

УДК 621.87

**Р. Любачівський**

*Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя*

## **РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ПАРАМЕТРІВ ПРОЦЕСУ ЗМІШУВАННЯ СИПКИХ МАТЕРІАЛІВ**

***Резюме.** Наведено будову спроектованого та виготовленого гвинтового змішувача для проведення експериментальних досліджень процесів змішування сипких матеріалів гвинтовими конвесрами а також результати експериментальних досліджень змішування сипких матеріалів. За їх результатами побудовано графічні залежності коефіцієнта неоднорідності суміші від частоти обертання шнека, коефіцієнта завантаження та кута нахилу змішувача.*

***Ключові слова:** експериментальні дослідження, гвинтовий змішувач, коефіцієнт завантаження.*

**R. Lyubachivskiy**

## **EXPERIMENTAL INVESTIGATIONS RESULTS ON THE BUIK MATERIALS MIXING PARAMETERS**

***Summary.** Screw transporting manufacturing mechanisms are widely applied in different branches of the national economy for transporting, mixing, sorting, grinding, etc. However, the efficiency and quality of these manufacturing processes are linked with the construction peculiarities of these systems in accordance with the power consumption. Therefore, to provide the efficient and qualitative operation of these processes proper choice of certain parameters of their performance and construction characteristics, as well as specially constructed experimental installation have been carried out. The main variable factors affecting the process of oats and vetch mixing were the following: mixer loading factor  $K_3=0,3...0,5$  ( $x_1$ ), screw rotation frequency  $n=50...250\text{rot}/\text{min}$ . ( $x_2$ ), and mixing time  $t=20...60\text{c}$  ( $x_3$ ). To provide the experimental installation operation the program Power Snite was used for tuning the Altvar series frequency converter, in which the selection of those characteristics, which were required to carry out experiments according to the developed method of testing was done. Presented results of investigation were displayed on the PC screen as the table and graph dependencies in the percentage relation to the nominal capacity with the predetermined frequency.*

*Basing on the carried out investigations of the response function (optimization parameter), that is, vetch and oats mixing heterogeneity in cyclic mixing  $V_c=f(k_3, n, t)$ , found experimentally, are presented as the mathematic model of complete square polynom and regression equations in the code and full sizes are deduced.*

*According to the results of these investigations graphic dependences of the vetch and oats mixing heterogeneity size on the load factors, rotation frequency and other screw parameters as well as operating time, have been built.*

***Key words:** experimental investigations, screw mixer, loading coefficient.*

**Постановка проблеми.** Гвинтові транспортно-технологічні механічні системи використовують у різних галузях економіки для транспортування, змішування, сортування, пресування, подрібнення тощо. Проте ефективність і якість виконання цих технологічних процесів пов'язані з конструктивними особливостями даних систем, відповідними енерговитратами і регеологічними властивостями змішуваних матеріалів. Тому для забезпечення ефективного та якісного виконання технологічних процесів гвинтовими транспортно-технологічними механічними системами необхідний правильний підбір окремих параметрів їх виконання та конструктивних характеристик.

**Аналіз відомих досліджень і публікацій.** Основи експериментальних досліджень виконання технологічних процесів гвинтовими транспортно-технологічними механічними системами заклали такі вітчизняні та іноземні вчені, як А. Віденбаум, Р. Мор, М. Данквертс, Д. Лейсі, А.М. Ластовцев, Г. Шенкель, В. Штербачек, Г.Г. Кошелєв, Р.В. Горнер, М.В. Гебін, Д. Мак-Кельві, Ю.І. Макаров [1], Б.М. Гевко [2], Р.М. Рогатинський [3] та інші. В представлених публікаціях мало уваги приділено процесам змішування сипких матеріалів з їх залипанням і утворенням мертвих зон. Проте розроблення кожної окремої гвинтової транспортно-технологічної механічної системи для змішування сипких матеріалів має свою специфіку, що зумовлює потребу в їх подальших розробленнях і дослідженнях.

**Мета роботи.** Проведення експериментальних досліджень для визначення якості та ефективності змішування сипких матеріалів гвинтовим змішувачем. Роботу виконано згідно з постановою Кабінету Міністрів України «Високоєфективні технології у машинобудуванні, енергетиці та агропромисловому комплексі на 2010 ... 2015 рр.».

**Реалізація результатів досліджень.** З метою проведення експериментальних досліджень визначення якості та ефективності змішування сипких матеріалів гвинтовим змішувачем, встановлення його основних функціонально-експлуатаційних характеристик на базі створених винаходів [4, 5] спроектовано та виготовлено дослідну установку. З її допомогою проведено експериментальні дослідження в широких діапазонах частоти обертання та зміни кута нахилу гвинтового змішувача з отриманням даних у персональному комп'ютері (рис. 1).

Установка для транспортування і змішування сипких сумішей з вертикальним пересипом виконана у вигляді рами 1, на якій змонтовано всі її елементи. До рами жорстко закріплено два шарнірних механізми, лівий 2 і правий 3 з можливістю зміни кута нахилу циліндричної труби 4 гвинтового конвеєра, який виконано у вигляді приводного вала 5 і гвинтової профільної спіралі 6. Правий шарнір закріплено до плити 7, до якої теж жорстко закріплені електродвигун 8, нижні і верхні кінці гвинтового робочого органу 5. Електродвигун жорстко з'єднано з валом через запобіжну муфту 9. Внизу циліндричної труби 4 напроти завантажувального вікна 10 встановлено завантажувальний бункер 11.

На верхньому кінці циліндричної труби встановлена пересипна труба 12 навпроти пересипних крильчаток 13, яка жорстко закріплена до вертикального кінця циліндричної труби 4 по твірній до руху змішувальної суміші 3 пересипних лопаток 13 вертикально вгору, другим кінцем пересипна труба 12 є у взаємодії з завантажувальним бункером 11.

Крім цього на верхньому кінці в середині циліндричної труби 4 встановлено циліндричний шибер 14 відомої конструкції з можливістю відносного кругового повертання для регулювання подачі сипких матеріалів у зону вивантаження і в ємність 15 чи в зону додаткового змішування через пересипну трубу 12 згідно з стрілками I і II. Згори циліндричної труби 8 жорстко встановлена кришка 16 над люком 17 для потреби в процесі експлуатації. Нижній кінець пересипної труби жорстко приєднано до пересипного бункера 11 за допомогою пружини 17. Внизу бункера 11 встановлені шибери 18 і пульт керування.

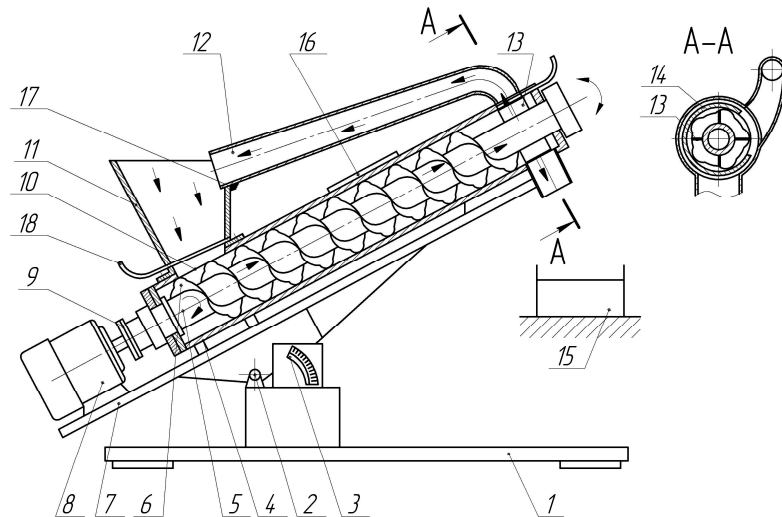


Рисунок 1. Загальний вигляд дослідної установки

Figure 1. General view of the experimental installation

Програма експериментальних досліджень передбачала такі етапи для дослідження процесу:

- розроблення та виготовлення гвинтового змішувача для сипких матеріалів під час транспортування з можливістю зміни параметрів технологічного процесу;
- оцінювання впливу частоти обертання робочого органу гвинтового змішувача, конструктивних параметрів шнекового механізму на характеристики процесу змішування й транспортування сипких матеріалів.

Процес змішування здійснювався за допомогою гвинтового стрічкового змішувача. При цьому проводилося визначення параметрів процесу перемішування для формувальної суміші, що складалася з виви та вівса. Основними змінними факторами, які впливали на процес змішування, на першому етапі були такі:

- коефіцієнт завантаження змішувача  $K_z = 0,3 - 0,5$  ( $x_1$ );
- частота обертання шнека  $n = 50 - 250$  об/хв. ( $x_2$ );
- час роботи змішувача  $t = 20 - 60$  с ( $x_3$ ).

Для роботи експериментальної апаратури використовувалася програма PowerSuite для налаштування перетворювачів частоти серії Altivar, в якій проводився вибір характеристик, необхідних при проведенні експериментів згідно з розробленою методикою проведення випробувань. У процесі проведення випробувань вони відображаються на моніторі ПК у вигляді табличних даних та графічних залежностей у процентному співвідношенні до номінальної потужності із наперед заданою частотою. Завдяки програмі PowerSuite також здійснювався вибір необхідної частоти обертання вала двигуна і напрям його обертання. Частота обертання задавалася у вікні осцилографа в ПК у вигляді кратних чисел.

Коефіцієнт завантаження змішувача регулювали зміною швидкості подачі компонентів суміші із завантажувального бункера заслінками.

Для забезпечення якісного процесу змішування кількох компонентів у відповідному співвідношенні основної і контрольної фракції при завантаженні змішувача, це співвідношення повинно зберігатися по всьому об'єму змішаної суміші. Його можна дотримати за рахунок виконання відповідної величини кроків спіралі у зоні завантаження компонентів змішування та інших параметрів.

Якість змішування компонентів суміші оцінювали по вмісту контрольного компонента, вміст якого визначали з масою компонента у вибірці, що відбиралась у вивантажувальному рукаві гвинтового змішувача.

Функцію відгуку (параметр оптимізації), тобто неоднорідності змішування вики із вівсом у циклічному змішувачі  $V_c=f(K_3, n, t)$ , визначеної експериментальним шляхом, представлено у вигляді математичної моделі повного квадратичного полінома.

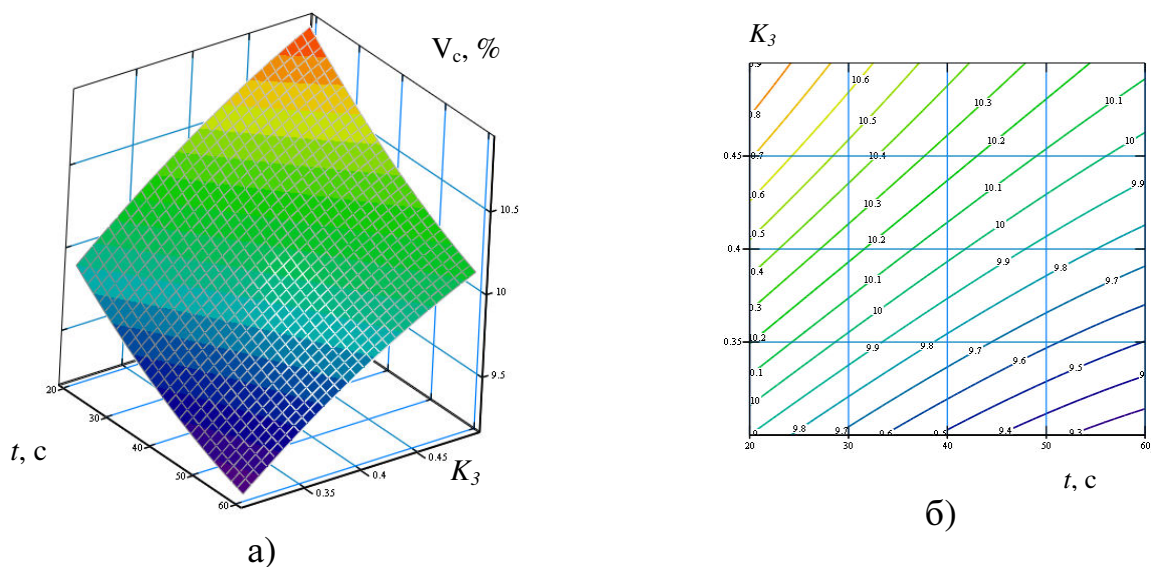
Загальний вигляд рівняння регресії неоднорідності змішування залежно від зміни коефіцієнта завантаження змішувача  $K_3$ , частоти обертання шнека  $n$  та часу роботи змішувача  $t$ , за результатами проведених ПФЕ  $3^3$  у кодованих величинах дорівнює

$$V_{c(x_1, x_2, x_3)} = 10,087 + 0,48x_1 - 0,44x_2 - 0,35x_3 - 0,075x_1x_2 - 0,025x_1x_3 + 0,225x_2x_3 - 0,07x_1^2 + 0,12x_2^2 + 0,08x_3^2. \quad (1)$$

Відповідно у натуральних величинах рівняння регресії (1) після перетворення та спрощення виразів прийнято в кінцевому вигляді

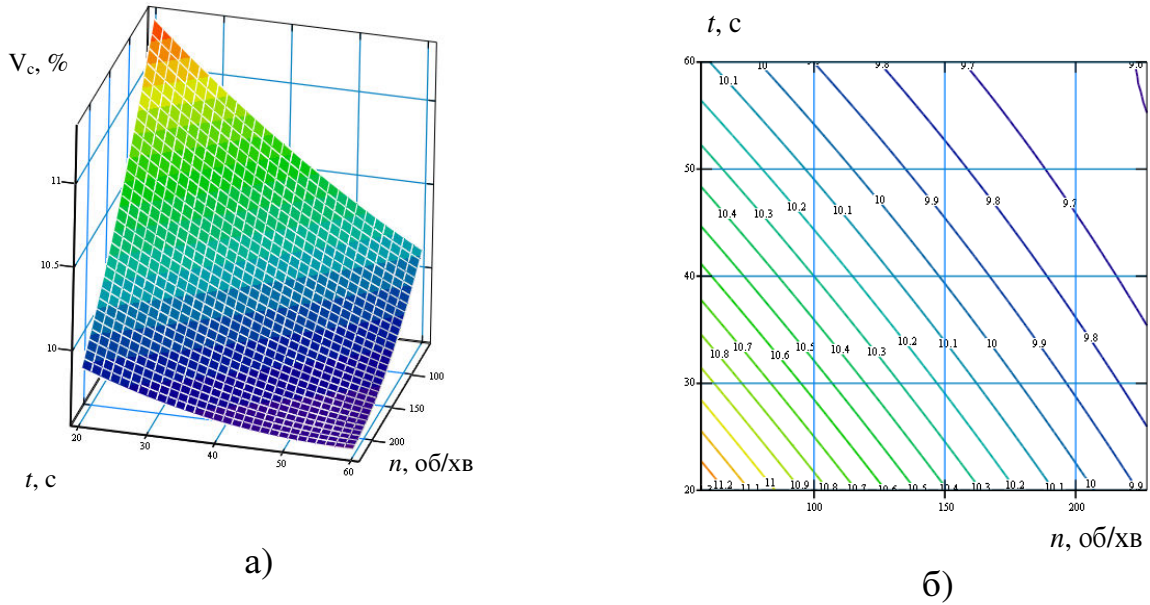
$$V_{c(K_3, n, t)} = 9,11 + 12,15 \cdot K_3 - 1,2 \cdot 10^{-2} n - 4,725 \cdot 10^{-2} t - 8,8 \cdot 10^{-3} K_3 n - 1,25 \cdot 10^{-2} K_3 t + 1,32 \cdot 10^{-4} n t - 7,0 K_3^2 + 1,6 \cdot 10^{-5} n^2 + 1,9 \cdot 10^{-4} t^2. \quad (2)$$

За результатами експериментальних досліджень побудовано графічне відтворення проміжних загальних регресійних моделей у вигляді квадратичних поверхонь відгуку та їх двовірних перерізів (рис. 2, 3) неоднорідності змішування  $V_c$ , як функцію від двох змінних факторів  $x_{i(1,2)}$ , за постійного незмінного рівня відповідного третього фактора  $x_{i(3)} = const$ .



**Рисунок 2.** Поверхня відгуку (а) та двовірний переріз поверхні відгуку (б) залежності величини неоднорідності змішування вики та вівса від коефіцієнта завантаження та часу роботи змішувача ( $n=142\text{об/хв}$ )

**Figure 2.** Response surface (a) and two-dimensional cross-section of the response surface (b) dependence mixing heterogeneity size on vetch and oats the load factor and mixer operating time ( $n=142\text{rev/min}$ )



**Рисунок 3.** Поверхня відгуку (а) та двомірний переріз поверхні відгуку (б) залежності величини неоднорідності змішування вики та вівса від частоти обертання шнека та часу роботи ( $K_3=0,4$ )

**Figure 3.** Response surface (a) and two-dimensional cross-section of the response surface (b) dependence of heterogeneity size on the vetch and oats screw rotation time and operating time ( $K_3=0.4$ )

Основними змінними факторами, які впливали на процес змішування на другому етапі були такі:

- коефіцієнт завантаження змішувача  $K_3 = 0,3 - 0,5$  ( $x_1$ );
- частота обертання шнека  $n = 50 - 250$  об/хв. ( $x_2$ );
- зазор між кожухом та витком  $S = 6 - 16$  мм ( $x_3$ ).

Загальний вигляд рівняння регресії неоднорідності змішування залежно від зміни коефіцієнта завантаження змішувача  $K_3$ , частоти обертання шнека  $n$  та зазор між кожухом та витком  $S$ , за результатами проведених ПФЕ  $3^3$  у кодованих величинах дорівнює

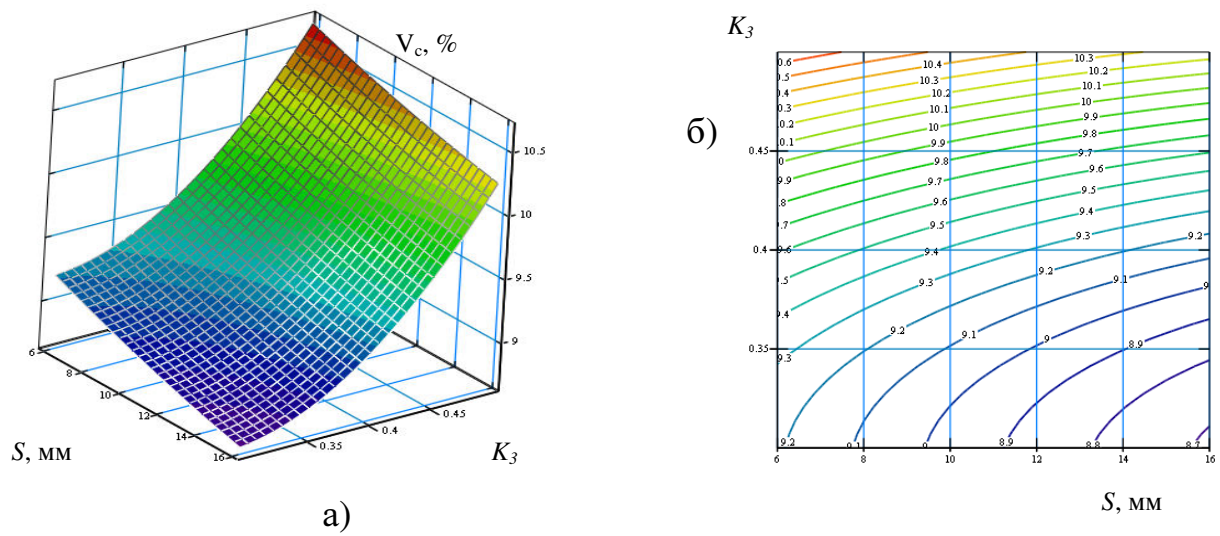
$$V_{c(x_1, x_2, x_3)} = 9,334 + 0,76x_1 - 0,58x_2 - 0,24x_3 + 0,025x_1x_2 + 0,025x_1x_3 - 0,125x_2x_3 + 0,335x_1^2 + 0,135x_2^2 + 0,035x_3^2 \quad (3)$$

Відповідно у натуральних величина рівняння регресії (3) після перетворення та спрощення виразів прийнято в кінцевому вигляді

$$V_{c(K_3, n, S)} = 13,62 - 20,17 \cdot K_3 + 1 \cdot 10^{-2} n - 5,71 \cdot 10^{-2} S + 2,93 \cdot 10^{-3} K_3 n + 5 \cdot 10^{-2} K_3 S - 2,93 \cdot 10^{-4} n S + 33,5 K_3^2 + 1,86 \cdot 10^{-5} n^2 + 1,4 \cdot 10^{-3} S^2 \quad (4)$$

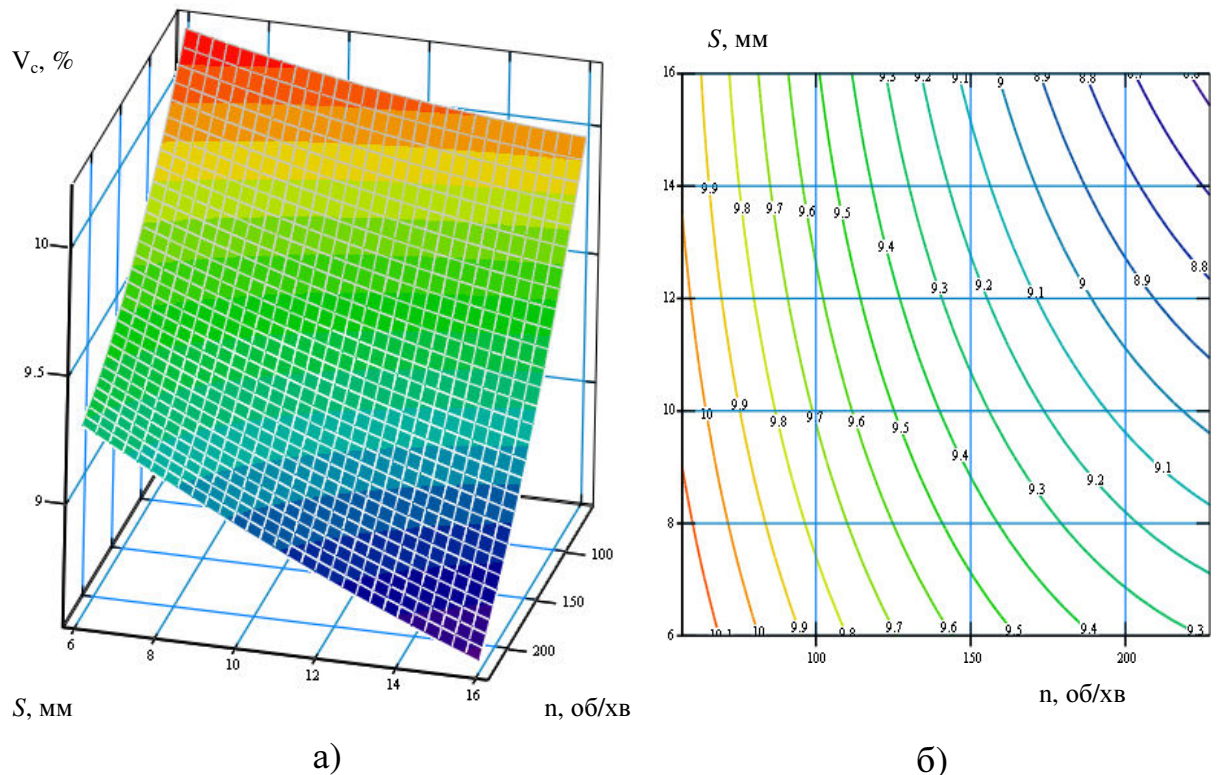
За результатами експериментальних досліджень побудували графічне відтворення проміжних загальних регресійних моделей у вигляді квадратичних поверхонь відгуку та їх двомірних перерізів (рис. 4, 5) неоднорідності змішування  $V_c$ , як функцію від двох змінних факторів  $x_{i(1,2)}$ , за постійного незмінного рівня відповідного третього фактора  $x_{i(3)} = const$ .





**Рисунок 4.** Поверхня відгуку (а) та двовірний переріз поверхні відгуку (б) залежності величини неоднорідності змішування вики та вівса від коефіцієнта завантаження та величини зазору між кожухом та витком ( $n=142\text{об/хв}$ )

**Figure 4.** Response surface (a) and two-dimensional cross-section of the response surface (b) dependence of vetch and heterogeneity size on oats from the loading factor and the size of the gap between the casing and the turn ( $n=142\text{rev/min}$ )



**Рисунок 5.** Поверхня відгуку (а) та двовірний переріз поверхні відгуку (б) залежності величини неоднорідності змішування вики та вівса від коефіцієнта завантаження та величини зазору між кожухом та витком ( $n=142\text{об/хв}$ )

**Figure 5.** Response surface (a) and two-dimensional cross-section of the response surface (b) dependence of vetch and oats mixing heterogeneity size on from the loading factor and the size of the gap between the casing and the turn ( $n=142\text{rev/min}$ )

**Висновки:**

- розроблена конструкція гвинтового змішувача може ефективно використовуватись для змішування різноманітних сипких матеріалів;
- для забезпечення якісного змішування суміші – тобто коли забезпечується рівномірне перемішування компонентів та вміст контрольного компонента лежить у межах 9 – 11 %, буде частота обертання гвинтового робочого органу в межах від 150 до 250 об/хв.;
- для підвищення ефективності гвинтового змішувача з пересипом бункер останній необхідно виконувати збоку, а пересипний патрубок повинен входити в бункер у боковій частині корпусу;
- в результаті експериментальних досліджень проведено аналіз конструкторсько-компонувальних схем змішувачів сипких матеріалів на основі модульного принципу проектування, який показав, що покращення якості змішування можливе за рахунок суміщення технологічних операцій і величини дозування, коефіцієнтів заповнення робочого об'єму змішувача, самих процесів змішування, транспортування і динаміки просторових взаємних переміщень зерен сипкого середовища і правильним вибором параметрів гвинтового органу як самостійно, так і в поєднанні з іншими механізмами. При цьому діаметр гвинтової стрічки доцільно вибирати в межах 100 ... 160 мм, діаметр вала 40 ... 60 мм.

**Conclusions:**

- developed design of the screw mixer can be effectively applied for mixing of different bulk materials;
- to provide qualitative mixing of oats and vetch mixture – that is, when uniform mixing of all components is provided and the contents of the tested component is within 9 – 11%, the screw operating unit rotation frequency will be within 150 – 250 rev/min.;
- to raise the efficiency of the screw pour mixer the task must be adjusted on the side and pour connective must enter the task bunker in the side of the body;
- as the result experimental investigations the analysis of the construction-component schemes of the bulk materials mixers was carried out and basing on the modular approach of design, which testified, that the improvement of the mixing quality is possible due to the combination of manufacturing operations and the size of dosage, the coefficients of filling the mixer operating volume, the mixing processes themselves, transporting and the dynamics of space mutual replacement of the bulk medium grains and the proper choice of the screw unit parameters, both independently and in combination with other mechanisms, the diameter of the screw belt worthy being within 100 ... 160 mm, the shaft diameter – 40 ... 60 mm.

**Список використаної літератури**

1. Макаров, Ю.И. Аппараты для смешения сыпучих материалов [Текст] / Ю.И. Макаров. – М.: Машиностроение, 1993. – 216 с.
2. Механізми з гвинтовими пристроями [Текст] / Б.М. Гевко, Л.М. Данильченко, Р. М. Рогатинський, М.І. Пилипець. – Львів: Світ НАУ, 1993. – 208 с.
3. Рогатинський, Р.М. Змішувач комбікормів [Текст] / Р.М. Рогатинський, Ю.Б. Капаціла, Д.В. Дмитрів // Змішувач комбікормів: зб. наук. праць НАУ. – К.: НАУ, 2000. – Т. 7. – С. 156 – 159.
4. Пат. 62656 Україна, МПК В 01 F 7/08. Змішувач гвинтовий з підйимально-пересипним механізмом [Текст] / Р.О. Любачівський, А.Є. Дячун, І.Б. Гевко, Р.І. Чвартацький; заявники і патентовласники Любачівський Р.О., Дячун А.Є., Гевко І.Б., Чвартацький Р.І.; № u201101236 ; заявл. 04.02.11; опубл. 12.09.11, Бюл. № 17.
5. Пат. 62633 Україна, МПК В 01 F 7/00. Змішувач гвинтовий вібраційний [Текст] / Р.О. Любачівський, А.Є. Дячун, І.Б. Гевко, Р.В. Комар, І.І. Диня, В.М. Одендр; заявники і патентовласники Любачівський Р.О., Дячун А.Є., Гевко І.Б., Комар Р.В., Диня І.І., Одендр В.М.; № u201100256 ; заявл. 10.01.11; опубл. 12.09.11, Бюл. № 17.

*Отримано 03.04.2013*