REFERENCES

1. *Aleksandrov M. N. The collection of materials of the ninth All-Russia 2009 scientific and practical conference "Quality management", – Moscow: MATI, 2010. – p. 227 (Russian)*
2. *Orlov A.I. «Mathematics of a case. Probability and statistics: main facts», M: Moscow, Press, 2004 (Russian)*
3. *State Standard 15.002-2003 System of quality management. The general requirements (Russian).*
4. *State Standard 15895-77 Statistical methods for management the quality of product. Terms and definitions (Russian).*
5. *Shewhart U.A. Economic quality control of product / Van Noustrend, New York, - 1931.*
6. *Barabanova O. A. Seven tools of quality control. — Moscow, "MATI, 2001 (Russian)*
7. *«Maintenance of stability of processes in quality systems on models of standards of International Organization for Standardization of a series 9000. Shewhart control cards », Moscow, 1998 (Russian)*
8. *«Recommendations according to accuracy and stability of processes (equipment)», Moscow 1991 (Russian)*
9. *Gorjachev V.V. Estimation of accuracy, readiness and stability of processes. – www.sds-vr.ru. (Russian)*
10. *Khersonskiy N.S., Proshin V.V. Statistical methods of estimation characteristics of dimensional chains of products and processes of their manufacturing. M, 2008. (Russian)*
11. *Bol'shev L.N., Smirnov N.V. Table of mathematical statistics. Moscow, Science, 1983 (Russian)*
12. *An order of control of accuracy and estimation of quality of the machining attachments». (Russian)*
13. *Management of metrological maintenance. Metrological preparation of manufacture». (Russian)*
14. *An order of conducting periodic and standard tests at the factory». (Russian)*
15. *Ford Motor Company (1984). Continuing Process Control and Process Capability lmprovement. Ford Motor Company, Dearborn, MI.*
16. *Tchernyaev N.P. Estimation of stability of the process. Science and Engineering, Mixed fodders, 2012., №3, p. 51 – 53. (Russian)*
17. *Yegorov B. V, Makarinskaja A.V., Katz I.S. Mathematical basis of estimation of stability of processes of premix and mixed feed manufacturing //Grain products and mixed fodders. – 2008. – №2. – p 51 – 55. (Russian)*
18. *Yegorov B. V, Makarinskaja A.V., Katz J.S. About an estimation of stability of functioning of processes and system // Grain products and mixed fodders. – 2008. – №3. – p. 37 – 40. (Russian)*
19. *Smirnov N.V., Dubin-Barkovskij I.V. Probability theory and mathematical statistics for technical applications. - M: "Science", 1965. (Russian).*
20. *Yegorov B. V, Makarinskja A.V. Estimation of uniformity of mixes and stability of a process of mixing // The Bulletin of National technical university «Kharkov polytechnical institute». Kharkov. – 2009. – №25. p. 98 – 103. (Russian)*
21. *Wojciech Batko. Technical stability – a new modelling perspective for building solutions of monitoring systems for machinery state // Zagadnienia eksploatacji maszyn. – Zeszyt. – 2007. - №151. – p. 147-156.*
22. *Zhang Xiaoming, Zhu Limin, Ding Han, Xiong Youlun. Numerical Robust Stability Estimation in Milling Process // Chinese journal of mechanical engineering. – 2012. – vol. 25. - №5. – p. 953 – 959.*
23. *Inspergner T., Mann B., et al. Stability of up-milling and down-milling, part 1: alternative analytical methods // International Journal of Machine Tools and Manafacture. – 2003. – 43 (1). – p. 25-34.*
24. *Devendra Sahal. Technical progress: concepts, models, estimations. – New York. – 1985.*
25. *State Standard 50779.42-99 (International Organization for Standardization 8258-91) Statistical methods: Control cards of Shewhart. – 1999.*
26. *Khobin V.A. Systems of securing management of technological assemblies: bases of the theory, an expert applications– Odessa. – 2008. (Russian)*
27. *Panfilov V. A. Scientific bases of development of production lines of food manufacturing: Agropromizdat, 1986. (Russian)*

Надійшла 30.10.2013

Адреса для переписки:
вул. Канатна, 112, м. Одеса, 65039

УДК 664.743.02:519.876.5.

О.І. ГАПОНЮК, д-р техн. наук, професор, Г.А. МОСІЄНКО, інженер
Одеська національна академія харчових технологій

ОБҐРУНТУВАННЯ РАЦІОНАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ КРУПОВІДДІЛЮВАЧА КОМПЛЕКСНОЇ ДІЇ

Встановлено зв'язок конструктивних режимних характеристик робочих органів з параметрами зернових сумішей, що сепаруються, - крупності розмірів частинок, дисперсності суміші висхідних та низхідних потоків частинок.

Ключові слова: *сепарування, сепаратор комбінованої дії, зернова суміш, дисперсний фракційний потік.*

Were found the connections between the structural characteristics of working regime and parameters of grain separation mixtures size, like as particle sizes, dispersion mixture of upstream and downstream flows of particles.

Key words: *separation, combined separator, grain mixture, dispersed fractional flow.*

Аналіз принципів дії існуючих круповід--ділювачів дозволяє зробити висновок, що загалом кожний з них умовно можна розглядати як систему складних зв'язків між вхідними факторами (умовами експлуатації, властивостями оброблюваних продуктів, геометрією, кінематикою та динамікою робочих органів) і вихідними параметрами (ефективність сепарування, витрати енергії та інше). Таким чином, одержання необхідної технологічної характеристики машини, що проектується, досягнення запланованого технічного рівня та забезпечення основних вимог до технологічного обладнання потребує досконалих досліджень і визначення поведінки майбутньої машини в залежності від вхідних факторів, які впливають на конструктивно-функціональні рішення її робочих органів. Такі дослідження мають на увазі постановку задачі, аналіз об'єкту випробувань та оцінку його стану, вибір некорельованих факторів і обгрунтування рівнів їх варіації з урахуванням конкретних умов проведення дослідів, розробку плану експериментів та методики математично-статистичної обробки одержаних даних, а також порядок аналізу, узагальнення результатів спостережень та формулювання висновків і рекомендацій.

Виходячи з необхідності обгрунтування конструктивно-функціональних рішень робочих органів круповідділювачів, слід вважати доцільним вивчити їх вплив на технологічні показники розроблюваної машини, основним з яких є ефективність реалізації процесу круповідділювання. Проведені результати досліджень та визначення можливих методів оцінки ефективності роботи сепараторів взагалі та круповідділювачів в конкретних випадках дозволяє обгрунтувати можливість, а також підтвердити найбільш високу достовірність використання залежності:

$$E = B_1(C_1 - C)/(100 - C) + B_2(H_2 - H)/(100 - H), \quad (1)$$

де: B_1 та B_2 -відповідно вихід фракцій лущеного та нелущеного зерна ($B_1 + B_2 = 100\%$);

C та H - відповідно концентрація лущених та нелущених зерен у початковій суміші ($C + H = 100\%$);

C_1 - концентрація лущених зерен у фракції лущеного зерна (продукт $M_1 = B_1M$);

H_2 - концентрація нелущених зерен у фракції нелущеного зерна (продукт $M_2 = B_2M$);

M - загальна кількість обробленого продукту.

Враховуючи показник концентрації лущених зерен у фракції нелущеного зерна

$$C_2 = 100 - H_2 \quad (2)$$

та рівняння матеріального балансу

$$M = M_1 + M_2, \quad (3)$$

формула для підрахунків ефективності роботи круповідділювача приймає вигляд:

$$E = [M_1(C_1 - C)/(100 - C) + M_2(C - C_2)/C]/(M_1 + M_2) \quad (4)$$

Використання запропонованого виразу дозволяє найбільш точно встановити ефективність дії круповідділювача, враховуючи не тільки концентрації лущеного та нелущеного зерна, а також конкретні величини виходів одержаних фракцій, що відповідає вимогам Правил організації та ведення технологічних процесів на крупозаводах.

Маючи на увазі сталу кількість лущеного зерна в процесі круповідділення, що відповідає рівнянню

$$MC = M_1C_1 + M_2C_2, \quad (5)$$

показник ефективності дії машини може бути використано в такому вигляді

$$E = 100(C_1 - C)(C - C_2)/(100 - C)(C_1 - C_2). \quad (6)$$

Викладені відомості свідчать, що показник ефективності роботи машини доцільно використовувати як комплексну оцінку рівня її конструктивно-технологічного рішення, а для його розрахунків у процесі проведення досліджень необхідно контролювати вихідні параметри. До останніх відносяться показники концентрації лущених зерен у фракції лущеного зерна (C_1) та у фракції нелущеного зерна (C_2). Паралельно цим даним є зміст у визначенні кількості зерна в кожній з одержаних фракцій, що являють собою верхній схід (M_1 - фракція лущеного зерна) та нижній схід (M_2 - фракція нелущеного зерна). Незалежно від розглянутого обов'язковим слід вважати вимірювання терміну обробки (τ), як контрольного параметра при визначенні продуктивності, витрат енергії та інших результатів.

До вхідних факторів, які об'єктивно впливають на вихідні параметри, відносяться відповідно геометрія та кінематика робочого органу круповідділювача, подача (продуктивність) і властивості початкової суміші. Останні два фактори не потребують обгрунтування їх впливу на ефективність роботи круповідділювача й однозначно повинні бути включені в склад умов проведення досліджень як продуктивність живильника (Q) лабораторної установки та концентрація лущеного зерна в початковій суміші (C).

Варіанти конструктивних рішень сферичних, конічних та плоских робочих органів круповідділювачів характеризуються аналогічними принципами дії, а їх дослідження може бути приведене до випробувань однієї з викладених схем. Оскільки такі випробування пов'язані з необхідністю створення лабораторної установки, то, враховуючи вимоги скорочення проектних робіт, спрощення конструкції та прискорення процесу її виготовлення, найбільш доцільним є використання лабораторного круповідділювача з плоским робочим органом. Для такої установки основними геометричними параметрами робочих органів є кут напрямку коливань (α) та нахилу площини робочого столу (β) відносно горизонту.

Величина α визначає характер та інтенсивність процесу самосортування продуктів суміші на робочому столі й безпосередньо впливає на ефективність дії круповідділювача. Від значення β залежать напрямок та швидкість переміщення продуктів по поверхні похилого столу. Оскільки вказані характеристики (напрямок і швидкість продуктів) залежать також від продуктивності, то фактори Q та β слід вважати взаємно корелюючими. Останнє викликає необхідність проведення окремих досліджень впливу β на ефективність роботи круповідділювача.

Головними кінематичними параметрами робочого органу круповідділювача з плоским столом є амплітуда (A) та частота його коливань. Маючи на увазі необхідність спрощення майбутньої конструкції, передпроектної відмови від складних пристроїв регулювання частоти та підвищення рівня стандартизації елементів машини, умови досліджень приведено до синхронної частоти обертання роторів (1000 об/хв) серійно виготовлених електродвигунів.

Виконаний аналіз дозволяє вирішити проблему вибору оптимального плану проведення експериментів і обгрунтувати технологічно доцільні та технічно необхідні рівні варіації вхідних факторів і очікувані значення вихідних параметрів. Суттєва різниця у величинах та фізичних основах вхідних факторів, що впливають на ефективність круповідділення, та вихідних параметрів, являючись

дискретними по характеру стохастичними неоднорідностями в умовах проведення експериментів, визначає статистичну неефективність відомих методів екстремального планування експериментів.

План експериментів передбачав варіації кожного з факторів на і = 5 рівнях, а їх конкретні значення повинні охоплювати весь інтервал можливих величин і призначаються на основі аналізу умов проведення досліджень (табл. 1).

Використовуючи формулу В.М.Цециновського та результати вимірювань вихідних параметрів для кожного досліду, підрахували показник ефективності роботи круповідділювача. Для усунення впливу кута нахилу робочого столу до горизонтальної площини по кожній групі дослідів обчислювали середні значення ефективності роботи круповідділювача, які внесені в план експериментів (табл. 2).

Обгрунтування суттєвості впливу кожного з розглянутих факторів виконано на основі дисперсійного аналізу, який передбачає розрахунки наступних величин:

- загальної суми ефективностей

$$T = \Sigma E_{ik} = 13{,}42; \quad (7)$$

- середнього значення ефективності

$$M = T/N = 13{,}42/25 = 0{,}5368; \quad (8)$$

- поправочного коефіцієнта

$$\Pi = T^2/N = (13{,}42)^2/25 = 7{,}2; \quad (9)$$

- суми квадратів ефективностей

$$\Sigma E_{ik}^2 = 8{,}2886; \quad (10)$$

- загальної суми квадратів відхилень ефективностей від їх середнього значення

$$SS_0 = \Sigma(E_{ik} - M)^2 = \Sigma E_{ik}^2 - \Pi = 1{,}0886, \quad (11)$$

де $N = n^2 = 5^2 = 25$ – загальна кількість дослідів;

$n = 5$ – розмір сторони греко-латинського квадрата;

$i = 1...n$ та $k = 1...n$ – поточні значення номерів рядка та колонки для кожного досліду.

Приведені залежності ефективності роботи круповідділювача від його кінематичних параметрів дозволяють установити, що зростання амплітуди коливань *А* спричиняє зниження розділяючої спроможності машини (рис. 1).

Таке явище пояснюється тим, що остання, в будь-якому випадку, викликає відносне переміщення шарів зернопродуктів по робочій поверхні столу та активізує як процес їх самосортування, так і процес змішування. Але більш суттєвий вплив амплітуди коливань на процес змішування відбивається відпо-

Таблиця 1

Рівні варіації вхідних факторів у дослідженнях круповідділювача комплексної дії

Фактори	Одиниці вимірювання	Позначення	Рівні варіації та значення факторів				
			1	2	3	4	5
Кут напрямку коливань	градус	α	15	22,5	30	37,5	45
Амплітуда коливань столу	мм	А	2,8	3,1	3,4	3,7	4,0
Продуктивність живильника круповідділювача	кг/хв	Q	1,00	1,75	2,50	3,25	4,00
Концентрація лущеного зерна в суміші продуктів	%	С	15	26	37	49	60

Таблиця 2

Результати підрахунків показника ефективності роботи круповідділювача, E_{ik}

1 $\alpha_1A_1Q_1C_1$ 0,57	2 $\alpha_2A_2Q_2C_2$ 0,56	3 $\alpha_3A_3Q_3C_3$ 0,57	4 $\alpha_4A_4Q_4C_4$ 0,49	5 $\alpha_5A_5Q_5C_5$ 0,46
6 $\alpha_2A_3Q_4C_5$ 0,62	7 $\alpha_3A_4Q_5C_1$ 0,54	8 $\alpha_4A_5Q_1C_2$ 0,50	9 $\alpha_5A_1Q_2C_3$ 0,63	10 $\alpha_1A_2Q_3C_4$ 0,64
11 $\alpha_3A_5Q_2C_4$ 0,67	12 $\alpha_4A_1Q_3C_5$ 0,70	13 $\alpha_5A_2Q_4C_1$ 0,36	14 $\alpha_1A_3Q_5C_2$ 0,29	15 $\alpha_2A_4Q_1C_3$ 0,73
16 $\alpha_4A_2Q_5C_3$ 0,52	17 $\alpha_5A_3Q_1C_4$ 0,61	18 $\alpha_1A_4Q_2C_5$ 0,43	19 $\alpha_2A_5Q_3C_1$ 0,46	20 $\alpha_3A_1Q_4C_2$ 0,73
21 $\alpha_5A_4Q_3C_2$ 0,15	22 $\alpha_1A_5Q_4C_3$ 0,22	23 $\alpha_2A_1Q_5C_4$ 0,51	24 $\alpha_3A_2Q_1C_5$ 0,89	25 $\alpha_4A_3Q_2C_1$ 0,57

© “Зернові продукти і комбікорми”, 2013

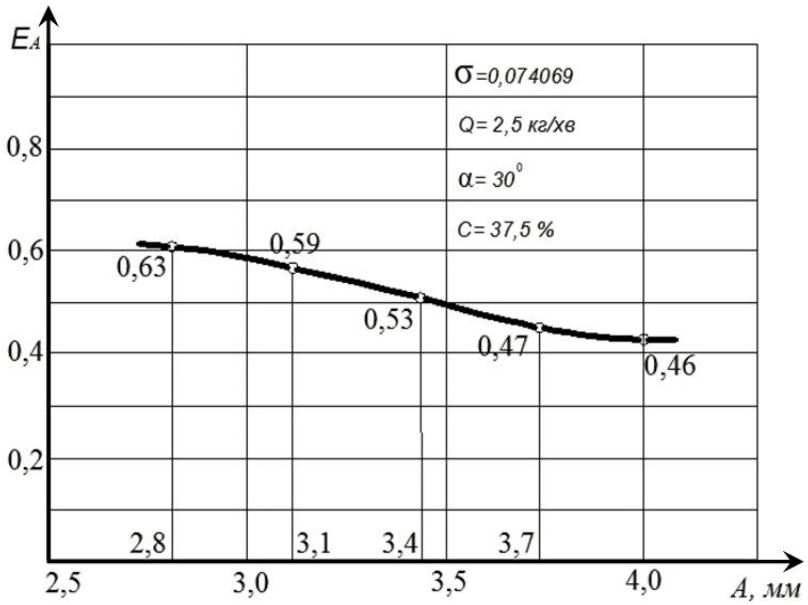

Рис. 1. Вплив режиму коливань (амплітуди, А, мм) робочих органів на ефективність процесу круповідділення, E_A.

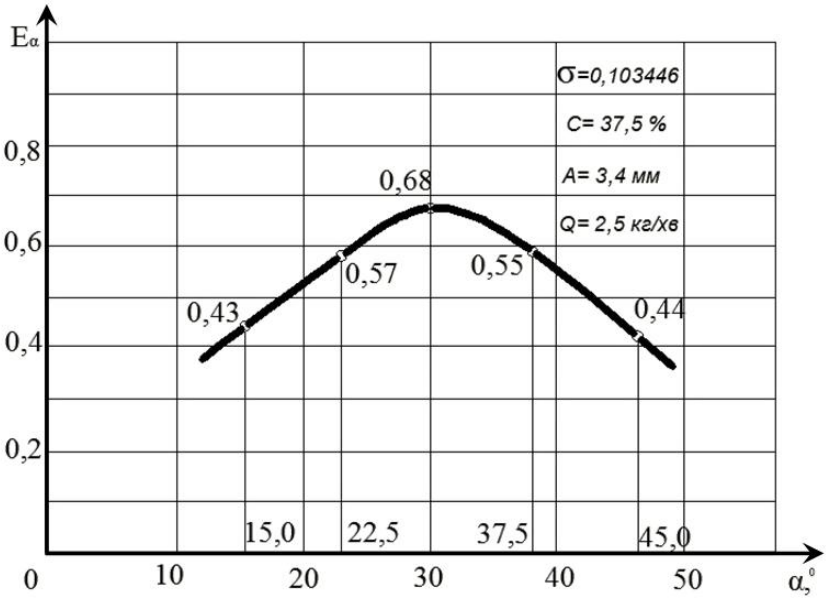

Рис. 2. Вплив параметрів робочих органів (напрямку коливань, α^o)

відним зниженням ефективності роботи круповідділювача. Виходячи з результатів аналізу одержаної залежності, при розробці високопродуктивного круповідділювача доцільно рекомендувати використання мінімальних значень амплітуди коливань робочого столу. Однак амплітуда коливань визнає і транспортну спроможність робочої поверхні. Вибір амплітуди коливань менше середнього розміру часток різко знижує інтенсивність протиспрямованого руху нижчележачих шарів лущених або обрушених зернопродуктів у напрямку найменших значень коефіцієнта зовнішнього тертя проти нахилу робочого столу.

Наявність екстремума (рис. 2) впливу кута нахилу коливань робочого столу до горизонту на ефективність круповідділення обумовлено суттєвим впливом на цей показник декількох факторів. Головним з них слід вважати умови самосортування, які визначаються інтенсивністю та напрямком відносного переміщення шарів суміші лущеного й нелущеного зерна. При малих кутах нахилу напрямок відносного переміщення шарів наближується до площини робочого столу, що ускладнює можливість обміну частками між ними і стримує інтенсивність процесу самосортування. Збільшення кута нахилу коливань до горизонту сприяє також відхиленню переміщення шарів від площини робочого столу та інтенсифікує процес самосортування.

Таким чином, збільшення кута нахилу напрямку коливань до горизонту *a* в інтервалі від 0 до 30° супроводжується поліпшенням умов самосортування й призводить до зростання показника ефективності роботи круповідділювача. Подальше збільшення кута *a* характеризується наближенням напрямку відносного переміщення шарів суміші, що розділяється, до перпендикулярного площині робочого столу та призводить до надмірної інтенсифікації явища взаємообміну частками між собою. Тобто, в цьому випадку самосортування переростає в процес змішування, що відбивається наступним зменшенням ефективності роботи круповідділювача.

Аналіз залежності оптимального напрямку коливань від геометрії робочої поверхні та конструктивних особливостей і орієнтації робочого столу підтверджують тезу про те, що найменший ефект змішування слід очікувати при коливаннях, напрямок яких співпадає з напрямком екстремальних значень коефіцієнта опору руху. Максимальної величини він набуває при русі проти луски робочої поверхні, а мінімальне значення відмічається в напрямку нахилу луски до робочої поверхні (γ=10°). Це підтверджується тим, що в експериментах при середньому значенні кута нахилу робочого столу до горизонту β_{cp} = 19° найбільша ефективність роботи установки досягнена при напрямках коливань під кутом α = 30° до горизонтальної площини

$$\alpha = \beta + \gamma \qquad (4.29)$$

Останнє може бути покладене в основу рекомендацій для вибору параметрів робочої поверхні при створенні високопродуктивних малогабаритних круповідділювачів для агрегатного устаткування.

За результатами проведених експериментальних досліджень обгрунтовано рекомендації щодо визначення технологічно доцільних значень геомет-

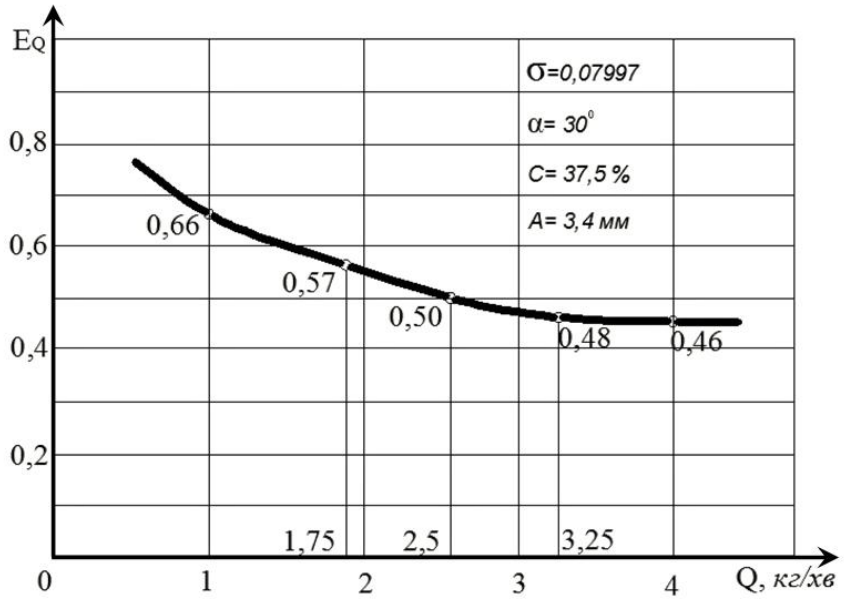

Рис. 3. Вплив навантаження (продуктивності , Q, кг/хв) круповідділювача на ефективність його роботи, E_O.

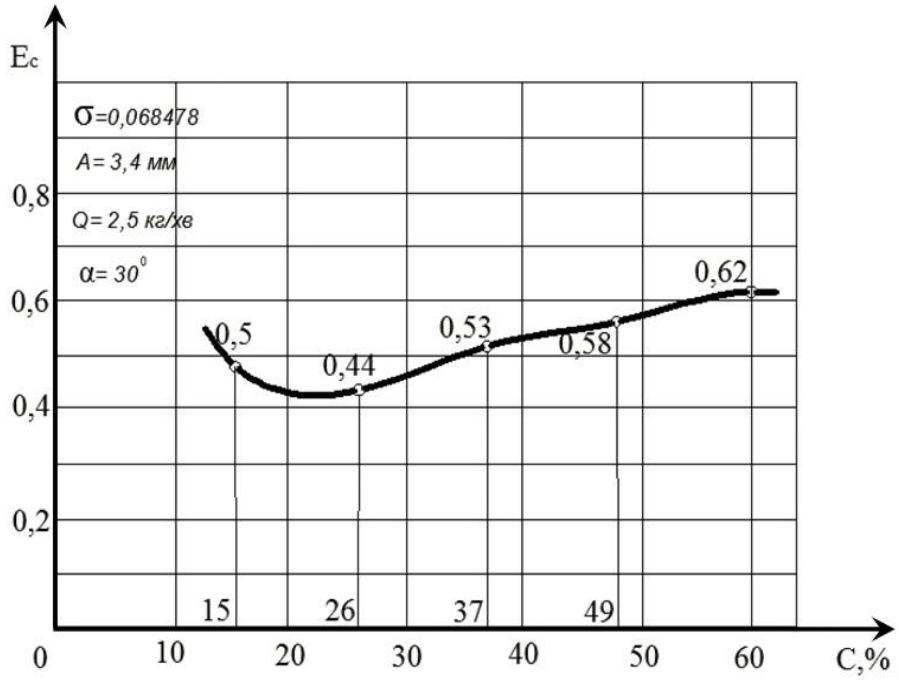

Рис. 4. Вплив характеристики суміші (концентрації крупів, C,%) на ефективність круповідділення, E_c

ричних і кінематичних параметрів робочих органів, властивостей суміші, що розділяється, продуктів лущення або обрушування та продуктивності круповідділювача на стадії розробки проектної документації. Зростання амплітуди коливань робочого столу суттєво знижує ефективність процесу круповідділення, і вона повинна дорівнювати величині середнього розміру часток суміші продуктів, що розділяється.

Найбільш висока ефективність роботи круповідділювача може бути досягнута при нахилі напрямку коливань під кутом, величина якого дорівнює сумі кута нахилу робочого столу до горизонту та кута нахилу луски до його робочої поверхні. Підвищення величини навантаження (продуктивності) робочої поверхні столів супроводжується зниженням ефективності роботи круповідділювача (рис. 3).

Мінімальне значення ефективності круповідділення спостерігається при концентрації лущеного ядра 26%, а подальше зниження вмісту лущеного ядра обумовлює відповідне підвищення ефективності роботи круповідділювача (рис. 4).

Висновки:

1. Технологічно раціональний термін самосортування лущеного та нелущеного зерна на поверхні робочого столу складає 21,85 с.

2. Одержані результати є основою для розрахунку параметрів робочих органів при проектних розробках високопродуктивного круповідділювача й визначення умов його виробничих випробувань.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Гапонюк О. І., Гросул Л. Г., Мосієнко Г. А. Експериментальне обґрунтування параметрів сепарування важкорозділюваних сумішей продуктів лущення зерна // Зернові продукти і комбікорми. - 2008. - № 3 (31). – С. 44-48.

2. Гапонюк О. І., Гросул Л. Г., Мосієнко Г. А. , Гончарук А. А. Обґрунтування параметрів повітряно-гравітаційного сепаратора для попередньої очистки вороху // Наук. пр. ОНАХТ. – Одеса: 2009. Вип. 36. Том 1. – С. 264 - 268.

3. Гапонюк О. І., Гросул Л. Г., Станкевич Г. М., Мосієнко Г. А. , Гончарук Г. А. Напрямки розробки та перспективи застосування транспортно-тех-нологічних комплексів для зернопріймальних підприємств // Наук. пр. ОНАХТ. – Одеса: 2010. Вип. 38. Том 1. – С. 286 - 290.

Надійшла 24.12.2013

Адреса для переписки:
вул. Канатна, 112, м. Одеса, 65039

© “Зернові продукти і комбікорми”, 2013