

## DEVELOPMENT AND INVESTIGATION OF RECIPROCATING SCREW WITH FLEXIBLE HELICAL SURFACE

### РОЗРОБКА ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ШНЕКА З ЕЛАСТИЧНОЮ ГВИНТОВОЮ ПОВЕРХНЕЮ

Prof. Ph.D. Eng. Hevko R.B., Eng. Zalutskyi S.Z., Prof. Ph.D. Eng. Tkachenko I.G., Ph.D. Eng. Klendiy O.M.  
 Ternopil National Economical University, Lvivska Str., 11, Ternopil / Ukraine  
 E-mail: faem\_tneu@ukr.net

**Abstract:** The analysis of known reciprocating screw working parts with flexible helical surfaces and screw conveyor operation has been carried out. A new structure of reciprocating screw with flexible helical surface and its manufacturing method have been proposed. The bench has been developed and manufactured for conduction of experimental researches. Experimental findings have been provided considering the definition of influence on the value of flexible sheet deformation, its width and cantilevered cog size as well as comparative results of grain material destruction degree with rigid and flexible reciprocating screw working surfaces.

**Key words:** reciprocating screw, flexible helical surface, unit of flexible sheet, bench, deformation, sheet width, cantilevered cog size.

#### INTRODUCTION

Screw conveyors are widely used for transportation of grain, seed materials, granular mineral fertilizers, that can be seriously damaged during the relocation, which is inadmissible.

The main reasons of bulk solids damages are falling of particles into the gap between rotate reciprocating screw and stationary internal surface of conductor pipe. As a result complete or partial material damages take place and wedging of working part is also possible, which leads to malfunction and causes increased energy consumption.

Changes of gaps between circumference of reciprocating screw and pipe surface, application of different external edging shape of helical surfaces considering geometrical and rheological characteristics of bulk solids cannot solve the problem completely.

The following papers [1, 2, 3, 4, 6, 7, 8, 10] are dedicated to solving such problems as development of original design for helical working parts and their rational characteristics and operational modes. However, such developments do not solve the problem completely, because existing reciprocating screw designs and production methods are labour-intensive and working parts are specified as those having low reliability and maintainability.

#### MATERIAL AND METHOD

The objective of this research is to create new reciprocating screw design with changeable flexible helical surface, develop its production methods and experimental benches for investigation purposes. The design of reciprocating screw with flexible helical surface and design styles of flexible units in the form of sheets are shown in fig. 1. It contains central shaft 1, where bearing tape helix 2 with operating flexible spiral on its edge 3 is mounted. Operating flexible spiral 3 is fixed on the bearing tape helix by means of sectional screw sheets 4, and bolt connection with semicircular heads 5 and nuts 6 with spring washers.

**Резюме:** Проведено аналіз відомих конструкцій робочих органів шнеків з еластичними поверхнями та процесів роботи гвинтових конвеєрів. Запропоновано нову конструкцію шнека з еластичною гвинтовою поверхнею та спосіб його виготовлення. Розроблено та виготовлено стенд для проведення експериментальних досліджень. Наведено результати експериментальних досліджень з визначення впливу на величину деформації секції еластичної пластини її ширини та величини консольного виступу, а також порівняльні результати ступеня пошкодження зернового матеріалу шнеком із жорсткою та еластичною робочими поверхнями.

**Ключові слова:** шнек, еластична гвинтова поверхня, секція еластичної пластини, стенд, деформація, ширина пластини, величина консольного виступу.

#### ПЕРЕДУМОВА

Шнекові конвеєри знайшли широке застосування для транспортування зернових, насінневих матеріалів, гранульованих мінеральних добрив, які при переміщенні зазнають значних пошкоджень, що є недопустимим.

Основними причинами травмування сипких матеріалів є попадання їх частинок у зазор між обертовим шнеком і нерухомою внутрішньою поверхнею направляючої труби. Внаслідок цього відбувається повне або часткове пошкодження матеріалів, а також можливе заклинювання робочого органу, що призводить до його поломок та підвищення енерговитрат.

Зміна зазорів між периферією шнека та поверхнею труби, застосування різних профілів зовнішніх кромek гвинтових поверхонь в залежності від геометричних та реологічних параметрів сипкого матеріалу не в повній мірі може вирішити дану проблему.

Вирішенню даних питань, а саме розробці оригінальних конструкцій гвинтових робочих органів та вибору їх раціональних параметрів і режимів функціонування присвячені праці [1, 2, 3, 4, 5, 7, 8, 10]. Однак, такі розробки не в повній мірі вирішують дану проблему, оскільки відомі конструкції шнеків і методи їх виготовлення є трудомісткими, а робочі органи характеризуються низькою надійністю та ремонтоздатністю.

#### МАТЕРІАЛ І МЕТОДИКА

Метою даного дослідження є створення нової конструкції шнека зі змінною еластичною гвинтовою поверхнею, розробка способу його виготовлення та експериментальних стендів для проведення досліджень. Конструкція шнека з еластичною гвинтовою поверхнею, а також варіанти виконання еластичних секцій у вигляді пластин зображено на рис. 1. Він містить центральний вал 1, на якому встановлена несуча смугова гвинтова спіраль 2, по периферії якої закріплена робоча еластична спіраль 3. На несучій смуговій спіралі за допомогою секційних гвинтових пластин 4, а також болтових з'єднань з напівкруглими головками 5 та гайок 6 з пружинними

Working flexible spiral can be integrated (fig. 1 a, b, c), or consist of separate units (fig. 1 e, f, g). The units of working flexible spiral are fixed onto bearing screw spiral through two gaps at least, and circumferential surface of working flexible spiral can come in the form of cut sheets with different width (fig. 1 e, f, g) according to geometrical and rheological characteristics of material transported.

шайбами закріплена робоча еластична спіраль 3.

Робоча еластична спіраль може бути виконана як суцільною (рис. 1 а, б, с), так із окремих секцій (рис. 1 е, ф, г). Секції робочої еластичної спіралі кріпляться до несучої гвинтової спіралі щонайменше через два отвори, а периферійна поверхня робочої еластичної спіралі може бути виконана у вигляді розрізних пластин різної ширини (рис. 1 е, ф, г) в залежності від геометричних та реологічних параметрів транспортованого матеріалу.

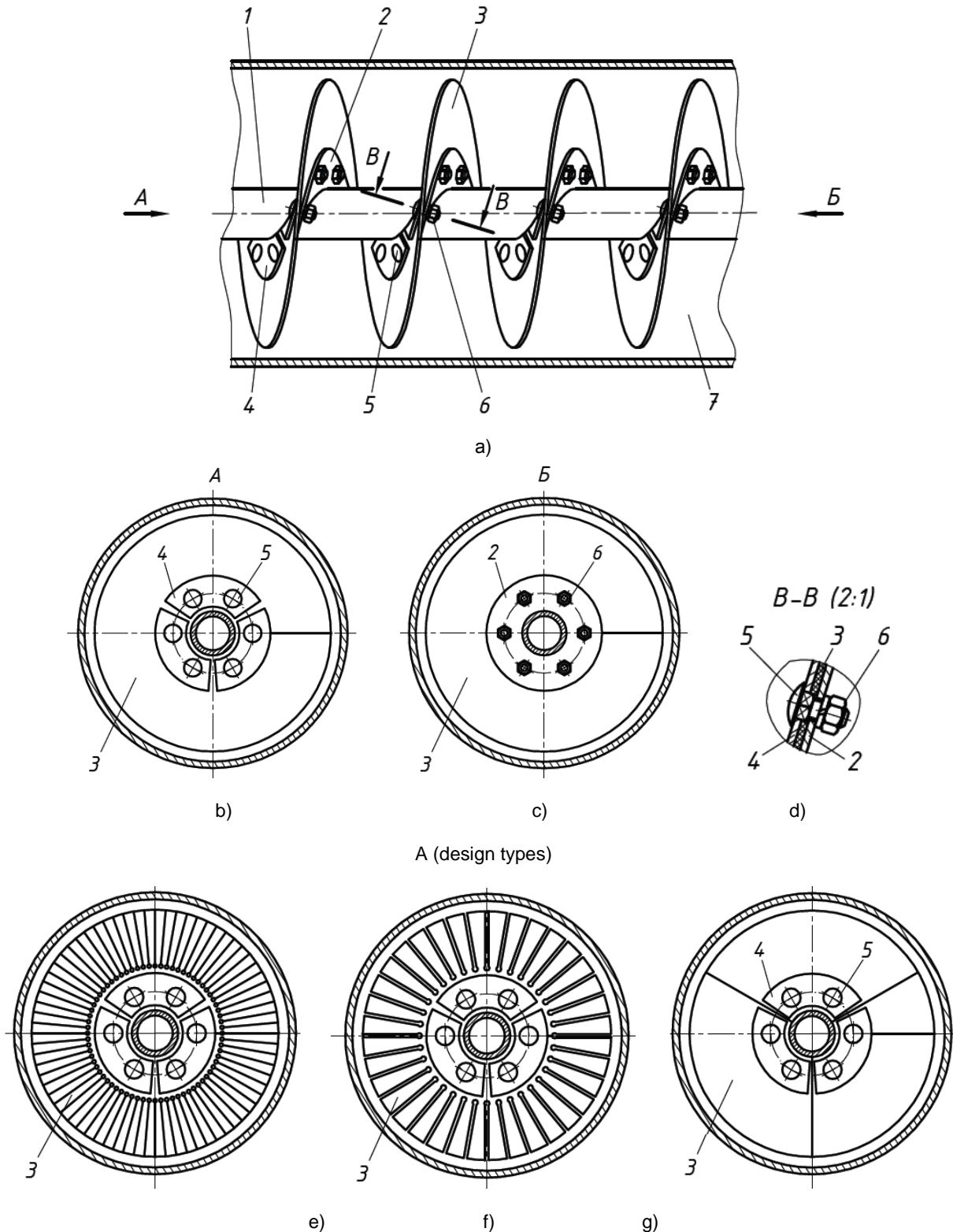


Fig. 1 – Reciprocating screw with flexible helical surface

During the transportation of agricultural bulk solids in guide pipe 7 they interact with working flexible helical surface. In case of jamming, for instance, grains between surface of the pipe and working flexible helical surface cut sheets are sagged, thus preventing grain damage. The width and rigidity of working flexible helical surface are chosen according to physical and chemical properties of the transported material.

The production method of this working part [5] is shown in fig. 2. The stripe of rectangular crossing is previously coiled on arbor on rib in faggot (fig. 2 a). Then the faggot is pressed on the arbor and according to diameter at the edges of the faggot gaps (fig. 2 b). After that the faggot is mounted on shaft and stretches spiral to the back step until the complete contact of internal spiral with the shaft, then it is welded onto the latter. On the next stage working spiral or its units are fixed to gaps of bearing spiral (fig.1d).

В процесі транспортування сипких матеріалів сільськогосподарського виробництва в направляючій трубі 7 вони взаємодіють з робочою еластичною гвинтовою поверхнею. У випадку защемлення, наприклад, зернини між поверхнею направляючої труби та робочою еластичною гвинтовою поверхнею розрізні пластини прогинаються, що виключає пошкодження зернини. Ширина та жорсткість пластин робочої еластичної гвинтової поверхні вибирають в залежності від фізико-механічних властивостей транспортованого матеріалу.

Спосіб виготовлення даного робочого органу [5] зображено на рис. 2. Попередньо смуга прямокутного перетину навивається на оправку на ребро в пакет (рис. 2 а). Далі пакет стискається на оправці та рівномірно по діаметру по периферії пакету виконують отвори (рис.2 б). Після цього пакет встановлюють на вал і розтягують спіраль на заданий крок до повного контакту внутрішньої спіралі з валом, після чого її приварюють до останнього. В подальшому до отворів даної несучої спіралі кріплять робочу еластичну спіраль або її секції (рис. 1 d).



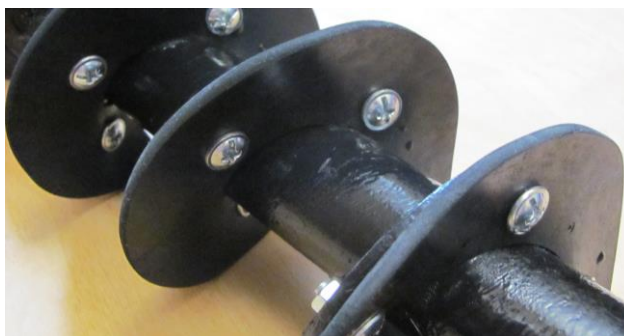
a)



b)



c)



d)

**Fig. 2** – Production technique of reciprocating screw design with flexible helical surface:  
a – metal stripe is coiled on the rib in faggot; b – evenly made gaps of the diameter of the edges of coiled metal stripe on the rib in faggot; c – gauged spiral is set on the shaft; d - reciprocating screw is fixed with flexible spiral

For definition of deformation value “ $\Delta$ ” of free edge of flexible sheet unit (fig. 1 e, f, g) and its width “ $B$ ” and value of cantilevered cog “ $h$ ” experimental bench has been developed and manufactured. During the loading process of flexible sheet unit its free edge was deflected and the deformation value was noticed according to the bulk of measuring loads. Experimental studies have been conducted for the material of flexible sheet “polyurethane PU-60” with thickness of 2,5 mm. The value of cantilevered cog of flexible sheet was discretely set with distance of  $h = 25; 20; 15; 10$  mm, with discrete values of these sheet widths of  $B = 25; 20; 15; 10; 5$  mm.

Для встановлення впливу на величину деформації “ $\Delta$ ” вільного кінця секції еластичної пластини (рис. 1 e, f, g) її ширини “ $B$ ” та величини консольного виступу “ $h$ ” розроблено та виготовлено експериментальний стенд. В процесі навантаження секції еластичної пластини її вільний кінець прогинався, а величина даної деформації фіксувалась в залежності від маси мірних вантажів. Експериментальні дослідження проводились для матеріалу еластичної пластини “поліуретан PU-60” з товщиною 2,5 мм. Величину консольного виступу еластичної пластини дискретно встановлювали з відстанню:  $h = 25; 20; 15; 10$  мм, при дискретних величинах ширини таких пластин:  $B = 25; 20; 15; 10; 5$  мм.



## RESULTS AND DISCUSSION

Fig.3 illustrates the findings of experimental research for cantilevered fixed flexible sheet deformation respectively to its loading value.

## РЕЗУЛЬТАТИ

На рис. 3 представлено результати експериментальних досліджень деформації консольно закріпленої еластичної пластини від величини її навантаження.

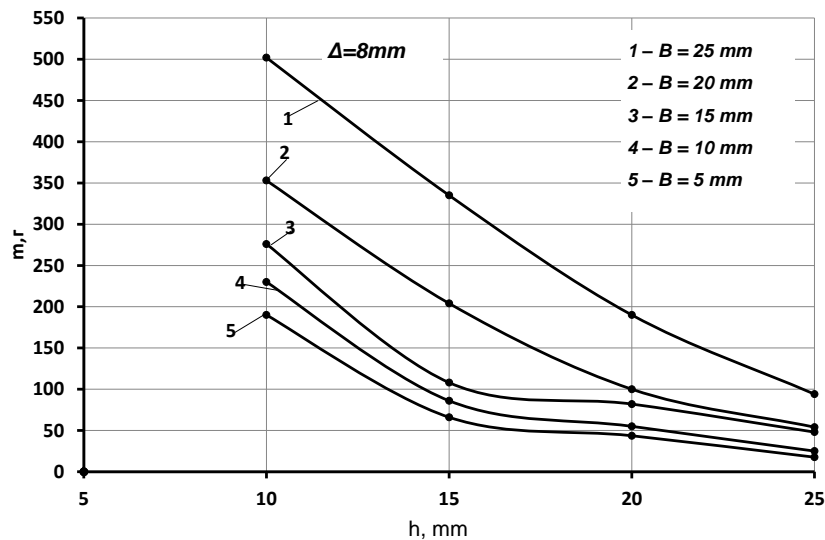


Fig. 3 – Characteristic curve for influence of measuring loads mass  $m_g$ , the value of cantilevered cog of flexible blade  $h$  respectively to the deformation of sheet's free edge in  $\Delta = 8$  mm under  $B$  variables

The experimental research for evaluation of the seed material damage degree the bench [5] has been developed, as shown in fig. 4.

It consists of cradle, featuring angular position regulator, and the screw conveyor mounted on it. Reciprocating screw working part with flexible helical surface is placed in the guiding pipe. The hopper is mounted on the loading side with the opening in its off-load zone for conveying the material into the container. The working part gear is driven by the electric motor. Frequency converter (Altivar 71) with Power Suite v.2.5.0. software were employed to start the engine and control its rotational speed. Altivar 71 system was wired to the network and computer.

Для проведення експериментальних досліджень з визначення ступеня пошкодження насінневого матеріалу розроблено стенд [6], загальний вигляд якого зображено на рис. 4.

Він складається із рами, на якій, з можливістю зміни кутового положення, розміщений шнековий транспортер. В направляючій трубі транспортера розташований шнековий робочий орган з еластичною гвинтовою поверхнею. Зі сторони завантаження матеріалу встановлений бункер, а в зоні його вивантаження – вікно, з якого транспортований матеріал переводився в тару. Привід робочого органу здійснюється від електродвигуна. Для пуску двигуна та регулювання частоти його обертання використовували перетворювач частоти його обертання використовували перетворювач частоти (Altivar 71) з програмним забезпеченням Power Suite v.2.5.0. Система Altivar 71 приєднана до мережі та до комп'ютера.



Fig. 4 – Bench for research of reciprocating screw conveyer with flexible working part

The percentage of damage has been evaluated prior to the experimental research [2]. Then grain was transported in the conveyer for several times at set angular position and rotational rate. After that the percentage of material damage was evaluated in the same manner. The difference in percentage determined the degree of material damage directly during its transportation at set parameters of working parts for specific distance, which equals the reciprocating screw length multiplied by the number of material passings on the conveyer.

The findings of experimental research during the transportation of grain material with rigid reciprocating screw (solid line) and with flexible surface reciprocating screw (dashed line) at different gaps between reciprocating screw and guide pipe ( $\delta = 2; 6 \text{ mm}$ ), angles of obliquity of reciprocating screw  $\beta$  and rotational rate  $n$  are illustrated in fig. 5.

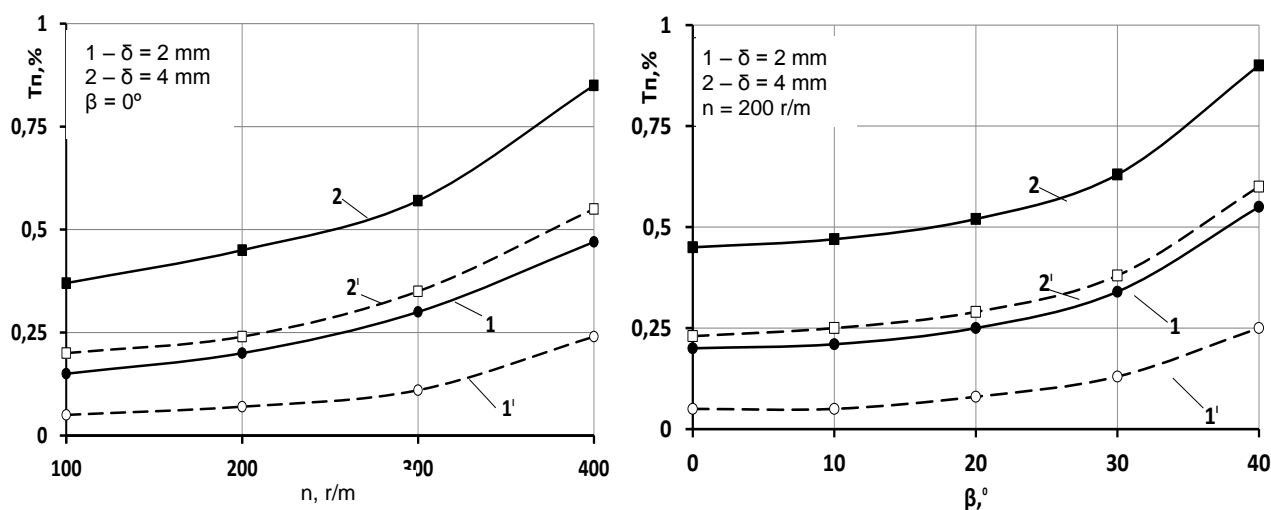


Fig. 5 – Graphic depending of grain material damage  $T_n, \%$  with reciprocating screw (solid line) and with flexible surface reciprocating screw (dashed line) at different gaps  $\delta$  between screw and the guide pipe angles  $\beta$  and screw rotation speed  $n$

## CONCLUSIONS

Based on the patent search analysis of screw working parts design and review of literary sources concerning definition of their operation modes, a new design and production method of reciprocating screw with flexible helical surface have been proposed.

The bench for conduction of experimental researches has been developed and produced.

Experimental research findings concerning the definition of influence of width, cantilevered cog size and measuring load mass on the value of flexible sheet deformation.

From characteristic curve analysis as shown in fig. 3, it can be concluded that for the value of cantilevered cog of flexible blade  $h = 10 \text{ mm}$  increasing its width within the range from  $B = 5 \text{ mm}$  to  $B = 25 \text{ mm}$  for providing deformation value of free edge of flexible sheet  $\Delta = 8 \text{ mm}$  the bulk of load must be increased by 2,8 times from 180 to 500 g, for  $h = 15 \text{ mm}$  in 4,8 times, for  $h = 20 \text{ mm}$  in 4,2 times, for  $h = 25 \text{ mm}$  in 4,3 times.

It must be admitted that during the decrease of flexible sheet width  $B$  characteristic curve of cantilevered cog size  $h$  of flexible sheet from bulk of mensuring loads  $mg$  are changed from linear to curvilinear.

Перед експериментальними дослідженнями попередньо визначався наявний відсоток його пошкодження [3]. Далі зерно кілька разів транспортували в конвеєрі при встановленому куті його нахилу та частоті обертання. Після цього аналогічним способом визначали відсоток пошкодження матеріалу. Різниця у відсотковому вимірі характеризувала ступінь пошкодження матеріалу безпосередньо при його транспортуванні за даних параметрів робочого органу на визначену відстань, що визначається добутком довжини шнека на кількість проходжень матеріалу в конвеєрі.

Результати порівняльних експериментальних досліджень при транспортуванні зернового матеріалу жорстким шнеком (суцільна лінія) та шнеком з еластичною поверхнею (штрихова лінія) при різних зазорах між шнеком і направляючою трубою ( $\delta = 2; 6 \text{ mm}$ ), кутах нахилу шнека  $\beta$  та частотою його обертання  $n$  представлено на рис.5.

## ВИСНОВКИ

На основі аналізу проведеного патентного пошуку конструкцій гвинтових робочих органів та літературних джерел з визначення режимів їх функціонування запропоновано нову конструкцію шнека з еластичною гвинтовою поверхнею та спосіб його виготовлення.

Розроблено та виготовлено стенд для проведення експериментальних досліджень.

Наведено результати експериментальних досліджень з визначення впливу на величину деформації вільного кінця секції еластичної пластини її ширини, величини консольного виступу та маси мірних вантажів.

З аналізу графічних залежностей, які зображено на рис. 3 можна зробити висновок, що для величини консольного виступу еластичної пластини  $h = 10 \text{ mm}$  збільшення її ширини в межах від  $B = 5 \text{ mm}$  до  $B = 25 \text{ mm}$  для забезпечення величини деформації вільного кінця еластичної пластини  $\Delta = 8 \text{ mm}$  маса вантажу повинна зрости у 2,8 рази від 180 до 500 гр, для  $h = 15 \text{ mm}$  у 4,8 рази, для  $h = 20 \text{ mm}$  у 4,2 рази, для  $h = 25 \text{ mm}$  у 4,3 рази.

Слід зазначити, що при зменшенні ширини еластичної пластини  $B$  характер графічних залежностей величини консольного виступу  $h$  еластичної пластини від маси мірних вантажів  $m_{ер}$  змінюється від лінійного до криволінійного.

Characteristic curve analysis depicted in fig.5 has shown that application of flexible covers on the reciprocating screw surface in comparison with rigid reciprocating screw provides reduction of grain damage degree, which with rotational rate of working part 100...400 r/m is within the range of 1,55...3,0 times and for reciprocating screw working member angles to the pitch of 0...40° is set within 1,63...4,0 times.

Obtained findings can be applied in the development of different types of reciprocating screw working parts with flexible working surfaces taking into account rheological properties of bulk agricultural material and admissible effort value which leads to its damage.

## REFERENCES

- [1]. Boyko A.I., Kulikiskiy V.L. (2011) - Investigation of contact grain interaction in gap "coil-jacket" of screw feeders grain cleaning machines // Scientific Bulletin of NUBiP.- K.: Red species. Department NUBiP 201.- Vyp..166: Engineering and Energy AIC - P.1- pp. 267-274.
- [2]. Hevko R.B., Vitroviy A.O., Pick A.I. (2012) - Increase of flexible screw conveyors engineering level: monograph. Ternopil: Aston, 204 p.
- [3]. Hevko R.B., Dzyura V.O., Romanovsky R.M. (2014) – Mathematical model of the pneumatic-screw conveyor mechanism operation, INMATEH: Agricultural engineering, vol. 44, no. 3, pp. 103-110.
- [4]. Hevko R.B., Zalutskiy S.Z. (2015) - Development of reciprocating screw with flexible helical surface and findings of its experimental research / Journal of Engineering Academy of Ukraine. – K., 2015. – Vol 1. – pp. 241–246.
- [5]. Hevko R.B., Zalutskiy S.Z., Vitroviy A.O. (2013) - Bench for analyzing agricultural material damage degree. Pat. №81469, IPC G01N, A01C, № u201302116; Bul. № 2, Ukraine, p. 2.
- [6]. Hevko R.B., Klendiy O.M. (2013) - Methodology for investigation of reciprocating screw conveyor with safety device. // Agricultural engineering: collection of research papers. – Vol 24. – Lutsk: Red.- views. Відділ NTU Department of Lutsk, pp. 67 – 75.
- [7]. Hevko R.B., Klendiy O.M. (2014) - The investigation of the process of a screw the conveyor safety device actuation, INMATEH: Agricultural engineering, vol. 42, no.1, pp. 55-60.
- [8]. Hevko R.B., Pylypets M.I., Zalutskiy S.Z. (2013) – Production method of reciprocating screw with flexible helical surface. Pat. №80414, IPC B21D 7/00, № u201214308; Bul. № 10, Ukraine, p. 2.
- [9]. Klendiy M.B. (2005) - Development and parameters validation of paddle conveyor-mixer design. Scientific Bulletin of National Agricultural University. – Vol. 92. – P. 2. – pp. 533-540;
- [10]. Vitroviy A.O. (1999) - Research findings of grain damage with flexible screw conveyor // Mechanization of agricultural production: Coll. Science. pr. Nats.ahr.univ. K.: In-t NAU, -Vol.6. -pp. 34-36.

Аналіз графічних залежностей, які зображені на рис. 5 показав, що застосування еластичних накладок на поверхні шнека у порівнянні з жорстким шнеком забезпечує зменшення ступеня пошкодження зернового матеріалу, яке для частоти обертання шнекового робочого органу 100...400 об/хв знаходиться в межах 1,55...3,0 рази, а для кутів нахилу шнекового робочого органу до горизонту 0...40° знаходиться в межах 1,63...4,0 рази.

Отримані результати можуть бути застосовані при проектуванні різних типів шнекових робочих органів з еластичними робочими поверхнями виходячи з реологічних властивостей транспортованих сипких сільськогосподарських матеріалів та допустимих значень зусиль, які призводять до їх руйнування.

## БІБЛІОГРАФІЯ

- [1]. Бойко А.І., Куликівський В.Л. (2011) - Дослідження контактної взаємодії зерна в зазорі "виток-кожук" шнекових живильників зерноочисних машин // Науковий вісник НУБіПУ.- К.: Ред.-вид. Відділ НУБіПУ, 201.- Вип.166: Техніка та енергетика АПК.- ч.1- С.267-274.
- [2]. Вітровий А.О. (1999) - Результати досліджень пошкодження зерна гнучким гвинтовим конвеєром //Механізація сільськогосподарського виробництва: 36. наук. пр. Нац.агр.ун-ту. -К.: В-во НАУ, -Т.6. -С. 34-36.
- [3]. Гевко Р.Б., Вітровий А.О., Пік А.І. (2012) - Підвищення технічного рівня гнучких гвинтових конвеєрів: монографія. Тернопіль: Aston, 204 с.
- [4]. Hevko R.B., Dzyura V.O., Romanovsky R.M. (2014) – Mathematical model of the pneumatic-screw conveyor mechanism operation, INMATEH: Agricultural engineering, vol. 44, no. 3, pg. 103-110.
- [5]. Гевко Р.Б., С.З. Залуцький (2015) - Розробка конструкції шнека з еластичною гвинтовою поверхнею та результати її експериментальних досліджень / Вісник інженерної академії України. – К., 2015. – № 1. – С. 241–246.
- [6]. Гевко Р.Б., Залуцький С.З., Вітровий А.О. (2013) - Стенд для дослідження ступеня пошкодження сільськогосподарських матеріалів. Пат. №81469, МПК G01N, A01C, № u201302116; Бюл. № 2, Україна, С. 2.
- [7]. Гевко Р.Б., Клендій О.М. (2013) - Методика проведення досліджень шнекового транспортера із запобіжним пристроєм // Сільськогосподарські машини: Збірник наукових статей. – Випуск 24. – Луцьк: Ред.-вид. Відділ Луцького НТУ, С. 67 – 75.
- [8]. Hevko R.B., Klendiy O.M. (2014) - The investigation of the process of a screw the conveyor safety device actuation, INMATEH: Agricultural engineering, vol. 42, no.1, pg. 55-60.
- [9]. Гевко Р.Б., Пилипець М.І., Залуцький С.З. (2013) - Спосіб виготовлення шнека з еластичною гвинтовою поверхнею. Пат. №80414, МПК B21D 7/00, № u201214308; Бюл. № 10, Україна, С. 2.
- [10]. Клендій М.Б. (2005) - Розробка конструкції та обґрунтування параметрів лопаткового транспортера-змішувача. Науковий вісник Національного аграрного університету. – Вип. 92. – Ч. 2. – С. 533-540.