УДК [631.362.3:633.8.]001.57

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ОБРУШЕННЯ НАСІННЯ РИЦИНИ

Дідур В.А., академік АНВШУ, д.т.н.,
Зубкова К.В., інж. *
Таврійський державний агротехнологічний університет
Тел. (0619) 44-02-74

Анотація **– розроблено та перевірено на адекватність математичну модель процесу обрушення насіння рицини для отримання конструктивних параметрів та технологічних режимів машини для його забезпечення.**

Ключові слова **– лузга, обрушення, рицина, технологічні режими, математична модель, адекватність.**

Постановка проблеми. Існуючі операційні схеми отримання касторового масла [1, 2, 3, 5, 6] можна розділити на дві групи: з попереднім відділенням лузги й без її відділення. Процес руйнування лузги насіння називається – обрушенням, яке відбувається в умовах складного стискання у між вальцьовому зазорі машини для обрушення насіння. При цьому одержують суміш називану рушанкою, що складається з цілого ядра, оболонки, січки (часток ядра), олійного пилу і не цілком обрушеного насіння. Для підвищення ефективності процесів руйнування оболонок насіння необхідне визначення оптимальних конструктивних параметрів та режимів роботи обладнання. Для складних систем, що неможливо описати кінетичною чи динамічною системою рівнянь, використовують методи математичного моделювання, які досліджують зміни вихідних параметрів залежно від вхідних факторів (статичні характеристики).

Сучасні подання фундаментальних наук про процес руйнування твердих тіл особливо оболонок насіння недостатні для встановлення кількісних зв'язків між вхідними й вихідними параметрами процесу обрушення і не можуть бути використані для складання математичних моделей обрушення, оскільки не встановлюють необхідних зв'язків між параметрами й показниками якості процесу. Експериментальні дані, отримані різними авторами в різних умовах, як правило, непорівнянні, і їх не можна покласти в основу математичної моделі.

© акад., д.т.н. Дідур В.А., інж. Зубкова К.В
* Науковий керівник – д.т.н., проф. В.А. Дідур

Для подальшого дослідження процесу обрушення виникає необхідність складання математичної моделі та її аналізу. Після цього виникає проблема визначення й опису поверхні відгуку, тобто відшукання рівняння поверхні для знаходження раціональних конструктивно-технологічних параметрів і режимів роботи машини для обрушення насіння рицини, з метою поліпшення ефективності її роботи. Цей етап необхідно проводити тільки за допомогою подальших лабораторних експериментальних досліджень, тому що оптимальні рівні варіювання цих найбільш значимих факторів можна визначити тільки експериментальним шляхом.

Аналіз останніх досліджень. За результатами аналізу літературних джерел, дослідження фізико – механічних характеристик насіння розроблено технологічну схему машини для обрушення рицини, розроблена схема машини для обрушення насіння рицини, що враховує розбіжність розмірних характеристик та поєднує дві операції – калібрування насіння та обрушення. На основі чого складено удосконалену технологічну схему процесу обрушення насіння, яка представлена на рис.1.

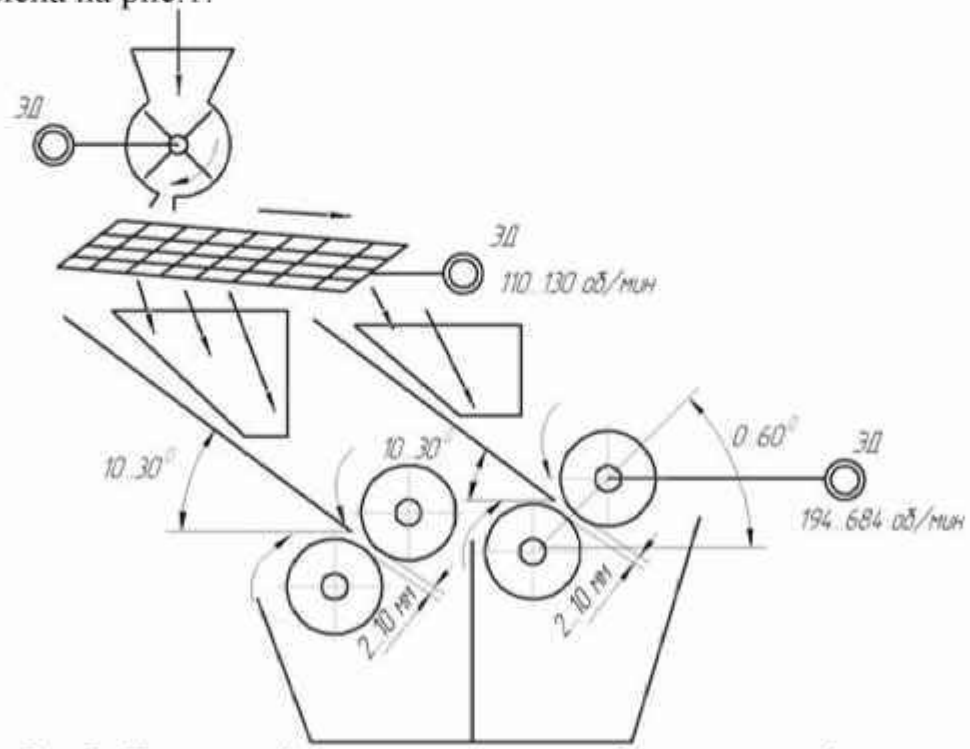

Рис.1. Технологічна схема процесу обрушення насіння рицини.

Машині для обрушення насіння рицини, з точки зору раціональності роботи, висувається ряд вимог – швидкість руху поверхні, величина зазору, що створює зусилля притискання (руйнування), а також висота падіння рушанки, так як додаткове руйнування пошкоджує фракційний склад рушанки. Частота обертання вальців, що обрушують, значно впливає на якість обрушення. З її збільшенням

зростає не тільки продуктивність обладнання, але кількість січки насіння. Збільшення стискаючого зазору приводить до зменшення повноти обрушення насіння рицини. Тому в результаті пошукових дослідів і проведеного по їхнім даним регресійного аналізу максимальний зазор між вальцями приймався рівним 10 мм (верхній рівень) мінімальний зазор (нижній рівень) - 2 мм.. З іншого боку, зменшення зазору приводить до збільшення дрібної січки насіння рицини, а також до збільшення повноти обрушення (зникає ціле та недообрушене насіння). Зміна кута розташування стискаючих вальців впливає на відсоток січки та кількість цілого та недообрушеного насіння в рушанці.

Кожний з розглянутих факторів змінюють повноту обрушення або фракційний склад рушанки не зв'язані між собою. Ця умова вказує на можливість проведення багатофакторного експерименту і його оцінки на основі регресійного аналізу. Інтервали варіювання цих параметрів, показано у табл. 1 і визначалися за результатами теоретичних й експериментальних досліджень.

Таблиця 1 - Параметри, що впливають на процес обрушення.

Параметри	Мак. Значення	Мін. значення
Кут розташування валків відносно горизонту β, градуси	60	0
Окружна лінійна швидкість υ, м/с	0,55	0,15
Зазори a_1, a_2, мм	10	2
Вологість насіння φ, %	9	5

Формулювання цілей статті. Метою роботи є обґрунтування технологічних режимів та конструктивних параметрів обладнання для попередньої обробки насіння рицини за допомогою розробки та дослідження математичної моделі процесу обрушення насіння.

Основна частина. У загальному виді, проведення експериментальних досліджень проводилося в наступній послідовності [7]:

- вибір й обґрунтування критерію оптимізації, факторів і рівнів їхнього варіювання;
- вибір методики й плану проведення експерименту;
- проведення експерименту в лабораторних умовах;
- аналіз результатів експерименту й оцінка працездатності отриманої математичної моделі за допомогою критерію Фішера.

Критеріями оптимізації моделі можуть бути якісні показники що характеризують склад рушанки, кількісні показники, що характеризують здатність до розділення рушанки, та інші. Для насіння рици-

ни немає нормативної бази по визначенню складу рушанки, оскільки в процесі обрушення вона відрізняється від рушанок інших олійних культур наявністю більшої кількості роздавленого ядра. Ступінь роздавлювання ядра рицини при стисканні валками у насіння різна, в залежності від зазору між валками та розмірів насіння. При стискуванні насіння в процесі обрушення імовірне як отримання цілого ядра так і подрібнення ядра з утворенням часток, які при подальшому транспортуванні розсипаються в січку, замаслюючи при цьому лузгу.

Таблиця 2 - Рівні та інтервали зміни факторів.

Фактори	Умовні позначення	Основний рівень, X_{i0}	Інтервал зміни, ε	Верхній рівень, $X_{iв}$	Нижній рівень, $X_{iн}$	Зіркова точка, $+\alpha$	Зіркова точка, $-\alpha$
Окружна лінійна швидкість υ, м/с,	x_1	0,35	0,1	0,45	0,25	0,55	0,15
Кут розташування валків відносно горизонту β, градуси,	x_2	30	15	45	15	60	0
Відношення між зазором та середнім розміром насіння фракцій λ,	x_3	0,5	0,15	0,65	0,35	0,8	0,2
Вологість насіння φ, %	x_4	7	2	9	5	11	3

При якісному обрушенні кількість ядра в рушанці наближається до кількості ядра в насінні, тобто коефіцієнт обрушення $К_о$ наближується до 100%. При наявності проміжних фракцій доля ядра в рушанці зменшується та коефіцієнт обрушення розраховується за формулою [4]:

$$К_о = \frac{Я - (М + С + аЦ + вН)}{Я} \cdot 100 \qquad (1)$$

де М - вміст олійного пилу в рушанці, %

С - вміст січки в рушанці, %

а - вміст ядра в насінні,

Ц - вміст цілого насіння в рушанці, %

в - вміст ядра в недорушці,

Н - вміст недоруша в рушанці, %.

Таким чином, для оцінки якості процесу обрушення насіння рицини можемо користуватися формулою (1), тобто за критерій оптимізації приймаємо коефіцієнт обрушення $К_о$.

Для обраних факторів визначено область їх зміни, тобто кожному фактору задані верхній та нижній рівні, а також зіркові точки, в межах яких змінюється значення фактора. (табл. 2.). Не керовані параметри приймаємо сталими.

Для проведення дослідів розроблено та виготовлено експериментальну установку (рис.2).

Рис.2. Загальний вигляд експериментальної установки.

Оскільки параметрів багато і деякі мають не лінійний характер приймаємо математичну модель другого порідку (центральний рототабельний композиційний план).

Математична модель другого порядку в загальному вигляді [7]:

$$\overline{y} = b_0 + \sum_{i=1}^{n} b_i x_i + \sum_{i,j=1}^{n} b_{ij} x_i x_j + \sum_{i=1}^{n} b_{ii} x_i^2 , \qquad (2)$$

де $i = 0,1,2,...,n$.

Коефіцієнти регресії кожного фактора обчислюються за стандартними по формулами [7].

У результаті обробки даних експерименту були знайдені коефіцієнти регресії й по них складене рівняння регресії другого порядку в закодованому виді:

$$y = 78,47 - 1,376X_1 - 1,071X_1X_2 - 3,843X_2X_4 + \\ + 3,265X_1^2 + 3,015X_2^2 - 6,11X_3^2 - 5,86X_4^2 \quad (3)$$

Раскодована математична модель має вигляд:

$$y = -41,73 - 220,81\upsilon + 0,342\beta + 271,6\lambda + 24,353\varphi - 0,714\upsilon\beta - \\ - 0,128\beta\varphi + 326,5\upsilon^2 + 0,0134\beta^2 - 271,56\lambda^2 - 1,47\varphi^2 \quad (4)$$

Перевірка гіпотези про адекватність отриманої математичної моделі визначався за критерієм Фішера. Розрахунки показали, що модель адекватна на 95% рівні довірчої ймовірності [7].

Після перевірки на адекватність математичної моделі другого порядку визначаємо координати оптимуму й вивчаємо властивості поверхні відгуку на границях оптимуму. Вивчення поверхні відгуку проводимо за допомогою двовимірних перетинів.

Для проведення аналізу методом двовимірних перетинів, отримане рівняння регресії приведемо до канонічного вигляду. Для цього початок координат перенесемо в нову точку факторного простору - рівняння регресії другого порядку диференціюємо по кожному фактору й прирівнюємо до нуля. Отримуємо:

$$\frac{\partial y}{\partial x_1} = 1,375 - 1,071x_2 + 6,53x_1 = 0 \quad (5)$$

$$\frac{\partial y}{\partial x_2} = -1,071x_1 - 3,843x_4 + 6,03x_2 = 0 \quad (6)$$

$$\frac{\partial y}{\partial x_3} = -12,22x_3 = 0 \quad (7)$$

$$\frac{\partial y}{\partial x_4} = -3,843x_3 - 11,72x_4 = 0 \quad (8)$$

Вирішуючи систему рівнянь, одержимо координати нового центру:

$$\begin{cases} x_{1s} = 0,22 \\ x_{2s} = 0,03 \\ x_{3s} = 0 \\ x_{4s} = -0,01 \end{cases} \quad (9)$$

На ЕОМ за допомогою програми MathCad, для отриманої математичної моделі, що описує процес обрушення насіння рицини, отримана оптимальна точка, в якій коефіцієнт обрушення має максимальне значення, тобто $y_s = 75,51$ [7].

Розкодована математична модель при заданих факторах має вигляд:

$$y = -41{,}73 - 220{,}81\upsilon + 0{,}342\beta + 271{,}6\lambda + 24{,}353\varphi - 0{,}714\upsilon\beta - \\ - 0{,}128\beta\varphi + 326{,}5\upsilon^2 + 0{,}0134\beta^2 - 271{,}56\lambda^2 - 1{,}47\varphi^2 \quad (10)$$

Двовимірний перетин поверхні відгуку та контурні криві, що характеризують взаємодію факторів X_3 (відношення між зазором та середнім розміром насіння) і X_4 (вологість насіння) наведено на рис 3. Тому що один з коефіцієнтів близький до нуля, то центр знаходиться на безконечності, поверхня відгуку являє собою "стаціонарний гребінь", а точки оптимуму немає.

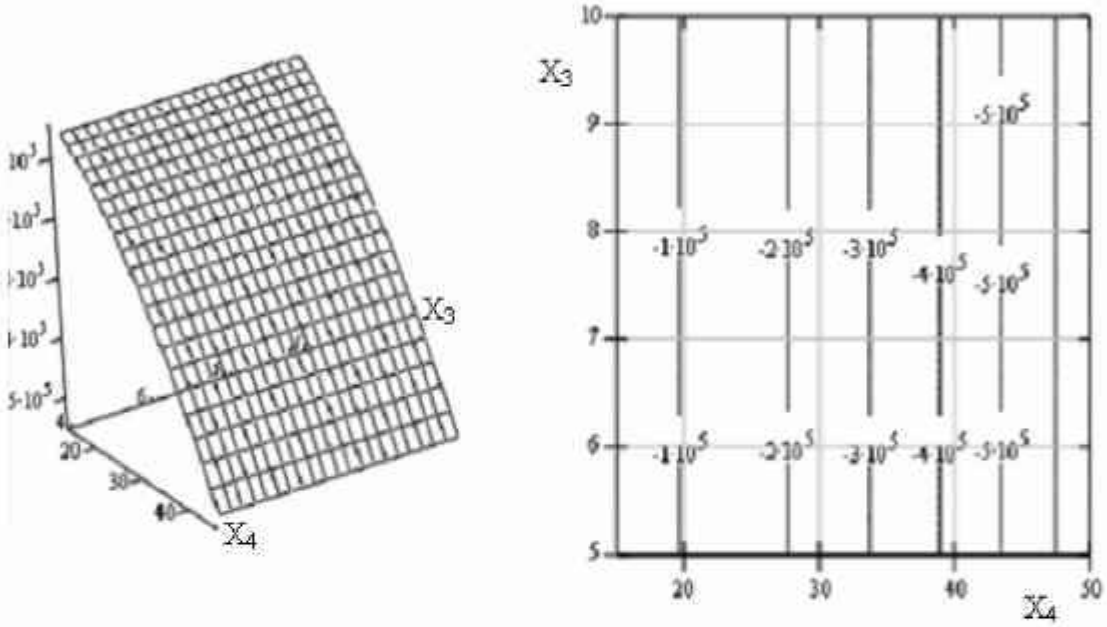

Рис.3. График и контурні криві факторів X_3, X_4.

Характер взаємодії факторів X_2 (кут розташування валків відносно горизонту) та X_4 (вологість насіння) визначаються коефіцієнтами з різними знаками та контурні криві будуть гіперболами. Центр поверхні відгуку буде представляти «сідло» або «мінімакс» (на рис 4.) Витягнуте сідло по осі X_4 коефіцієнт обрушення в зоні оптимуму становить 50 – 55% при вологості насіння від 6,4% до 8,1, та при куті розташування валків відносно горизонту від 20 до 40 градусів. Центру немає.

Двовимірний перетин поверхні відгуку та контурні криві, що характеризують взаємодію факторів X_1 (окружну лінійну швидкість) і X_3 (відношення між зазором та середнім розміром насіння) наведені на рис 5. Коефіцієнти мають різні знаки, контурні криві будуть гіперболами. Центр поверхні відгуку буде представляти «сідло» або «мінімакс». Витягнуте сідло по осі X_3 - відношенні між зазором та середнім розміром насіння. В зоні оптимуму окружна лінійна швидкість від 0,27 до 0,4 м/с, відношення між зазором та середнім розміром насіння – 0,5. Двовимірний перетин поверхні відгуку та

контурні криві, що характеризує взаємодію факторів X_1 (окружна лінійна швидкість) і X_4 (вологість насіння) наведені на рис 6.

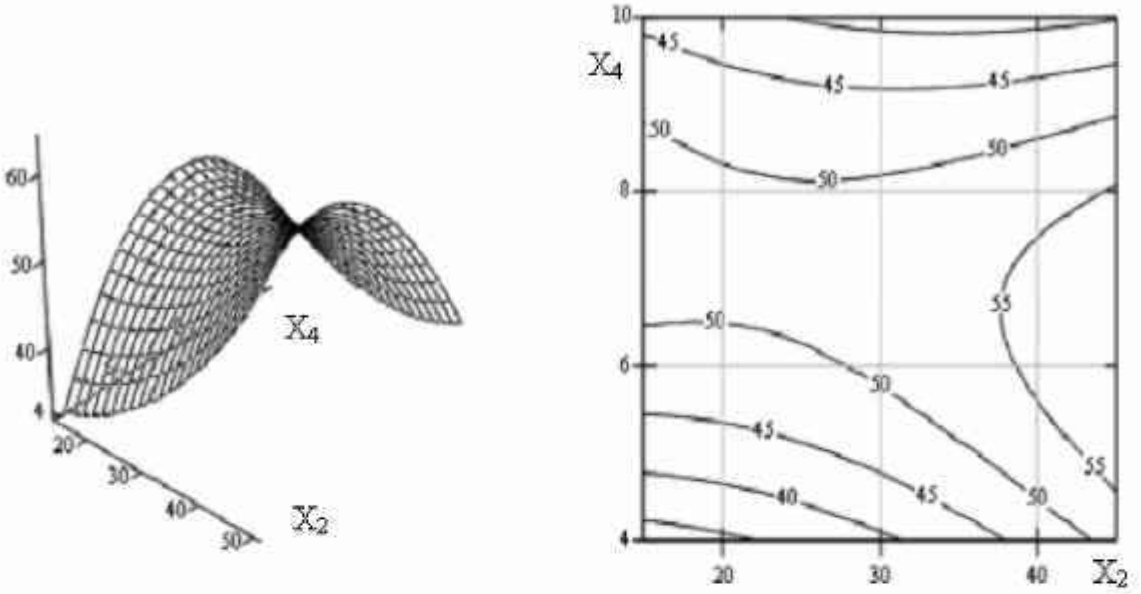

Рис. 4 . Графік и контурні криві факторів X_2, X_4.

Коефіцієнти мають різні знаки, контурні криві являють собою гіперболи. Центр поверхні відгуку - витягнуте «сідло» або «мінімакс». В зоні оптимуму окружна лінійна швидкість від 0,27 до 0,41 м/с, вологість насіння від 7 до 9%.Центру немає.

Аналіз взаємодії факторів X_2 (кут розташування валків відносно горизонту) і X_3 (середній розмір насіння) встановив, що коефіцієнт обрушення в зоні оптимуму становить 50 – 60% при куті розташування валків відносно горизонту від 30 до 45 градусів та при відношення між зазором та середнім розміром насіння 0,5. Двовимірний перетин поверхні відгуку та контурні криві цих факторів наведені на рис 7.

Характер взаємодії факторів X_1 (окружна лінійна швидкість) та X_2 (кут розташування валків відносно горизонту) являє собою стаціонарне піднесення. Двовимірний перетин поверхні відгуку та контурні криві, що характеризує взаємодію факторів X_1 (окружна лінійна швидкість) та X_2 (кут розташування валків відносно горизонту) наведені на рис 8. Тому що один з коефіцієнтів близький до нуля, то центр перебуває на нескінченності. В зоні оптимуму окружна лінійна швидкість від 0,3 до 0,4 м/с.

Розкодований центр оптимуму відповідає значенням: $\upsilon = 0{,}37$, $\beta = 30{,}48$, $\lambda = 0{,}5$ $\varphi = 6{,}98$, K_o =75,51%.

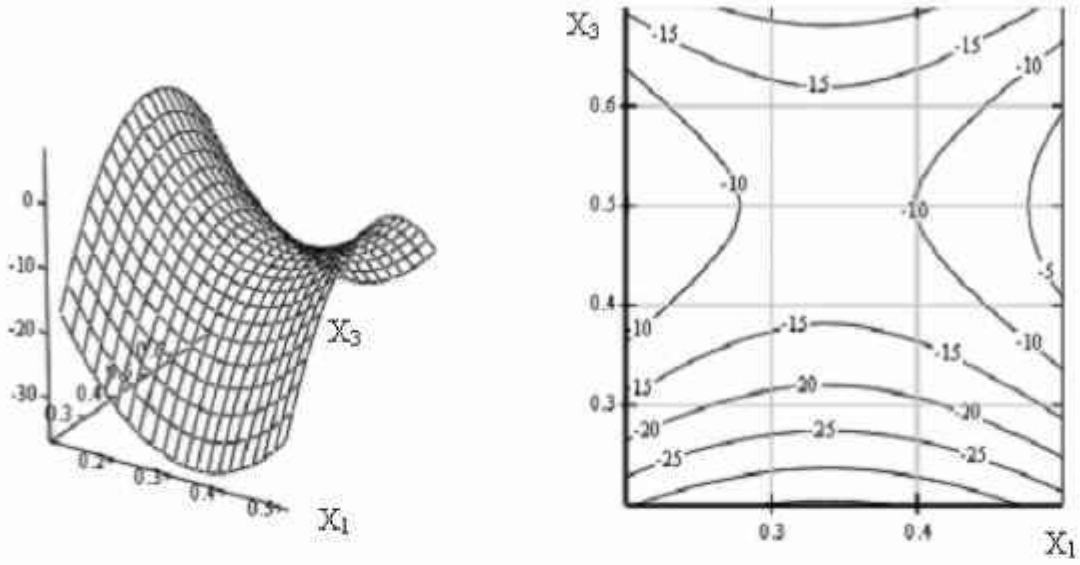

Рис.5. Графік и контурні криві факторів X_1, X_3.

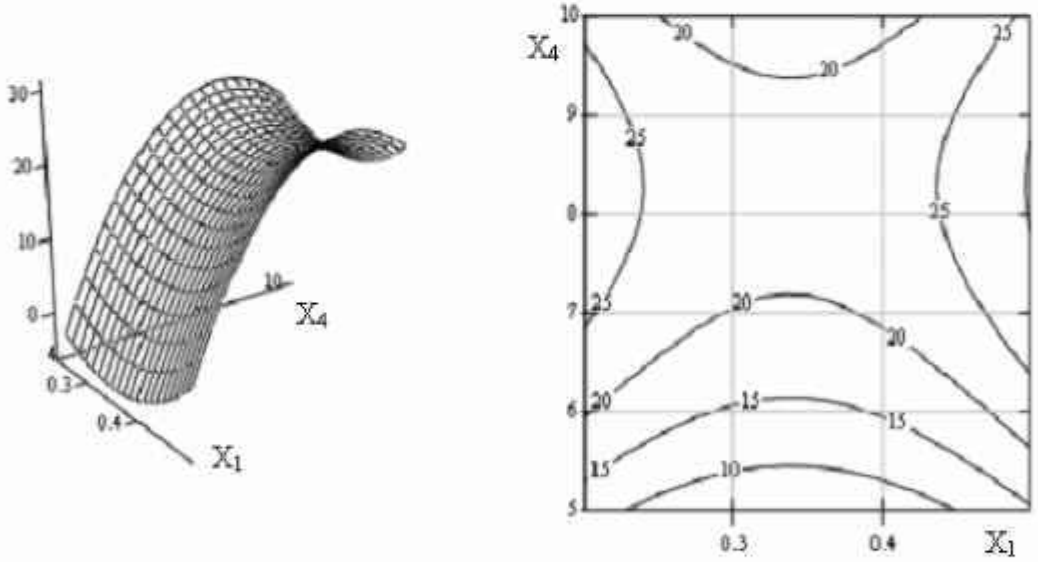

Рис.6. Графік і контурні криві факторів X_1, X_4.

Висновки: Аналіз математичної моделі за методом двовимірних перетинів можливість отримання рушанки з коефіцієнтом обрушення 75,51% при наступних параметрах: лінійна швидкість валків – 0,37 м/с, кут розташування – $30{,}5^0$, відношення між зазором та середнім розміром насіння фракцій – 0,5, насіння з вологістю – 6,98%.

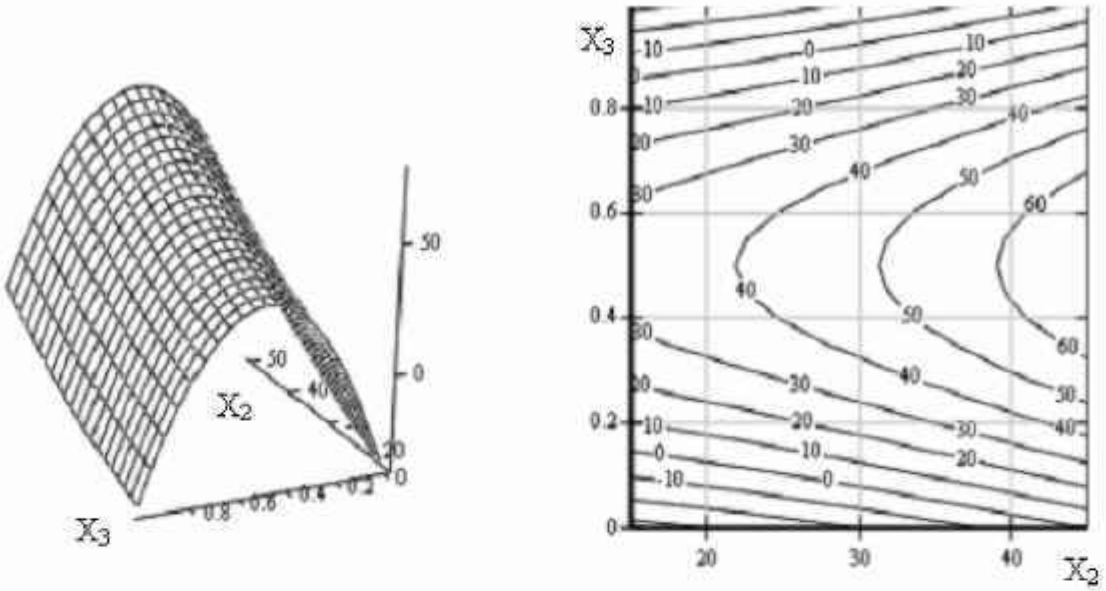

Рис.7. Графік і контурні криві факторів X_2, X_3.

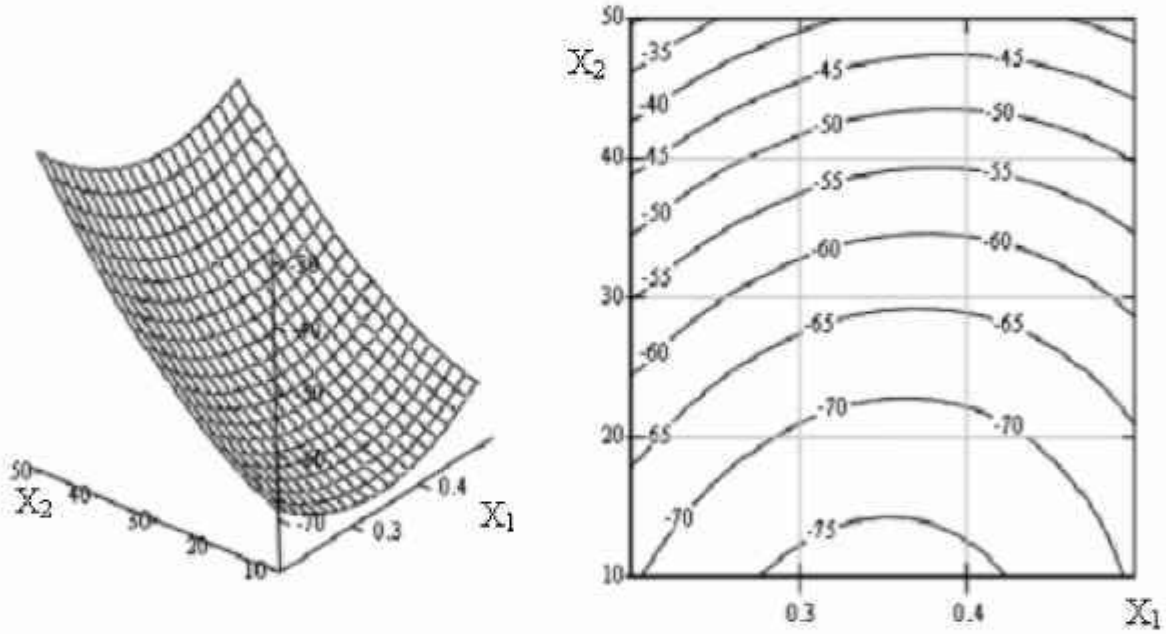

Рис.8. Графік і контурні криві факторів X_1, X_2.

При виконанні плану експериментальних досліджень виявлений основний недолік розробленої схеми – при калібруванні в склад дрібної фракції потрапляє повністю обрушене ядро, яке в між валковому зазорі руйнується, погіршуючи якість рушанки. Тому потрібно удосконалити схему, попереднім відділенням обрушеного ядра, яке міститься в складі насіння, що йде на переробку.

Література

1. *Дідур В.А.* Технологія безвідходної (глибокої) переробки насіння рицини / *В.А. Дідур, В.О. Ткаченко , С.М. Маркелова* // Праці

Таврійська державна агротехнічна академія – Мелітополь: ТДАТА, 2003. - Вип.15. – 164 с.

2. Подготовительные процессы переработки масличных семян. [*Белобородов В.В., Мацук Ю.П., Кириевский Б.Н., Кузнецов А.Т*].// М.: Пищевая промышленность 1974. – 336 с.

3. *Кокшарова В.А.* Переработка семян клещевины экстракционным способом без отделения лузги./ *В.А. Кокшарова* // Масло-жировая промышленность. – 1974. - №6. - С. 8.

4. *Масликов В.А.* Примеры расчетов оборудования производства растительных масел. / *В.А. Масликов* . – М: Пищепромиздат, 1959.

5. *Кошевой Е.П.* Оборудование для производства растительных масел./ *Е.П. Кошевой.* - М.: Агропромиздат, 1991. – 204с.

6. Технология производства растительных масел / [*Копейковский В.М., Данильчук С.И., Гарбузова Г.И. и др.*]; под ред. *В.М. Копейковского и С.И. Данильчук.* - М.: «Легкая и пищевая промышленность» 1982. – 416 с. – Библиогр.: с. 409.

7. *Бондарь А. Г.* Планирование эксперимента в химической технологии / *А. Г. Бондарь, Г. А. Статюха* . - Издательское объединение «Высшая школа» Головное издательство 1976. - 184с.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА ОБРУШИВАНИЯ СЕМЯН КЛЕЩЕВИНЫ

В.А. Дидур, К.В. Зубкова

Аннотация - разработана и проверена на адекватность математическая модель процесса обрушивания семенян клещевины для получения конструктивных параметров и технологических режимов машины.

MATHEMATICAL MODEL OF PROCESS BRINGING DOWN OF CASTOR SEED

V. Didur, E. Zubkova

Summary

Developed and tested on adequacy mathematical model of process of bringing down of castor species for the receipt of structural parameters and technological modes of machine.