

УДК 631.331

DOI: 10.15587/2313-8416.2016.80814

## ОБГРУНТУВАННЯ КОНСТРУКЦІЇ КОМБІНОВАНОГО ПРИКОЧУЮЧОГО КОТКА ПРОСАПНОЇ СІВАЛКИ

© Д. Ю. Артеменко, В. А. Онопа, С. С. Скриннік

*Визначено, що основними факторами, які впливають на процес прикочування, є конструкція робочого органу та фізико-механічні властивості ґрунту. Досліджено процес руйнування часток ґрунту при взаємодії з котком. Встановлено, що максимальна дія на частку ґрунту відбувається тоді коли вона залишається нерухомою та зафіксованою. Запропоновано удосконалену конструкцію прикочуючого котка комбінованого типу*

**Ключові слова:** процес прикочування ґрунту, руйнування часток ґрунту, прикочуючий коток комбінованого типу

*It was determined that the main factors affecting the packing process are the construction of the working body and physical – mechanical properties of the soil. The destruction process of soil particles in the interaction with the wheel was investigated. It was established that the maximum impact on a soil particle occurs when it remains stationary and fixed. An improved construction of the combined packer wheel was proposed*

**Keywords:** soil packing process, destruction of soil particles, combined packer wheel

### 1. Вступ

В процесі вирощування цукрових буряків швидкість сходів і їх рівномірність залежать не тільки від схожості насіння, а і від умов утворених для них робочими органами сільськогосподарських машин [1, 2]. Згідно агротехнічних вимог до посіву цукрових буряків висіяне насіння повинно бути прикочене котком секції сівалки, а щільність ґрунту навколо нього повинна складати 1,1–1,2 г/см<sup>3</sup>. Для можливості стрімкого проростання рослин безпосередньо над насінниною повинен знаходитись неуцільнений шар дрібно-грудкуватого ґрунту [3, 4]. Тому вплив конструкції котка може здійснити значні зміни в умовах проростання насіння.

### 2. Аналіз літературних даних і постановка проблеми

Дослідження [5, 6], які були проведені по визначенню закономірностей поведінки ґрунту при прикочуванні різними типами котків показали, що основними факторами, які впливають на вказаний процес, є конструктивні особливості робочого органу та фізико-механічні властивості ґрунту.

Дослідники [7–9] запропонували і обгрунтували конструктивні рішення котків, які дають змогу виконати вимоги до ущільнення ґрунту навколо висіяного насіння, але жодна із існуючих конструкцій не

виконує вимог до забезпечення однорідності агрегатного складу ґрунту над ним.

Тому подальші дослідження та розробка нових конструкцій котків по задоволенню вимог агротехніки до прикочування насіння та формування сприятливих умов для його проростання є актуальними і на часі.

### 3. Мета та задачі дослідження

Метою дослідження є покращення умов контакту насіння з ґрунтом і задоволення вимог агротехніки по диференціації питомої щільності ґрунту в зоні розміщення насіння шляхом обгрунтування конструкції комбінованого прикочуючого котка просапної сівалки.

Для досягнення мети вирішувались наступні задачі:

- визначити критерії за якими буде проектуватись новий робочий орган;
- побудувати математичну модель процесу взаємодії прикочуючого котка з ґрунтом;
- на основі побудованої математичної моделі розробити конструкцію комбінованого прикочуючого котка просапної сівалки.

### 4. Матеріали і методи дослідження

Проростання насіння починається при вологості ґрунту 12–14 %, і тільки при наявності більше

20 % вологи проростає усе життєздатне насіння. Тому, щоб отримати високу польову схожість, необхідно розміщувати насіння в шарі ґрунту (насінневому) з вологістю не нижче 20 %. При цьому, над насінням в ростковому шарі ґрунтові частки повинні бути величиною 1–5 мм. При більш крупних частках ґрунту, хоча польова схожість і не зменшується, але отримання сходів затримується. Важливим аспектом при отриманні дружних сходів також є вплив агрегатного складу ґрунту. Так, крупні частки 10–20 мм і більше значно зменшують кількість сходів, кожен відсоток крупної фракції знижує схожість на 1–2 %, при цьому на крупногрудкуватому ґрунті збільшуються втрати вологи, що негативно впливає на одночасну появу рослин на денній поверхні.

Проведеними нами дослідженнями встановлено, що найкращу вологозатримуючу властивість має верхній шар ґрунту з розміром фракцій до 10 мм (рис. 1). При розмірах часток до 5 мм інтенсивність випаровування трохи зростає за рахунок капілярного механізму, а при фракції більше 10 мм діє конвекційно-дифузний механізм.

Агрегатний склад ґрунту формується під час виконання передпосівної обробки і залежить від багатьох факторів (типу ґрунту, погодних умов, задіяних знарядь і т. д.) тому в більшості випадків після посіву над насінням утворюється шар ґрунту різних фракцій, а на поверхні рядка можуть зустрічатись грудки розміром більше 20 мм. При роботі V – подібного прикочуючого котка, який в основному використовується на просапних сівалках, в зоні проростання насіння залишаються великі грудки і тим самим впливають на швидкість появи рослин на денній поверхні.

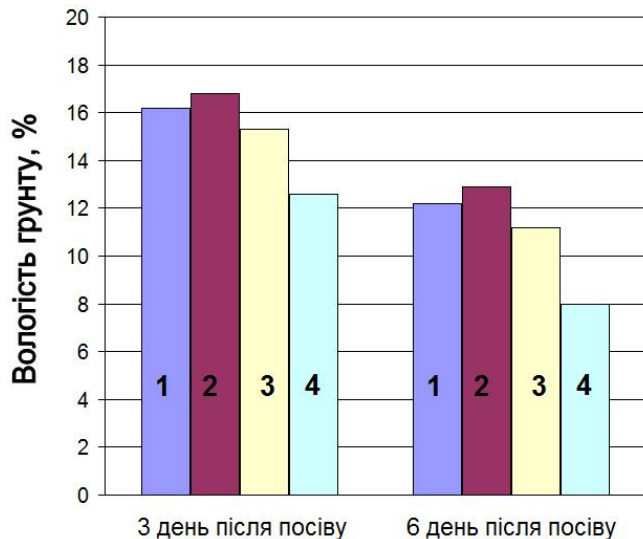


Рис. 1. Інтенсивність зниження вологості ґрунту в залежності від фракційного складу верхнього шару: 1 – 1–5 мм; 2 – 5–10 мм; 3 – 10–15 мм; 4 – 15–20 мм

Тому необхідно поверхневий шар над висіяним насінням доводити до однорідності, що буде створювати додаткові позитивні передумови для швидкого проростання насіння.

#### 4. 1. Побудова математичної моделі процесу взаємодії прикочуючого котка з ґрунтом

Руйнування ґрунту відбувається під дією як статичних, так і динамічних навантажень (рис. 2).

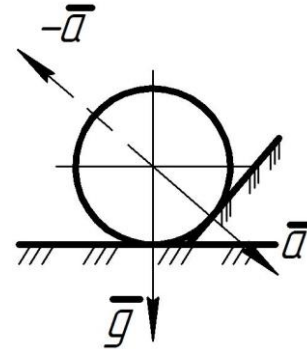


Рис. 2. Схема руйнування частки ґрунту під дією статичних і динамічних навантажень:  $\bar{g}$  – прискорення вільного падіння;  $\bar{a}$  – прискорення частки ґрунту при русі зі швидкістю  $\bar{V}$ ;  $-\bar{a}$  – прискорення частки ґрунту при дії опорного елемента (навколишніх шарів ґрунту)

Із наведеного аналізу та з (рис. 2) слідує, що максимальна дія на частку ґрунту відбувається тоді коли після дії на неї, частка ґрунту залишається нерухомою. Це обумовлено ущільненням навколишніх шарів ґрунту або наявністю опорного елемента. Тоді по другому закону Ньютона у векторній формі:

$$\bar{F} = m \cdot (\bar{g} - \bar{a}), \quad (1)$$

де  $\bar{F}$  – вектор сили, яка діє на частку ґрунту;  $m$  – маса частки ґрунту.

Розглянемо дію котка на частку ґрунту (рис. 3) використовуючи основні закони механіки удару [9].

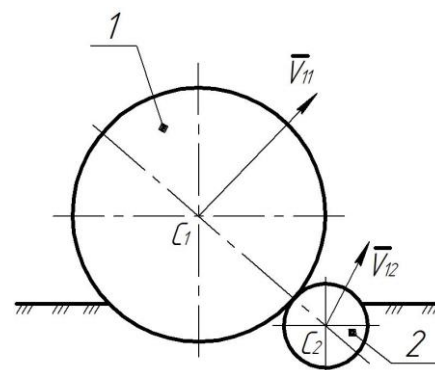


Рис. 3. Схема взаємодії прикочуючого котка із часткою ґрунту

Нехай в загальному випадку тіла 1 і 2 масами  $m_1$  і  $m_2$  рухаються поступово зі швидкостями  $\bar{V}_{11}$  і  $\bar{V}_{12}$  та проходить центральний удар без тертя. Лінія удару направлена по сумісній нормалі в точці дотику поверхонь тіл 1 і 2 (рис. 3). По закону про зміну кількості руху  $S$  тіл 1 і 2:

$$\left. \begin{aligned} m_1 (\bar{V}_{12} - \bar{V}_{11}) &= S_1, \\ m_2 (\bar{V}_{22} - \bar{V}_{21}) &= S_2. \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

В позначенні швидкостей перший ніжній індекс – номер тіла, другий – показник стану тіл: 1 – до удару, 2 – після удару.

При ударі двох тіл  $S_1 = -S_2$  тоді із (2) отримаємо:

$$\begin{aligned} m_1 \bar{V}_{12} - m_1 \bar{V}_{11} &= -m_2 \bar{V}_{22} + m_2 \bar{V}_{21} \Leftrightarrow \\ \Leftrightarrow m_1 \bar{V}_{12} + m_2 \bar{V}_{22} &= m_1 \bar{V}_{11} + m_2 \bar{V}_{21}. \end{aligned} \quad (3)$$

Тобто кількість руху при ударі двох тіл не зменшується. При прямому ударі двох тіл їх швидкості  $\bar{V}_{11}$  і  $\bar{V}_{21}$  до удару направлені по лінії удару (рис. 4) та щоб удар відбувся  $|\bar{V}_{11}| > |\bar{V}_{21}|$ .

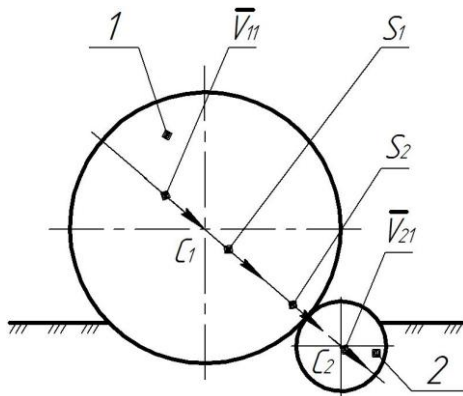


Рис. 4. Схема взаємодії котка із часткою ґрунту під час удару

Для прямого центрального удару двох тіл до кожного із них для першої і другої фази удару використаємо теорему про зміну кількості руху в проекції на вісь, яка збігається з лінією удару, тоді:

$$\left. \begin{aligned} S'_1 &= S'_2; & S''_1 &= S''_2; \\ m_1 (V_2 - V_{11}) &= -S'_1; & m_1 (V_{12} - V_2) &= -S''_1; \\ m_2 (V_2 - V_{21}) &= -S'_2; & m_2 (V_{22} - V_2) &= S''_2, \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

де  $V_2$  – загальна швидкість тіл в кінці першої фази;  $S'_1, S'_2, S''_1, S''_2$  – ударні імпульси відповідно першої і другій фази удару.

До виразу (4) приєднаємо коефіцієнт відновлення через ударні імпульси:

$$k = \frac{S''_1}{S'_1} = \frac{S''_2}{S'_2}. \quad (5)$$

Вирази (4) і (5) складають систему із семи алгебраїчних рівнянь для семи невідомих  $V_2, V_{21}, V_{22}, S'_1, S'_2, S''_1, S''_2$  при відомих  $V_{11}, V_{21}, k$ .

Із (5) з врахуванням (4) знаходимо:

$$k = \frac{V_{12} - V_{22}}{V_{11} - V_{21}},$$

тоді:

$$V_{12} - V_{11} = (1+k) \frac{m_2}{m_1 + m_2} (V_{21} - V_{11}),$$

$$V_{22} - V_{21} = (1+k) \frac{m_2}{m_1 + m_2} (V_{11} - V_{21}).$$

Зміна кінетичної енергії тіл дорівнює:

$$\begin{aligned} T_1 - T_2 &= 0,5 (m_1 V_{11}^2 + m_2 V_{21}^2) - (m_1 V_{12}^2 + m_2 V_{22}^2) = \\ &= \frac{m_1 m_2}{2(m_1 + m_2)} (1+k^2) (V_{11} - V_{21})^2. \end{aligned}$$

Якщо прийняти, що частка ґрунту непружний матеріал, тобто  $k = 0$  і частка ґрунту залишається після удару нерухомою  $V_{21} = 0$  то:

$$T = T_{\max} = \frac{m_1 m_2}{2(m_1 + m_2)} V_{11}^2, \quad (6)$$

У вказаному випадку енергія ударної взаємодії котка і частки ґрунту максимальні і при швидкості співудару, яка перевищує критичну частка ґрунту руйнується. Аналіз отриманої для  $T_{\max}$  залежності (6) показує, що ця величина при деяких очевидних припущеннях може бути задана функцією:

$$f(x) = \frac{x \cdot a}{2(x+a)} \cdot V^2, \quad (7)$$

де  $x = m_1, a = m_2 = const, V = V_{11}$ .

В даному випадку  $\frac{x}{a} = \frac{m_1}{m_2} \gg 1$  (маса  $m_1$  котка значно більша маси  $m_2$  частки ґрунту), то можна прийняти:

$$f_1(x) = \frac{0,5x}{\frac{x}{a} \cdot V} \Leftrightarrow f_1(x) = 0,5aV^2.$$

Максимальна енергія руйнування частки ґрунту котком при прийнятій нами схемі їх взаємодії завдяки стисненому механічному удару мало залежить від маси частки ґрунту, не залежить від ваги прикочуючого котка і практично прямо пропорційна квадрату величини швидкості поступального переміщення котка по поверхні ґрунту [10]. Це в свою чергу приводить до висновку, що конструкція котка повинна бути такою, щоб він мав невелику інерційну масу і достатньо швидко після початку руху досягав необхідної величини критичної швидкості поступального руху по поверхні ґрунту, перевищення якої і гарантує руйнування частки ґрунту.

#### 4.2. Розробка конструкції комбінованого прикочуючого котка просапної сівалки

Як видно із залежності (6) максимальна дія на частку ґрунту відбувається тоді коли вона після дії на неї залишається нерухою та не має прискорення.

З цього слідує, що грудку потрібно чимось підтримувати.

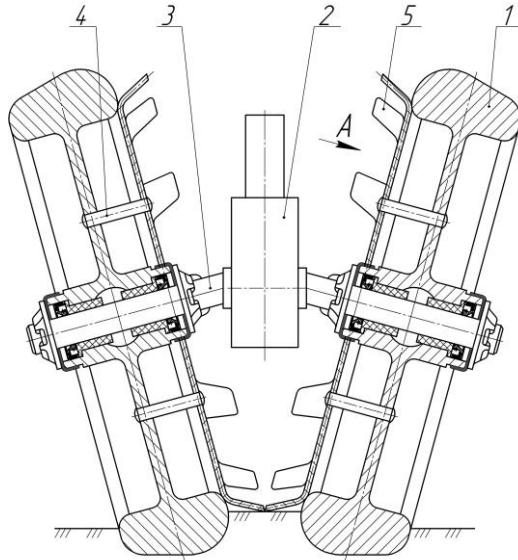


Рис. 5. Удосконалений прикочуючий коток просапної сівалки:  
1 – обод; 2 – кронштейн; 3 – ось; 4 – заклепки; 5 – конічні диски

Запропонований прикочуючий коток включає два ободи 1, які встановлені під кутом і закріплені на кронштейні 2 та обертаються на осі 3, з внутрішньої сторони на дисках ободів за допомогою заклепок 4 розміщені конічні диски 5.

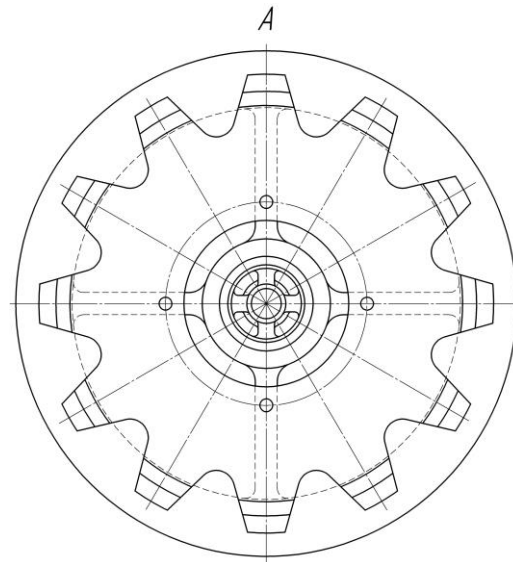
Робочий процес із запропонованим прикочуючим котком відбувається таким чином: під час руху зовнішня частина котка, яка має робочу поверхню ободів в перерізі у вигляді двох напівкіл, закритих зовні дотичною прямою ущільнює по криволінійній траєкторії ґрунт навколо висіяного насіння залишаючи неуцільнену ділянку для вільного його проростання, та згруджує до центру поверхні рядка великі грудки. Розміщені із внутрішньої сторони на ободах конічні диски із трапецієвидними вирізами і діаметром меншим за діаметр обода на величину його занурення у ґрунт, руйнують великі грудки та одночасно мульчують поверхню ґрунту над насінням створюючи сприятливі умови для його проростання.

Ефективність запропонованої конструкції прикочуючого котка сівалки забезпечується підвищеною щільністю ґрунту в зоні розміщення насіння, що сприяє підтягуванню вологи і покращенню його схожості та створенням сприятливих умов для проростання насіння завдяки руйнуванню великих грудок над ним та одночасним мульчуванням поверхні ґрунту.

#### 5. Результати досліджень

В результаті проведених досліджень сформовані вимоги та отримані передумови для покращання швидкості проростання висіяного насіння цукрових буряків. Для задоволення цих вимог розроблена та

На основі вищенаведеного нами була запропонована наступна конструкція нового робочого органу комбінованого типу (рис. 5) – зовнішня частина котка має робочу поверхню ободів в перерізі у вигляді двох напівкіл, закритих зовні дотичною прямою, а внутрішня частина котка має конічні диски із трапецієвидними вирізами і діаметром меншим за діаметр обода на величину його занурення у ґрунт.



запропонована нова конструкція комбінованого прикочуючого котка просапної сівалки.

В подальшому планується виготовлення експериментальних зразків комбінованого прикочуючого котка просапної сівалки та проведення експериментальних досліджень по визначенню оптимальних параметрів робочих елементів які впливають на його технологічні характеристики.

#### 6. Висновки

1. Проведено аналіз сучасного методу загорання висіяного насіння і з'ясовано, що в зоні його проростання залишаються частки ґрунту різного агрегатного складу, які негативно впливають на швидкість появи рослин на денній поверхні.

2. За допомогою методів математичного моделювання з'ясовані умови гарантованого руйнування часток ґрунту від дії котка (залежність 6) та отримані рекомендації для проектування конструкції внутрішньої частини комбінованого котка.

3. Розроблена та запропонована нова конструкція комбінованого прикочуючого котка просапної сівалки, що дає можливість не тільки якісно ущільнювати ґрунт навколо насіння, а і формувати над ним шар ґрунту однорідного агрегатного складу.

#### Література

1. Гончарук, Г. С. Якісна сівба цукрових буряків за поради високого врожаю [Текст] / Г. С. Гончарук // Цукрові буряки. – 2001. – № 2. – С. 8–9.
2. Ковтун, Ю. И. Почвенные условия всхожести семян [Текст] / Ю. И. Ковтун // Сахарная свекла. – 1972. – № 3. – С. 19–22.

3. Глуховский, В. С. Разработка научных основ технологии выращивания сахарной свеклы без затрат ручного труда на формировании густоты насаждения [Текст]: автореф. дис. ... д-ра сельхоз. наук / В. С. Глуховский. – К., 1982. – 42 с.
4. Валовиков, А. П. Исследование технологии заделки обычных и шпифованных семян сахарной свеклы при посеве [Текст]: автореф. дис. ... канд. сельхоз. наук / А. П. Валовиков. – К., 1971. – 19 с.
5. Деграф, Г. А. Некоторые результаты исследований напряжений в почве [Текст] / Г. А. Деграф // Вестник сельскохозяйственной науки. – 1966. – № 10. – С. 87–89.
6. Рожков, П. Н. Обоснование поперечной формы гладких сельскохозяйственных катков [Текст] / П. Н. Рожков, А. В. Бауков, А. С. Кушнарв // Конструирование и технология производства сельскохозяйственных машин. – Киев: Издательство „Техніка”, 1973. – С. 18–22.
7. Шевелев, В. М. Исследование процесса прикатывания почвы при посеве сельскохозяйственных культур [Текст]: автореф. дис. ... канд. техн. наук / В. М. Шевелев. – Кишинёв, 1969. – 25 с.
8. Платонов, И. М. Оценка сеялок точного высева [Текст] / И. М. Платонов // Тракторы и сельхозмашины. – 1975. – № 7. – С. 20–23.
9. Артеменко, Д. Ю. Аналіз процесу роботи прикочуючих котків посівної секції просапної сівалки [Текст]: наук.-техн. зб. / Д. Ю. Артеменко // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. – Кіровоград: КНТУ, 2006. – Вип. 36. – С. 115–119.
10. Чигарев, А. В. Курс теоретической механики [Текст]: уч. пос. / А. В. Чигарев, Ю. В. Чигарев. – Минск-Москва: Новое время-ЦУПІ, 2010. – 398 с.

#### References

1. Honcharuk, H. S. (2001). Yakisna sivba tsukrovyykh buriakiv zaporuka vysokoho vrozhaiu. Tsukrovi buriaky, 2, 8–9.
2. Kovtun, Yu. I. (1972). Pochvennyie usloviya vskhozhesti semyan. Sakharnaya svekla, 3, 19–22.
3. Gluhovskiy V. S. (1982). Razrabotka nauchnyih osnov tehnologii vyirashchivania saharnoy svekly bez zatrat ruchnogo truda na formirovani gusoty nasazhdeniya. Kyiv, 42.
4. Valovikov, A. P. (1971). Issledovanie tehnologii zadelki obyichnyih i shlyfovannyih semyan saharnoy svekly pri poseve. Kyiv, 19.
5. Degraf, G. A. (1966). Nekotoryie rezultaty issledovaniy napryazheniy v pochve. Vestnik selskohozyaystvennoy nauki, 10, 87–89.
6. Rozhkov, P. N., Baukov, A. V., Kushnarev, A. S. (1973). Obosnovanie poperechnoy formy gladkih selskohozyaystvennyih katkov. Konstruirovaniye i tehnologiya proizvodstva selskohozyaystvennyih mashin. Kyiv: Izdatelstvo „Tehnika”, 18–22.
7. Shevelev, V. M. (1969). Issledovanie protsessy prikatyvaniya pochvy pri poseve selskohozyaystvennyih kultur. Kishinyov, 25.
8. Platonov, I. M. (1975). Otsenka seyalok tochnogo vyiseva. Traktory i selhozmashiny, 7, 20–23.
9. Artemenko, D. Yu. (2006). Analiz protsesu roboty prykochoyuyukh kotkiv posivnoyi sektsiyi prosapnoyi sivalki. Konstruyuvannya, vyrobnytstvo ta ekspluatatsiya sil's'kohospodars'kykh mashyn. Kirovograd: KNTU, 36, 115–119.
10. Chigarev, A. V., Chigarev, Yu. V. (2010). Kurs teoreticheskoy mehaniki. Minsk–Moscow: Novoe vremya – TsUPL, 398.

*Рекомендовано до публікації д-р техн. наук, професор Сало В. М.  
Дата надходження рукопису 22.10.2016*

**Артеменко Дмитро Юрійович**, кандидат технічних наук, доцент, кафедра сільськогосподарського машинобудування, Кіровоградський національний технічний університет, пр. Університетський, 8, м. Кіровоград, Україна, 25006  
E-mail: adu2006@inbox.ru

**Онопа Володимир Анатолійович**, кандидат технічних наук, доцент, кафедра сільськогосподарського машинобудування, Кіровоградський національний технічний університет, пр. Університетський, 8, м. Кіровоград, Україна, 25006  
E-mail: PC\_KNTU@ukr.net

**Скринник Станіслав Станіславович**, кафедра сільськогосподарського машинобудування, Кіровоградський національний технічний університет, пр. Університетський, 8, м. Кіровоград, Україна, 25006  
E-mail: sskrynnik261@gmail.com