіцієнта завантаження оброблюваної сировини

Варто також відзначити, що зростання кутової швидкості приводного вала змущувача призводить до майже квадратичного збільшення сумарних енерговитрат N_{Σ} (рис. 7), так за $r = 3/4$ та при $\omega = 20$ рад·с⁻¹ – $N_{\Sigma} = 0,2$ кВт·год, тоді як при $\omega = 118$ рад·с⁻¹ – $N_{\Sigma} = 1,2$ кВт·год.

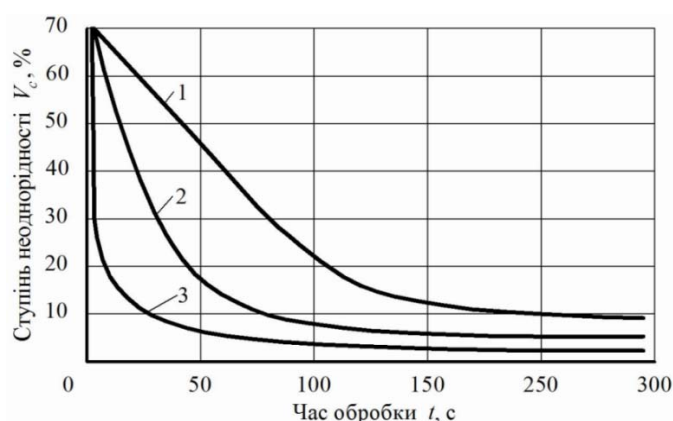


1 – при $r = 3/4$; 2 – при $r = 1/2$; 3 – без технологічного наповнювача

Рисунок 7 – Залежність сумарних енерговитрат досліджуваної вібротурбини від кутової швидкості приводного вала та коефіцієнта завантаження оброблюваної сировини

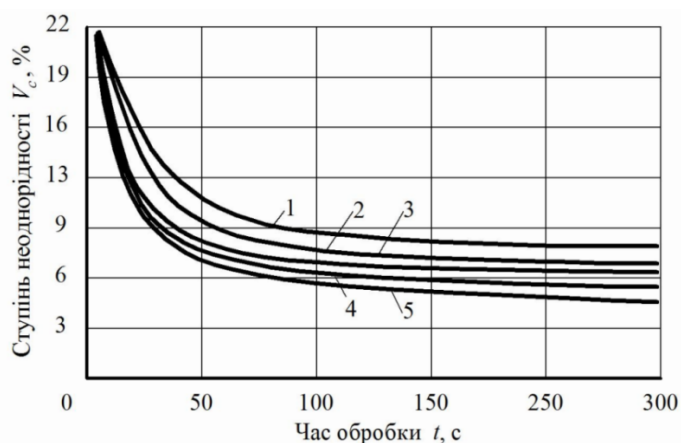
Під час проведення експериментальних досліджень для оцінювання показників якості процесу змішування за умови вібровідцентрового технологічного впливу оброблюваний матеріал з вологістю 7-10%, залежно від фізико-механічних характеристик, було розділено на дві групи: до першої групи входили ріпак та пшоно з розмірами 1,5-2,0 мм; до другої групи – дрібнодисперсний матеріал у вигляді порошків: сухі кормові дріжджі, крохмаль та хлорид натрію, розмір частинок матеріалу сягав 20-50 мкм.

Проведені експериментальні дослідження зміни коефіцієнта неоднорідності (варіації) суміші від часу її приготування та способу технологічного впливу (рис.8), засвідчили зменшення коефіцієнта варіації отриманої суміші за умови лише обертового руху контейнера $V_c = 10\%$ за $t = 150$ с, тоді як за умови вібраційного впливу $V_c = 8\%$ за $t = 60$ с, а при комплексній вібровідцентровий обробці $V_c = 5\%$ за $t = 50$ с.



1 – відцентровий рух контейнера; 2 – коливний рух контейнера; 3 – вібровідцентровий рух контейнера

Рисунок 8 – Залежність ступеня неоднорідності суміші від часу обробки та типу технологічного впливу



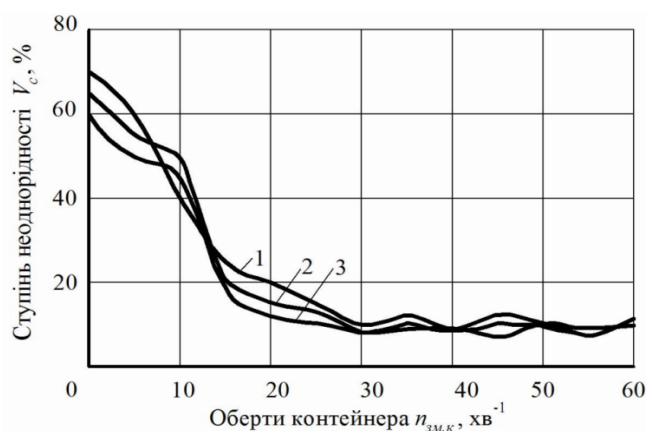
1-5 – $k =$ відповідно 1,5; 3; 4,5; 5,2; 6

Рисунок 9 – Залежність ступеня неоднорідності суміші від часу обробки та коефіцієнта вібрації (вібровідцентровий спосіб обробки, $n_{з.к} = 70$ хв⁻¹)

Також було встановлено, що основна фаза змішування відбувається в перший період обробки, тривалість якого становить $t = 50$ с, а коефіцієнт варіації V_c залежить від коефіцієнту вібрації k (рис.9). Так, при $\omega = 118$ рад·с⁻¹, частоти обертання змішувальної камери $n_{з.к} = 70$ хв⁻¹ та часу обробки 60 с V_c становитиме при $k = 1,5$ – $V_c = 9\%$, тоді як при $k = 6$ – $V_c = 5\%$. У другому періоді ступінь однорідності практично не змінюється,

що характеризує настання динамічної рівноваги, після якої подальший процес перемішування є неефективним. Як видно з отриманих залежностей, неоднорідність суміші зменшується із збільшенням тривалості її обробки на всіх досліджуваних режимах роботи.

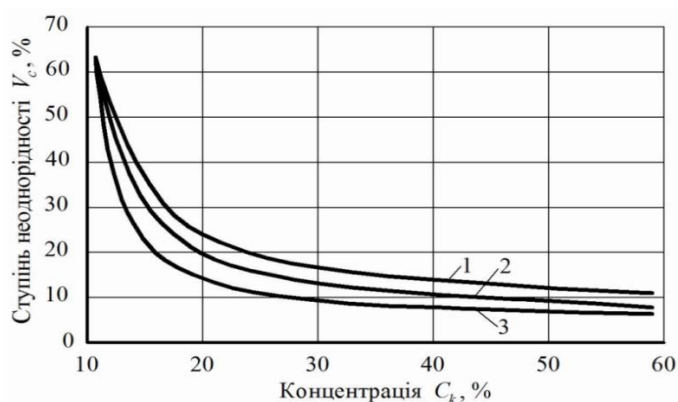
Аналіз залежності коефіцієнта варіації від швидкості обертання змішувального контейнера та кутової швидкості приводного вала (рис. 10), засвідчив, що при $t = 60$ с обробки значення $V_c = 10\%$ спостерігається при $n_{з.к.} = 70$ хв⁻¹, а використання кутової швидкості ω приводного вала при значеннях 110 рад·с⁻¹ є найбільш ефективним. Також варто відзначити, що при збільшенні часу обробки матеріалу величина коефіцієнта неоднорідності почергово зменшується або зростає, прямуючи до деякого граничного значення. Така поведінка суміші пов'язана з наявністю конвективного механізму процесу, через що й відбуваються коливання площини поверхні контакту змішувальних фаз від максимального до мінімального.



1 – $\omega = 90$ рад·с⁻¹; 2 – $\omega = 100$ рад·с⁻¹; 3 – $\omega = 110$ рад·с⁻¹

Рисунок 10 – Залежність ступеня неоднорідності вихідної суміші від швидкості обертання контейнера та кутової швидкості приводного вала

Аналіз коефіцієнта неоднорідності суміші від концентрації ключового компонента (рис. 11) засвідчив, що зменшення останнього від $C_k = 60\%$ до $C_k = 20\%$ здійснює незначний вплив на коефіцієнт неоднорідності, тоді як подальше його зменшення до $C_k = 10\%$ призводить до значного підвищення коефіцієнта варіації. Дана тенденція пов'язана із процесом сегрегації сипкого матеріалу.



1 – $\omega = 90$ рад·с⁻¹; 2 – $\omega = 100$ рад·с⁻¹; 3 – $\omega = 110$ рад·с⁻¹

Рисунок 11 – Залежність коефіцієнта неоднорідності суміші від концентрації ключового компонента при експлуатаційних параметрах вібровідцентрового змішувача $n_k = 70$ хв⁻¹, $t = 60$ с

Висновки. На основі проведених експериментальних досліджень встановлено доцільність приготування високодисперсних сумішей за умови комплексного вібромеханічного впливу. Ефективні режимні параметри розробленого вібровідцентрового змішувача мають такі значення: кутова швидкість приводного вала $110 \text{ рад} \cdot \text{с}^{-1}$; частота обертання змішувальної камери 70 хв^{-1} ; амплітуда коливань 2 мм ; віброприскорення $30 \text{ м} \cdot \text{с}^{-2}$. За даних параметрів однорідність суміші сягає 98% , при чому енерговитрати на реалізацію означеного процесу становлять $1,25 \text{ кВт} \cdot \text{год}$.

Список літератури

1. Гончаревич, И.Ф. Вибрационная техника в пищевой промышленности [Текст] / И.Ф. Гончаревич, Н.Б. Урьев, М.А. Талейсник. – М.: Пищевая промышленность, 1977. – 272 с.
2. Макаров, Ю.И. Аппараты для смешения сыпучих материалов [Текст] / Ю.И. Макаров. – М.: Машиностроение, 1973. – 212 с.
3. Баранецька О.Р. Вібраційне змішування сумішей сипучих матеріалів [Текст] / О.Р. Баранецька // *Машинознавство*. – 2000. – № 3 (33). – С. 60–63.
4. Афтаназів, І.С. Вибір технології і обладнання для змішування сумішей сипучих матеріалів [Текст] / І.С. Афтаназів, О.Р. Баранецька, О.М. Сімчук // *Машинознавство*. – 1999. – № 5 (23). – С. 55–62.
5. Берник, М.П. Віброімпульсний привод нового вібраційного змішувача [Текст] / М.П. Берник, О.В. Цуркан, Л.Д. Величко // *Вибрации в технике и технологиях*. – 2001. – № 2(18). – С. 3–7.
6. Берник, М.П. Віброімпульсний привод вібраційних змішувачів [Текст] / М.П. Берник, О.В. Цуркан // *Зб. наук. праць Вінницького державного аграрного університету*. – Вінниця: ВДАУ. – 2002. – С. 222–227.
7. Пат. на корисну модель 115132 Україна (UA), МПК В01F 11/00. Вібровідцентровий змішувач / В.П. Янович, І.П. Паламарчук, Ю.О. Михальова; заявник і патентовласник Янович В.П. – Заявл. 25.07.2016; опубл. 10.04.2017, Бюл. № 7. – 5 с.
8. Калетнік, Г.М. Дослідження експлуатаційних характеристик вібровідцентрового змішувача для приготування преміксів [Текст] / Г.М. Калетнік, В.П. Янович / *Сільське господарство та лісівництво*. – 2017. – Вип. 5. – С. 6-16.

Kaletnik Grygorii, Prof., DSc., academic NAAS of Ukraine, Yanovich Vitaliy, Assoc. Prof., PhD tech. sci.
Vinnitsia National Agrarian University, Vinnitsia, Ukraine

Justification of the regime parameters of a vibration machine for mixing loose mixture

The purpose of this article is to establish a range of effective modes of operation of the vibrocentrifugal mixer for the preparation of complex mixtures by conducting experimental studies of the influence of its technological parameters on the kinetics of the investigated process.

For the implementation of the process of preparation of highly homogeneous floating substances, a research model of a vibrocentrifugal mixer was designed and manufactured. The proposed construction realizes the idea of combined interaction of the vibration and rotary motion of the executive body with the possibility of mixing in the fluidized state of the treated medium.

In order to establish the operating parameters of the vibration center mixer, the homogeneity of the initial mixture was evaluated depending on the technological characteristics of the vibrating machine developed and the total loading capacity of the mixing chamber. As a result of experimental studies, graphical interpretations of the above-mentioned evaluation parameters were obtained, linearization of which was carried out by linear curvature filtering. The evaluation of the process of mixing the bulk material showed that the homogeneity of the product obtained during the centrifugal movement of the container with increasing frequency of rotation is significantly less than the combined vibrocentrifugal effect. The analysis of the experimental data obtained allowed establishing rational regime parameters of the experimental vibrating machine, provided that the energy consumption was reduced to the organization of the investigated process.

On the basis of experimental researches, the expediency of preparation of highly dispersed mixtures was determined on condition of complex vibromechanical influence. Effective operating parameters of the developed vibrocentrifugal mixer have the following values: angular speed of the drive shaft $110 \text{ rad with } \text{с}^{-1}$; frequency of rotation of the mixing chamber 70 min^{-1} ; amplitude of oscillation 2 mm ; vibration acceleration of 30 m p^{-2} . According to these parameters, the homogeneity of the mixture reaches 98% , while the energy costs for the implementation of this process are 1.25 kWh .

loose mixture, vibrocentrifugal mixer, regime parameters, energy consumption, homogeneity of the mixture

Одержано 01.11.17