

## THEORETICAL REASONING OF THE COUPLANT EQUIPMENT DRUM POSITION RESPECTIVE TO THE CUT PLANTS

### ОБҐРУНТУВАННЯ ПОЛОЖЕННЯ БАРАБАНА КОНТАКТНОГО ПРИСТРОЮ ВІДНОСНО ЗРІЗУ СТЕБЛА РОСЛИНИ

Ass. Ph.D. Eng. Bundza O.Z., Prof. Ph.D. Eng. Kravets S. V., Prof. Ph.D. Eng. Nalobina O.O.,  
Assoc.Prof. Ph.D. Eng. Nikitin V.G.

National University of Water Management and Nature Resources Use, Soborna str., 11, Rivne / Ukraine

E-mail: olegbundza@gmail.com

**Abstract:** The work deals with the results of theoretical research of the process of interaction of the couplant equipment with the plants. The equations for calculating the cutting height and the drum position respective to the cut plants were developed within the present work.

**Key words:** drum, herbicide application, plant stem, couplant method

#### INTRODUCTION

The machines for herbicide application by couplant method are ones of the ecologically advantageous kind of machines for eliminating the undesirable vegetation in the agricultural lands and grazings [3, 8, 10]. Their use allows almost to eliminate the unproductive herbicide loses, which can achieve 40-60% while spraying [4, 9]. The chief matter of couplant method is in herbicide solution application by direct contact of a working tool with the herb top. The herbicide effect can be higher because of the simultaneous performance of two actions: cutting of the plants and applying the herbicide solution. The last is applied to the cut surface by couplant equipment, then it is transferred into the plant root system and causes its death or significant decrease of life activity.

#### MATERIAL AND METHOD

The analysis of the machines constructions for weeding out, done by the authors, has shown the following drawbacks: significant herbicide loses, working tool deformation while contacts with very rough herb stems, impossibility to use the machines on the surfaces with large inclination.

The construction of the equipment of complex effect for eliminating the undesirable vegetation and simultaneous applying of herbicides was suggested in order to reduce the drawbacks (figure 1) [1]. This design solution is aimed to:

- effectively eliminate the top part of the herb;
- effectively eliminate the root system;
- avoid the transfer of chemicals on the crop plants;
- avoid the herbicide loses while windage and minimize loses for evaporation and dropping.

The equipment for elimination of undesired vegetation by complex method consists of three working tools: cutting mechanism, cut herb collector, couplant mechanism.

Efficiency of the process of elimination of undesired vegetation depends on the conditions of interaction of the working tool with the plant matter [6], geometrical and kinematical characteristics of the equipment, physical and mechanical characteristics of the plant and the position of the equipment in comparison with the plant.

**Резюме:** У даній роботі викладено результати теоретичних досліджень процесу взаємодії робочого обладнання пристрою для контактної мащення із рослинами. Обґрунтовано вирази для визначення висоти встановлення ріжучого апарату. Обґрунтовано розміщення барабану відносно зрізу рослин.

**Key words:** барабан, внесення гербіцидів, стебло рослини, контактний спосіб

#### ПЕРЕДМОВА

Одним із екологічно перспективних видів машин для зведення небажаної рослинності на сільськогосподарських угіддях та пасовищах є машини для нанесення гербіцидів контактним способом [6,9,10]. Їх застосування дозволяє практично уникнути непродуктивних втрат гербіциду, які, наприклад, при обприскуванні, досягають 40-60% [1,7]. Суть контактної способу полягає у нанесенні розчину гербіциду шляхом безпосереднього контакту робочого органу з наземною частиною рослини. Ефект впливу гербіциду на рослини підвищується за рахунок поєднання операцій зрізання рослин і їхнього мащення. Розчин гербіциду подається на поверхню зрізу контактним способом, далі потрапляє у кореневу систему рослини і спричиняє її загибель або значне пригнічення процесів життєдіяльності.

#### МАТЕРІАЛ І МЕТОДИКА

Аналіз конструкцій машин для зведення бур'янів, виконаний авторами, виявив наступні недоліки: значні втрати гербіциду; деформація робочого органу під час зустрічі зі стеблами рослин значної жорсткості; неможливість використання обладнання на площах із значним ухилом.

З метою усунення недоліків була запропонована конструкція начіпного обладнання комбінованої дії для зведення небажаної високорослої рослинності (рис.1) [4]. Запропоноване конструктивне рішення спрямоване на:

- ефективне знищення наземної частини рослинності;
- ефективне знищення кореневої системи;
- відсутність потрапляння хімікатів на культурні рослини;
- відсутність втрати гербіциду при знесенні вітром та мінімізацію втрат на скапування випаровування.

Обладнання для зведення небажаної рослинності комбінованим способом включає в себе три робочі органи: ріжучий апарат, підбирач зрізаної рослинності та пристрій контактної мащення.

Ефективність процесу зведення небажаної рослинності залежить від умов взаємодії робочого обладнання з рослинним матеріалом [3], геометричних і кінематичних параметрів обладнання; фізико-механічних характеристик рослин, а також взаємного розташування обладнання та рослин.

In order to study the influence of the respective positioning of the plants and equipment on the efficiency of the process we will look at the computational model in the drawing 2.

З метою дослідження впливу взаємного розташування рослин і обладнання на ефективність процесу розглянемо розрахункову схему, подану на рис.2.

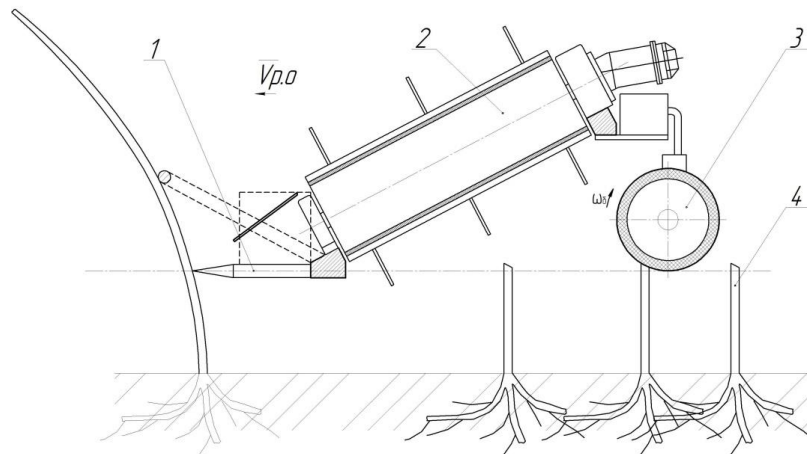


Fig. 1 - Scheme of equipment for elimination of undesired vegetation and weeds:  
1 – cutting mechanism, 2 – collector, 3 – couplant apparatus, 4 – herb stem

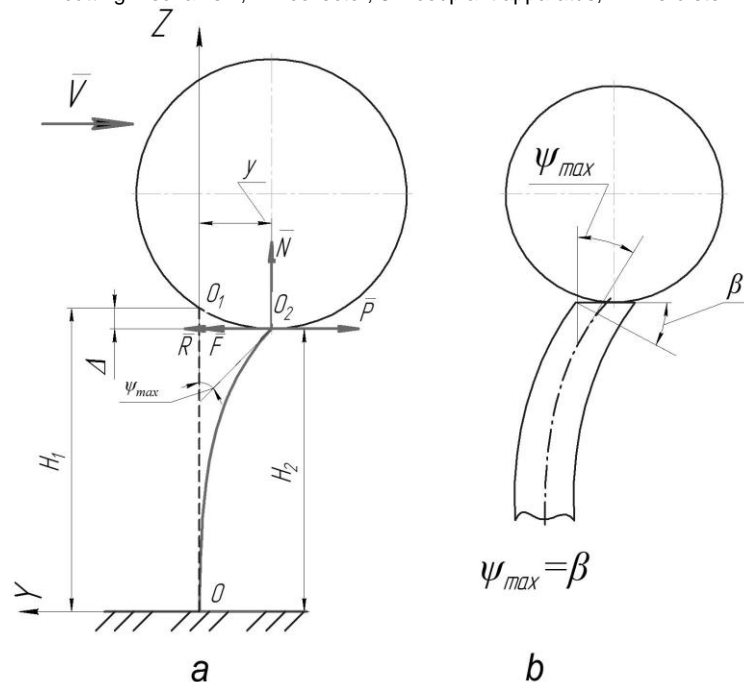


Fig. 2 - Computational model of interaction between the stem and the working tool:  
a – power scheme in the contact zone;  
b – interaction between the stem and drum on condition that  $\psi_{max}=\beta$ .

We take into consideration that the height of the stem after the cut is  $H_1$ , in the moment when the drum touches the stem fluctuates from the original position at the angle  $\psi$ .

The authors study the change of the angle  $\psi$  of the stem fluctuation from initial vertical position in dependence to the physical and mechanical characteristics of the plant and the influence of its degree on the integral quality index of the couplant process. According to the results of the studies, we take that  $\psi_{max}=\beta$  (drawing 2), where  $\beta$  is the angle of the plant cut, i.e further theoretical studies will be done for the most favourable conditions of the process. As we can see from

Припустимо, що після зрізання стебло має висоту  $H_1$  і в момент дотику до нього барабану відхиляється від початкового положення на кут  $\psi$ .

Зміна кута  $\psi$  відхилення осі стебла від початкового вертикального положення залежно від фізико-механічних властивостей рослин і вплив його величини на інтегральний показник якості процесу контактного мащення досліджувалась авторами. Базуючись на результатах виконаних досліджень, приймаємо, що  $\psi_{max}=\beta$  (рис.2), де  $\beta$  кут зрізання рослин, тобто подальші теоретичні дослідження будемо проводити для найбільш сприятливих умов протікання процесу. Зі схеми бачимо, що з метою забезпечення контакту рослини із зовнішньою

the drawing, the drum should move with the height  $H_2$  above the field surface in order to provide the plant and outer drum surface contact; in these circumstances  $H_2 < H_1$ . The drum moves in linear velocity vector direction  $V$ . In the moment, when the drum touches the cut stem, it fluctuates under the fluctuating power  $P$ . The reaction  $R$  is directed opposite the force  $P$  and tries to return the stem into initial position. There is friction in the contact zone  $F=fN$ , where  $f$  is friction index of the plant stem on the drum surface;  $N$  is normal force.

Let's examine the stem of the plant as overhung circular beam, then we will have beam equation [7]:

$$y = -\frac{P}{EI} \left( \frac{H_2 z^2}{2} - \frac{z^3}{6} \right), \quad (1)$$

where  $EI$  is roughness of the plant stem,

$P$  is drum movement resistance force,  
 $z$  is distance from the soil to the section, which is determined deflection,

Considering that  $P = N(\cos \psi + f \sin \psi)$  [5], and

$$N = \frac{2EI}{H_2^2} \operatorname{tg} \psi, \text{ we get:}$$

де  $EI$  – жорсткість стебла рослини,

$P$  – сила опору переміщенню барабану,

$z$  – відстань від поверхні ґрунту до перерізу, де визначається прогин.

Враховуючи, що  $P = N(\cos \psi + f \sin \psi)$  [2], а

$$N = \frac{2EI}{H_2^2} \operatorname{tg} \psi, \text{ отримаємо:}$$

$$P = \frac{2EI}{H_2^2} \sin \psi (1 + f \operatorname{tg} \psi), \quad (2)$$

Having substituted equation (2) into equation (1), we get:

Підставивши вираз (2) у вираз (1), отримаємо:

$$y = -\frac{2 \sin \psi (1 + f \operatorname{tg} \psi)}{H_2^2} \left( \frac{H_2 z^2}{2} - \frac{z^3}{6} \right); \quad (3)$$

We are going to find stem deflection, which corresponds the maximal angle of rotation  $\psi_{\max}$ . With this purpose we will substitute  $z$  for  $H_2$  in the equation (3):

Знайдемо прогин стебла, що відповідає максимальному куту повороту  $\psi_{\max}$ . Для цього у вираз (3) замість  $z$  підставимо  $H_2$ :

$$y_{z=H_2} = -\frac{2 \sin \psi_{\max} (1 + f \operatorname{tg} \psi_{\max}) H_2}{3} \quad (4)$$

In order to find out the dependence between  $H_1$  and  $H_2$  when the stem fluctuates for the angle  $\psi_{\max}$  by the power  $P_{\max}$  we find the length of the line [2] in the interval  $z=0 \dots H_2$ :

Для визначення залежності між  $H_1$  і  $H_2$  при відхиленні стебла на кут  $\psi_{\max}$  силою  $P_{\max}$  визначимо довжину кривої [8] на проміжку  $z=0 \dots H_2$ :

$$H_1 = \int_0^{H_2} \sqrt{1 + y'^2} dz \quad (5)$$

$$\text{where } y' = \frac{dy}{dz} = -\frac{P_{\max}}{EI} \left( \frac{2H_2 z}{2} - \frac{3z^2}{6} \right) = -\frac{P_{\max}}{EI} \left( H_2 z - \frac{z^2}{2} \right) \quad (6)$$

where  $P_{\max}$  is the power on the stem fluctuation on the angle  $\psi_{\max}$ ,

де  $P_{\max}$  - значення сили  $P$  при відхиленні стебла на кут  $\psi_{\max}$ ,

$$P_{\max} = \frac{2EI}{H_2^2} \sin \psi_{\max} (1 + f \operatorname{tg} \psi_{\max}) \quad (7)$$

Taking into account (6), (7) the equation (5) looks like

З врахуванням (6), (7) вираз (5) набуде вигляду:

this:

$$H_1 = \int_0^{H_2} \sqrt{1 + \frac{4 \sin^2 \psi_{\max} (1 + f t g^2 \psi_{\max})}{H_2^4} \left( H_2 z - \frac{z^2}{2} \right)^2} dz \quad (8)$$

Thus  $\Delta$ , that determines the drum position respectively the plant stem cut, is equal:

Тоді величина  $\Delta$ , що визначає положення барабану відносно зрізу стебла рослини, буде рівна:

$$\Delta = H_1 - H_2 = \int_0^{H_2} \sqrt{1 + \frac{4 \sin^2 \psi_{\max} (1 + f t g^2 \psi_{\max})}{H_2^4} \left( H_2 z - \frac{z^2}{2} \right)^2} dz - H_2 \quad (9)$$

**RESULTS AND DISCUSSION**

Practically, the maximal degree of the angle  $\psi_{\max}$  is limited by the plant stem tenacity. The research with the field sow thistle stem has shown  $\psi_{\max} = 30^\circ \dots 45^\circ$ . Having taken  $\psi_{\max} = 30^\circ$ ,  $H_2 = 0 \dots 0.5$  m,  $f = 0.1$ , and having the integral equation (8) solved by the digital method in the Mathcad v.14, we build the graphs of interdependences  $H_1 = f(H_2)$ , and  $\Delta = f(H_2)$  (fig 3).

**РЕЗУЛЬТАТИ**

На практиці максимальне значення кута  $\psi_{\max}$  обмежується міцністю стебла рослини. У ході виконаних досліджень для стебла осоту польового, встановлено, що  $\psi_{\max} = 30^\circ \dots 45^\circ$ . Приймавши  $\psi_{\max} = 30^\circ$ ,  $H_2 = 0 \dots 0,5$  м,  $f = 0.1$ , і вирішивши інтеграл (8) чисельними методами у середовищі Mathcad v.14 побудуємо графіки залежності  $H_1 = f(H_2)$ , та  $\Delta = f(H_2)$  (рис.3).

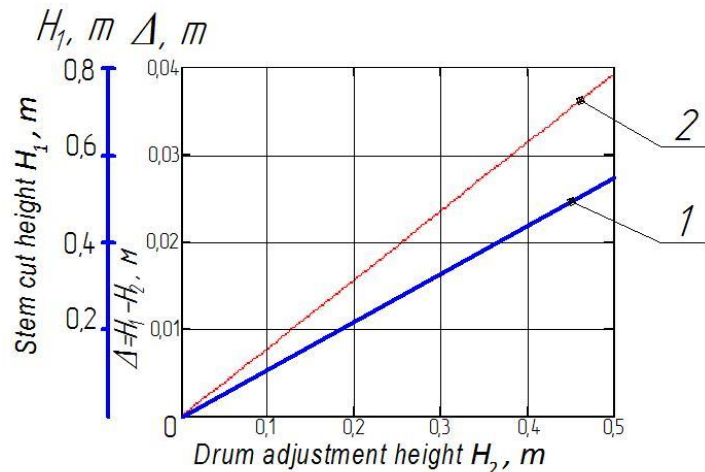


Fig 3 - The graphs of the functions: 1 -  $H_1 = f(H_2)$ ; 2 -  $\Delta = f(H_2)$ .

We will find out the dependence of the deflection  $y$  on the rotation angle  $\psi$ . With this purpose let us look at the equation that describes the geometrical sense of the derivative:

Визначимо, як залежить прогин  $y$  від кута повороту  $\psi$ . Для цього розглянемо вираз, що описує геометричний зміст похідної:

$$tg \psi = y' \quad (10)$$

From the other side:

З іншої сторони:

$$\frac{dy}{dz} = y' = tg(180^\circ - \psi) = -tg \psi \quad (11)$$

Thus:

Тоді:

$$tg \psi = \frac{P}{EI} \left( H_2 z - \frac{z^2}{2} \right) \quad (12)$$

Having substituted the equation (2) into the equation (12), we get:

Підставивши вираз (2) у вираз (12), отримаємо:

$$\frac{2EI \sin \psi (1 + ftg \psi)}{H_2^2 EI} \left( H_2 z - \frac{z^2}{2} \right) = \frac{2 \sin \psi (1 + ftg \psi)}{H_2^2} \left( H_2 z - \frac{z^2}{2} \right) = tg \psi \quad (13)$$

Having divided the left and the right part of the equation (13) into  $tg \psi$  we get:

Розділивши ліву і праву частини виразу (13) на  $tg \psi$  отримаємо:

$$\frac{2 \cos \psi (1 + ftg \psi)}{H_2^2} \left( H_2 z - \frac{z^2}{2} \right) = 1 \quad (14)$$

After the number of mathematical transformations the equation (14) looks like quadratic equation:

Після ряду математичних перетворень вираз (14) матиме вигляд квадратного рівняння:

$$z^2 - 2H_2 z + \frac{2H_2^2}{\cos \psi + f \sin \psi} = 0 \quad (15)$$

Having solved it for  $x$ , we get the roots:

Розв'язавши його відносно  $x$ , отримаємо корені:

$$z_1 = H_2 - \sqrt{H_2^2 - \frac{2H_2^2}{\cos \psi + f \sin \psi}} \quad (16)$$

$$z_2 = H_2 + \sqrt{H_2^2 - \frac{2H_2^2}{\cos \psi + f \sin \psi}} \quad (17)$$

We substitute the equation (17) into the equation (3) and we get the dependence of the stem fluctuation on the bending angle:

Вираз (17) підставляємо у (3) і отримуємо залежність відхилення (прогину) стебла від кута його відгини:

$$y = -\frac{2tg \psi (\cos \psi + f \sin \psi)}{H_2^2} \left( \frac{H_2 \left( H_2 + \sqrt{H_2^2 - \frac{2H_2^2}{\cos \psi + f \sin \psi}} \right)^2}{2} - \frac{\left( H_2 + \sqrt{H_2^2 - \frac{2H_2^2}{\cos \psi + f \sin \psi}} \right)^3}{6} \right) \quad (18)$$

Having taken  $H_2=0.3m$ ,  $f=0.1$ , and  $\psi = 0...30^\circ$ , according to the equation we build the graph (fig 4) of the dependence of the stem fluctuation on the angle  $\psi$ :

Прийнявши  $H_2=0,3m$ ,  $f=0,1$ , і  $\psi = 0...30^\circ$ , за отриманим виразом будемо графік залежності (Рис.4) прогину стебла від кута  $\psi$ :

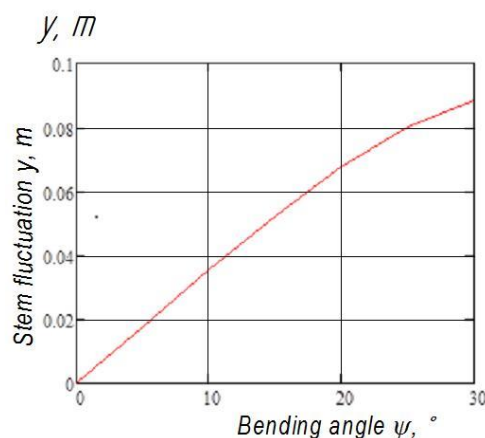


Fig 4 - The dependence on the bending angle

## CONCLUSIONS

Theoretical researches done by the authors, together with the above mentioned laboratory and field

## ВИСНОВОК

Теоретичні дослідження, виконані авторами, та результати лабораторних і польових досліджень,

experiments, allow to conclude:

- the use of the couplant method allows to avoid the nonproductive herbicide losses and to assure the effective abolishment of the top part of the herb and its root system;

- deflection of the stems under the influence of the working body of the couplant mechanism depends on the physical and mechanical characteristics of the plants, the cut angle and the height of the drum adjustment;

- according to the results of the field tests of the equipment, the top part of undesired vegetation is cut 0.25 ... 0.35 m above the ground. Taking into account these results and the graph (fig 4) the best possible adjustment of the drum of the contact mechanism is by 0.02 ... 0.028 m under the cut level of the herb;

- reasoning of the couplant mechanisms settings should be done according to the dependences resulting from this work.

## REFERENCES

- [1]. Bundza, O.Z. & Nikitin, V.H. (2010) - Useful model patent 47259 Ukraine MPC A01M 21/00. *Equipment for plant and weed destruction*. Patent applicant and owner NUWM - № 47259; declared 05/03/2009; published 01/25/2010, bulletin № 2.
- [2]. Fihntengolts G.M. (2001) – *Course of differential and integral calculus*. Fizmatlit, p.616, Moscow;
- [3]. Gibson G.H., Gaultney L.D., Holt H.A. and Krutz G.W. (1984) – *Roller-wiper herbicide applicator: control of right-of-way hardwood brush*, Journal of Arboriculture, 10(3), p. 71-82;
- [4]. Kotov A.A. (2009) – *Technology perfection and creation of new mechanisms for forest nurseries and forest crops*. Dr. Eng. Thesis, Moscow State Forest University, Russia;
- [5]. Leonov I.P. (1973) – *Basic machine theory for tobacco stringing. Post-harvest care of tobacco and rustic tobacco*, collection of scientific articles, special issue, RNRI named after A.I.Mikhoian, Krasnodar, pg. 37- 45;
- [6]. Nikitin V.H., Bundza O.Z. (2013) – *Study of the process of liquid segment detention at the cut of the plant*. Agricultural machines: collection of scientific articles, issue 24, Lutsk, pg. 35-39;
- [7]. Pisarenko H.S., Yakovlev A.P., Matveev V.V. (1988) – *Reference book on strength of materials* (2nd ed.), Scientific thought. p.736, Kyiv;
- [8]. Sokolov M.S. (1969) – *Chemical water vegetation control in the drainages and irrigation systems*, VNIIGESH MSH SSSR, p.59, Moscow;
- [9]. Soloveva N.F. (2001) – *Technologies and technical means of agricultural plants protection from blasts and diseases*, Rosinfoagroteh., p.140, Moscow;
- [10]. Weed wipers (2014). Available at: <http://www.smuckermfg.net/pages/weedwipers.aspx> (Accessed: 28 March 2015).

наведені у вище згаданих роботах авторів, дозволили зробити наступні висновки:

- застосування способу контактної мащення дозволяє уникнути непродуктивних втрат гербіциду та забезпечити знищення як наземної так і кореневої системи рослини;

- величина прогину стебел під впливом робочого обладнання пристрою для контактної мащення залежить від фізико-механічних властивостей рослин, кута їх зрізу та висоти встановлення барабану;

- як показали результати польових досліджень обладнання, наземну частину небажаної рослинності зрізують на висоті 0,25...0,35 м. З урахуванням цього та графіку (рис.4), оптимальною є установка барабану контактної пристрою на 0,02...0,028 м нижче висоти зрізання наземної частини рослини;

- обґрунтування параметрів пристрою контактної мащення доцільно здійснювати з урахуванням отриманих у роботі залежностей.

## БИБЛИОГРАФІЯ

- [1]. Котов А.А. (2009) – *Совершенствование технологий и создание новых средств механизации для ухода в лесных питомниках и культурах*, автореф. дис. на соиск уч. степени доктора техн. наук, Московский государственный университет леса, Россия.
- [2]. Леонов И.П. (1973) – *Основы теории машин для закрепления табака на шнуры. Послеуборочная обработка табака и махорки*, сборник научно-исследовательских работ, отдельный выпуск, ВНИИТИМ им. А.И. Микояна, Краснодар, – с.37...45.
- [3]. Нікітін В.Г., Бундза О.З. (2013) – *Дослідження процесу утримання сегменту рідини на зрізі рослини*, Сільськогосподарські машини. Збірник наукових статей, вип.24, Луцьк – с.35...39.
- [4]. Пат. України 47259 на корисну модель (2010) МПК А01М 21/00. Обладнання для зведення рослинності та бур'янів/ Бундза О.З., Нікітін В.Г., заявник і власник патенту НУВГП - №47259; заявл.03.05.2009; опубл. 25.01.2010, Бюл. №2.
- [5]. Писаренко Г.С., Яковлев А.П., Матвеев В.В. (1988) – *Справочник по сопротивлению материалов*, 2-ге вид., Наукова думка, –736 с., Київ;
- [6]. Соколов М.С. (1969) – *Химическое уничтожение водной растительности в осушительных и оросительных системах*, ВНИИГЭИСХ МСХ СССР, - 59с., Москва;
- [7]. Соловьева Н.Ф. (2001) – *Технологии и технические средства для защиты сельскохозяйственных растений от вредителей и болезней*, Издательство ФНГУ "Росинфоагротех", –140 с., Москва;
- [8]. Фихтенгольц Г.М. (2001) – *Курс дифференциального и интегрального исчисления* (том 1), Физматлит, - 616 с., Москва;
- [9]. Gibson, G.H., Gaultney, L.D., Holt, H.A. and Krutz G.W. (1984) *Roller-wiper herbicide applicator: control of right-of-way hardwood brush*, Journal of Arboriculture, 10(3), p. 71-82.
- [10]. Weed wipers (2014). Available at: <http://www.smuckermfg.net/pages/weedwipers.aspx>.