

## ANALYSIS OF WORK PROCESS OF SEEDING FURROWS EMBEDDING BY A CONICAL ROLLER

### АНАЛІЗ РОБОЧОГО ПРОЦЕСУ ЗАГОРТАННЯ ПОСІВНИХ БОРОЗЕН КОНІЧНИМ КОТКОМ

Ph.D.Eng. Shvedik M.

Lutsk National Technical University / Ukraine

Tel: +38(0332)74-61-32; Fax: +38(0332)74-61-03; E-mail: lab-amb@ukr.net

**Abstract:** In the article the results of analysis of work process of seeding furrows embedding and compaction of soil by the conical roller which is set at the angles  $\alpha$  to direction of furrow, and also analytical expressions for definition of resistance force of the roller by moving and lateral force which provides a self-cleaning of soil, which sticks to its surface, are given.

**Keywords:** conical roller, furrow, shift, soil, compaction, force, friction, self-cleaning

#### INTRODUCTION

One of the important factors that affect field seed germination and simultaneous emergence of seedlings is a reliable contact with the soil. That end, in soil is formed at the same depth a seeding furrow with compactions bottom to which seeds are sown and immediately embedded by ground. However, it is greatly loosened that does not provide a reliable seed contact with the soil. The use of rollers for packing of crops gives positive results, but in moist soils they are sticking greatly. Herewith the special devices installed to clean the roller surface are ineffective.

Therefore there is a need to develop highly efficient technical means for seed embedding and to improve seeding methods, which would provide herewith a high field seed germination and simultaneous emergence of seedlings.

Analysis of the literature dedicated to development of highly efficient means for seed embedding and for improve seeding methods, for enhance the field seed germination and simultaneous emergence of seedlings shows that they are sufficiently studied [1,2,3,4,5,6,8]. Based on research by the authors developed and proposed to agricultural production an appropriate recommendation, in particular, to provide the required density of stems is proposed to increase the seeding rate by factor of 1.5 ... 2, and to prevent the breakage of the root system after seeding – use the packing of crops.

However, the analysis of work process of seeding furrows embedding by the conical roller and elements of the theory of their self-cleaning of soil, which sticks, in the literature are not given.

#### MATERIAL AND METHOD

One of the reserves of increase of spiked cereals yield is to create optimal conditions for seed germination and for subsequent plant growth and development and therefore the formation of crop. However, this environment, for many reasons, is not possible to create always. Particularly acute this problem appears after a harvesting of late crops, when it is necessary to conduct the seeding, and the soil after plowing is not yet settled and it cannot sow the seed in fresh tilled soil because of breakage of the root system. So after plowing must be hold the necessary time of full soil self-compaction, which runs for 3 ... 5 weeks and this leads to delaying seeding. To solve this problem, we have developed a new way of seeding of spiked cereals seed in fresh tilled soil with

**Резюме:** Наведено результати аналізу робочого процесу засипання посівних борозенок і ущільнення ґрунту конічним котком, установленим під кутом  $\alpha$  до напрямку борозенки, а також аналітичні вирази для визначення сили опору котка при переміщенні та бічної сили, яка забезпечує самоочищення від ґрунту, що прилипає до його поверхні.

**Ключові слова:** конічний коток, борозенка, зсув, ґрунт, ущільнення, сила, тертя, самоочищення.

#### ПЕРЕДУМОВА

Одним з важливих факторів, що впливає на польову схожість насіння і появу дружніх сходів, є надійний його контакт з ґрунтом. З цією метою в ґрунті формують на однаковій глибині посівну борозну з ущільненим дном, на яке висівають насіння і відразу ж його загортають ґрунтом. Однак він є сильно розпушеним, що не забезпечує надійного контакту насіння з ґрунтом. Застосування котків для прикочування посівів дає позитивний результат, однак на зволжених ґрунтах вони сильно залипають. При цьому спеціальні пристрої, що встановлюються для очищення поверхні котка, малоефективні.

А тому виникає необхідність в розробці високоефективних технічних засобів для загортання насіння та в удосконаленні способів сівби, які забезпечили б при цьому високу польову схожість насіння та появу дружніх сходів.

Аналіз літературних джерел, приурочених питанням розробки високоефективних технічних засобів для загортання насіння та удосконалення способів сівби, підвищенню польової схожості насіння та появи дружніх сходів показує, що вони є достатньо вивчені [1,2,3,4,5,6,8]. На основі результатів досліджень авторами розроблені і запропоновані сільськогосподарському виробництву відповідні рекомендації, зокрема з метою забезпечення необхідної густоти стеблостою пропонується збільшувати норму висіву в 1,5...2 рази, а щоб не допустити обриву кореневої системи після сівби - застосовувати прикочування посівів.

Однак аналіз робочого процесу загортання посівних борозен конічними котками, а також елементи теорії їх самоочищення від налиплилого ґрунту, в літературних джерелах не наводиться.

#### МАТЕРІАЛ І МЕТОДИКА

Одним з резервів підвищення врожайності зернових колосових культур є створення оптимальних умов для проростання насіння та наступного росту і розвитку рослин і, відповідно, формування врожаю. Однак такі умови, в силу багатьох причин, не завжди вдається створити. Особлива гостро ця проблема проявляється після збирання пізніх культур, коли необхідно проводити сівбу, а ґрунт після оранки ще не осів і висівають насіння у свіжозораний ґрунт не можна, оскільки відбувається обрив кореневої системи. Тому після оранки обов'язково витримують необхідний час для повного самоосідання ґрунту, який проходить протягом 3...5 тижнів, а це призводить до затягування строків сівби. Для вирішення цієї проблеми нами розроблено новий спосіб висіву насіння зернових колосових культур у свіжозораний

stabilization of water-air regime in the topsoil during phase flowing-trough period from seed germination to the tillage and suggest tillage and sowing section with packing of crops [7]. Structural and technological scheme of this section is shown in Fig. 1.

грунт зі стабілізацією водно-повітряного режиму в кореновому шарі на період протікання фази від проростання насіння до настання кущіння, та запропоновано ґрунтообробно-посівну секцію з прикочуванням посівів [7]. Конструктивно-технологічна схема даної секції наведена на рис.1.

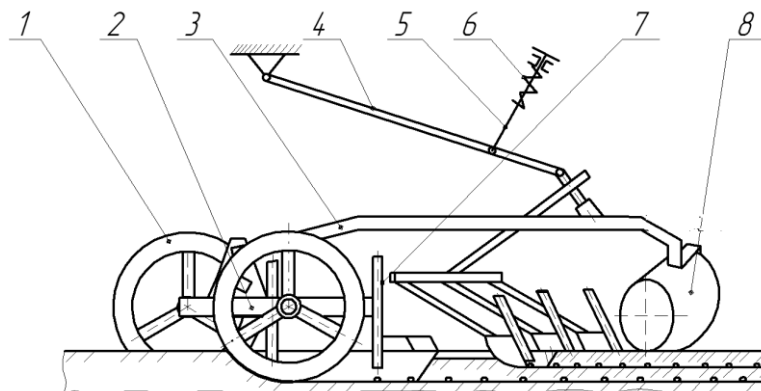


Fig. 1 - Structural and technological scheme of tillage and sowing section for seeding seeds in fresh tilled soil with packing of crops  
1 – ribbed roller ; 2 – frame ; 3 – strip ; 4 – drawbar ; 5 – push rod ; 6 – spring ; 7 – fertilizer funnel ; 8 – conical roller

Its main working body is annular soil compactor furrow-making device. It consists of a rectangular frame 2, in which there are three ribbed rollers 1. Frame 3 is connected to the strip 3, which by means of radial drawbar 4 and push rod 5 with spring 6 is connected to the frame of sowing unit. Back of frame 2 in the center of each ribbed roller 1 is set a fertilizer funnels 7, coverers, shoe openers and conical roller 8, which is set at the angle  $\alpha$  to the direction of furrow. It provides high-quality seeding furrows embedding and soil compaction.

Основним її робочим органом є кільцевидний ущільнювач-борозноутворювач. Він складається з прямокутної рамки 2, в якій встановлено три кільчатих котки 1. Рамка з'єднується з штабом 3, яка за допомогою радіального повідка 4 і натискної штанги 5 з пружиною 6 з'єднується з рамою посівного агрегату. Ззаду рамки 2 по центру кожного кільчатого котка 1 встановлено тукопроводи 7, загортачі, килевидні сошники та конічний коток 8, установлений під кутом  $\alpha$  до напрямку борозенки. Він забезпечує якісне засипання посівних борозенок і ущільнення ґрунту.

**RESULTS**

Analysis of work process of such roller shows that it should take the form of a truncated cone and be directed by a smaller base of cone to direction of motion. For interpretation of the interaction of roller with soil and swath we consider the scheme of work of conical roller in the vertical and horizontal planes, Fig.2 a,b.

**РЕЗУЛЬТАТИ**

Аналіз робочого процесу такого котка показує, що він повинен мати форму зрізаного конуса і бути спрямованим меншою основою до напрямку руху. Для вивчення взаємодії котка з ґрунтом і валком розглянемо схему роботи конічного котка у вертикальній і горизонтальній площинах, рис.2a,b.

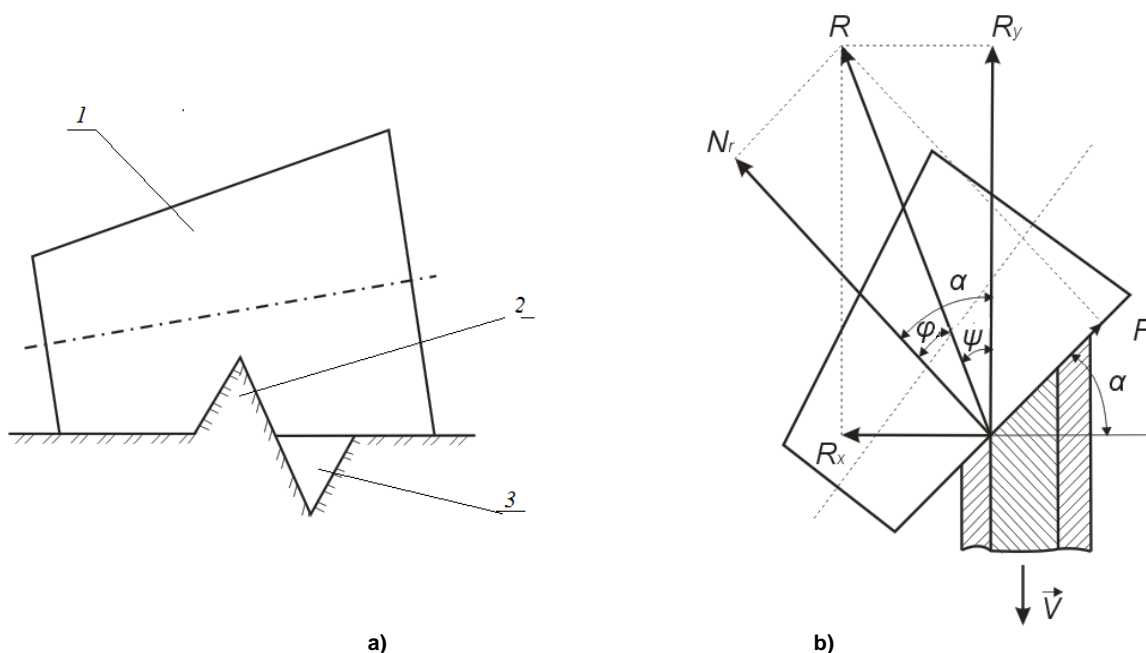
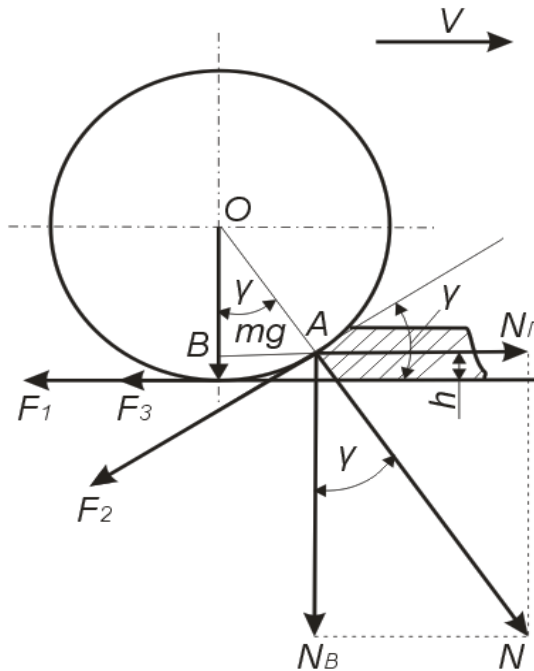


Fig. 2 - Scheme of the forces acting on the conical roller  
1 – roller ; 2 – swath ; 3 – furrow



c)  
**Fig. 2 - Scheme of the forces acting on the conical roller**  
 1 – roller ; 2 – swath; 3 – furrow

From the scheme (Fig.2c) can be seen that gravity force of roller  $mg$  (here  $m$  - weight of roller,  $g$  – gravitational acceleration of the body) cause the frictional force of the roller against the soil:

$$F_1 = fmg \tag{1}$$

where  $f$  – coefficient of friction of the roller against the soil.

This force is directed opposite to the direction of rollers rolling.

From the scheme is also seen that at point A of contact of rollers rim with swath appears a normal force  $N$ , which declined from the vertical at the angle  $\gamma$  and it cause at this point the frictional force:

$$F_2 = f \cdot N \tag{2}$$

We expand the normal force  $N$  on the components - horizontal:

$$N_\Gamma = N \cdot \sin\gamma \tag{3}$$

and vertical:

$$N_B = N \cdot \cos\gamma \tag{4}$$

Analysis of the forces components shows that the horizontal force moves the swath in direction of the velocity vector  $v$ , and the vertical force - compact the swath and cause the friction force:

$$F_3 = f_1 \cdot N_B \tag{5}$$

which is directed opposite to direction of the velocity vector  $v$  (here  $f_1$  – coefficient of friction of the swath against the soil surface).

From the scheme on Fig.2c can be written condition of swath moving by the roller:

З наведеної схеми (рис. 2с) видно, що сила ваги котка  $mg$  (тут  $m$  – маса котка,  $g$  – прискорення вільного падіння тіла) викликає силу тертя котка об ґрунт:

де  $f$  - коефіцієнт тертя котка об ґрунт.

Ця сила спрямована протилежно напрямку перекочування котка.

З наведеної схеми також видно, що в точці A дотику обода котка з валком виникає нормальна сила  $N$ , яка відхилена від вертикалі на деякий кут  $\gamma$  і вона викликає в цій точці силу тертя:

Розкладемо нормальну силу  $N$  на складові – горизонтальну:

і вертикальну:

Аналіз складових сил показує, що горизонтальна сила переміщує валок в напрямку вектора швидкості  $v$ , а вертикальна – ущільнює валок і викликає силу тертя:

яка направлена протилежно напрямку вектора швидкості  $v$  (тут  $f_1$  - коефіцієнт тертя валка об поверхню ґрунту).

З наведеної на рис. 2с схеми сил можна записати умову переміщення валка котком:

$$F_1 + F_2 \cdot \cos\gamma + F_3 < N_{\Gamma}.$$

Using expressions (1), (2), (3), (4) and (5) the last inequality can be written in this form:

$$fmg + fN \cdot \cos\gamma + f_1 N \cdot \cos\gamma < N \cdot \sin\gamma. \quad (6)$$

But  $mg = N_B + F_2 \cdot \sin\gamma$  and taking into account the expressions (2) and (4), this expression has the form:

$$mg = N(\cos\gamma + f \cdot \sin\gamma) \quad (7)$$

where we find that

$$N = \frac{mg}{\cos\gamma + f \cdot \sin\gamma}. \quad (8)$$

In terms of ensuring of swath shift in seeding furrow and of efficient self-cleaning rollers surface from stuck-on soil it is of great interest the projection of the normal force  $N$  in the horizontal plane  $N_{\Gamma}$  (Fig. 2b). From the above scheme is seen that this force causes the lateral force  $F$ , which shifts the swath in the furrow and completely covering the seed with soil. Thus the lateral force provides the rollers self-cleaning from the soil that sticks to the surface. Its value can be determined by the formula  $F = f \cdot N_{\Gamma}$ , which with account of expressions (3) and (8) takes on the following form:

$$F = f \cdot N \cdot \sin\gamma = f \cdot \sin\gamma \frac{mg}{\cos\gamma + f \cdot \sin\gamma}. \quad (9)$$

To determine the draught of the roller we turn to the scheme of forces (Fig. 2b), which act from the direction of swath on the roller in a horizontal plane. From the above scheme is seen that the resistance force of the swath is determined by the following formula:

$$Q = R_Y + F \cdot \sin\alpha, \quad (10)$$

where  $R_Y$  - projection of the resultant resistance force  $R$  of the swath along the axis  $OY$ :

$$R_Y = R \cdot \cos\psi = R \cdot \cos(\alpha - \varphi) \quad (11)$$

here  $\psi$  - the angle between the resultant resistance force  $R$  of the swath and its constituent  $R_Y$ ;

$\varphi$  - angle of deflection of resultant resistance force  $R$  of swath from the normal force  $N_{\Gamma}$  which is equal to the rollers angle of friction against the swath;

$\alpha$  - angle between the normal force  $N_{\Gamma}$  and direction of movement of the roller.

Given that  $R = \frac{N_{\Gamma}}{\cos\varphi}$ , and the value of the force  $N_{\Gamma}$  is defined by the formula (3), expression (11) can be written as  $R_Y = \frac{N \cdot \sin\gamma}{\cos\varphi} \cdot \cos(\alpha - \varphi)$ , which in view of expressions (8) takes the form:

$$R_Y = \frac{mg \cdot \sin\gamma}{\cos\gamma + f \cdot \sin\gamma} \cdot \frac{\cos(\alpha - \varphi)}{\cos\varphi} \quad (12)$$

З урахуванням виразів (1), (2), (3), (4) і (5) останню нерівність можна записати в такому вигляді:

Але  $mg = N_B + F_2 \cdot \sin\gamma$  і з врахуванням виразів (2) і (4) цей вираз матиме вигляд:

звідки знайдемо, що

З точки зору забезпечення зсування валка в посівну борозенку і ефективного самоочищення поверхні котка від прилиплої ґрунту, значний інтерес викликає проекція нормальної сили  $N$  в горизонтальній площині  $N_{\Gamma}$  (рис. 2b). З наведеної схеми видно, що саме ця сила викликає бічну силу  $F$ , яка зсуває валок в борозенку і повністю закриває насіння ґрунтом. При цьому бічна сила забезпечує самоочищення котка від ґрунту, що прилипає до його поверхні. Її значення можна визначити за формулою  $F = f \cdot N_{\Gamma}$ , яка з врахуванням виразів (3) та (8) набуде наступного виду:

Для визначення тягового опору котка звернемося до схеми сил (рис. 2b), що діють зі сторони валка на коток в горизонтальній площині. З наведеної схеми видно, що сила опору валка визначається за такою формулою:

де  $R_Y$  – проекція рівнодіючої сили  $R$  опору валка по осі  $OY$ :

тут  $\psi$  – кут між рівнодіючою силою опору  $R$  валка і її складовою  $R_Y$ ;

$\varphi$  - кут відхилення рівнодійної сили  $R$  опору валка від нормальної сили  $N_{\Gamma}$ , рівний куту тертя котка об валок;

$\alpha$  – кут між нормальною силою  $N_{\Gamma}$  і напрямком руху котка.

Враховуючи те, що  $R = \frac{N_{\Gamma}}{\cos\varphi}$ , а значення сили  $N_{\Gamma}$  визначається за формулою (3), вираз (11) можемо записати так  $R_Y = \frac{N \cdot \sin\gamma}{\cos\varphi} \cdot \cos(\alpha - \varphi)$ , який з врахуванням виразу (8) набуде виду:

We substitute the obtained values of  $R_v$  and  $F$  in expression (10), and get the draught resistance of the roller

$$Q = \frac{mg \cdot \sin \gamma}{\cos \gamma + f \cdot \sin \gamma} \cdot \frac{\cos(\alpha - \varphi)}{\cos \varphi} + f \cdot \sin \alpha \frac{mg}{\cos \gamma + f \cdot \sin \gamma}$$

which finally is written as:

$$Q = \frac{mg}{\cos \gamma + f \cdot \sin \gamma} \cdot \sin \gamma \cdot \left[ \frac{\cos(\alpha - \varphi)}{\cos \varphi} + f \right] \quad (13)$$

Value of the angle  $\gamma$  of the line of frictional force action  $F_2$  of roller against the swath of soil we define as follows: We substitute in expression (6) instead of  $mg$  the expression (7) and obtain the inequality:

$$fN(\cos \gamma + f \cdot \sin \gamma) + fN \cdot \cos \gamma + f_1 N \cdot \cos \gamma < N \cdot \sin \gamma$$

which after reduction on  $N$  can be written as follows:

$$f \cos \gamma + f^2 \cdot \sin \gamma + f \cos \gamma + f_1 \cdot \cos \gamma < \sin \gamma$$

After the arithmetic operations can be written as:

$$\cos \gamma (2f + f_1) < \sin \gamma (1 - f^2),$$

where we define the angle  $\gamma$  of the line of frictional force action  $F_2$  of roller against the swath

$$\gamma > \arctg \frac{2f + f_1}{1 - f^2} \quad (14)$$

Calculations show that for light soils by  $f=0,5$  and  $f_1=1,0$ , we have  $\gamma > 63^\circ$ , and for heavy soils by  $f=0,8$  and  $f_1=1,0$ , we have  $\gamma > 82^\circ$ .

Knowing the angle  $\gamma$  and the height  $h$  of the swath we can determine the minimum allowable rollers diameter. To do this, we consider the triangle  $AOB$  (Fig. 1b) from which we can write that  $OB = r \cdot \cos \gamma$ ,  $r - OB = h$ . Therefore  $r - r \cdot \cos \gamma = h$  and  $r(1 - \cos \gamma) = h$ , or  $\frac{D}{2}(1 - \cos \gamma) = h$ , whence

$$D = \frac{2h}{1 - \cos \gamma} \quad (15)$$

Given that by the seeding of spiked cereals seed the shoe openers forming the swath height max 6 ... 10 cm, the rollers diameter should be 15 ... 35 cm.

## CONCLUSIONS

1. During moving a conical roller which is installed at the angle  $\alpha$  to the direction of seeding furrow on its surface generator arises a lateral force  $F$ , which shifts the swath in the furrow and completely covers the seed with the soil.
2. Efficient self-cleaning of the conical roller of soil that sticks to its surface is provided by the lateral force  $F$ .

## REFERENCES

[1]. Basin V.S, Bray V.V., Pogorely L.V. et al., (1987) - *Machines for precise planting of row crops: design and calculation*, Technique, p.151, Kiev;

Підставимо отримані значення  $R_v$  і  $F$  в вираз (10), і отримаємо тяговий опір котка

який остаточно запишеться так:

Значення кута  $\gamma$  напрямку лінії дії сили тертя  $F_2$  котка об валок ґрунту визначимо наступним чином. Підставимо в вираз (6) замість  $mg$  вираз (7) і отримаємо нерівність:

яку після скорочення на  $N$  можна записати в такому вигляді:

Після проведення арифметичних дій її можна записати так:

звідки визначимо значення кута  $\gamma$  напрямку лінії дії сили тертя  $F_2$  котка об валок ґрунту

Розрахунки показують, що для легких ґрунтів при  $f=0,5$  і  $f_1=1,0$ , маємо  $\gamma > 63^\circ$ , а для важких при  $f=0,8$  і  $f_1=1,0$ , маємо  $\gamma > 82^\circ$ .

Знаючи кут  $\gamma$  і висоту  $h$  валка можна визначити мінімально-допустимий діаметр котка. Для цього розглянемо трикутник  $AOB$  (рис. 1b), з якого можна записати, що  $OB = r \cdot \cos \gamma$ , а  $r - OB = h$ .

Отже  $r - r \cdot \cos \gamma = h$  і  $r(1 - \cos \gamma) = h$ , або  $\frac{D}{2}(1 - \cos \gamma) = h$ , звідки

Враховуючи те, що при висіві насіння зернових колосових культур сошники утворюють валок висотою не більше 6...10 см, діаметр котка повинен становити 15-35 см.

## ВИСНОВКИ

1. Під час переміщення конічного котка, установленого під кутом  $\alpha$  до напрямку посівних борозенок, на його твірній поверхні виникає бічна сила  $F$ , яка зсуває валок в борозенку і повністю закриває ґрунтом насіння.
2. Ефективне самоочищення конічного котка від ґрунту, що прилипає до його поверхні, забезпечується за рахунок бічної сили  $F$ .

## БІБЛІОГРАФІЯ

[1]. Басин В.С., Брей В.В., Погорельий Л.В. и др, (1987) - *Машины для точного посева пропашных культур: конструирование и расчет*, Техника, - 151с., - Киев;

[2]. Kardashevsky S.V., (1973) - *Seeding device of sowing machines*, Mechanical Engineering, p.176, Moscow;

[3]. Khaylis G.A., Ghelic L.A., (2002) - *Analysis of the process of wheel rolling with the formation of wheel track*, Collection of scientific articles «Agricultural machines», № 10, pg. 225-236, Lutsk;

[4]. Khomenko M.S., Ziryayov V.A., Nasonov V.A., (1989) - *Mechanization of planting crops and grasses*. Handbook, Vintage, p.168, Kiev;

[5]. Kovbasa V.P., Pochka K.I., (2007) – *Kinematics of interaction of compact roller with a layer of medium of finite depth*, Collection of scientific articles «Agricultural machines», № 15, pg.139-147, Lutsk;

[6]. Poletaev A.F., (1971) - *Fundamentals of the theory of rolling resistance and traction of rigid wheel on deformable base*, Mechanical Engineering, p.68., Moscow;

[7]. Shvedyk M.S., (2013) - *Analysis of single-operating working bodies for surface processing of the soil and embedding of seed and their synthesis*, Collection of scientific articles «Agricultural machines», № 24, pg.426-440, Lutsk;

[8]. Zaika P.M., (2001) - *The theory of agricultural machines. Machines and tools for cultivation*, Око, V. 1 (p.1), p.444, Kharkov.

[2]. Кардашевский С.В., (1973) - *Высевающие устройства посевных машин*, – М.: Машиностроение, – 176 с.;

[3]. Хайлис Г.А., Гелич Л.А., (2002) - *Анализ процесса качения колеса с образованием колеи*, Зб. наук. статей «Сільськогосподарські машини», № 10. –с. 225-236, - Луцьк;

[4]. Хоменко М.С., Зырянов В.А., Насонов В.А., (1989) *Механизация посева зерновых культур и трав*. Справочник, Урожай, -168 с., - Киев;

[5]. Ковбаса В.П., Почка К.И., (2007) - *Кінематика взаємодії ущільнюючого котка з шаром середовища обмеженої глибини*, Зб. наук. статей «Сільськогосподарські машини», № 15. –с. 225-236, - Луцьк;

[6]. Полетаев А.Ф., (1971) - *Основы теории сопротивления качению и тяги жесткого колеса по деформируемому основанию*, – М: Машиностроение, 1971-68 с.;

[7]. Шведик М.С., (2013) - *Аналіз одноопераційних робочих органів для поверхневого обробітку ґрунту заробки насіння та їх синтез*, Зб. наук. статей «Сільськогосподарські машини», № 24. –с. 426-440, - Луцьк;

[8]. Заїка П.М., (2001) - *Теорія сільськогосподарських машин. Машини та знаряддя для обробітку ґрунту*, Т. 1 (ч. 1), Око, -444 с., - Харків.