

UDC 631.365.32: 664.7

DOI: 10.48077/scihor.23(12).2020.58-64

ECOLOGICAL EFFICIENCY OF POST-HARVEST PROCESSING OF GRAIN DURING THE USE OF COMBINED SOLAR AND WIND ENERGY SYSTEMS

Mykola Berlinets*

SC "Central Laboratory of Water and Soil Quality" Institute of Water Problems and Land Reclamation of the NAAS of Ukraine
08324, 1 Nauky Str., Hora, Kyiv region, Ukraine

Article's History:

Received: 01.11.2020

Revised: 06.12.2020

Accepted: 15.12.2020

Suggested Citation:

Berlinets, M. (2020). Ecological efficiency of post-harvest processing of grain during the use of combined solar and wind energy systems. *Scientific Horizons*, 23(12), 58-64.

*Corresponding author.

Abstract. With increasing production of cereals and legumes, the amount of energy used during their post-harvest processing increases, and, consequently, greenhouse gas emissions from the consumption and production of such energy increase. Since post-harvest processing of grain is one of the energy-intensive processes in agricultural production, and the greatest use of energy in this process is grain drying, the purpose of this study is to reduce greenhouse gas emissions from electricity consumption in post-harvest processing of grain by using combined solar and wind energy systems meeting the needs of low-temperature drying of grain. Installations that use this process are active ventilation hoppers. Power supply of such systems is accompanied by indirect emissions of carbon dioxide from electricity consumption. It is established that one of the ways to reduce the emission of such gases, as well as to ensure the reliability and energy efficiency of low-temperature grain drying in active ventilation systems is the use of wind energy and solar radiation. To compare environmental efficiency, it was determined that the criterion for the effectiveness of combined solar and wind energy systems to improve the process of low-temperature drying of grain is a direct environmental criterion for reducing greenhouse gas emissions from electricity consumption. It is established that the ecological effect of reducing carbon dioxide emissions depends on the levels of autonomy of the use of combined solar and wind energy systems and the amount of electricity consumed in the process of low-temperature drying of grain. Theoretically, it is calculated that the use of such systems for the supply of active ventilation bunkers can reduce greenhouse gas emissions from 122.7 to 16,564.5 kg-CO₂ with low-temperature drying of grain from 25 to 225 tonnes of grain per year. The practical value of this study is to reduce greenhouse gas emissions during low-temperature drying of grain through the use of combined solar and wind energy systems

Keywords: renewable energy sources, low-temperature drying of grain, agricultural production, ecological criterion

ЕКОЛОГІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ПРОЦЕСУ ПІСЛЯЗБИРАЛЬНОЇ ОБРОБКИ ЗЕРНА ПІД ЧАС ЗАСТОСУВАННЯ КОМБІНОВАНИХ ФОТОВІТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ СИСТЕМ

Микола Миколайович Берлінець

ДП «Центральна лабораторія якості води та ґрунтів» Інституту водних проблем та
меліорації НААН України
08324, вул. Науки, 1, с. Гора, Київська обл., Україна

Анотація. В умовах збільшення виробництва зернових і зернобобових культур зростає й кількість енергії, використаної під час їхньої післязбиральної обробки, а, отже, збільшуються викиди парникових газів за споживання та виробництва такої енергії. Оскільки процес післязбиральної обробки зерна є одним з енергоємних процесів у виробництві сільськогосподарської продукції, а найбільше використання енергії в цьому процесі припадає на сушіння зерна, то метою даної роботи є зменшення викидів парникових газів при споживанні електроенергії в процесі післязбиральної обробки зерна шляхом застосування комбінованих фотовітроенергетичних систем для забезпечення потреб процесу низькотемпературного сушіння зерна. Установками, які використовують такий процес, є бункери активного вентилявання. Живлення таких систем від електромережі супроводжує непрямі викиди вуглекислого газу від споживання електричної енергії. Встановлено, що одним із шляхів зниження викиду таких газів, а також забезпечення надійності та енергоефективності на низькотемпературну сушку зерна в установках активного вентилявання є використання енергії вітру та сонячного випромінювання. Для порівняння екологічної ефективності було визначено, що критерієм ефективності застосування комбінованих фотовітроенергетичних систем для підвищення процесу низькотемпературного сушіння зерна є прямий екологічний критерій зниження рівня викидів парникових газів при споживанні електроенергії. Встановлено, що екологічний ефект від зменшення викидів вуглекислого газу залежить від рівнів автономності застосування комбінованих фотовітроенергетичних систем і кількості спожитої електроенергії в процесі низькотемпературного сушіння зерна. Теоретично розраховано, що для живлення бункерів активного вентилявання застосування таких систем може зменшити викиди парникових газів від 122,7 до 16564,5 кг·CO₂ за низькотемпературного сушіння зерна від 25 до 225 т зерна в рік. Практична цінність даної роботи полягає у зменшенні викидів парникових газів під час низькотемпературного сушіння зерна шляхом застосування комбінованих фотовітроенергетичних систем

Ключові слова: відновлювальні джерела енергії, низькотемпературне сушіння зерна сільськогосподарське виробництво, екологічний критерій

ВСТУП

Великий антропогенний вплив на екологію навколишнього середовища має збільшення посівних площ, які за даними Держстату [1] в кінці 2020 року становили 27,97 млн га. Так, за даними джерела [2] на сільське господарство припадає 23 % загальних світових антропогенних викидів парникових газів. До цього потрібно ще додати прямі і непрямі викиди вуглекислого газу під час споживання енергії в процесах сільськогосподарського виробництва. Непрямі викиди парникових газів в атмосферу відбуваються під час споживання електроенергії установками, які використовуються в різних процесах сільського господарства. Так, посилюючись на Закон України «Про Основні засади (стратегію) державної екологічної політики України на період до 2030 року», для зменшення

рівнів викидів вуглекислого газу необхідно використовувати відновлювані джерела енергії. Споживання електроенергії від таких джерел мають забезпечити 17 % від загального споживання електроенергії в 2030 році [3].

Одним з найбільш важливих процесів у сільськогосподарському виробництві є післязбиральна обробка зерна. Основною складовою цього процесу є сушіння зерна. Сушіння зерна, зі свого боку, є одним з найбільш енергоємних процесів післязбиральної обробки. На її долю припадає до 70 % експлуатаційних витрат у поточних лініях післязбиральної обробки зерна [4; 5].

Застосування процесу низькотемпературного сушіння зерна дозволяє зменшити використання енергії на сушіння зерна. Такий метод сушіння використовується в бункерах активного вентилявання.

У сільському господарстві України бункери активного вентилявання застосовуються на комплексах і пунктах післязбиральної обробки зерна. Вони призначені для попереднього підсушування та зберігання свіжозібраного зерна перед основним сушінням, охолодження зерна після високотемпературної сушки, тимчасового та довготривалого зберігання. У бункерах активного вентилявання зерно підсушується повітрям. Водночас повітря в бункерах підігрівається електричним калорифером. На сьогоднішні в сільському господарстві використовують різні види бункерів активного вентилявання. Такі бункери послугуються електричними нагрівачами з потужністю від 2,3 до 49 кВт. Місткість бункерів становить від 1,5 до 50 т зерна, залежно від типу бункерів [6; 7].

Для зниження викидів вуглекислого газу в атмосферу потрібно вирішити питання застосування альтернативних енергозберігаючих технічних і технологічних рішень у процесі післязбиральної обробки зерна. Так, можливим шляхом зниження викиду парникових газів, а також збільшення надійності та енергозбереження на сушку зерна в установках активного вентилявання є використання сонячної та вітрової енергії. Застосування технічних засобів, які перетворюють таку енергію в електроенергію є раціональним, тому що період післязбиральної обробки зерна в територіальному і часовому проміжку збігаються із значною інтенсивністю сонячного випромінювання та швидкості вітру. Також, використання цих видів енергії комбіновано для забезпечення потреб низькотемпературного сушіння підвищує надійність такого процесу і підвищує економічну ефективність виробництва сільськогосподарського виробництва. Так, для живлення бункерів активного вентилявання доцільно використовувати комбіновані фотовітроенергетичні системи. Застосування цих систем дозволяє зменшити викиди парникових газів в атмосферу, тим самим підвищуючи екологічну ефективність процесу післязбиральної обробки зерна.

Метою дослідження є підвищення ефективності процесу післязбиральної обробки зерна за рахунок застосування комбінованих фотовітроенергетичних систем.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ

Для збереження високої якості виробленої продукції сільського господарства за мінімальних викидів парникових газів у навколишнє середовище

були вибрані сучасні екологічні умови процесу післязбиральної обробки зерна. Тому, згідно з Законом України «Про Основні засади (стратегію) державної екологічної політики України на період до 2030 року» зниження екологічного навантаження на навколишнє середовище, надійність електропостачання (автономність) і зменшення її вартості потрібно здійснювати з використанням комбінованих фотовітроенергетичних систем для живлення бункерів активного вентилявання. Підбір комбінованих фотовітроенергетичних систем для типових установок активного вентилявання проведений на основі розрахункових параметрів надходження енергетичних потоків стохастичних характеристик метеорологічних умов для заданої території, а також їх відсутність; зональність і вартість електроенергії, вартість обладнання та тривалість низькотемпературного сушіння зерна. Статистичні метеорологічні дані надходження сонячної та вітрової енергії в Київській області було зібрано у Галузевому державному архіві гідрометслужби України за 11 років. Визначення тривалості процесу низькотемпературного сушіння зерна проводилось розрахунковим методом Хаккіла.

Далі, для того, щоб забезпечити підвищення ефективності процесу післязбиральної обробки зерна, а саме низькотемпературного сушіння в бункерах активного вентилявання, необхідно визначитися з критеріями ефективності на основі яких проводитимуться порівняння застосування комбінованих фотовітроенергетичних систем. Спираючись на джерела [3; 8], головним критерієм ефективності виступає екологічний критерій. Даний критерій кількісно відображає величину викинутих у навколишнє середовище парникових газів, яка зменшується під час застосування комбінованих фотовітроенергетичних систем (КФВЕС) у процесі низькотемпературного сушіння зерна. Цей критерій виступає у ролі прямого екологічного ефекту, який показує кількість викидів CO₂, яку можна позбутися у разі споживання електроенергії не від електричної мережі, а від комбінованої фотовітроенергетичної установки.

Розрахунок прямого екологічного ефекту від зниження рівня викидів парникових газів при споживанні електроенергії визначається як:

$$E_{\text{ек}} = (R_{\text{CO}_2} \cdot W_{\text{заг}} \cdot K) - (R_{\text{CO}_2} \cdot W_{\text{заг}}) \quad (1)$$

де $W_{\text{заг}}$ – загальна споживана електроенергія на сушіння зерна, кВт/год;

K – коефіцієнт використовуваної потужності бункерів

активного вентилявання від мережі ($K < 1$); $R_{co,2}$ – національний коефіцієнт, що визначає рівень викидів CO_2 на виробництво 1 кВт·год електроенергії, кг $R_{co,2} = 1,227 \text{ кг} \cdot CO_2 / \text{кВт} \cdot \text{год}$) [9].

Так, для розрахунку прямого екологічного ефекту необхідно визначити загальну споживану електроенергію на низькотемпературне сушіння зерна та визначитися із необхідним рівнем автономності. Також, поруч з прямим екологічним критерієм можна вказати й непрямий екологічний ефект. Він базується на відсутності будь-яких затрат на запобігання захворюваності населення в результаті пониження якісних характеристик повітря та затрат на відшкодування наслідків глобального потепління [10].

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ОБГОВОРЕННЯ

Визначення екологічного ефекту проводимо за допомогою порівняння базового варіанту джерела теплової енергії – електрокалорифер з живленням від мережі, а також нового варіанту – електрокалорифер з живленням від мережі та КФВЕС. Для базового варіанту обрано бункер активного вентилявання зерна БВ-25, який оснащений електрокалорифером потужністю 25 кВт, а для нового варіанту – той самий бункер з ідентичною потужністю електрокалорифера, але живленням від КФВЕС.

Для визначення екологічного критерію ефективності від зниження рівня викидів парникових газів під час споживання електроенергії розраховуємо кількість електроенергії спожитої під час низькотемпературного сушіння зерна. Для визначення кількості енергії спожитої активним вентиляванням у процесі низькотемпературного сушіння зерна потрібно знати тривалість вентилявання та сумарну споживану потужність установок [11–13]:

$$W = \sum P_{\text{уст}} \cdot t \quad (2)$$

де $\sum P_{\text{уст}}$ – сумарна споживана потужність установок, кВт; t – тривалість вентилявання, год.

Сумарна споживана потужність розраховується як сума споживаних потужностей усіх електричних установок. Так, якщо для процесу низькотемпературного сушіння зерна в бункері активного вентилявання використовується один бункер (з одним трьохфазним асинхронним електродвигуном), то його споживану потужність визначаємо як [14; 15]:

$$\sum P_{\text{уст}} = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos \varphi = \sqrt{3} \cdot P \cdot \cos \varphi \quad (3)$$

де P – потужність електродвигуна, кВт.

Розрахункові дані кількості споживання електроенергії в процесі низькотемпературного сушіння зерна в бункерах активного вентилявання подані в таблиці 1.

Таблиця 1. Споживання електроенергії в процесі низькотемпературного сушіння, кВт

К-сть загрузок бункера	Тривалість низькотемпературного сушіння, год			
	0	20	40	60
1	0	500	1000	1500
3	0	1500	3000	4500
6	0	3000	6000	9000
9	0	4500	9000	13500

Аналізуючи результати розрахунку споживання електроенергії в процесі післязбиральної обробки зерна видно, що кількість електроенергії спожитої в даному процесі на пряму залежить від кількості зерна та тривалості самого вентилявання. Одна загрузка бункера дорівнює 25 т зерна. Так, при сушінні 225 т зерна, що дорівнює 9 загрузкам бункера та тривалістю низькотемпературного сушіння зерна 60 годин, яка додається для кожної загрузки бункера, кількість спожитої енергії буде дорівнювати 13500 кВт·год.

За формулою 1 проведено розрахунок прямого екологічного ефекту від зниження рівня викидів парникових газів під час споживання електроенергії. Результати кількості викидів парникових газів в атмосферу від споживання електроенергії за різних рівнів автономності застосування комбінованої фотовітроенергетичної системи подано у таблиці 2. Ці дані є результатом обрахунку першої половини формули 1.

Таблиця 2. Кількість викидів вуглекислого газу в атмосферу від споживання електроенергії за різних рівнів автономності, кг

Рівень автономності	К-сть загрузок бункера	Час низькотемпературного сушіння, год				Рівень автономності	Час низькотемпературного сушіння, год			
		0	20	40	60		0	20	40	60
Без КФВЕС	0	0	0	0	0	K=0,2	0	0	0	0
	1	0	613,5	1227	1840,5		0	490,8	981,6	1472,4
	3	0	1840,5	3681	5521,5		0	1472,4	2944,8	4417,2
	6	0	3681	7362	11043		0	2944,8	5889,6	8834,4
	9	0	5521,5	11043	16564,5		0	4417,2	8834,4	13251,6
K=0,4	0	0	0	0	0	K=0,6	0	0	0	0
	1	0	368,1	736,2	1104,3		0	245,4	490,8	736,2
	3	0	1104,3	2208,6	3312,9		0	736,2	1472,4	2208,6
	6	0	2208,6	4417,2	6625,8		0	1472,4	2944,8	4417,2
	9	0	3312,9	6625,8	9938,7		0	2208,6	4417,2	6625,8
K=0,8	0	0	0	0	0	K=1	0	0	0	0
	1	0	122,7	245,4	368,1		0	0	0	0
	3	0	368,1	736,2	1104,3		0	0	0	0
	6	0	736,2	1472,4	2208,6		0	0	0	0
	9	0	1104,3	2208,6	3312,9		0	0	0	0

З таблиці видно, що під час збільшення автономності застосування комбінованих фотовітроенергетичних систем для живлення процесу низькотемпературного сушіння зерна в бункерах активного вентиляювання кількість викидів CO² суттєво зменшується. Згідно з розрахунками, кількість викидів становить 16564,5 кг CO² під час живлення бункера активного вентиляювання від електромережі та 3312,9 кг CO² при 20 %-му живленні бункера від мережі та 80 %-му живленні

від комбінованої фотовітроенергетичної системи. За умови повної автономності, тобто 100 %-му живленні від КФВЕС викиди рівні 0.

Теоретичний розрахунок зменшення викидів парникових газів в залежності від тривалості низькотемпературного вентиляювання, кількості просушеного зерна (загрузок бункера) та рівнів автономності живлення від комбінованої фотовітроенергетичної системи поданий в таблиці 3.

Таблиця 3. Зменшення викидів CO² в залежності від рівнів автономності, кількості просушеного зерна та тривалості низькотемпературного сушіння зерна

Рівень автономності	К-сть загрузок бункера	Тривалість низькотемпературного сушіння, год		
		20	40	60
K=0,2	1	-122,7	-245,4	-368,1
	3	-368,1	-736,2	-1104,3
	6	-736,2	-1472,4	-2208,6
	9	-1104,3	-2208,6	-3312,9
K=0,4	1	-245,4	-490,8	-736,2
	3	-736,2	-1472,4	-2208,6
	6	-1472,4	-2944,8	-4417,2
	9	-2208,6	-4417,2	-6625,8

Продовження таблиці 3

Рівень автономності	К-сть загрузок бункера	Тривалість низькотемпературного сушіння, год		
		20	40	60
K=0,6	1	-368,1	-736,2	-1104,3
	3	-1104,3	-2208,6	-3312,9
	6	-2208,6	-4417,2	-6625,8
	9	-3312,9	-6625,8	-9938,7
K=0,8	1	-490,8	-981,6	-1472,4
	3	-1472,4	-2944,8	-4417,2
	6	-2944,8	-5889,6	-8834,4
	9	-4417,2	-8834,4	-13251,6
K=1	1	-613,5	-1227	-1840,5
	3	-1840,5	-3681	-5521,5
	6	-3681	-7362	-11043
		-5521,5	-11043	-16564,5

Результати зменшення викидів CO² залежно від рівнів автономності живлення бункера активного вентилявання від комбінованої фотовітроенергетичної системи показують, що застосування таких систем в процесі післязбиральної

обробки зерна, дозволяє зменшити викиди парникових газів від 122,7 до 16564,5 кг-CO². Динаміка зменшення викидів при тривалості 60 год та різних кількостях загрузок бункера активного вентилявання показана на рисунку 1.

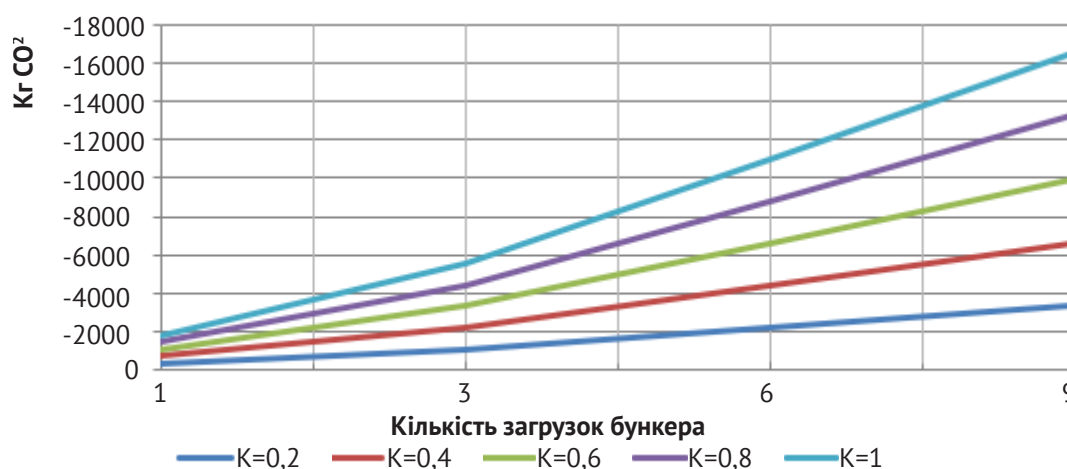


Рисунок 1. Динаміка зменшення викидів парникових газів при тривалості низькотемпературного сушіння зерна 60 год та різних кількостях загрузок бункера активного вентилявання

Наведена динаміка графічно ілюструє, що чим більше висушується зерна – тим менше виробляється викидів парникових газів в процесі післязбиральної обробки зерна, і, як наслідок підвищується його ефективність. Також зменшення кількості цих викидів залежить і від автономності живлення бункерів активного вентилявання.

ВИСНОВКИ

Збільшення виробництва зернових зумовлює збільшення енергії, яка використовується в процесі

післязбиральної обробки зерна. Водночас до такої електроенергії належить електрична енергія. Споживання такої енергії веде до непрямих викидів вуглекислого газу в атмосферу. Так, для зменшення таких викидів раціонально застосовувати комбіновані фотовітроенергетичні системи для живлення бункерів активного вентилявання в процесі післязбиральної обробки зерна, а саме низькотемпературного сушіння зерна.

Для порівняння екологічної ефективності було визначено, що критерієм ефективності

застосування комбінованих фотовітроенергетичних систем для підвищення процесу низькотемпературного сушіння зерна є прямий екологічний критерій зниження рівня викидів парникових газів під час споживання електроенергії. Встановлено, що екологічний ефект від зменшення викидів вуглекислого газу залежить від рівнів автономності застосування комбінованих фотовітроенергетичних систем і кількості спожитої електроенергії в процесі низькотемпературного сушіння зерна. Теоретично розраховано, що для живлення бункерів активного вентилювання застосування таких систем може зменшити викиди парникових газів від 122,7 до 16564,5 кг·CO₂ за низькотемпературного сушіння зерна від 25 до 225 т зерна в рік.

REFERENCES

- [1] Official website of the State Statistics Service of Ukraine. (n.d.). Retrieved from <http://www.ukrstat.gov.ua>.
- [2] Shukla, P.R., Skea, J., & Calvo, E. (Eds.). (2019). *Buendia climate change and land: An IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems*. Geneva: IPCC.
- [3] Law of Ukraine No. 2697-VIII "About the Basic principles (strategy) of the state ecological policy of Ukraine for the period till 2030". (2019, February). Retrieved from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2697-19#Text>.
- [4] Golub, G.A., Kuharets, S.M., & Yarosh, Ya.D. (2016). Assessment of equipment for grain drying with use of renewable energy sources. *Scientific Herald of National University of Life and Environmental Science of Ukraine. Series: Technique and Energy of APK*, 254, 11-23.
- [5] Bondar, O. (2009). Drying and cleaning equipment for grain. *Agroexpert*, 11, 102-105.
- [6] Gaponyuk, O.I., Ostapchuk, M.V., Stankevich, G.M., & Gaponyuk, I.I. (2014). *Active ventilation and drying of grain*. Odesa: VMV.
- [7] Baralo, O.V., Samoilenko, P.G., Granat, S.E., & Kovalev, V.O. (2010). *Automation of technological processes and automatic control systems*. Kyiv: Agrarian Education.
- [8] Shevchenko, O. (2018). *Climate change and its impact on the economy, ecology, society*. Retrieved from http://meteo.univ.kiev.ua/files/statti/shevch_prez.pdf
- [9] Order of the National Environmental Investment Agency of Ukraine No. 75 "On approval of indicators of specific emissions of carbon dioxide in 2011". (2011, May). Retrieved from <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0075825-11#Text>
- [10] Savchenko, E.V. (2013). Evaluating the effectiveness of using solar energy in agricultural production from the standpoint of physical economy theory. *Collection of Scientific Works of Tavriya State Agrotechnological University (Economic Sciences)*, 1(2), 287-293.
- [11] Milikh, B.I., & Pavlenko, T.P. (2016). *Power supply of industrial enterprises*. Kharkiv: FOP Panov A.M.
- [12] Matviychuk, A.Ya., & Stinyansky, V.L. (2017). *Electrical engineering*. Vinnytsia: Vinnytsia State Pedagogical University named after Mykhailo Kotsyubynsky.
- [13] Spivak, V.M., Gurzhiy, A.M., Nelga, A.T., & Ityakin, O.S. (2020). *General electrical engineering and basics of electronics*. Kyiv: KPI.
- [14] Lavrinenko, Yu.M., Savchenko, P.I., Sinyavsky, O.Yu., Voytiuk, D.G., Savchenko, V.V., & Holodny, I.M. (2017). *Basics of electric drive*. Kyiv: Lira-K Publishing House.
- [15] Vidmish, A.A., & Yaroshenko, L.V. (2020). *Basics of electric drive. Theory and practice*. Vinnytsia: VNAU.