

EXPERIMENTAL RESEARCH OF SOYBEAN DRYING PROCESS INTENSIFICATION /

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ІНТЕНСИФІКАЦІЇ ПРОЦЕСУ СУШІННЯ СОЇ

Ph.D.Eng. Kirchuk R., Ph.D.Eng. Tsiz I., Ph.D. Stud. Tsiz K.

Lutsk National Technical University (Ukraine)

Tel: +38(0332)74-61-03; Fax: +38(0332)77-48-40; E-mail: ruslan-mail@ukr.net; katrysik00@gmail.com

Abstract: One of the methods to intensify the process of drying soybean seeds is to increase the contact area of the drying agent with the material being dried. This result is achieved with the unit for pre-conditioning of the material to dry (patent № 87184, Ukraine). The experimental device is made in order to investigate the influence of structural parameters of this unit on seed coat deformation.

The aim is to study the influence of the seed area deformation coefficient k on speed of the soybean drying process.

The article provides two mathematical models enabling to set the time it takes to reach conditional moisture content of soybean seeds in the drying chamber with the preliminary deformation of the seed coat in the unit for pre-conditioning of the seeds before drying. These models take into account the following parameters: 1- the initial moisture content of seeds, quantity of seeds in the loading hopper and geometric parameters of the device (number of blades on the disk, the angular velocity of the disk), 2 - original material moisture content, temperature and velocity of the drying agent.

The calculation is made and the curves are obtained providing the following characteristics (at different initial parameters): 1- coefficient of the seed coat area deformation k while passing the material through the device to its preconditioning stage; 2 - change of soybean seeds drying speed with a certain coefficient k while drying in a drying unit. The analysis of the results showed that the coefficient k of seed coat area deformation significantly affects the rate of moisture content removal from soybean seeds and confirmed the feasibility of preconditioning of the material before drying in this way in order to intensify the process. Also, the proposed mathematical model allows to establish rational design parameters of the developed device.

Keywords: device for preconditioning, area deformation coefficient, drying, soybeans, mathematical model, the regression equation

INTRODUCTION

The problem of energy saving in agriculture requires the introduction of new technologies aiming to intensify processing of agricultural products [7,11].

One of the most energy-intensive processes in soybean refining is its drying [1,3]. Thus, the study of methods of cultivation of soybean seeds that ensure fast and high quality moisture removal at minimum energy consumption, is important.

More efficient drying of agricultural materials is enabled through preconditioning. One of such drying intensification methods of the drying process is to increase the contact area of the drying agent with wet material, which in its turn allows more intensive moisture

Резюме: Одним методів інтенсифікації процесу сушіння насіння сої є збільшення площі контакту сушильного агента із матеріалом, що сушиться. Досягти такого результату дозволяє пристрій попередньої підготовки матеріалу до сушіння (Патент на корисну модель № 87184, Україна). Для дослідження впливу конструктивних параметрів даного пристрою на величину деформації оболонки насінини виготовлена експериментальна установка.

Метою роботи є дослідження впливу коефіцієнта зміни площі насінини k на швидкість процесу сушіння сої.

В статті запропоновані дві математичні моделі, які в комплексі дозволяють встановити час, необхідний для досягнення кондиційної вологості насінням сої в сушильній камері з попереднім деформуванням оболонки в пристрої для підготовки насіння до сушіння. Дані моделі враховують такі параметри: 1-початкова вологість насіння, кількість подачі насіння в завантажувальний бункер та геометричні параметри пристрою (кількість лопаток на диску, колова швидкість диска), 2-початкова вологість матеріалу, швидкість та температура сушильного агента.

Проведено розрахунки і одержано графічні залежності, що характеризують (при різних вихідних параметрах): 1- коефіцієнта зміни площі насінини k при проходженні матеріалу через пристрій попередньої підготовки до сушіння; 2- зміну швидкості сушіння насіння сої з певним коефіцієнтом k при сушінні в сушильній установці. Аналіз результатів показав, що коефіцієнт зміни площі насінини k суттєво впливає на швидкість видалення вологи з насіння сої і підтвердив доцільність попередньої підготовки матеріалу до сушіння таким способом для інтенсифікації процесу. Запропонована математична модель дозволяє встановити раціональні конструктивні параметри розробленого пристрою.

Ключові слова: пристрій для попередньої підготовки, коефіцієнт зміни площі, сушіння, соя, математична модель, рівняння регресії

ПЕРЕДУМОВА

Проблема енергозбереження у сільському господарстві потребує впровадження нових технологій, спрямованих на інтенсифікацію процесів переробки сільськогосподарської продукції [7,11].

Одним з найбільш енергоємних процесів у технології переробки сої є її сушіння [1,3]. Тому актуальним є дослідження методів обробітку насіння сої, які б забезпечували швидке та якісне видалення надлишкової вологи при мінімальних енерговитратах.

Забезпечити більш ефективне сушіння сільськогосподарських матеріалів дозволяє їх попередня підготовка. Одним із таких методів інтенсифікації процесу сушіння є збільшення площі контакту сушильного агента із вологим матеріалом, що, в свою чергу, дає змогу більш інтенсивно виводити вологу внаслідок втрати цілісності

removal due to loss of integrity of the seed coat [4,10]. The soybean treated in this way (patent № 87184, Ukraine) [5,6] can be used in oil production [2].

During development and design of the devices that would provide the necessary preconditioning of agricultural materials for drying, it is necessary to choose the rational design parameters, tooling, as well as consider the properties of the material to be processed. The studies will allow to improve the technical and economic performance of the dryers.

In order to define the regularity of the influence of structural and process parameters on the deformation area of the seed coat (coefficient k) on the drying speed, it is appropriate to apply the mathematical method of experiment planning. Development of the pattern that interconnects the preconditioning device and drying unit will justify rational mode and design parameters of the proposed mechanism.

MATERIALS AND METHODS

To investigate the operational mode of the proposed technology, the stationary experimental unit was designed under laboratory conditions (Fig. 1).

The unit comprises a housing 4 in the form of a cylinder, with the observation window on the top. The disc 8 mounted on a shaft has blades for better distribution of the seed flow. The metal deck 7 is placed in the housing, to which the vertical knife plates are attached ensuring the necessary cut of the seed. The disk with blades is driven by the electromotor via belt transmission 2

зовнішньої оболонки насінини [4,10]. Оброблена таким способом соя (Патент на корисну модель №87184, Україна) [5,6] може бути використана для виробництва олії [2].

Під час розробки і проектування пристроїв, які б забезпечували необхідну попередню підготовку сільськогосподарських матеріалів до сушіння, необхідно зробити вибір раціональних конструктивних параметрів, робочих органів, а також враховувати властивості матеріалу, з яким вони взаємодіють. Дані дослідження дозволять підвищити техніко-економічні показники роботи сушарок.

З метою встановлення закономірності впливу конструктивних та технологічних параметрів на величину деформації оболонки насінини (коефіцієнт k) та на швидкість сушіння доцільно застосувати математичний метод планування експерименту. Розробка моделі, що взаємопов'язує параметри пристрою підготовки насіння сої та сушильної установки дозволить обґрунтувати раціональні режимні і конструктивні параметри запропонованого механізму.

МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ

Для дослідження режиму роботи запропонованої технології в лабораторних умовах була сконструйована стаціонарна експериментальна установка (фіг. 1).

Дана установка містить корпус 4 у вигляді циліндра, у верхній частині якого вмонтоване віконце для візуального спостереження. На диску 8, який закріплений на валу, встановлені лопатки, які призначені для кращого розподілу потоку насіння. За діаметром диску в корпусі розміщена металева дека 7, до якої прикріплені вертикальні ножові пластини і забезпечують необхідний надріз насінини внаслідок удару об них. Диск з лопатками приводиться в рух за допомогою електродвигун 1 через пасову передачу 2.

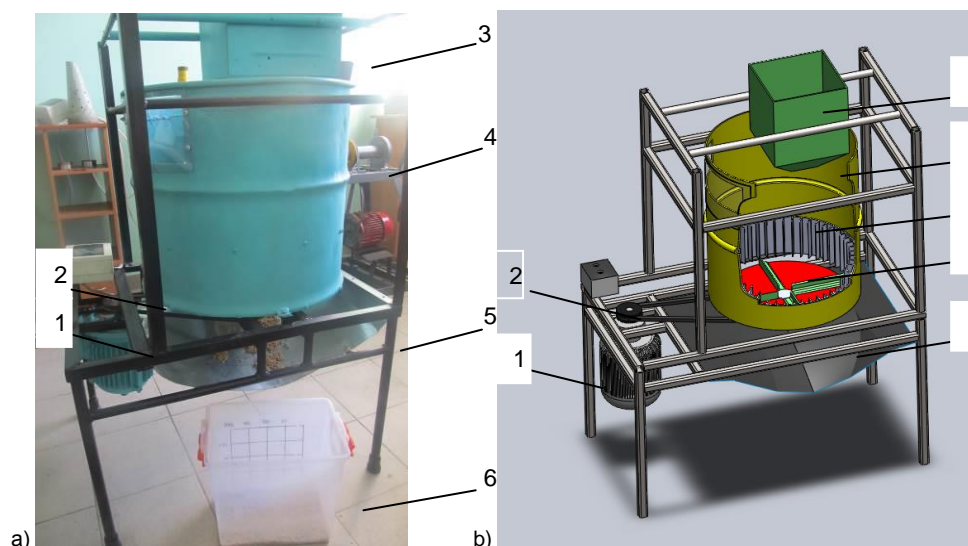


Fig. 1 - Experimental unit: a - picture; b - scheme

1 – electromotor ; 2 – belt transmission; 3 – loading hopper; 4 – casing; 5 – unloading tray ;
6 – seed collection container; 7 – cylindrical deck with knife plates; 8 – disk with blades

The material is loaded to the unit through the loading hopper 3 and removed through the unloading tray 5 into the seed collection container 6.

Analysis of the literature and previous research determined the factors that have a decisive influence on the change of area deformation coefficient k , i.e. the initial moisture content of seeds, number of seeds in the

Подача матеріалу в установку здійснюється через завантажувальний бункер 3, а його відвід – через вивантажувальний лоток 5 у місткість для збору 6.

Аналіз літературних джерел та попередніх досліджень дозволили встановити фактори, які мають визначальний вплив на зміну коефіцієнта k : початкова вологість насіння, кількість насіння в

hopper and geometric parameters of the device (number of blades on the disk, the angular velocity of the disk). On drying time τ : the initial moisture content of the material, speed and temperature of the drying agent.

Thus, an experiment was conducted to define the effect of the studied factors on area deformation coefficient k (four-factor) and the soybean seeds drying time (three-factor) (Tables 1,2).

бункері та геометричні параметри пристрою (кількість лопаток на диску, колова швидкість диска). На час сушіння τ : початкова вологість матеріалу, швидкість та температура сушильного агента.

Таким чином, проводили експеримент для визначення впливу досліджуваних факторів на коефіцієнта k (4-факторний) і на час сушіння насіння сої τ (3-факторний) (таблиці 1,2).

Table 1

Factors and their levels of variation				
Levels of variation	Factors			
	Moisture $W, \%$	Feed $Q, \text{kg/hour}$	Angular velocity $V, \text{m/s}$	Number of blades n, pcs
	x_1	x_2	x_3	x_4
Upper/ (+1)	23	500	55	6
Basic (0)	19	350	40	4
Lower (-1)	15	200	25	2
Variability interval, ε	4	150	15	2

Table 2

Factors and their levels of variation			
Levels of variability	Factors		
	Moisture, $W, \%$	The temperature of the drying agent, $^{\circ}\text{C}$	Velocity of the drying agent $V_{ca}, \text{m/s}$
	x_1	x_2	x_3
Upper/ (+1)	23	45	2,2
Basic / (0)	19	40	1,9
Lower / (-1)	15	35	1,6
Variability interval, ε	4	5	0,3

To reduce the number of experiments and obtain the regression equation, the mathematical method of the experiment planning based on Box-Behnken quadric plan [8,9,12] was used.

Planning stage included the following steps: factor encoding, scheduling, randomization tests, implementation plan of the experiment, testing of reproducibility of the experiments, calculation of regression coefficients, assessment of the significance of regression coefficients and adequacy of the test model.

The experiment consisted of 27 tests at threefold repetition in each of them.

In result, the seed cut was obtained at which the contact area of the material and drying agent is grown and moisture removal was intensified.

Deformation coefficient of the seed area is a factor that reflects the growth in the seed area before and after the cut. It was determined by the following formula:

$$k = \frac{S_{beg} + \Delta S}{S_{beg}}, \quad (1)$$

Для скорочення кількості дослідів та отримання рівняння регресії було застосовано математичний метод планування експерименту за симетричним некомпозиційним планом Бокса-Бенкіна другого порядку [8,9,12].

Планування експериментальної роботи включало наступні етапи: кодування факторів, складання плану - матриці експерименту, рандомізація дослідів, реалізація плану експерименту, перевірка відтворюваності дослідів, розрахунок значень коефіцієнтів регресії, оцінка значущості коефіцієнтів регресії та перевірка адекватності отриманої математичної моделі.

Експеримент складався із 27-и дослідів за трикратної повторюваності у кожному з них.

У результаті роботи експериментальної установки був здійснений надріз насінини, що призводить до збільшення площі контакту матеріалу із сушильним агентом та інтенсивності видалення вологи під час проведення трифакторного експерименту.

Коефіцієнт зміни площі насінини - це показник, який відображає приріст площі насінини до і після надрізу. Він визначався за наступною формулою:

where S_{beg} - initial seed area before cut;

ΔS - area growth after the seed cut.

The samples with moisture content 15%, 19%, 23% were selected, with maximum coefficient k . These samples were used for the three factor experiment.

The method of the three factor experiment is to dry the soybean up to 12% (with different coefficient k) at speed and temperature of the drying agent determined during experiment planning. In the experiment, the time τ was recorded during which the excessive moisture was removed from the deformed soybean.

The experiment consisted of 15 tests based on the threefold repetition in each of them.

RESULTS

Experiment results were processed using the software based on Mathcad.

1. *Four-factor experiment.* Homogeneity of variances tested was evaluated by the Cochran criterion. Since,

$$G^{calc.} = 0.187 < G^{tabl.}(0,05;27;2) = 0.198$$

the process is reproduced.

During the determining of confidence intervals for regression coefficients, the Student test was used, tabulated value of which at a 5 %- level of significance and the number of degrees of freedom of variance of experiment reproducibility was $f_1=2$ is = 4.3 [8,9].

The significance of regression coefficients was tested according to the established confidence intervals and covariance.

As a result, the regression equation acquired the form:

$$y = 1,005 + 1,251 \cdot 10^{-3} \cdot x_1 - 9,086 \cdot 10^{-4} \cdot x_2 + 2,228 \cdot 10^{-3} \cdot x_3 + 6,292 \cdot 10^{-4} \cdot x_1 \cdot x_3 - 5,267 \cdot 10^{-4} \cdot x_2 \cdot x_3 - 1,026 \cdot 10^{-3} \cdot x_1^2 - 1,19 \cdot 10^{-4} \cdot x_3^2 - 5,178 \cdot 10^{-4} \cdot x_4^2 \quad (2)$$

where: x_1 - encoded value of moisture of soybean seeds;

x_2 - encoded value of amount of the fed soybean seeds;

x_3 - encoded value of the angular velocity of the disk;

x_4 - encoded value of the number of blades.

Adequacy test of hypotheses of obtained regression equation was performed by the Fisher criterion. The estimated value of this criterion in the dispersion of inadequacy $S_{inadeq.}^2 = 4,211 \cdot 10^{-7}$ and dispersion $S_y^2 = 4,869 \cdot 10^{-4}$ reproducibility of the experiment was:

$F^{calc.} = 9,189$. Tabular value of Fisher's exact test adopted by the 5 %- of significance, according to [8,9], was: $F^{tabl.}(0,05; f_2; f_1) = 19,5$ where $f_2 = 17$ number of degrees of freedom variance inadequacy $f_1 = 2$ - the number of degrees of freedom variance reproducibility of the experiment.

Since, $F^{calc.} = 9,189 < F^{tabl.}(0,05; f_2; f_1) = 19,5$ the hypothesis by the adequacy of the regression equation is confirmed.

Final regression equation of the factors acquired the form:

де $S_{поч}$ - початкова площа насінини до надрізу;

ΔS - приріст площі, що утворився після надрізу насінини.

У дослідах відбиралися зразки з вологістю 15%, 19%, 23%, для яких коефіцієнт k був максимальним. Дані зразки використовувалися для проведення трифакторного експерименту.

Методика проведення трифакторного експерименту полягала сушінні сої до 12% (з різним коефіцієнтом k) при визначених планом експерименту швидкості та температурі сушильного агента. Протягом всього експерименту фіксувався час τ за який відбулося видалення надлишкової вологи з деформованого насіння сої.

Експеримент складався із 15-и дослідів за трикратної повторюваності у кожному з них.

РЕЗУЛЬТАТИ

Обробка даних результатів експериментів здійснювалася за допомогою програми, створеної у середовищі Mathcad.

1. *Чотирифакторний експеримент.* Оцінку однорідності ряду дисперсій перевіряли за критерієм Кохрена. Оскільки,

$$G^{розр.} = 0,187 < G^{табл.}(0,05;27;2) = 0,198,$$

то процес відтворюється.

Під час визначення довірчих інтервалів коефіцієнтів регресії використовували критерій Ст'юдента, табличне значення якого за 5-% рівня значущості та числі ступенів вільності дисперсії відтворюваності дослідів $f_1=2$ становило $t=4.3$ [8,9].

Перевірку значущості коефіцієнтів регресії проводили за встановленими їх довірчими інтервалами та коваріаціями.

У результаті рівняння регресії набуло вигляду:

де: x_1 – кодоване значення вологості насіння сої;

x_2 – кодоване значення кількості подачі матеріалу;

x_3 – кодоване значення колової швидкості диска;

x_4 – кодоване значення кількості лопаток.

Перевірку гіпотези адекватності отриманого рівняння регресії проводили за критерієм Фішера. Розрахункове значення даного критерію при дисперсії неадекватності $S_{неад.}^2 = 4,211 \cdot 10^{-7}$ і дисперсії відтворюваності дослідів $S_y^2 = 4,869 \cdot 10^{-4}$ становило:

$F^{розр.} = 9,189$. Табличне значення критерію Фішера за прийнятого 5-% значущості, згідно [8,9], склало: $F^{табл.}(0,05; f_2; f_1) = 19,5$ де $f_2 = 17$ - число ступенів вільності дисперсії неадекватності; $f_1 = 2$ - число ступенів вільності дисперсії відтворюваності дослідів.

Оскільки, $F^{розр.} = 9,189 < F^{табл.}(0,05; f_2; f_1) = 19,5$ то гіпотеза адекватності рівняння регресії підтверджується.

Остаточне рівняння регресії із факторами у натуральному вигляді набуло вигляду:

$$k = 0,0000033 \cdot Q + 0,000074 \cdot V + 0,0023 \cdot W + 0,00104 \cdot n - 5,29 \cdot V^2 - 0,000064 \cdot W^2 - 0,00013 \cdot n^2 - 2,341 \cdot Q \cdot V + 0,0000105 \cdot V \cdot W + 0,974 \quad (3)$$

where: Q - amount of the fed soybean seeds, kg/ h;
 V - the angular velocity of the disk m/s;
 W – moisture content, %;
 n – number of blades on the disk.

In order to track the dynamics of the coefficient k the response surfaces (Fig. 2, a-f) were constructed.

The analysis of regression equation determined that the change in the coefficient k is mostly affected by the initial soybean moisture content W and angular velocity drive V , and, in a less degree, the amount Q of fed soybean seeds and number of blades on the disk n .

Considering the obtained response surfaces according to equation of regression and previous studies, we can conclude that the optimal values of the studied factors under which the maximum acceptable value of the coefficient k is obtained were: initial moisture content of soybean $W = 17 \dots 19\%$, the angular velocity drive $V = 35 \dots 45$ m/s, feeding $Q = 200 \dots 300$ kg/h and the number of blades $n = 4$.

де: Q - подача насіння сої, кг/год;
 V - колова швидкість диска, м/с;
 W - вологість, %;
 n - кількість лопаток на диску.

Для відслідковування динаміки зміни величини коефіцієнта k були побудовані поверхні відгуку (фіг. 2, a-f).

В результаті аналізу рівняння регресії встановлено, що на зміну величини коефіцієнта зміни площі k найбільший вплив має початкова вологість сої W та колова швидкість диска V , і, в меншій мірі, кількість подачі Q насіння сої і кількість лопаток на диску n .

Зважаючи на одержані згідно з рівнянням регресії поверхні відгуку, а також попередні дослідження можна зробити висновок, що оптимальні значення досліджуваних факторів при яких буде отримано максимально допустиме значення коефіцієнта зміни площі k склали: початкова вологість сої $W = 17 \dots 19\%$, колова швидкість диска $V = 35 \dots 45$ м/с, подача $Q = 200 \dots 300$ кг/год та кількість лопаток $n = 4$.

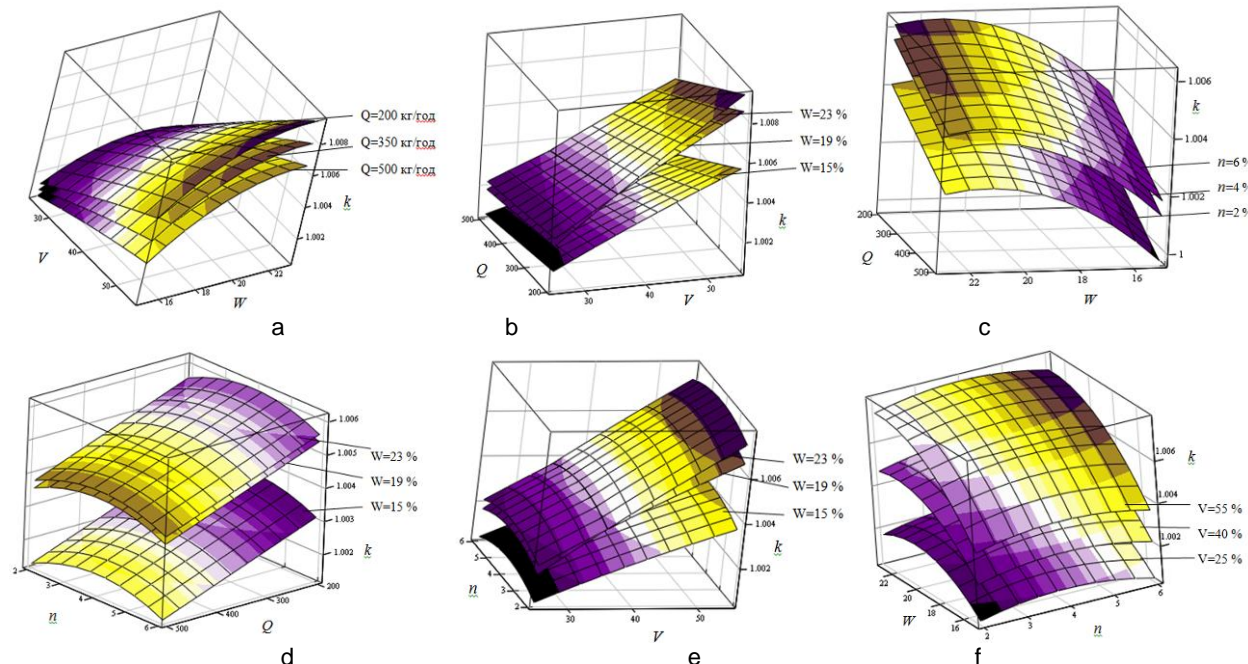


Fig. 2 - Response surface of the area deformation coefficient k depending on:

- initial soybean moisture content W , angular velocity of the disc V at feeding quantity $Q = 200; 350$ and 500 kg/hour and number of blades $n = 4$;
- angular velocity of the disc V , feeding quantity Q at initial moisture content $W = 15; 19$ and 23% i $n = 4$;
- seed moisture content W and feeding quantity Q at the blade quantity $n = 2, 4$ and 6 and disc angular velocity $V = 40$ m/s;
- feeding quantity Q , number of blades n at seed moisture content $W = 15, 19$ and 23% and $V = 40$ m/s;
- disc angular velocity V , number of blades n at moisture content $W = 15, 19$ and 23% and feeding quantity $Q = 350$ kg/h;
- quantity of blades n , seed moisture content W at disc angular velocity $V = 25, 40$ and 55 rpm and $Q = 350$ kg/hour.

2. Three-factor experiment.

After the four-factor experiment was carried out, the samples were selected with the required W value, with maximum k coefficient: $W = 23\%$ - $k = 1.0055$; $W = 19\%$ - $k = 1.0053$; $W = 15\%$ - $k = 1.003$.

Homogeneity of variances was tested by the Cochran criterion.

Since, $G^{calc} = 0.176 < G^{tabl.}(0.05; 15; 2) = 0.335$ the process is reproduced.

2. Трифакторний експеримент.

Після проведення чотирифакторного експерименту були відібрані зразки з необхідними значенням W , максимальні значення коефіцієнта k для яких склали: $W = 23\%$ - $k = 1,0055$; $W = 19\%$ - $k = 1,0053$; $W = 15\%$ - $k = 1,003$.

Оцінку однорідності ряду дисперсій перевіряли за критерієм Кохрена. Оскільки, $G^{proz.} = 0,176 < G^{табл.}(0,05; 15; 2) = 0,335$, то процес відтворюється.

During determining of confidence intervals for regression coefficients, the Student test was used, tabulated value of which at a 5-% level of significance and the number of degrees of freedom of variance of experiment reproducibility was $f_1=2$ is $t = 4.3$ [8,9].

Test for the significance of regression coefficients was performed according to their established confidence intervals and covariance.

As a result, the regression equation acquired form:

$$y = 12,222 + 3,292 \cdot x_1 - 4,25 \cdot x_2 - 0,278 \cdot x_1^2 + 1,306 \cdot x_2^2 + 1,889 \cdot x_3^2 \quad (4)$$

where: x_1 - encoded value of moisture of soybean seeds;
 x_2 - encoded value of the temperature of the drying agent;

x_3 - encoded value of the velocity of the drying agent

Adequacy test of hypotheses of obtained regression equation was performed by the Fisher criterion. The estimated value of this criterion in the dispersion of inadequacy $S_{inadeq.}^2 = 1.982$ and dispersion $S_v^2 = 0.259$ reproducibility of the experiment was: $F^{calc.} = 7.645$. Tabular value of Fisher's exact test adopted by the 5-% of significance, according to [8,9], was: $F^{tabl.}(0.05; f_2; f_1) = 19.38$ where $f_2 = 8$ number of degrees of freedom variance inadequacy $f_1 = 2$ - the number of degrees of freedom variance reproducibility experiment.

Since, $F^{calc.} = 7.645 < F^{tabl.}(0.05; f_2; f_1) = 19.38$ the hypothesis by the adequacy of the regression equation is confirmed. Final regression equation of the factors in the species acquired the form:

$$\tau = 1,48 \cdot W - 0,017 \cdot W^2 + 0,052 \cdot t^2 - 5,029 \cdot t + 20,99 \cdot V_{ca}^2 - 79,76 \cdot V_{ca} + 183,67 \quad (5)$$

where:

t - temperature of drying agent, °C;

V_{ca} - velocity of drying agent, m/s;

W - moisture content of soybean seeds, %.

In order to track the dynamics of the drying time, the response surfaces (Fig. 3, a-c) were constructed.

The analysis of regression equation has determined the fact that the change in the drying time τ is mostly affected by the initial soybean moisture content W , temperature of the drying agent t_{ca} and, in a less degree, the feeding velocity of the drying agent V_{ca} .

Considering the obtained response surfaces and previous studies, we can conclude that the optimal values of the studied factors with the minimum acceptable value of the drying time were: initial moisture content of soybean $W = 17...19\%$, area deformation coefficient $k = 1.0053$, temperature of the drying agent $t_{ca} = 42...45^\circ\text{C}$ and feeding velocity of the drying agent $V_{ca} = 1.9-2.0$ m/s.

Під час визначення довірчих інтервалів коефіцієнтів регресії використовували критерій Ст'юдента, табличне значення якого за 5-% рівня значущості та числі ступенів вільності дисперсії відтворюваності дослідів $f_1=2$ становило $t=4,3$ [8,9].

Перевірку значущості коефіцієнтів регресії проводили за встановленими їх довірчими інтервалами та коваріаціями.

У результаті рівняння регресії набуло вигляду:

де: x_1 - кодоване значення вологості насіння сої;

x_2 - кодоване значення температури сушильного агенту;

x_3 - кодоване значення швидкості сушильного агенту.

Перевірку гіпотези адекватності отриманого рівняння регресії проводили за критерієм Фішера. Розрахункове значення даного критерію при дисперсії неадекватності $S_{неад.}^2 = 1,982$ і дисперсії відтворюваності дослідів $S_v^2 = 0,259$ становило: $F^{позп.} = 7,645$. Табличне значення критерію Фішера за прийнятого 5-% значущості, згідно [8,9], склало: $F^{табл.}(0,05; f_2; f_1) = 19,38$ де $f_2 = 8$ - число ступенів вільності дисперсії неадекватності; $f_1 = 2$ - число ступенів вільності дисперсії відтворюваності дослідів.

Оскільки, $F^{позп.} = 7,645 < F^{табл.}(0,05; f_2; f_1) = 19,38$ то гіпотеза адекватності рівняння регресії підтверджується.

Остаточне рівняння регресії із факторами у натуральному вигляді набуло вигляду:

де:

t - температура сушильного агенту, °C;

V_{ca} - швидкість сушильного агенту, м/с;

W - вологість насіння сої, %.

Для відслідковування динаміки зміни часу сушіння були побудовані поверхні відгуку (фіг. 3, а-с).

В результаті аналізу рівняння регресії встановлено, що на зміну часу сушіння τ найбільший вплив має початкова вологість сої W , температура сушильного агенту t_{ca} , і, в меншій мірі, швидкість подачі сушильного агенту V_{ca} .

Зважаючи на одержані поверхні відгуку, а також попередні дослідження можна зробити висновок, що оптимальні значення досліджуваних факторів при яких буде досягнуто мінімальне значення часу сушіння склали: початкова вологість сої $W = 17...19\%$ з коефіцієнтом деформації $k = 1.0053$, температура сушильного агенту $t_{ca} = 42-45^\circ\text{C}$ і швидкість подачі сушильного агенту $V_{ca} = 1,9-2,0$ м/с.

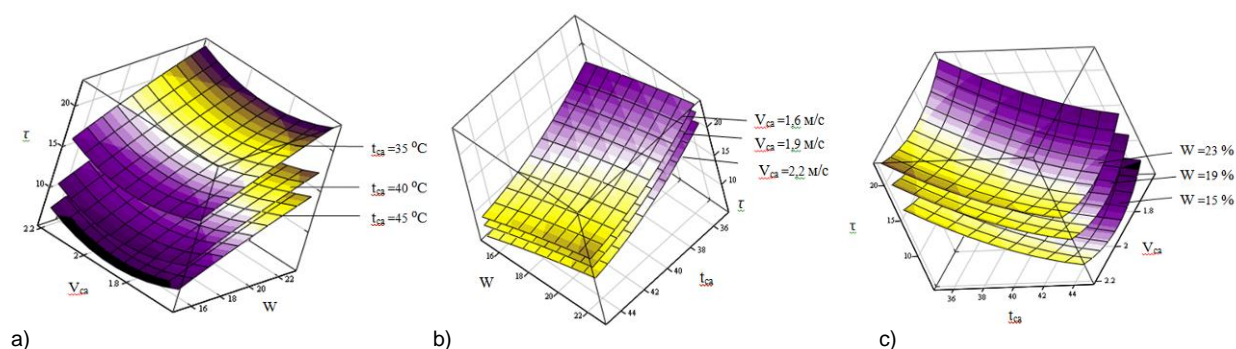


Fig. 3 - Response surface of drying time t depending on:

- a) drying agent velocity V_{ca} and initial moisture content of the soybean seeds W at the temperature of the drying agent $t_{ca}=35;40$ and 45 °C; b) initial moisture content of the soybean seeds W and the temperature of the drying agent t_{ca} at the drying agent velocity $V_{ca}=1.6;1.9$ and $2,2$ m/s; c) temperature of the drying agent t_{ca} and drying agent velocity V_{ca} at the initial moisture content of the soybean seeds $W=15;19$ and 23 %.

CONCLUSION

The results of complex experimental studies allow the conclusion that all factors are significant against the area deformation coefficient of the seed and drying time.

Two proposed mathematical models resulted in determining time within 5.7...22.7 minutes, necessary to achieve moisture of the soybean seeds after previous deformation of the seed coat.

Increasing the initial moisture content of soybean seeds W leads to longer drying time τ . The difference in drying exposure is 3...4 minutes, which is less than the difference in exposures of drying of material without pre-conditioning (8...12 min) as the coefficient k is different for various W values and confirms its influence on the speed of moisture removal from the seed.

Thus, considering the proposed mechanism to prepare soybean before drying, as part of the loading mechanism of the dryer, we argue it will allow reducing the energy consumption through increasing the contact area of the drying agent and material and changes in the intensity in moisture removal from the seed. Therefore, it is feasible to apply the proposed energy saving method of the soybean seed drying to produce oil. Reduction in oil yield was not observed.

REFERENCES

- [1]. Babich A.A. (1993) - *Modern production and use of soybean*, Kyiv: Urozhay, p.427;
- [2]. Balakay H.T., Bezyhlova O. S., (2003) - *Soybeans: ecology, agriculture, processing*, D.: Fenuks, p.160;
- [3]. Didyh V.F. (2002) - *Improving the efficiency of drying of agricultural plant materials: monograph*, Lutsk: LNTY, p.165;
- [4]. Kirchuk R., Tsz I., Tsz K., (2014) - *Intensification of drying soybean*, The Ukrainian Farmer, Kyiv, №7(55), p.76;
- [5]. Kirchuk R., Tsz K., (2013) - *Deformation seed shell machine*, Patent №84111, Ukraine, IPC B07B, Appl. 12.04.2013; publ. 10.10.2013; Bul. № 19;
- [6]. Kirchuk R., Tsz K.E., (2014) - *Deformation seed shell machine* Patent №87184. Ukraine, IPC B07B 9/00 №u201310015, Appl.12.08.2013; publ.27.01.2014; Bul. № 2;
- [7]. Kotov B.I., (1994) - *Technological and heat power bases of increase of efficiency of drying vegetable raw materials: Hlevaha*, p.440;

ВИСНОВОК

Отримані результати комплексу експериментальних досліджень дозволяють зробити висновок, що всі фактори є значущими відносно коефіцієнта зміни площі насінини та часу сушіння.

Результатом запропонованих двох математичних моделей є встановлення часу, який знаходиться в межах 5,7...22,7 хв., що необхідний для досягнення кондиційної вологості насіння сої в сушильній камері з попереднім деформуванням оболонки плоду.

Підвищення початкової вологості насіння сої W призводить до збільшення часу сушіння τ . Різниця експозицій сушіння складає 3-4 хв, що є меншою різницею експозицій сушіння попередньо непідготовленого матеріалу (8-12 хв). Це пояснюється тим, що коефіцієнт k є різним для досліджуваних значень вологостей W і підтверджує його вплив на швидкість видалення вологи з насінини.

Отже, розглядаючи запропонований механізм підготовки сої до сушіння, як складову частину завантажуючого пристрою сушарки, можна стверджувати, що це дозволить зменшити енерговитрати, шляхом збільшення площі контакту сушильного агента і матеріалу та зміни інтенсивності видалення вологи з насінини. Тому доцільним є застосування запропонованого енергозберігаючого методу сушіння насіння сої для отримання олії. Зменшення виходу олії при цьому не спостерігалось.

БІБЛІОГРАФІЯ

- [1]. Бабич А.О.(1993) - *Сучасне виробництво і використання сої* – К.: Урожай– 427 с;
- [2]. Балакай Г.Т., Безуглова О. С. (2003) - *Соя: екологія, агротехніка, переробка.*- Д.: Фенікс.- 160 с;
- [3]. Дідух В.Ф. (2002) - *Підвищення ефективності сушіння сільсько-господарських рослинних матеріалів*: монографія – Луцьк: ЛДТУ. – 165 с;
- [4]. Кірчук Р., Цизь І., Цизь К.(2014) *Інтенсифікація сушіння сої*// The Ukrainian Farmer- Київ, №7(55). – С.76;
- [5]. Кірчук Р., Цизь К. *Машина для деформації насіннєвих оболонок / Патент на корисну модель №84111 Україна, МКП В07В. Заявлено 12.04.2013; Опубл. 10.10.2013; Бюл. № 19;*
- [6]. Кірчук Р., Цизь К. *Машина для деформації насіннєвих оболонок. / Патент на корисну модель №87184 Україна, В07В 9/00 (Україна). – №u201310015; Заявл.12.08.2013; Опубл.27.01.2014. Бюл. №2;*
- [7]. Котов Б.И. (1994) - *Технологические и теплотехнические основы повышения эффективности сушки растительного сырья*: Глеваха, 440 с.

[8]. Melnikov S.V., (1980) - *Planning experiment of agricultural process research*, Leningrad: Kolos, p.168;
[9]. Novik F.S., Arsov I.B., (1980) - *Optimizing processes technology metals by the methods of planning experiments*. Moscow: Engineering, Sofia: Machinery, p.304;
[10]. Tsiz K.E., Kirchuk R.V., Zabrodotsjka L.Y. (2013) - *Determining the impact of soybean seed shell deformation intensity drying*, Farm Machinery: Proc. Science. Century, Vol. 25, pp.160-165;
[11]. Vashchenko V., Bondarenko O. (1999) - *Resource-saving technologies in crop production*, Agro Industrial Machines, №4, p.27-28;
[12]. Voznesensky V.A. (1981) - *Statistics methods of experiment plan of technics and economics research*. - Moscow: Finance and Statistics, p.263.

[8]. Мельников С.В. (1980) - *Планирование эксперимента в исследованиях сельскохозяйственных процессов* – Л.: Колос. Ленингр.– 168 с;
[9]. Новик Ф.С., Арсов Я.Б. (1980) - *Оптимизация процессов технологии металлов методами планирования экспериментов*. – М.: Машиностроение; София: Техника. – 304 с;
[10]. Цизь К.Є., Кірчук Р.В., Забродоцька Л.Ю. (2013) - *Визначення впливу деформації оболонки насінини сої на інтенсивність сушіння*, Сільськогосподарські машини: зб. наук. ст. - Вип. 25, с.160-165;
[11]. Ващенко В., Бондаренко О. (1999) - *Ресурсозберігаючі технології у рослинництві* // Техніка АПК.– №4. – С.27-28;
[12]. Вознесенский В.А. (1981) - *Статистические методы планирования эксперимента в технико-экономических исследованиях*. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Финансы и статистика – 263 с.