



УДК 620.97

DOI: 10.37128/2520-6168-2020-4-13

**ВІТРОВА ЕЛЕКТРОСТАНЦІЯ ДЛЯ ПОТРЕБ МАЛИХ
СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ ОБ'ЄКТІВ**

Кордонський Василь Анатолійович, викладач технічних дисциплін,
Відокремлений структурний підрозділ «Чернятинський фаховий коледж
Вінницького національного аграрного університету»

Vasyl Kordonskyi, teacher of technical disciplines
Separate structural subdivision "Chernyatyn Professional College of
Vinnytsia National Agrarian University"

Існує чимало переваг вітроенергетики, включаючи енергетичні, екологічні, економічні. Відносно не високі інвестиції у вітроенергетичні проекти в порівнянні з традиційними галузями енергетики. Сумарна кінетична енергія вітру в світі може бути оцінена як у 80 разів вища від сумарного енергоспоживання людиною. І хоча для енергетичних потреб може бути використана лише певна частка від цього загального показника, майбутній. Розвиток самої технології має величезний потенціал.

В статті зроблено вступ і проведено короткий аналіз та історичну довідку існуючих конструкцій вітрових електростанцій малої потужності основних світових виробників; зазначено мету досліджень запропонованої теми.

Запропоновано і розроблено та описано перспективну схему вітрової електростанції для потреб малих сільськогосподарських об'єктів, яка дає можливість отримувати електричний струм при невеликих швидкостях вітру в усіх природно-кліматичних зонах України. Установлено, що вітрові електростанції малої потужності є одним з перспективних напрямків отримання електричної енергії та задоволення потреб для не великих сільськогосподарських об'єктів. Запропонована схема генерування електричної енергії. Дана конструкція вітроелектроустановки може виробляти енергію як постійного, так і змінного струму для автономних або мережних систем.

Проведено скорочений розрахунок діаметра ротора вітроустановки. Описано переваги та недоліки вітроенергетики в порівнянні з традиційними галузями енергетики. Зроблено короткі висновки щодо запропонованої конструкції вітрової електростанції це дасть можливість покращити екологію, зменшивши вплив антропогенних факторів на навколишнє середовище а також з огляду на постійний ріст цін на енергоресурси заощадити кошти тому що такі самостійні невеликі вітрові електростанції дають змогу забезпечити джерелами енергії малі сільськогосподарські об'єкти.

Ключові слова: вітрова електростанція, рама, гвинт, вал, муфта, редуктор, генератор, акумулятор.

Ф. 5. Рис. 2. Літ. 8.

1. Постановка проблеми

З усіляких пристроїв, що перетворюють енергію вітру в механічну роботу, у переважній більшості випадків використовуються лопатеві машини з горизонтальним валом, установлюваним по напрямку вітру. Набагато рідше застосовуються пристрої з вертикальним валом.

Турбіни з горизонтальною віссю і високим коефіцієнтом швидкохідності мають найбільше значення коефіцієнта використання енергії вітру (0,46-0,48). Вітротурбіни з вертикальним розташуванням осі менш ефективні (0,45), але мають ту перевагу, що не вимагають налаштування на напрямки вітру.

Сьогодні запропоновано безліч варіантів механізмів для перетворення вітру в електричну енергію. Основним його елементом є вітроколесо. За принципом роботи та схемою будови вітроколеса вітрові електростанції поділяються на 3 класи:

- крильчасті (пропелерні) – з лопастями перпендикулярно до валу;
- карусельні або роторні;
- барабанні.

В карусельних та барабанних вал вітроколеса встановлюється вертикально. Воно обертається під дією вітру на лопаті, розташованій з одного боку осі колеса, у той час як інші лопаті прикриваються ширмою або повертаються з допомогою спеціального пристрою ребром до вітру. Ці обидва класи є громіздкими і менш ефективними порівняно з крильчастими. Виходячи з цього вся сучасна



вітроенергетика базується в основному на крильчастих типах вітродвигунів. Пропелерні вітродвигуни досконалі, відносно мало матеріалоемні, забезпечують досить високий коефіцієнт використання енергії вітру [1-3].

2. Аналіз останніх досліджень та публікацій

Перша в СРСР вітрова електростанція потужністю 8 кВт була споруджена в 1929-1930 р. Під Курськом за проектом інженерів Уфимцева і Ветчинкіна. За рік у Кримській АРСР було побудовано більшу ВЕС на 100 кВт, що була на той час найбільшою ВЕС у світі. Вона працювала до 1942 р., але у час війни була зруйнована. Але найшвидше вітроенергетика розвивалася в США. Ще в 1941 р. Там була побудована перша ВЕС потужністю 1250 кВт [4-6]

Існуючі на сьогоднішній день в Україні потужності вітрових електростанцій перевищують 51 МВт, а з моменту, коли запрацювала перша вітчизняна вітрова електростанція, вироблено понад 80 млн кВт·год. Електроенергії. За оцінками фахівців, загальна потенційна потужність української вітроенергетики становить 5000 МВт [7]

Застосування вітроустановок для виробництва електроенергії в Україні найбільш ефективно в тих регіонах, де середньорічна швидкість вітру перевищує 5 м/сек - на Азовсько-Чорноморському узбережжі, в Одеській, Херсонській, Запорізькій, Миколаївській областях та в районі Карпат. Експлуатація тихохідних багатолопатевих установок з підвищеним поворотним моментом дозволяє використовувати енергію вітру для виконання механічної роботи (підняття і перекачування води, помелу зерна) використовують по Україні. Реалізація державної національної програми в області вітроенергетики дозволить отримати за рік на вітроенергостанції і автономних вітроустановках близько 5,71 млн. МВт год енергії, що забезпечить до 2,5% від річної потреби енергії в Україні.

В Україні ринок малої вітроенергетики базується переважно на установках, що виробляють електроенергію для приватних домогосподарств, з середньою потужністю від 1 до 25 кВт [8-11].

3. Мета та завдання дослідження

Метою досліджень є пошук, розгляд, аналіз та порівняння існуючих конструкцій вітрових електростанцій для потреб малих сільськогосподарських об'єктів. Для вирішення вказаної мети були поставлені завдання:

- провести короткий аналіз та історичну довідку існуючих конструкцій вітрових електростанцій малої потужності основних світових виробників;
- визначити найбільш кращі варіанти які підходять для всіх природно-кліматичних зон України;
- запропонувати нижче описаний варіант конструкції вітрової електростанції малої потужності;
- обґрунтувати доцільність застосування запропонованої конструкції;
- описати її будову та принцип її роботи, технічну характеристику.

4. Виклад основного матеріалу

Конструкція вітрової електростанції складається: з рами 1 (Рис. 1), на якій кріпляться всі робочі органи і механізми електростанції, з основного 2 та додаткового гвинта 3, які встановлені на внутрішньому 4 та зовнішньому 5 валах, гвинти захищені кожухом 6, який виконує функцію направляючої стисненого повітря, на зовнішній (вхідній) частині кожуха встановлюється решітка 7 для запобігання попадання домішок у гвинти.

На зовнішньому валу встановлюється конічний редуктор (мультиплікатор) для привода вертикального вала 15 (вал привода генератора), редуктор складається із зубчатого колеса 8 та шестерні 9, даний редуктор призначений для збільшення оборотів вала 15 від додаткового гвинта 3, внутрішній вал 4 та зовнішній 5 кріпляться до верхньої (рухомої) рами 13 опорними підшипниками 10 і 11, на рухомій рамі електростанції прикріплений поворотний пристрій 12, який призначений для повороту робочого механізму згідно напрямлення вітру, напрям поворотного механізму згідно напрямку вітру регулюється направляючою повітряного потоку 14, на валу привода генератора 15 встановлений конічний редуктор (мультиплікатор) 16, який виконує функцію передачі обертового руху із вертикального вала на горизонтальний із збільшенням числа оборотів. Конічний редуктор 16 через запобіжну муфту 17 передає обороти на вал генератора 18, який жорстко кріпиться до рами 1.

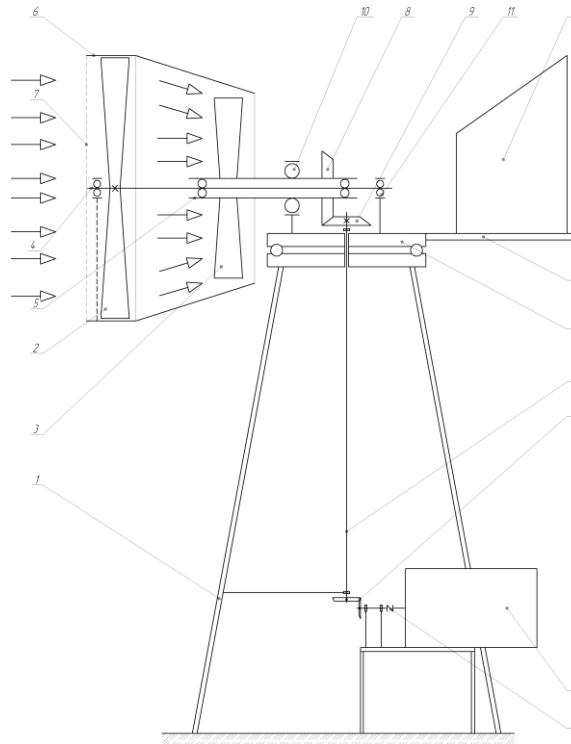


Рис. 1. Схема вітрової електростанції:

1 – рама; 2 – основний гвинт; 3 – додатковий гвинт; 4 – внутрішній вал; 5 – зовнішній вал; 6 – кожух; 7 – захисна решітка; 8 – зубчасте колесо; 9 – шестерня; 10, 11 – опорні підшипники; 12 – поворотний пристрій; 13 – верхня рухома рама; 14 – направляюча; 15 – вал привода генератора; 16 – конічний редуктор; 17 – запобіжна муфта; 18 – генератор.

Завдяки направляючої 14 робочі гвинти 2 і 3 стають лицем до напрямлення вітру, основний гвинт 2, який розміщений на вільному валу обертається з однією швидкістю n_1 і нагнітає повітряний потік у конусоподібний кожух 6 де повітря стискається і дає змогу обертатись додатковому гвинту 3 із більшою швидкістю, додатковий гвинт 3 встановлений на зовнішньому трубчастому валу 5, який є приводним передаточного механізму (редуктора 8, 9 вала 15 та редуктора 16). Передаточний механізм збільшує кількість оборотів генератора 18.

У даному зразку представлена нова схема вітрової установки з відносно тихохідним генератором 150...200 об/хв і одноступінчастим редуктором.

Із збільшенням потужності вітроелектричних установок і відповідно зі збільшенням діаметра вітроколеса зменшуються обороти вітроколеса, що обумовлено обмеженням лінійної швидкості кінця лопатей.

Гвинти захищені решіткою 7 для запобігання попаданню домішок у гвинтову площину робочого механізму. Гвинти можуть виконуватись у двох випадках (Рис. 2) плоский гвинт (а) та спіралеподібний (б).

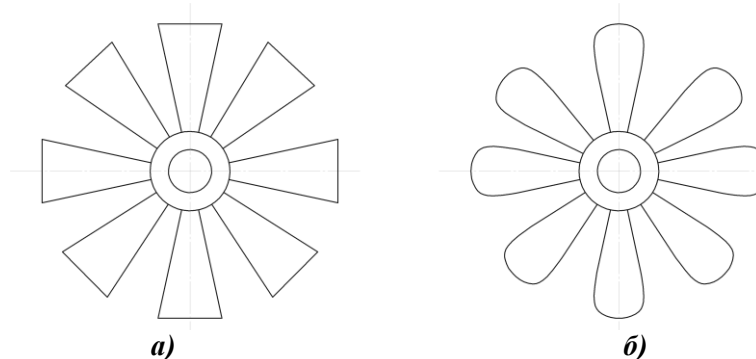
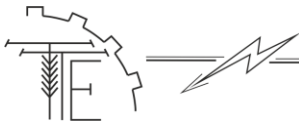


Рис. 2. Схеми гвинтів: а – плоский гвинт; б – спіралеподібний

Багатолопатеві вітродвигуни (Рис. 2) характеризуються великим коефіцієнтом заповнення і, внаслідок цього, значною величиною коефіцієнта осьового гальмування вітрового потоку і моменту



інерції, що суттєво позначається на значенні коефіцієнта використання енергії вітру. Крім того, застосування багатолопатевого вітрогенератора у якості привода електричного генератора призводить також до зниження економічних показників ефективності вітрової електричної установки із-за збільшення загальної вартості лопатей і зростання витрат на мультиплікатор, оскільки швидкість обертання таких вітрогенераторів невелика. За способом регулювання кута установки лопатей вітрогенератори поділяють на регульовані і нерегульовані. Кут φ між хордою профілю і площиною обертання називається кутом установки або заклинювання лопаті.

Пропонована схема генерування електричної енергії. Дана конструкція вітроелектроустановки може виробляти енергію як постійного, так і змінного струму для автономних або мережних систем. Пропонується наступна схема: ротор - генератор постійного струму - споживач постійного струму або акумуляторна батарея.

Генерування постійного струму здійснюється на установках до 10 квт. Електричні машини постійного струму мають колектор і щітковий контакт, що обмежує їх широку експлуатацію так як вони мають великий початковий момент опору.

Тому потужність генератора буде складати:

$$P_{вг} = 1,36 N_{в} / k_0, \text{ кВт}, \quad (1)$$

де $N_{в}$ – потужність електроспоживача, квт; k_0 – коефіцієнт, що дорівнює 0,35 для привода з постійним моментом.

Розрахунок діаметра ротора вітроустановки. Розрахунок починається з визначення геометричних параметрів ротора із рівняння потужності вітроустановки:

$$N = 0,5 k \rho F \xi V_n^3, \text{ кВт}, \quad (2)$$

Де ρ – масова густина повітря, що залежить від температури та тиску атмосфери (при $t = 15^\circ\text{C}$ та $p = 760$ мм рт.ст. $\rho = 0,125 \text{ кг}\cdot\text{с}^{-2}\cdot\text{м}^{-4}$); F – площа обмаху ротора; V_n – номінальна швидкість вітру; ξ – коефіцієнт потужності вітроустановки; k – коефіцієнт узгодження системних одиниць вимірювання ($k = 1/102$ при розрахунку в системі СІ).

Для крильчастих роторів поверхня обмаху складає:

$$F = 0,25 \pi D^2 = 0,785 D^2, \text{ м}^2. \quad (3)$$

А потужність вітроустановки складе (кВт):

$$N = 0,000481 D^2 \xi V_n^3, \text{ кВт}. \quad (4)$$

Діаметр ротора буде становити.

$$D = 45,6 \sqrt{\frac{N}{\xi V_n^3}}, \text{ м}. \quad (5)$$

Переваги. Існує чимало переваг вітроенергетики, включаючи енергетичні, екологічні, економічні. Відносно не високі інвестиції у вітроенергетичні проекти в порівнянні з традиційними галузями енергетики. Сумарна кінетична енергія вітру в світі може бути оцінена як у 80 разів вища від сумарного енергоспоживання людиною. І хоча для енергетичних потреб може бути використана лише певна частка від цього загального показника, майбутній розвиток самої технології має величезний потенціал.

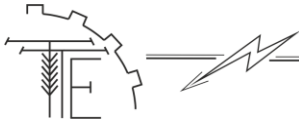
Недоліки. Одне з основних обмежень розвитку вітроенергетики - це необхідність розташування установок в місцях із певною інтенсивністю вітру. Шумові впливи. Можлива шкода для птахів, кажанів, деяких інших видів тварин. Вітер дує майже завжди нерівномірно тому і генератор буде працювати нерівномірно, віддаючи то велику, то меншу потужність, струм буде вироблятися перемінною частотою, а то і цілком припиниться, і притім, можливо, саме тоді, коли потреба в ньому буде найбільшою. Для вирівнювання віддачі струму застосовують акумулятори.

4. Висновки

Специфікою повітряних потоків України є їхня мала питома потужність, саме через це актуально розробляти дешеві вітряки малої одиничної потужності, які працюють при слабких вітрах.

Короткий аналіз досвіду та практики дає можливість підсумувати вигоди, які дають вітрові електростанції малої потужності: можливість покращити екологію, зменшивши вплив антропогенних факторів на навколишнє середовище; з огляду на постійний ріст цін на енергоресурси заощадити кошти; такі самостійні невеликі вітрові електростанції дають змогу забезпечити джерелами енергії малі сільськогосподарські об'єкти.

Відомо, що для виробництва 1 кВт·год енергії необхідно близько 1 кг деревини, або 0,25 кг нафти, або 0,35 кг вугілля.

**Список використаних джерел**

1. Алексеев Б. А. Міжнародна конференція по вітроенергетиці. *Електричні станції*. 1996. №2. С.123–23
2. Атлас енергетичного потенціалу відновлюваних джерел енергії України. К.: ТОВ «Віолапрінт», 2008. 55 с.
3. Безруких П. П. Ветроэнергетика: справ. И метод. Пособ. М.: ИД ЭНЕРГИЯ, 2010. 320 с.
4. Дзензерский В. А. Тарасов С.В., Костюков И.Ю. Ветроустановки малой мощности. К.: Наук. Думка, 2011. 592 с.
5. Рензо Д. Д. Вітроенергетика. М.: Енергоатоміздат, 1982. 228 с.
6. Сидоров В. І. Технології гідро- та вітроенергетики. Черкаси: Вертикаль, видавець Кандич С. Г., 2016. 166 с
7. Соболев Я. Г. "Вітроенергетика" в умовах ринку (1992-1995 р.). Енергія: Екон., техн. Екол. 1995. №11.
8. Шмиг Р. А., Боярчук В. М., Добрянський І. М., Барабаш В. М. Вітроелектрична станція. Львів, 2010. С. 51.
9. Калетнік Г. М. Пиндик М. В. Поняття альтернативних джерел енергії та їх місце в реалізації політики енергоефективності України. *Економіка. Фінанси. Менеджмент: актуальні питання науки і практики*. 2016. № 8. С. 7–18. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/efmapnp_2016_8_3.
10. Про альтернативні джерела енергії: Закон України від 20.02.2003р. №555-15. URL: <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/555-15>
11. Гончарук І. В. Сучасний стан енергозабезпечення агропромислового комплексу України. *Економіка та держава*. 2020. № 10. С. 93–98

References

- [1] Aleksieiev B. A. Mizhnarodna konferentsiia po vitroenerhetytsi. Elektrychni stantsii. 1996. №2. S.123–23. [in Ukrainian].
- [2] Atlas enerhetychnoho potentsialu vidnovliuvanykh dzherel enerhii Ukrainy. K.: TOV «Violaprint», 2008. 55 s. [in Ukrainian].
- [3] Bezrukykh P. P. Vetroenerhetyka: sprav. Y metod. Posob. M.: YD ENERHYIA, 2010. 320 s. [in Russian].
- [4] Dzenzerskyi V. A. Tarasov S.V., Kostiuikov Y.Iu. Vetroutanovky maloi moshchnosti. K.: Nauk. Dumka, 2011. 592 s. [in Russian].
- [5] Renzo D. D. Vitroenerhetyka. M.: Enerhoatomizdat, 1982. 228 s. [in Ukrainian].
- [6] Sydorov V. I. Tekhnolohii hidro- ta vitroenerhetyky. Cherkasy: Vertykal, vydavets Kandych S. H., 2016. 166 s [in Ukrainian].
- [7] Sobol Ya. H. "Vitroenerhetyka" v umovakh rynku (1992-1995 r.). Enerhiia: Ekon., tekhn. Ekol. 1995. №11. [in Ukrainian].
- [8] Shmyh R. A., Boiarchuk V. M., Dobrianskyi I. M., Barabash V. M. Vitroelektrychna stantsiia. Lviv, 2010. S. 51. [in Ukrainian].
- [9] Kaletnik, H. M. Pyndyk, M. V. (2016). Poniattia alternatyvnykh dzherel enerhii ta yikh mistse v realizatsii polityky enerhoefektyvnosti Ukrainy [The concept of alternative energy sources and their place in the implementation of energy efficiency policy of Ukraine]. *Ekonomika. Finansy. Menedzhment: aktualni pytannia nauky i praktyky*. № 8. S. 7–18. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/efmapnp_2016_8_3. [in Ukrainian].
- [10] Pro alternatyvni dzherela enerhii: Zakon Ukrainy vid 20.02.2003. №555-15. URL: <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/555-15> [in Ukrainian].
- [11] Honcharuk, I. V. (2020). Suchasnyi stan enerhozabezpechennia ahropromyslovoho kompleksu Ukrainy [The current state of energy supply of the agro-industrial complex of Ukraine]. *Ekonomika ta derzhava*. № 10. S. 93–98 [in Ukrainian].

**ВЕТРОВАЯ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯ ДЛЯ НУЖД МАЛЫХ
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ОБЪЕКТОВ**

Существует немало преимуществ ветроэнергетики, включая энергетические, экологические, экономические. Относительно не высокие инвестиции в ветроэнергетические проекты по сравнению с традиционными отраслями энергетики. Суммарная кинетическая энергии ветра в мире может быть оценена как в 80 раз выше суммарного энергопотребления человеком. И хотя для энергетических нужд может быть использована только определенная доля от этого общего показателя, будущий. Развитие самой технологии имеет огромный потенциал.

В статье сделан вступление и проведен краткий анализ и историческую справку существующих конструкций ветровых электростанций малой мощности основных мировых производителей; указано цель исследований предложенной темы.



Предложено и разработано и описано перспективную схему ветровой электростанции для нужд малых сельскохозяйственных объектов, которая дает возможность получать электрический ток при небольших скоростях ветра во всех природно-климатических зонах Украины. Установлено, что ветровые электростанции малой мощности является одним из перспективных направлений получения электрической энергии и удовлетворения потребностей для не больших сельскохозяйственных объектов. Предложенная схема генерирования электрической энергии. Данная конструкция ветроэлектростанции может производить энергию как постоянного, так и переменного тока для автономных или сетевых систем.

Проведено сокращен расчет диаметра ротора ветроустановки. Описаны преимущества и недостатки ветроэнергетики по сравнению с традиционными отраслями энергетики. Сделано краткие выводы по предложенной конструкции ветровой электростанции это позволит улучшить экологию, уменьшив влияние антропогенных факторов на окружающую среду а также учитывая постоянный рост цен на энергоресурсы сэкономить средства так как такие самостоятельные небольшие ветровые электростанции позволяют обеспечить источниками энергии малые сельскохозяйственные объекты.

Ключевые слова: ветровая электростанция, рама, винт, вал, муфта, редуктор, генератор, аккумулятор.

Ф. 5. Рис. 2. Лит. 8.

WIND POWER PLANT FOR THE NEEDS OF SMALL AGRICULTURAL FACILITIES

There are many advantages of wind energy, including energy, environmental, economic. Relatively low investment in wind energy projects compared to traditional energy industries. The total kinetic energy of wind in the world can be estimated as 80 times higher than the total energy consumption by humans. And although only a certain fraction of this total can be used for energy needs, the future. The development of the technology itself has enormous potential.

The article introduces and provides a brief analysis and historical background of existing designs of low-power wind power plants of the world's major manufacturers; the purpose of research on the proposed topic is indicated.

Proposed and developed and described a promising scheme of a wind farm for the needs of small agricultural facilities, which makes it possible to receive electric current at low wind speeds in all natural and climatic zones of Ukraine. It has been established that low-power wind power plants are one of the promising areas for obtaining electrical energy and meeting the needs for small agricultural facilities. The proposed scheme for generating electrical energy. This design of a wind turbine can produce both DC and AC power for stand-alone or grid systems.

The calculation of the wind turbine rotor diameter has been reduced. The advantages and disadvantages of wind energy in comparison with traditional energy industries are described. Brief conclusions are made on the proposed design of the wind farm, this will improve the environment, reducing the impact of anthropogenic factors on the environment and also, taking into account the constant increase in energy prices, save money, since such independent small wind farms allow small agricultural facilities to be provided with energy sources.

Key words: wind power station, frame, propeller, shaft, coupling, gearbox, generator, battery.

F. 5. Fig. 2. Ref. 8.

ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ

Кордонський Василь Анатолійович – викладач технічних дисциплін, агротехнологічне відділення, відокремлений структурний підрозділ «Чернятинський фаховий коледж Вінницького національного аграрного університету» (вул. Графа Львова, 28 тел.(04332)32425 с. Чернятин, Жмеринський р-н, Вінницька обл. 23124, Україна. e-mail: kordonskyi1969@gmail.com)

Кордонский Василий Анатольевич – преподаватель технических дисциплин, агротехнологическое отделения, отдельное структурное подразделение «Чернятинский специализированный колледж Винницкого национального аграрного университета» (ул. Графа Львова, 28 тел. (04332)32425 с. Чернятин, Жмеринский р-н., Винницкая обл. 23124, Украина. e-mail: kordonskyi1969@gmail.com)

Kordonsky Vasily – teacher of technical disciplines of the Department “Agro-technical” of Separate structural subdivision "Chernyatyn Professional College of Vinnytsia National Agrarian University" (28, Grafa I'vova Str., tel.(04332)32425 Chernyatyn, Zhmerynka District, Vinnytsia Region, 23124, Ukraine, e-mail: kordonskyi1969@gmail.com)