

## МЕХАНІКО-ТЕХНОЛОГІЧНІ ПРОЦЕСИ, ВИКОНАВЧІ ОРГАНИ ТА МАШИНИ ДЛЯ ТВАРИННИЦТВА

УДК 631.363.285

### ВПЛИВ ГЕОМЕТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ГВИНТА ГРАНУЛЯТОРА КОРМІВ НА ПОТУЖНІСТЬ ЙОГО ПРИВОДУ

**В. В. Братішко**, *к.т.н., с.н.с., завідувач відділу;*

*e-mail: vbratishko@gmail.com; тел.: +380 (98) 207-92-77*

*Національний науковий центр «Інститут механізації та електрифікації сільського господарства»*

**Мета.** Аналітичне встановлення впливу параметрів процесу роботи гвинтового гранулятора кормів на витрати потужності на привід гвинта гранулятора.

**Методи.** Інтегральне та диференціальне обчислення, планування факторного експерименту та регресійний аналіз.

**Результати.** В результаті аналітичних досліджень було отримано рівняння регресії у вигляді поліномів другого порядку, що характеризують вплив параметрів процесу роботи гвинтового гранулятора кормів на витрати потужності на привід гвинта гранулятора.

**Висновки.** Встановлено, що математична модель впливу параметрів процесу гранулювання на витрати потужності на привід гвинта гранулятора кормів не має оптимумів для досліджуваного діапазону геометричних параметрів гвинта, зокрема ширини та глибини каналу. Також встановлено, що збільшення інтенсивності зміни глибини та зменшення інтенсивності зміни ширини каналу гвинта призводять до зростання витрат потужності на привід гвинта гранулятора кормів.

**Ключові слова:** *гвинт, гранулювання, канал, корми, модель, потужність, тиск.*

UDC 631.363.285

### INFLUENCE OF GEOMETRICAL PARAMETERS OF SCREW FEED GRANULATOR ON SCREW DRIVE

**V. V. Bratishko**, *Ph.D., Senior Researcher, Head of Department;*

*e-mail: vbratishko@gmail.com; tel.: +380 (98) 207-92-77*

*National scientific center "Institute for Agricultural Engineering and Electrification"*

**The purpose.** An analytical exposure setting process parameters of pellet feed screw in spending power to drive the screw granulator.

**Methods.** Integral and differential calculus, planning factorial and regression analysis.

**Results.** As a result of analytical studies were obtained regression equation in the form of a second order polynomial characterizing the influence of process parameters of pellet feed screw in spending power to drive the screw granulator.

**Conclusions.** Established that the mathema-

tical model of the impact of process parameters on granulation power consumption to drive the pellet feed screw has not optimum for the studied range of screw geometric parameters, including the width and depth of the channel. Also found that increasing the intensity changes of the depth and intensity changes of screw bandwidth reduce lead to increased costs of power to drive the screw pellet feed.

**Key words:** *feed, granulation, model, power, pressure, screw.*

УДК 631.363.285

## ВЛИЯНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ВИНТА ГРАНУЛЯТОРА КОРМОВ НА МОЩНОСТЬ ЕГО ПРИВОДА

**В. В. Братишко**, к.т.н., с.н.с., заведующий отделом;  
e-mail: vbratishko@gmail.com; тел.: +380 (98) 207-92-77

*Национальный научный центр «Институт механизации и электрификации сельского хозяйства»*

**Цель.** Аналитическое установление влияния параметров процесса работы винтового гранулятора кормов на затраты мощности на привод винта гранулятора.

**Методы.** Интегральное и дифференциальное исчисление, планирование факторного эксперимента и регрессионный анализ.

**Результаты.** В результате аналитических исследований были получены уравнения регрессии в виде полиномов второго порядка, характеризующие влияние параметров процесса работы винтового гранулятора кормов на затраты мощности на привод винта гранулятора.

### **Проблема.**

Повноцінна, збалансована годівля [1] є головною запорукою реалізації генетичного потенціалу сільськогосподарських тварин та птиці. Світові тенденції розвитку тваринництва [2] свідчать про зростання у раціонах тварин питомої частки комбікормів, що згодуються у гранульованому вигляді. Серед основних переваг застосування гранульованих кормів виділяють [3]: краще засвоювання корму тваринами; виключення самосепарації корму при його транспортуванні; виключення вибіркового поїдання окремих компонентів раціону; зменшення втрат корму; зменшення ризику зараження сальмонелозом через теплову обробку; потреба у менших об'ємах для зберігання та транспортування корму; зменшення виділення пилу; можливість автоматизувати процес годівлі; спрощення складання раціонів та скорочення затрат праці.

Також відомо, що одним із шляхів підвищення ефективності застосування гвинто-

**Выводы.** Установлено, что математическая модель влияния параметров процесса гранулирования на затраты мощности на привод винта гранулятора кормов не имеет оптимумов для исследуемого диапазона геометрических параметров винта, в частности ширины и глубины канала. Также установлено, что увеличение интенсивности изменения глубины и уменьшение интенсивности изменения ширины канала винта приводят к росту затрат мощности на привод винта гранулятора кормов.

**Ключевые слова:** винт, гранулирование, давление, канал, корма, модель, мощность.

вих робочих органів є використання гвинтів зі змінною за їх довжиною геометрією, зокрема перерізом каналу гвинта [4, 5]. Такі гвинти забезпечують підвищення ефективності технологічного впливу на матеріал робочими органами і використовуються у харчовій та кормовій промисловості [6], зокрема, як робочі органи екструдерів та гвинтових грануляторів кормів. Важливим питанням при проектуванні гвинтових робочих органів такого типу є з'ясування впливу конструкційно-технологічних параметрів грануляторів та властивостей сировини на витрати потужності на привод гвинта гранулятора.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** В результаті проведених теоретичних досліджень процесу роботи гвинтових грануляторів кормів було отримано в загальному математичну модель впливу параметрів процесу гранулювання на показник витрат потужності [7] на привод гвинта гранулятора кормів.

$$N = 2\pi n \mu p_m \int_0^{l_{\max}} \int_0^{H_0 - k_H l} e^{-A_p \left( \frac{l_{\max} - l}{l} \right)} y \frac{\pi (D - H_0 - k_H l) [k_W (D - H_0) - k_H (W_0 + t)]}{(W_0 - k_W l + t)^3 \sqrt{\frac{(D - H_0 - k_H l)^2}{(W_0 - k_W l + t)^2} + \frac{1}{\pi^2}}} dy dl, \quad (1)$$

- де  $n$  – частота обертання гвинта,  $c^{-1}$ ;  
 $\mu$  – коефіцієнт бічного тиску,  
 $p_m$  – тиск у матриці гранулятора, Па;  
 $l_{\max}$  – максимальна довжина гвинта, м;  
 $l$  – поточне значення довжина гвинта, м;  
 $H_0$  – початкове значення глибини каналу гвинта, м;  
 $W_0$  – початкове значення ширини каналу гвинта, м;  
 $k_H$  – коефіцієнт зміни глибини каналу гвинта за його довжиною;  
 $k_W$  – коефіцієнт зміни ширини каналу гвинта за його довжиною.  
 $D$  – зовнішній діаметр гвинта, м;  
 $t$  – товщина крайки гвинта, м;  
 $A_p$  – коефіцієнт, що описує характер зміни тиску у каналі гвинта гранулятора за його довжиною;  
 $y$  – поточне значення глибини каналу гвинта (рисунок 1), м.

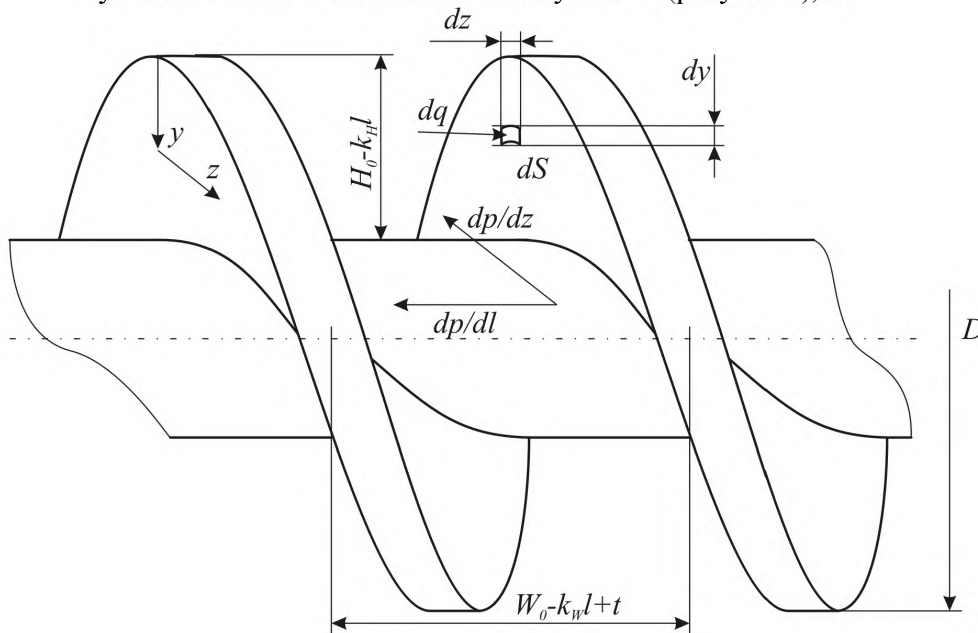


Рис. 1. Схема гвинта гранулятора кормів

Fig. 1. Pellet feed screw scheme

Складність отриманої математичної моделі (1) не дозволяє дослідити вплив параметрів процесу гранулювання на його потужність у загальному вигляді. Проте, розв'язання інтегралу (1) можливе у чисельному вигляді для окремих, визначених значень конструкційно-режимних та технологічних параметрів процесу. Попередній аналіз

залежності (1) також дозволяє зробити висновки про пропорційний вплив на показник потужності параметрів тиску у матриці гранулятора та частоти обертання гвинта.

**Мета досліджень** – аналітичне дослідження впливу параметрів процесу роботи гвинтового гранулятора кормів на витрати потужності на привід гвинта гранулятора.

**Методика досліджень.** Основний підхід при виконанні досліджень полягав у реалізації числового факторного експерименту шляхом фіксації частини факторів залежності (1) на визначених рівнях.

Дослідження проводилися з використанням методики планування багатфакторних експериментів [8] із застосуванням варіювання факторів на трьох рівнях. Для аналізу

результатів експериментальних досліджень використовувалась програма RegMod «Методика моделювання нормативів методом регресійного аналізу», розроблена в ННЦ «ІМЕСГ» к.т.н. Босим М.А., яка реалізує відомі методи кореляційного та регресійного аналізу [9].

Перелік та рівні варіювання факторів наведено в таблиці.

Таблиця 1. Досліджувані фактори та рівні їх варіювання

Table 1. Investigated factors and their variation levels

Рівні варіювання факторів	Фактори			
	$H_0, x_1$	$W_0, x_2$	$k_H, x_3$	$k_W, x_4$
Верхній рівень (+)	0,035	0,035	0,05	0,05
Основний рівень (0)	0,025	0,025	0,04	0,04
Нижній рівень (-)	0,015	0,015	0,03	0,03
Інтервал варіювання	0,01	0,01	0,01	0,01

Іншій складові залежності (1) фіксувалися на рівнях, що відповідали умовам проведення попередніх теоретичних та експериментальних досліджень [10, 11], зокрема:  $t = 0,005$  м;  $D = 0,08$  м;  $l_{max} = 0,2$  м;  $\mu = 0,3$ ;  $n = 1$  с<sup>-1</sup>;  $p_m = 3 \cdot 10^6$  Па.

**Результати досліджень.** Для заданих параметрів процесу гранулювання із застосуванням залежності (1) за допомогою програмного продукту Wolfram Mathematica [12] був реалізований числовий багатфакторний експеримент, після аналізу результатів якого було отримано залежність критерію оптимізації (потужності) від досліджуваних факторів – рівняння регресії у вигляді поліному другого порядку.

Отриманий вираз потужності на привод гвинта  $N, Вт$  мав вигляд:

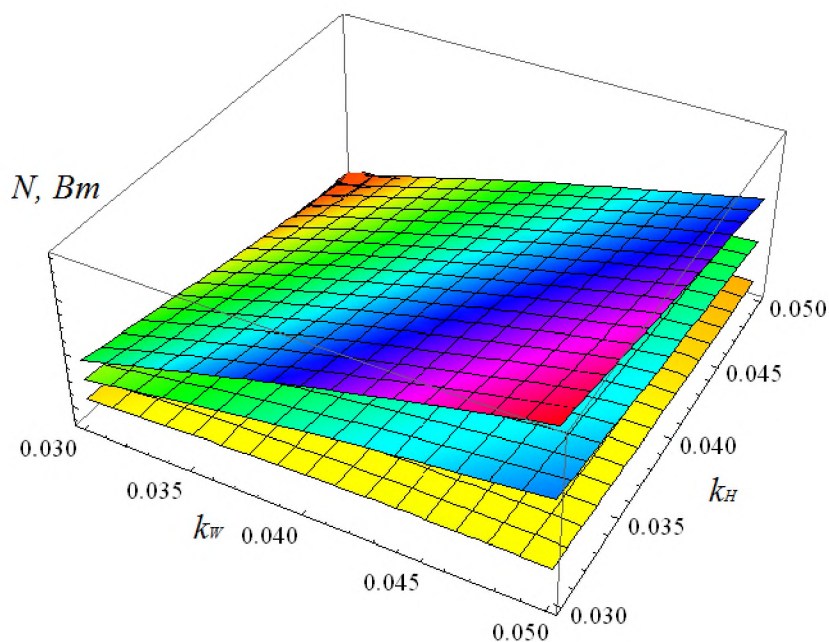
$$N = 402,078 + 357,944x_1 - 455,328x_2 - 389,651x_1x_2 + 103,76x_2^2 - 218,071x_3 - 130,269x_1x_3 + 13,4502x_3^2 + 318,486x_4 + 263,688x_1x_4 - 42,5917x_4^2, \quad (2)$$

у розкодованому вигляді:

$$N = -675,019 + 79839,6H_0 - 3,89651 \cdot 10^6 H_0W_0 - 1,30269 \cdot 10^6 H_0k_H + 2,63688 \cdot 10^6 H_0k_W + 1,0376 \cdot 10^6 W_0^2 + 134502k_H^2 - 425917k_W^2. \quad (3)$$

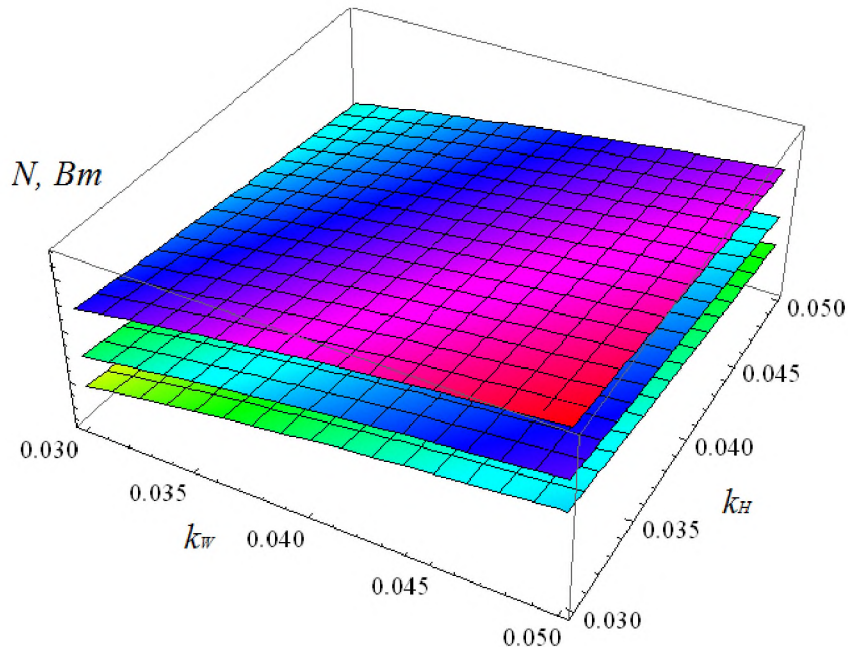
Для залежності (2), (3), яка є адекватною на 92% рівні довірчої вірогідності, коефіцієнт множинної детермінації становить  $D = 0,988953$ , коефіцієнт множинної кореляції  $R = 0,994461$ . Значення критерію Фішера  $F = 127,89$ ; ймовірність F-критерію  $P = 1,0$ . Всі коефіцієнти моделі є значущими на рівні довірчої вірогідності не менше 92%.

Для подальшого аналізу отриманих моделей побудуємо поверхні, що відображають характер впливу досліджуваних факторів на потужність приводу гвинта гранулятора кормів (рис. 2, 3).



**Рис. 2.** Вплив коефіцієнтів зміни глибини ( $k_H$ , фактор  $x_3$ ) та довжини ( $k_W$ , фактор  $x_4$ ) каналу гвинта за його довжиною на характер зміни потужності на привод гвинта при фіксації фактора початкової ширини каналу гвинта ( $W_0$ , фактор  $x_2$ ) на нульовому рівні

**Fig. 2.** Influence of change of depth ( $k_H$ , factor  $x_3$ ) and width ( $k_W$ , factor  $x_4$ ) feed screw for its length on the power change character on the drive screw with fixation the factor of initial screw channel width ( $W_0$ , factor  $x_2$ ) at zero level



**Рис. 3.** Вплив коефіцієнтів зміни глибини ( $k_H$ , фактор  $x_3$ ) та ширини ( $k_W$ , фактор  $x_4$ ) каналу гвинта за його довжиною на характер зміни потужності на привод гвинта при фіксації фактора початкової глибини каналу гвинта ( $H_0$ , фактор  $x_1$ ) на нульовому рівні

**Fig. 3.** Influence of change of depth ( $k_H$ , factor  $x_3$ ) and width ( $k_W$ , factor  $x_4$ ) feed screw for its length on the power change character on the drive screw with fixation the factor of initial screw channel depth ( $H_0$ , factor  $x_1$ ) at zero level

Аналіз отриманих залежностей (2)-(3), представлених на рисунках 2-3, дозволяє стверджувати, для визначених умов проведення числового експерименту математична модель витрат потужності на привод гвинта гранулятора кормів не має оптимумів для таких факторів як коефіцієнти зміни глибини ( $k_H$ , фактор  $x_3$ ) та ширини ( $k_W$ , фактор  $x_4$ ) каналу гвинта за його довжиною, а також початкових ширини ( $H_0$ , фактор  $x_1$ ) та глибини ( $W_0$ , фактор  $x_2$ ) каналу гвинта. Разом з тим встановлено, що збільшення інтенсивності зміни глибини та зменшення інтенсивності зміни ширини каналу гвинта призводять до зростання витрат потужності на привід

гвинта гранулятора кормів.

### Висновки.

1. Математична модель впливу параметрів процесу гранулювання на витрати потужності на привід гвинта гранулятора кормів не має оптимумів для досліджуваного діапазону геометричних параметрів гвинта, зокрема ширини та глибини каналу гвинта, а також коефіцієнтів зміни глибини та ширини каналу гвинта за його довжиною.

2. Збільшення інтенсивності зміни глибини та зменшення інтенсивності зміни ширини каналу гвинта призводять до зростання витрат потужності на привід гвинта гранулятора кормів.

### Бібліографія

1. Механизация и автоматизация производства молока / В.В. Адамчук, В.В. Братишко, Р.Б. Кудринский и др.; под общ. ред. В.В. Адамчука, А.И. Фененко. – Нежин: Издатель ЧП Лысенко Н.М. – 324 с.: ил.

2. Машини и оборудование для производства комбикормов : [Справочное пособие] / Шаршунов В.А., Червяков А.В., Бортник С.А., Пономаренко Ю.А. – Мн: Экоперспектива, 2005. – 487 с.

3. Мельников С.В., Фарбман Г.Я. Производство травяной муки в гранулах. – Л.: Лениздат, 1975. – 112 с.

4. Люлько, В.Н. Получение геометрии винтовой части роторов винтовых компрессоров с использованием систем САПР [Текст] / В.Н. Люлько // Вісник Сумського державного університету. Серія Технічні науки. – 2005. – №1(73). – С. 140-150.

5. Ревяко, М.М., Касперович О.М. Оборудование и основы проектирования предприятий по переработке пластмасс. – Мн.: БГТУ, 2005. – 344 с.

6. Extrusion-Cooking Techniques: Applications, Theory and Sustainability: [edited by Leszek Moscicki]. – Weinheim: WILEY-VCH, 2011. – 234 p.

7. Братишко В.В. Витрати потужності на привод гвинта гранулятора кормів // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. – Вип. 212/2. – К.: НУБіП України, 2015. – С. 53-58.

8. Адлер Ю.П., Маркова Е.В., Грановский Ю.В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. – М.: Наука, 1976. – 276 с.

9. Ферстер Э. Ренц Б. Методы корреляционного и регрессионного анализа: Руководство для экономистов / Перев. с нем. – М.: Финансы и статистика, 1983. – 302 с.

10. Братишко В.В., Тимченко Л.О. Влияние параметров процесса гранулирования на показатели кормов для откормочных животных // Механізація та електрифікація сільського господарства. – Вип. 1 (100). – Глеваха: ННЦ «ІМЕСГ». – 2015. – С. 127-136.

11. Братишко В.В. Продуктивність та енергоємність процесу гранулювання зерно-стеблової кормосуміші гвинтовим гранулятором // Збірник наукових праць Кіровоградського національного технічного університету / Техніка в сільсько-господарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація. – Вип. 28. – Кіровоград: КНТУ, 2015. – С. 138-144.

12. Морозов А. А., Таранчук В. Б. Программирование задач численного анализа в системе Mathematica: Учеб. пособие.- Мн.: БГПУ, 2005. – 145 с.

### References

1. Mechanizacija i avtomatizacija proizvodstva moloka / V.V. Adamchuk, V.V. Bratishko, R.B. Kudrineckij i dr.; pod obshh. red. V.V. Adamchuka, A.I. Fenenko. – Nezhin: Izdatel ChP Lysenko N.M. – 324 s.: il.

2. Mashiny i oborudovanie dlja proizvodstva kombikormov : [Spravochnoe posobie] / Sharshunov V.A., Chervjakov A.V., Bortnik S.A., Ponomarenko Ju.A. – Mn: Jekoperspektiva, 2005. – 487 s.

3. Mel'nikov S.V., Farbman G.Ja. Proizvodstvo travjanoy muki v granulah. – L.: Lenizdat, 1975. – 112 s.

4. Ljul'ko, V.N. Poluchenie geometrii vintovoj chasti rotorov vintovyh kompressorov s ispol'zovaniem sistem SAPR [Tekst] / V.N. Ljulko // Visnik Sumskogo derzhavnogo universitetu. Serija Tehnichni nauki. – 2005. – №1(73). – S. 140-150.

5. Revjako, M.M., Kasperovich O.M. Oborudovanie i osnovy proektirovanija predpriyatij po pererabotke plastmass. – Mn.: BGTU, 2005. – 344 s.

6. Extrusion-Cooking Techniques: Applications, Theory and Sustainability: [edited by Leszek Moscicki]. – Weinheim: WILEY-VCH, 2011. – 234 p.
7. Bratishko V.V. Vytraty potuzhnosti na pryvod hvynta hranuliatora kormiv // Naukovyi visnyk Natsionalnoho universytetu bioresursiv i pryrodokorystuvannya Ukrainy. Seriya: tekhnika ta enerhetyka APK. – Vyp. 212/2. – K.: NUBiP Ukrainy, 2015. – S. 53-58.
8. Adler Ju.P., Markova E.V., Granovskij Ju.V. Planirovanie jeksperimenta pri poiske optimal'nyh uslovij. – M.: Nauka, 1976. – 276 s.
9. Ferster Je. Renc B. Metody korrelyacionnogo i regressionnogo analiza: Rukovodstvo dlja jekonomistov / Perev. s nem. – M.: Finansy i statistika, 1983. – 302 s.
10. Bratishko V.V., Tymchenko L.O. Vplyv parametriv protsesu hranuliuvannya na pokaznyky kormiv dlja vidhodivli tvaryn // Mekhanizatsiia ta elektryfikatsiia silskoho hospodarstva. – Vyp. 1 (100). – Hlevakha: NNTs «IMESH». – 2015. – S. 127-136.
11. Bratishko V.V. Produktyvnist ta enerhoiemnist protsesu hranuliuvannya zerno-steblovoi kormosumishi hvyntovym hranuliatorom // Zbirnyk naukovykh prats Kirovohradskoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu / Tekhnika v silskohospodarskomu vyrobnytstvi, haluzeve mashynobuduvannya, avtomatyzatsiia. – Vyp. 28. – Kirovohrad: KNTU, 2015. – S. 138-144.
12. Morozov A. A., Taranchuk V. B. Programirovanie zadach chislennoho analiza v sisteme Mathematica: Ucheb. posobie.- Mn.: BGPU, 2005. – 145 s.
3. Melnikov S., Farbman G. Production of herbal flour granules. – L.: Lenizdat, 1975. – 112 p.
4. Lyulko V. Getting the screw geometry of the rotors of screw compressors using CAD systems [Text] / V. Lyulko // Bulletin of Sumy State University. Series Engineering. – 2005. – №1 (73). – P. 140-150.
5. Ravyaka, M., Kaspiarovich O. Equipment and engineering bases of enterprises for the processing of plastics. – Mn.: BSTU, 2005. – 344 p.
6. Extrusion-Cooking Techniques: Applications, Theory and Sustainability: [edited by Leszek Moscicki]. – Weinheim: WILEY-VCH, 2011. – 234 p.
7. Bratishko V. Spending power to drive the screw pellet feed // Scientific Bulletin of National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine. Series: Power equipment and agribusiness. – Vol. 212/2. – K.: NULES of Ukraine, 2015. – P. 53-58.
8. Adler J., Markova E., Granovsky Y. An experiment in the search for optimal conditions. – M.: Science, 1976 – 276 p.
9. Förster E., Renz B. Methods of correlation and regression analysis: A guide for economists / Trans. from germ. – M.: Finance and Statistics, 1983. – 302 p.
10. Bratishko V., Tymchenko L. The influence of process parameters on the performance of granulation of feed for fattening animals // Mechanization and electrification of agriculture. – Vol. 1 (100). – Hlevakha: NSC "IAEE" – 2015. – P. 127-136.
11. Bratishko V. Performance and power consumption of grain-granulation process stem forage mixture screw granulator // Proceedings of Kirovograd National Technical University / Technology in agriculture, industrial engineering, automation. – Vol. 28. – Kirovograd: KNTU, 2015. – P. 138-144.
12. Morozov A., Taranchuk V. Numerical analysis tasks programming in Mathematica: Training manual. – Mn.: BSPU, 2005. – 145 p.

### References

1. Automation and mechanization of milk production / V. Adamchuk, V. Bratishko, R. Kudrynetsky et al.; editors: V. Adamchuk, A. Fenenko. – Nizhyn: Publisher Lysenko N. – 324 pp.
2. Machinery and equipment for the production of animal feed: [Handbook] / Sharshunov V., Chervyakov A., Bortnik S., Ponomarenko Y. – Mn.: Ekoperspektiva, 2005. – 487 p.