

**Міністерство освіти і науки України
ДНУ «Інститут модернізації змісту освіти»
Білоцерківський національний аграрний університет
Технопарк «Innovations and SMA technologies» LLC АЛОТЕК (Україна,
Польща).
CEO “19 points” (Latvia)
MSDLab OU (Estonia)**



**Матеріали
II Міжнародної науково-практичної конференції**

АГРАРНА ЕНЕРГЕТИКА В ХХІ СТОРІЧЧІ: ДОСЯГНЕННЯ І ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ

“14” грудня 2023 року

**Біла Церква
2023**

УДК 620.9 «20»

Редакційна колегія:

Шуст О.А., ректор БНАУ, д-р екон. наук, професор, голова оргкомітету.

Варченко О.М., проректор з наукової та інноваційної діяльності БНАУ, д-р екон. наук, професор.

Димань Т.М., проректор з освітньої, виховної та міжнародної діяльності БНАУ, д-р с.-г. наук, професор.

Хахула В.С., декан агробіотехнологічного факультету БНАУ, канд. с.-г. наук, доцент.

Трегуб М.І., завідувач кафедри електроенергетики, електротехніки та електромеханіки БНАУ, д-р техн. наук, професор.

Червінський Л.С., професор кафедри електроенергетики, електротехніки та електромеханіки БНАУ, доктор технічних наук.

Голуб Г. А., професор кафедри тракторів, автомобілів та біоенергосистем Національного університету біоресурсів і природокористування України, доктор технічних наук

Головко В.М., професор кафедри відновлюваних джерел енергії Київського політехнічного університету ім. Ігоря Сікорського, доктор технічних наук.

Гуцол Т.Д., професор кафедри механіки та інженерії агроєкосистем Поліського національного університету; Український університет в Європі, Краків, Польща, доктор технічних наук.

Кухарець С.М., Український університет в Європі, Краків, Польща; Сільськогосподарська академія, Університет Вітовта Великого, Каунас, Литва доктор технічних наук, професор.

Васько П. Ф., завідувач відділу гідроенергетики Інституту відновлюваної енергетики НАН України, доктор технічних наук, професор.

Подольцев О.Д., доктор технічних наук, професор, головний науковий співробітник Інституту електродинаміки НАН України.

Krzysztof Mudryk, professor, doctor of science, Faculty of Production and Power Engineering, University of Agriculture in Krakow, Poland.

Szymon Glowacki, professor, doctor of science, Department of Fundamentals of Engineering and Power Engineering, Institute of Mechanical Engineering, Warsaw University of Life Sciences, Poland

Jonas Čėsna, docent., associate professor Department of Mechanical, Energy and Biotechnology Engineering, Agriculture Academy, Vytautas Magnus University, Kaunas.

Козирський В. В., доктор технічних наук, професор, директор Технопарку «Innovations and SMA technologies» LLC АЛОТЕК (Україна, Польща).

Reinholds Zviedris, doctor of science, CEO “19 points”, Latvia.

Ivan Chuba, Director MSDLab OU, Estonia.

Сенчук М.М., кандидат технічних наук, доцент

Чуба В.В., кандидат технічних наук, доцент.

Олешко О.Г., канд. с.-г. наук, доцент.

Відповідальна за випуск – **Олешко О.Г.**, канд. с.-г. наук.

«Аграрна енергетика в XXI сторіччі: досягнення і перспективи розвитку»:
матеріали II Міжнародної науково-практичної конференції, 14 грудня 2023 року.
Білоцерківський НАУ. 158 с.

Збірник підготовлено за авторською редакцією доповідей учасників конференції без літературного редагування. Відповідальність за зміст поданих матеріалів та точність наведених даних несуть автори.

Ел. адреса: <http://science.btsau.edu.ua/>

БНАУ©2023

1. Енергозабезпечення та електротехнології в аграрній сфері.

УДК 621.16

Трегуб М.І., доктор технічних наук, професор

Білоцерківський національний аграрний університет

Козирський В. В., доктор технічних наук, професор

Заслужений діяч науки і техніки України, директор Технопарку

"Innovations and SMA technologies" компанії ALOTEK LCC, Варшава, Польща

ОБҐРУНТУВАННЯ ІНТЕГРАЛЬНИХ КОГЕНЕРАЦІЙНИХ СИСТЕМ НА ВІДНОВЛЮВАНИХ ЕНЕРГОДЖЕРЕЛАХ ДЛЯ РОЗОСЕРЕДЖЕНИХ ЕНЕРГОСПОЖИВАЧІВ.

Серед нових актуальних завдань сучасної енергетики слід виділити проблеми акумулювання енергії, отриманої з відновлюваних джерел, оскільки генерування сонячних та вітрових електростанцій характеризується великою нерівномірністю та неузгодженістю відносно періодів максимумів енергоспоживання. Причому в світовій енергетиці продовжується пошук найбільш ефективних технологій і технічних засобів акумулювання енергії. Подано результати роботи, розробленої і виготовленої у Білоцерківському національному аграрному університеті, інтегральної когенераційної система у складі удосконаленого газогенератора і ступінчастої системи рекуперативного охолодження та очищення генераторного газу, двигуна внутрішнього згорання потужністю 52 кВт і синхронного трифазового генератора потужністю 24 кВт з можливістю одночасного паралельного приводу додаткового асинхронного генератора для повного завантаження ДВЗ.

Ключові слова: енергетика, енергія, когенераційна система, акумулятори енергії, генераторний газ.

Технічний рівень сталого енергозабезпечення в системах Smart Grid характеризується стійкістю та надійністю безперервно доступних джерел енергії, здатністю підтримання регламентованих параметрів енергопостачання навіть за несприятливих природних та міжнародних зовнішніх факторів, якими є тривала військова агресія росії проти України.

Вразливість об'єктів енергетичної інфраструктури залежить від їх масштабів та величини зосередженої потужності. Причому можна оцінити показники стійкості генеруючих потужностей від рівня їх розосередженості. Так, наприклад, якщо замість однієї зосередженої генеруючої потужності виконати трьома втричі меншими потужностями, розосередженими по тій же території енергозабезпечення, то арифметично стійкість за однакових умов збільшиться на 2/3. Крім того підвщується живучість логістики, оскільки розосереджуються шляхи та зменшуються обсяги транспортних витрат. При цьому змінюється уся система електропостачання, оскільки зменшуються потужності ЛЕП та відстані енергозабезпечення. Все це розглядається за умови незмінності виду енергоносіїв. Одночасно треба оцінити технічні можливості ТЕЦ, які економічно ефективні лише при розташуванні близько від великих

промислових центрів та компактних житлових масивів. Сьогодні ж основними трендами в Україні є зменшення масштабів промислових підприємств та виконання індивідуального опалення житла, тому розосередження генеруючих потужностей сприяє також подоланню негативного спадку гігантоманії з радянського минулого.

Якщо одночасно з факторами розосередження розглядати екологічні та ресурсні аспекти, то загальна модель системи енергопостачання матиме ряд ще недостатньо оцінених впливів. Серед нових актуальних завдань сучасної енергетики слід виділити проблеми акумулювання енергії, отриманої з відновлюваних джерел, оскільки генерування сонячних та вітрових електростанцій характеризується великою нерівномірністю та неузгодженістю відносно періодів максимумів енергоспоживання. Причому в світовій енергетиці продовжується пошук найбільш ефективних технологій і технічних засобів акумулювання енергії. Так надзвичайно перспективним вважається напрям гідрогенових технологій, який має велику підтримку в найбільш розвинених країнах, особливо з огляду на глобальне завдання декарбонізації енергетики і промисловості. Таким чином система сталого енергозабезпечення набуває додаткових факторів складності, які необхідно вирішувати з врахуванням перспективи розвитку засобів фотовольтаїки і силової електроніки та електрохімії.

Одним з перспективних напрямів відновлюваної енергетики України слід вважати створення когенераційних систем з використанням місцевих органічних палив рослинного походження, наприклад, деревини, відходів стеблової маси сільськогосподарських рослин та урожаю енергетичних рослин. Це дуже важливо з огляду на те, що сьогодні багато дрібних та середніх підприємств і житлових приміщень масово перейшли на використання дров, деревообробних відходів та пелетів для теплозабезпечення шляхом спалювання в піролізних котлових топках, які здебільшого мають невисоку енергетичну ефективність та незадовільні показники викидів карбону в атмосферу. В європейських країнах такі викиди в повітря продуктів згорання законодавчо заборонені. Сьогодні є приклади розробки масштабних програм використання когенераційних систем на місцевих органічних паливних ресурсах для теплоенергозабезпечення, зокрема у місті Славутич Київської області. Слід зазначити, що відомий також досвід Чехії минулого століття в технології отримання електричної енергії і тепла з дров у когенераційних системах, до складу яких входили піролізні газогенератори, системи охолодження та очищення генераторного газу, двигуни внутрішнього згорання та електрогенератори з системами керування. Однак питанню декарбонізації продуктів згорання органічного палива приділялась недостатня увага, оскільки в минулому не було жорстких вимог екологічного законодавства. Також не розглядали роботи таких когенераційних систем у складі полігенеруючого енергетичного комплексу разом з вітроелектрогенераторами та блоками

фотоелектричних панелей, підключеними до багатоканальних інверторних систем.

У Білоцерківському національному аграрному університеті розроблена і виготовлена інтегральна когенераційна система у складі удосконаленого газогенератора і ступінчастої системи рекуперативного охолодження та очищення генераторного газу, двигуна внутрішнього згорання потужністю 52 кВт і синхронного трифазового генератора потужністю 24 кВт з можливістю одночасного паралельного приводу додаткового асинхронного генератора для повного завантаження ДВЗ. Передбачена робота когенераційної системи інтегрованою до складу енергетичного комплексу на відновлюваних джерелах, таких як діючий автоматизований блок фотоелектричних панелей і безтрансмісійна вітроелектрична установка. Утилізація теплової енергії виконується за рахунок локальної тепломережі обігріву приміщень в опалювальний період та гарячого водопостачання і технологічних теплових потреб у літній період. Виготовлена система глибокого охолодження та очищення відпрацьованих газів ДВЗ з можливістю встановлення фільтрів для повного очищення газових викидів від карбону. Загальний енергетичний ККД когенераційної системи вдалося підвищити за рахунок покращеного кондиціонування параметрів генераторного газу для живлення ДВЗ та повнішої утилізації тепла. За невеликих потужностей (до 200 кВт) такі когенераційні системи з відбором тепла рідинних систем охолодження та газовідведення ДВЗ можуть успішно конкурувати з поширеними газотурбінними когенераційними установками. Тривають дослідження ефективності роботи системи при газифікації різних видів органічних палив.

УДК 662.63 : 66.091

Голуб Г.А., доктор технічних наук, професор

Цивенкова Н.М., кандидат технічних наук, доцент

Національний університет біоресурсів і природокористування України

Чуба В.В., кандидат технічних наук, доцент

Білоцерківський національний аграрний університет

Омаров І.С., аспірант

Інститут відновлюваної енергетики НАН України

ТЕПЛОВИЙ БАЛАНС ПРОЦЕСУ ПАРОВОПІТРЯНОЇ ГАЗИФІКАЦІЇ БІОМАСИ

Анотація. Представлено методику розрахунку теплового балансу процесу пароповітряної газифікації біомаси.

Ключові слова: газогенератор, процес газифікації, матеріальний та тепловий баланс, рослинна сировина.

Розрахунки теплового балансу виконані для газогенераторної установки, представленої в [1].

Вища теплотворна здатність q_1 газифікованого за годину палива, Дж/год:

$$q_1 = Q_p^B \cdot B/h, \quad (1)$$

де Q_p^B – вища теплотворна здатність робочого палива, Дж/кг; B – кількість палива, кг; h – час, год.

Фізичне тепло q_2 палива, Дж/год:

$$q_2 = B \cdot C_m \cdot t_m/h, \quad (2)$$

де C_m – теплоємність палива в інтервалі температур від 0 до t_m , Дж/(кг·°C); t_m – температура палива, яке завантажується до газогенератора, °C.

Тепловміст сухого повітря q_3 , введеного в газогенератор, Дж/год:

$$q_3 = G_{cn} \cdot (C_p)_{нов} \cdot t_{cm}, \quad (3)$$

де $(C_p)_{нов}$ – теплоємність повітря в інтервалі температур від 0 до t_{cm} , Дж/(кг·°C); t_{cm} – температура пароповітряної суміші біля входу до газогенератора, °C; G_{cn} – годинна кількість сухого повітря, кг/год.

Тепловміст пари q_4 в пароповітряній суміші, Дж/год:

$$q_4 = (G'_{пара} + d_{нов} \cdot G_{cn})(1 - X) \cdot i_{cm}, \quad (4)$$

де i_{cm} – тепловміст кілограму насиченої пари при температурі t_{cm} , Дж/кг; $G'_{пара}$ – годинна кількість пари, що фактично ввійшла до газогенератора, кг/год; $d_{нов}$ – вологовміст повітря, кг/кг; X – вологість пари в суміші, %.

Тепловміст вологи принесеної дуттям до газогенератора краплями q_5 , Дж/кг:

$$q_5 = (G'_{пара} + d_{нов} \cdot G_{cn}) \cdot X \cdot t_{cm}. \quad (5)$$

Витратні статті балансу складаються з вищої теплотворності сухого газу, його фізичного тепла, тепловмісту водяної пари в газі, теплотворності смоли, пилу, виносу, коксоподібного залишку та залишкового компонента, який містить втрати теплоти в середовище та усі невраховані втрати теплоти та помилки спостережень.

Вища теплотворна здатність годинної кількості газу q'_1 , Дж/год:

$$q'_1 = Q_{гв}^{сг} \cdot G_{сг}. \quad (6)$$

де $Q_{гв}^{сг}$ – вища теплотворна здатність газу, Дж/кг; $G_{сг}$ – годинна вагова кількість сухого газу, кг/год.

Фізичне тепло газу q_2 , Дж/год:

$$q_2 = G_{сг} \cdot (C_p)_{газ} \cdot t_{газ}, \quad (7)$$

де $(C_p)_{газ}$ – теплоємність при сталому тиску кілограма сухого генераторного газу в інтервалі температур від 0 до $t_{газ}$, Дж/(кг·°C);

Теплоємність газу визначається з теплоємностей компонентів, що входять до складу газу, Дж/кг. сух.газу:

$$(C_p)_{газ} = (C_p)_{CO_2} \cdot \frac{CO_2^g}{100} + (C_p)_{O_2} \cdot \frac{O_2^g}{100} + (C_p)_{C_2H_4} \cdot \frac{C_2H_4^g}{100} + (C_p)_{CH_4} \cdot \frac{CH_4^g}{100} + (C_p)_{CO} \cdot \frac{CO^g}{100} + (C_p)_{H_2} \cdot \frac{H_2^g}{100} + (C_p)_{N_2} \cdot \frac{N_2^g}{100} \quad (8)$$

де CO_2^g та O_2^g – вагові відсотки газів в 1 кг газу.

Теплоємність метану та етилену визначається за [14]. Тепловміст водяної пари в газі q'_3 , Дж/год:

$$q'_3 = d_{\text{газ}} \cdot G_{\text{с2}} \cdot i_{\text{н2}}, \quad (9)$$

$d_{\text{газ}}$ – вологовміст газу, кг/кг;

Оскільки водяна пара в газі перегріта, тепловміст кілограму пари $i_{\text{н2}}$ визначають за формулою, Дж/кг. пари:

$$i_{\text{н2}} = i_{\text{мп}} + (C_p)_n \cdot t_2 - t_{\text{мп}}, \quad (10)$$

де $i_{\text{мп}}$ – тепловміст кілограму насиченої пари при точці роси, відповідній насиченню газу, Дж/кг. пари; $(C_p)_n$ – теплоємність пари в інтервалі температур від $t_{\text{мп}}$ до t_2 , Дж/(кг·°C); $t_{\text{мп}}$ – температура точки роси, визначена пружністю водяної пари, визначеної за показами психрометра, °C.

Вища теплотворна здатність смоли q'_4 в газі, Дж/год:

$$q'_4 = Q_{\text{рв}}^{\text{сМ}} \cdot \text{СМ} / h, \quad (11)$$

де $Q_{\text{рв}}^{\text{сМ}}$ – вища робоча теплотворна здатність смоли, Дж/кг; СМ – загальна кількість смоли, кг.

Вища теплотворна здатність виносу з пиловловлювачів і каналів Дж/год:

$$q'_5 = Q_{\text{рв}}^{\text{П}} \cdot \text{П} / h, \quad (12)$$

де $Q_{\text{рв}}^{\text{П}}$ – вища робоча теплотворна здатність виносу, Дж/кг; П – загальна кількість виносу, кг.

Вища теплотворна здатність пилу у газі, q'_6 Дж/год:

$$q'_6 = Q_{\text{рв}}^{\text{Пл}} \cdot \text{Пл} / h, \quad (13)$$

де $Q_{\text{рв}}^{\text{Пл}}$ – вища робоча теплотворна здатність пилу у газі, Дж/кг; Пл – загальна кількість пилу, у газі, кг.

Теплота, втрачена у коксоподібних залишках біомаси q'_7 , Дж/год:

$$q'_7 = 81 \cdot C_R \cdot B / h, \quad (14)$$

де C_R – кількість вуглецю у коксоподібних залишках біомаси у % з ваги палива, %.

Втрати теплоти в середовище q'_8 , тощо, об'єднані в залишковий компонент, визначаємо з різниці прибутку теплоти та підрахованих вже втрат:

$$q'_8 = \sum q_{1-5} - \sum q'_{1-7}. \quad (15)$$

Методика дозволяє виконати загально-енергетичну оцінку процесу пароповітряної газифікації біомаси в прямопотоковому газогенераторі. Зводячи підраховані величини теплового балансу до табл. 1, матимемо загальну картину енергетичного потоку в газогенераторі.

Таблиця 1 - Тепловий баланс газогенератора

Надходження теплоти	Дж/год	%
Теплотворна здатність палива	q_1	59
Фізичне тепло палива	q_2	1
Тепловміст сухого повітря дугтя	q_3	5
Тепловміст водяної пари дугтя	q_4	15

Тепловміст крапельної води в дутті	q_5	0,5
Утилізація фізичного тепла газу	q_6	19,5
Разом	Σq_{1-5}	100%
Витрати теплоти	Дж/год	%
Теплотворна здатність газу	q_1	73,7
Фізичне тепло газу	q_2	21,5
Тепловміст водяної пари в газі	q_3	1,5
Теплотворна здатність смоли	q_4	0,3
Теплотворна здатність виносу	q_5	1,3
Теплотворна здатність пилу	q_6	1
Залишковий компонент	q_8	0,7
Разом	Σq_{1-8}	100%

Висновок. Представлена методика дозволяє виконати загально-енергетичну оцінку процесу пароповітряної газифікації біомаси в прямопоточковому газогенераторі з високою точністю.

Список літератури.

1. Tsyvenkova N.M., Golubenko A.A., Kukharets S.M., Biletsky V.R. The research of downdraft gas producer heat productivity on straw. Annals of the Faculty of Engineering Hunedoara, 2017. Vol. 15, Iss. 3. P. 213-218.

УДК 636.6

Червінський Л.С.¹, доктор технічних наук, професор

Макода О.А.², аспірант

¹*Білоцерківський національний університет*

²*Національний університет біоресурсів і природокористування України*

ДО ПИТАННЯ УПРАВЛІННЯ ДІЄЮ ОПТИЧНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ НА РОСЛИНИ

Анотація. Сучасний розвиток штучних джерел оптичного випромінювання на базі світлодіодів сприяє можливості створити джерела із заданим спектром і інтенсивністю випромінювання максимально наближеним до спектру заданої біологічної дії.

Ключові слова. Оптичне випромінювання, фотосинтез, опромінювання рослин, управління продуктивністю.

Основні матеріали досліджень. На основі аналізу положень квантової біофізики і явища фотореактивації обґрунтовуються принципи управління енергетичною дією оптичного випромінювання на рослинні об'єкти в процесі їх вирощування для отримання максимальної продуктивності і якості. Аналіз досліджень в сфері світлокультури рослин показує, що теоретичне обґрунтування принципів управління енергетичною дією оптичного випромінювання на живий організм можливе при:

- відомих шляхах проникання оптичного випромінювання в біологічний організм; - уясненні первинного механізму взаємодії енергії оптичного випромінювання із сприймаючими структурами в товщі організму [1,2].

Первинний механізм поглинання і трансформації енергії оптичного випромінювання в живому організмі та теоретичне обґрунтування принципів керування енергетичною дією оптичного випромінювання достатньо повно пояснюється на основі положень теоретичного дослідження явища фотореактивації [3]. Явище фотореактивації, котре проявляється на живому організмі в зменшенні прояву ефекту від дії попереднього короткохвильового оптичного випромінювання після його повторного опромінення більш довгохвильовим опроміненням, є одним із можливих екологічних методів кількісного регулювання впливу оптичного випромінювання на біологічний об'єкт, тобто є перспективним методом керування продуктивністю фотобіологічного процесу заданої якості.

Виходячи із вище зазначеного, розглянуто первинний механізм процесу фотореактивації біологічного впливу оптичного випромінювання:

– При опроміненні біоструктури, поглинена енергія фотонів збуджує електрони атомів чи молекул у фоторецепторах на відповідно вищій “дозволені” енергетичні рівні, із яких відбувається деякий перерозподіл цієї енергії (за період $\tau \sim 10^{-10}$ с) і електрони (їх атоми, молекули, або весь комплекс – клітина) переходять у більш стійкий збуджений стан, але з меншим рівнем енергії. В цьому стані вони можуть вступати в хімічну реакцію та утворювати (при відсутності подальшого доопромінення) продукт фотореакції відповідного спектру біологічної дії.

– Якщо на цей об'єкт знову впливати випромінюванням, але більш довгохвильовим (фотонами меншої енергії), то є допустимим повторне збудження електронів на ще вищій енергетичний рівень, із якого вони мають більшу ймовірність повернення на свій початковий енергетичний рівень з віддачею поглинутої (за два етапи збудження) енергії ближнім структурам, або випромінюючи її фотонами відповідної енергії. Тобто опромінена двома різно енергетичними потоками випромінювання молекула не приймає участі в утворенні фотопродукту. Таким чином, спостерігається фотореактивація (відновлення нейтрального стану) збудження біомолекули.

Висновок. Узагальнюючи викладене можна констатувати, що при відомій будові органічних структур у біологічних об'єктах і визначених їх оптичних характеристиках: спектрах поглинання, відбивання, люмінесценції і т.п. із достатнім ступенем точності можна розрахувати вплив на дану структуру тієї або іншої ділянки спектра оптичного випромінювання. При цьому можна підсилювати або зменшувати її дію більш довгохвильовим випромінюванням. Таким чином, створюються передумови оптичного керування конкретним фотобіологічним процесом (наприклад, регулювання процесом листяутворення або цвітоутворення у рослин, строком їх дозрівання та інше) та отримувати прогнозовану його продуктивність.

Список літератури.

1. Левин В. Л., Самойлова К. А. Современное состояние проблемы фотореактивации. - В кн.: //Фотобиология животной клетки/. - Ленинград: Наука, 1979, с. 96 - 107.
2. Овсянкин В.В., Феофилов П.П. Кооперативная сенсбилизация фотофизических и фотохимических процессов. - В кн.: Молекулярная фотоника. - Ленинград: Наука, 1970, с.86-105
3. Chervinsky L.S. About the mechanism of photoreactivation of the biological objects.// Матер. міжнар. конф. The European Biomedical Optics Week, BIOS Europe'97, September 4-8,1997, Sanremo, Italy.[3198-30]
4. Chervinsky LS. Primary mechanism of action of optical radiation on living organisms. International Journal of Biosensors & Bioelectronics . 2018;4(4):204. DOI: 10.15406/ijbsbe.2018.04.00126
5. L.S. Chervinsky Rationale and Definition of The Criteria of The Efficiency of The Biological Activity of Optical Radiation on Animal Organism./ L.S. Chervinsky/ Korean Journal of Food & Health Convergence 2018.vol4.no4., pp.1-5.2018.

УДК 621.3.067

Голодний І.М.¹, кандидат технічних наук, доцент

Санченко О.В.², кандидат технічних наук, викладач

Лютий Б.В.¹ студент 4 курсу

¹Білоцерківський національний університет

²Національний університет біоресурсів і природокористування України

СПЕКТР ВИХІДНОЇ НАПРУГИ ШИРОТНО-ІМПУЛЬСНОГО ПЕРЕТВОРЮВАЧА З АКТИВНИМ НАВАНТАЖЕННЯМ

Анотація. Сучасний регульований асинхронний привод з електронними перетворювачами напруги, створюють імпульси напруги та вищі гармоніки в мережі, що негативно впливає на роботу як самого електродвигуна, так і на інші споживачі електроенергії. Покращити гармонічний склад вихідної напруги можна при використанні регуляторів з керування за принципом ШПІ, в якому чергуються періоди включення і виключення силових електронних приладів. Період циклу на кілька порядків менший періоду синусоїди напруги живлення.

Ключові слова. Напруга, спектр, широтно-імпульсний перетворювач, регулятор, синусоїда, частота струму.

Мета дослідження – зменшення вартості регульованого асинхронного електропривода без погіршення якості електроенергії живлення.

Основні матеріали досліджень. Згідно основ теорії кіл дослідження періодичних несинусоїдальних напруг і струмів легше досліджувати, якщо криві розкласти в тригонометричний ряд Ейлера-Фур'є. Відомо, що люба

періодична функція $f(\omega t) = U_m \sin(\omega t)$, яка задовольняє умови Діріхле [1], може бути описана тригонометричним рядом синусоїд і косинусів.

$$f(\omega t) = a_0 + \sum_n a_n \cos(n\omega t) + b_n \sin(n\omega t),$$

де $\omega = 2\pi/T$ – основна частота, якщо період функції $T = 2\pi$, то $\omega = 1$; n – номер вищої гармоніки; a_0 , a_n , b_n – коефіцієнти, відповідно, постійної, косинусної та синусної складових.

Зазвичай періодичні функції часу в електротехніці, до яких відносяться криві напруги та струму перетворювачів, симетричні відносно осі абсцис та початку координат, тоді функція розкладається в ряд, яка не містить постійної складової a_0 , парних гармонік і косинусів a_n .

Вихідна напруга регулятора на базі ШПП при роботі на активне навантаження має вигляд синусоїди $f(\omega t)$ з розривами [2, 3].

Синусний коефіцієнт має розв'язок:

$$b_n = \frac{U_m}{2\pi} \sum_1^c \left\{ \frac{1}{n-1} \left[\sin\left[(n-1)\frac{2\pi c}{k}\right] - \sin\left[(n-1)\frac{2\pi(c-1)}{k} + \alpha\right] \right] - \frac{1}{n+1} \left[\sin\left[(n+1)\frac{2\pi c}{k}\right] - \sin\left[(n+1)\frac{2\pi(c-1)}{k} + \alpha\right] \right] \right\}.$$

де $c = 1, 2, 3, \dots, k$; n – номер гармоніки; k – кратність частоти комутації транзисторів f_k до основної частоти струму джерела живлення f_1 .

В рівняння для визначення коефіцієнта b_n введено кут відкривання α та кратність комутації транзисторів k , що дає змогу проводити спектральний аналіз кривих при різних їх значеннях. Результати аналізу наведено на рис. 1.

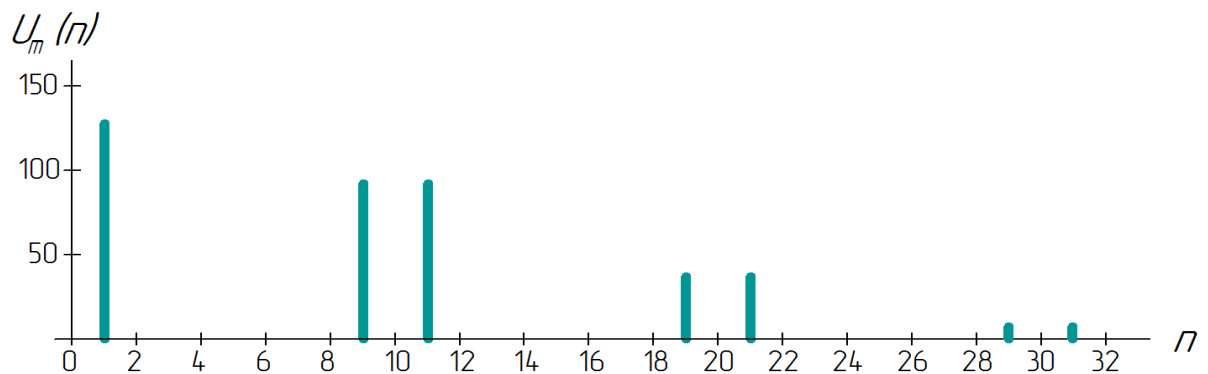


Рис. 1. Спектр вищих гармонік вихідної напруги перетворювача з ШПП:

$$\alpha = \pi/10, k = 10, f_k = 500 \text{ Гц}$$

З рис.1 видно, що вищі непарні гармоніки вихідної напруги (9, 11, 19, 21, 29, 31 і т.д.) проявляються біля частоти, кратних частоті комутації транзисторного ключа $f_k = kf_1 = 10 \cdot 50 = 500$ Гц, що відповідає спектру вихідної

напруги автономного інвертора з широтно-імпульсним симетричним керуванням при роботі на активне навантаження.

Висновки і перспективи.

На основі теоретичних досліджень визначене рівняння для аналізу спектрального складу вихідної напруги регулятора з ШПІ, в якому враховано кут відкривання і частоту комутації транзисторних ключів.

За розрахунками вищі непарні гармоніки вихідної напруги (9, 11, 19, 21, 29, 31 і т.д.) з активним навантаженням проявляються біля частоти, кратних частоті комутації транзисторних ключів ($f_k = 500$ Гц).

Список літератури.

1. Основы теории цепей: Учебник для вузов / Г.В. Зевека, П.А. Ионкин, А.В. Нетушил, С.В. Страхово – М.: Энергия, 1975. – 752 с.

2. Голодний І.М. До питання регулювання швидкості малопотужного асинхронного електропривода / І.М. Голодний, О.В. Санченко // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія "Техніка та енергетика АПК". – К., 2011. – Вип. 166, Ч.4 – С. 64-70.

3. Герман-Галкин С.Г. Силовая электроника: Лабораторные работы на ПК: [учебное пособие для студ. вузов] / С.Г. Герман-Галкин. – Санкт-Петербург: КОРОНА принт, 2002. – 304 с.

UDC: 631.371:234:628.8

Керко О.І., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

Uman National University of Horticulture, Uman

Керко Ya.О., student

Bila Tserkva National Agrarian University

OPTIMIZATION OF THE CHOICE OF ENERGY CARRIER FOR A PRIVATE HOUSEHOLD

Abstract. The desire for Ukraine's energy independence is an urgent issue. An important task on the way to energy independence is to improve the energy efficiency of heating systems. This paper presents a modelling of the choice of the most appropriate type of fuel, given the presence of several types of heating equipment in a household, depending on the price of fuel and the cost of its delivery.

Keywords: energy intensity, energy carriers, fuel, cost equivalent, utilization rate.

With unstable energy prices and tariffs, traditional methods of comparing energy efficiency based on standardized capital efficiency ratios are no longer relevant [1].

Recently, due to constant changes in energy tariffs and prices, household owners have been installing several types of heating equipment that run on different

energy sources. While for industrial facilities this choice is usually limited to gas and coal, for small residential facilities, the choice is wider. Thus, solid fuel boilers that run on wood, briquettes, and pellets are becoming widespread in Ukraine. There are examples of effective use of biogas plants and other active and passive heating systems and their combinations in agriculture [2]. It should be noted that electric heating can be competitive in some circumstances, but only if two or three tariff plans are used. Therefore, given the fact that energy prices are constantly and unevenly changing, it becomes necessary to choose an energy source for heating, taking into account its current cost. Traditional methods of comparing energy efficiency based on standardized capital investment efficiency ratios at unstable energy prices and tariffs are irrelevant [1]. Therefore, the need to assess efficiency for a short-term period, including with existing (installed) heating equipment, i.e. without taking into account capital investments, comes to the fore.

We will analyze the cost of heating a private household with different types of fuel, taking into account the fuel tariff and the cost of its delivery, based on the methodology outlined in [3]. This methodology suggests using energy equivalents to calculate energy efficiency.

The cost equivalent of an energy carrier is the estimated cost of purchasing and transporting it, which is the same as the base (chosen at the request of the researcher) energy carrier.

$$E_i = \frac{R^b}{n_i} = \frac{(T^b + r_T^b) \cdot Q_i \cdot k_i}{Q^b \cdot k^b}, \quad (1)$$

where: n_i is the amount of energy required to obtain one MJ of heat, kg/MJ, kWh/MJ, m³/MJ; T^b is the cost (tariff) of a unit of the base energy carrier, UAH/kWh, UAH/m³, UAH/kg; Q_i is the energy content, MJ/kWh, MJ/m³, MJ/kg; k_i is the utilization factor; Q^b is the energy content of fuel under the baseline option; k^b is the utilization factors under the baseline option; r_T is reduced transportation and storage costs; $i = 1, 2, 3...$ is option under consideration.

For ease of interpretation of the calculation results, it is advisable to use the relative value of energy equivalents:

$$\sigma E = \frac{(T^b + r_T^b) \cdot Q_i \cdot k_i}{Q^b \cdot k^b \cdot (T_i + r_{Ti})} - 1 \quad (2)$$

where T^b is the tariff of the base energy carrier.

For greater clarity, the results can be depicted in the form of a graph where the abscissa axis is the basic energy carrier (in the example – gas), and all other energy carriers are distributed according to the principle - if it is above the axis, the energy carrier is more profitable than the basic one, if it is below, than not (Fig. 1).

Figure 1 shows that peat briquettes and fuel briquettes are somewhat more profitable than gas, but using a heat pump is undoubtedly more profitable even at the daytime electricity tariff. In turn, the use of electric heating and coal and firewood is unprofitable compared to gas.

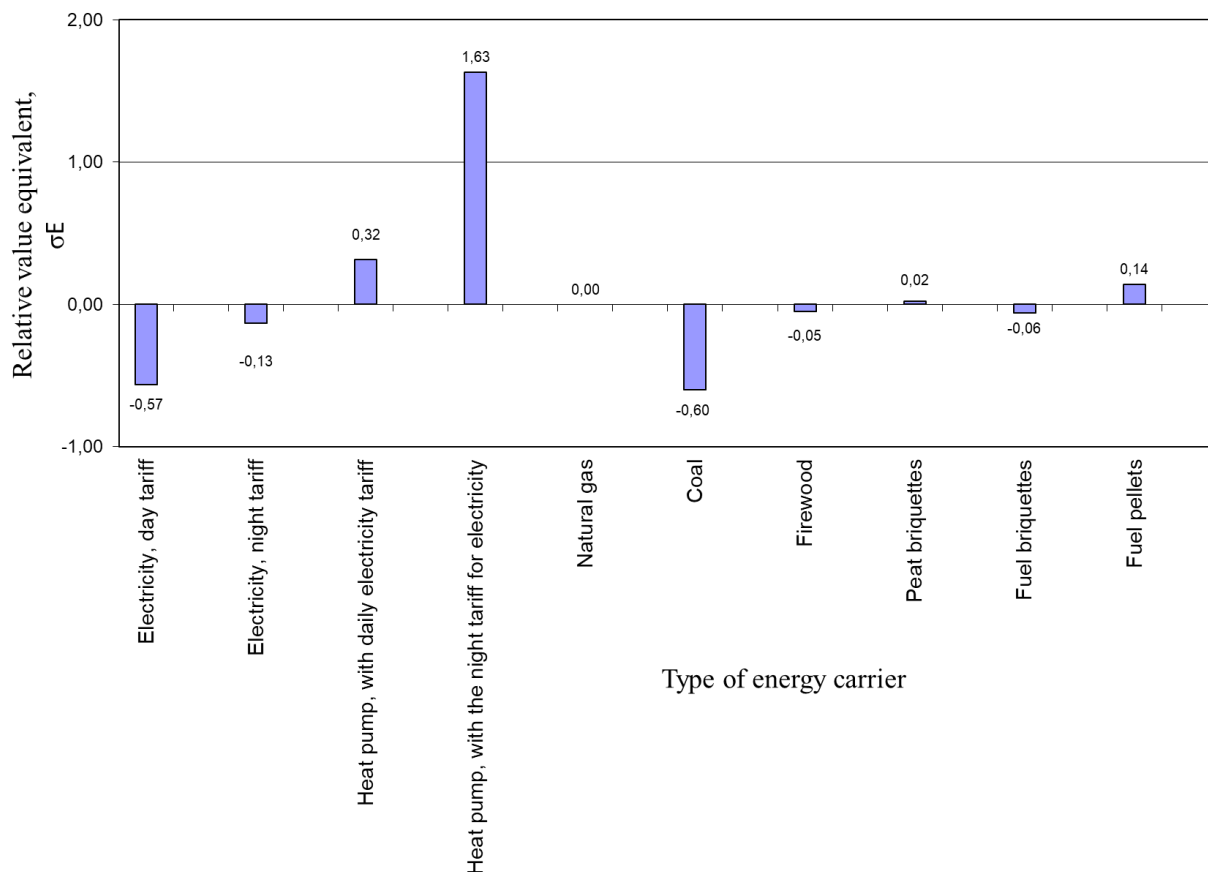


Fig. 1. **Relative value of energy equivalents**
 * (based on energy prices as of December 01, 2023)

Conclusions. Given that the cost of energy has been changing frequently lately, modelling the efficiency of different heating systems makes it easier to choose a more profitable energy source, especially if it is implemented in the form of a computer program. In our case, it is implemented in Microsoft Excel. But an even greater effect will be achieved by the system of automatic energy selection based on tariffs, energy consumption and time of day, which can be implemented as part of the smart home system that is being actively used in developed countries. Solar or heat pump heating systems can also be connected to this system. Such systems automatically switch different boilers to the most favorable energy source in a given case.

References.

1. Gafiyatov, I.Z., Ziganshin, M.G., Dmitriev, A.V. Indicators of ecological and energy-economic efficiency of the sources of buildings heat supply in the presence of greenhouse gases. *Problems of the modern economy*. 2009.
2. Yuzbayeva Shokhida Zakirjanovna, Dilmurodova Mohida. Passive and active systems in the use of solar energy. *Collection of selected scientific papers of the international scientific-practical conference on "Problems and solutions of application of digital technologies in the field of engineering*

communications". Samarqand. 24 may 2022. P. 92-94.

3. Кепко О.І. Кепко V.M., Pushka O.S. Analysis of economic efficiency of using different fuel types in individual heating systems. *Collection of scientific works of Tavriyya State Agro-Technological University (Economic Sciences)*. Melitopol: Edition of the Melitopol Typography "Lux", No.1 (36). 2018. P. 263-270.

УДК 621.332:631.1

Музиченко В.А., кандидат технічних наук., с.н.с

Білоцерківський національний аграрний університет

ВИСОКОВОЛЬТНІ ЕЛЕКТРОТЕХНОЛОГІЧНІ УСТАНОВКИ В АГРАРНОМУ ВИРОБНИЦТВІ

Анотація: Виконано огляд високовольтних електротехнологічних установок сільськогосподарського призначення. Приведена їх класифікація.

Ключові слова: аграрне виробництво, енергозбереження, ресурсозбереження, високовольтні установки, електротехнології.

Інтенсифікація виробництва сільськогосподарської продукції потребує створення новітніх технологій для отримання більш якісної продукції, в більшій кількості та з меншими енергозатратами.

Використання електроенергії для впливу на біологічний об'єкт можливе без перетворення її в інші види енергії, що створює умови для розробки відповідних агроелектротехнологій.

Всі без винятку електротехнологічні методи в кінцевому підсумку сприяють підвищенню продуктивності біологічного об'єкта і, відповідно, скороченню енергозатрат на одиницю кінцевої продукції, а тому є енергозберігаючими.

Окрім вищезгаданого вони сприяють зменшенню техногенного навантаження на довкілля, оскільки можуть знизити використання хімікатів в агропромисловому комплексі.

Електричні процеси, які супроводжують фізіологічні процеси в організмах є одночасно фактором, що регулює їх життєдіяльність.

Високовольтні установки використовують дію електричних полів та електричних розрядів.

Електроіскрові повітряні розряди використовуються для знищення бур'янів, проріджування сходів, впливу на біологічну активність ґрунту, обмолоту зернових та прискорення висушування рослин на корені (соняшник, тютюн). Ці ж розряди в рідині мають сильну знезаражуючу дію і можуть вбивати не тільки мікроби, а при певних обставинах, навіть яйця гельмінтів.

Надання електричного заряду часткам рідини, яку потрібно розпилити, використовується при обробці рослин пестицидами, протруюванні насіння ядохімікатами, позакореновому підживленню рослин в теплицях, розпиленні

лікарських препаратів в тваринницьких приміщеннях.

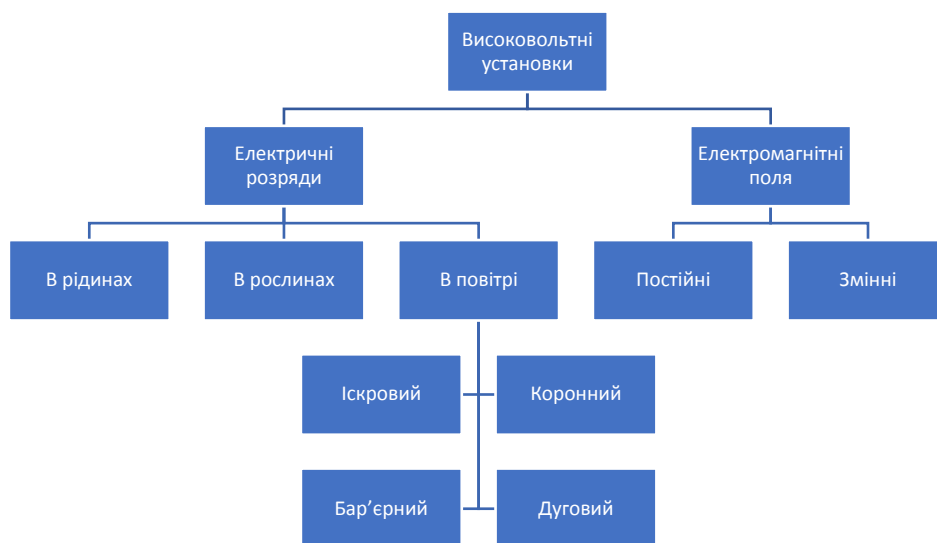


Рис. 1. Класифікація високовольтних електротехнологічних установок.

Відомо також використання електрофільтрів для зменшення запилення в пташниках.

Суть процесу електростатичного очищення газів ґрунтується на іонізації газу, тобто розщепленні його молекул на позитивно і негативно заряджені іони. Запилені гази пропускають через неоднорідне електричне поле, яке утворюється між електродом, що коронує і заземленим. До електрода, що коронує, подається випрямлений електричний струм при напрузі 30 — 60 кВ. Заземлений електрод зазвичай підключають до позитивного полюсу випрямляча.

Для сепарації насіння використовується і електростатичне поле і електрокоронний розряд а також так звані діелектричні сепаратори насіння. Всі ці сепаратори можуть відбирати насіння з вищими посівними властивостями. Одночасно вони діють як стимулятори.

Для стимуляції насіння використовуються електромагнітні поля широкого діапазону, а також постійні електричні та магнітні поля.

Електрокоронний розряд має іоноутворюючу дію. Такі іонізатори можуть покращувати мікроклімат в тваринницьких приміщеннях. Окрім генерації корисних для тварин легких аероіонів, вони ще й сприяють швидшому осіданню пилу та мають бактерицидну дію.

Іонізатори використовуються в теплообмінниках для зменшення обмерзання випарників.

Для генерації озону використовується бар'єрний розряд, тобто тихий електричний розряд при високій напруженості електричного поля. Для упередження пробою міжелектродного повітряного проміжку в ньому розташовують високоякісний твердий діелектрик. Озон використовується як антисептик [1].

Аероіонна та озонна обробки як окремо, так і в різних поєднаннях сприяють покращенню лежкості рослинної продукції з соковитими тканинами, а саме: картоплі, овочів, плодів, ягід, кормів тощо [2-5].

Аероіонно-озонна обробка при певних режимах сприяє видаленню вологи.

Електромагнітні поля використовуються для стимуляції або пригнічення процесів життєдіяльності рослин та тварин; лікування тварин; розпилення живильних розчинів та лікарських препаратів.

Практично всі ці установки мають термін окупності не більше року, а деякі менше місяця.

Висновки.

1. Електротехнології підвищують продуктивність біологічних об'єктів, скорочують питомі енергозатрати, сприяють зменшенню техногенного навантаження на довкілля.

2. Доведена економічна ефективність електротехнологічних установок сільськогосподарського призначення.

Список літератури.

1. Мартиненко І. І., Музиченко В. А.. Проблеми, перспективи та результати досліджень по використанню електротехнології в сільськогосподарському виробництві // Електрифікація та автоматизація сільського господарства. – 2006. – № 3. – С. 32 – 40.

2. Степаненко Д. С., Тарусова Н. В., Гогунская П. В. Применение электронно-ионной технологии для хранения плодов. *Біологічний вісник Мелітопольського державного педагогічного університету імені Богдана Хмельницького*. 2011. № 1. С. 66–73.

3. Колодійчук Л. С., Гайдукевич С. В., Потапенко М. В., Семенова Н. П. Дія електричного поля високої напруги на насіння томатів. *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія Техніка та енергетика АПК*. 2015. Вип. 209(1). С. 245–250.

4. Іноземцев Г. Б., Окушко О. В. Технологічні аспекти зберігання продукції рослинництва із застосуванням аероіонізації. *Праці Таврійської державної агротехнічної академії*. 2005. Вип. 31. С. 3–7.

5. Музиченко В. А. Енергетична оцінка використання аероіонної обробки в сховищах рослинної продукції з соковитими тканинами. *Матеріали Міжнар. науково-техніч. конф. Проблеми сучасної енергетики і автоматики в системі природокористування*. 14-18 лист. 2016 р. К.: НУБіП, 2016. С. 19–20.

УДК 697.91

Цаценко Є. Ю., дійсний член Малої академії наук Білоцерківського Центру науково-технічної творчості учнівської молоді.

Науковий керівник: Єрмоленко В.О., кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, керівник гуртка «Науково-технічні та експериментальні дослідження», Центру науково-технічної творчості Білоцерківської міської ради Київської області.

ПРИЛАД ДЛЯ ІОНІЗАЦІЇ ПОВІТРЯ

У природних умовах іонізація відбувається за рахунок реакції фотосинтезу, космічних променів, ультрафіолетового випромінювання, радіоактивного випромінювання земних порід та під час грози. Іонізація повітря – необхідна річ для кожної людини, а особливо для маленьких дітей, людей з чутливою шкірою, алергіків, людей, що палять. Переконались в правильній роботі очищувача повітря дуже просто, просто потрібно подивитися на товстий шар пилу, який утворюється через декілька днів на пилозабирачі іонізатора. Побутовий іонізатор – це кліматичний прилад для житлових приміщень, який генерує позитивні й негативні аерони.

Тому один із методів підтримки в приміщеннях (особливо службових, навчальних) рівня іонізації повітря дає змогу продуктивно працювати. Розробка приладів для цих цілей на сучасному етапі є особливо актуальним питанням.

Ключові слова: повітря, іонізація, процес іонізації, іонізатор, схеми іонізаторів.

Актуальність дослідження. Згідно з визначенням Всесвітньої організації охорони здоров'я (ВООЗ), здоров'я є гарантом повного соціального, біологічного і психологічного благополуччя людини, а не тільки фактом відсутності хвороб і фізичних вад. Здоров'я є не лише особистим надбанням людини, але й суспільним багатством, одним з найважливіших показників добробуту народу. Тому один із методів підтримки здоров'я – забезпечення в приміщеннях (особливо службових, навчальних) рівня іонізації повітря - дає змогу продуктивно працювати. Розробка приладів для цих цілей на сучасному етапі є особливо актуальним питанням.

Мета роботи. Модернізація і застосування іонізатора повітря.

Завдання досліджень. Модернізація та виготовлення з найдоступніших матеріалів які застосовуються в побутових приладах. Перевірка роботи іонізатора та визначення його ефективності, щодо зміни вмісту озону в повітрі під час роботи.

Об'єкт дослідження. Іонізатори повітря.

Предмет досліджень. Виготовлений апарат для іонізації повітря.

Методи дослідження. Аналітичні і експериментальні дослідження.

Наукова новизна отриманих результатів та практичне значення отриманих результатів. Використання при виготовленні іонізатора повітря, трансформатора ТВС зі старих лампових телевізорів та робота над блокуванням високочастотної напруги в самому іонізатору, дасть можливість здешевити вартість апарата та підвищити клас його електробезпеки.

Побутовий іонізатор — це кліматичний прилад для житлових приміщень, що генерує позитивні й негативні аероіони.

За функціональністю їх поділяють на дві групи:

1. Іонізатори-очишувачі: їх дію направлено на іонізацію повітря в приміщенні і на очищення від дрібних частинок пилу і бактерій.

2. Іонізатори очишувачі-зволожувачі: такі прилади виконують всі функції першого та додатково зволожують повітря. Використовуються вони в приміщеннях з дуже сухим повітрям, наприклад, від роботи обігрівальних приладів.[4]

Залежно від способу іонізації молекул кисню іонізатори ділять на сім типів: [1]

- плазмові іонізатори;
- ультрафіолетові іонізатори;
- термічні іонізатори;
- коронні іонізатори;
- радієві іонізатори;
- водяні іонізатори;
- електроефлювільні іонізатори.[3]

• Дослідження проводилися згідно методичних вказівок на фотометричне визначення озона в повітрі ГОСТ №1639-77 та приладів: аспіратор для відбору проб повітря – Установа пневматична УП 1244АС (2008 року виготовлення), фотоколориметр КФК-2.

• Виготовлений іонізатор повітря має саме кулясту форму і стилізований під кімнатну рослину – кактус.

• Основа "іонізатора" - легкий металевий каркас, на якому натягують по взаємно перпендикулярних осях з кроком 35 ... 45 мм оголені мідні дроти діаметром 0,6...1,0 мм. У вузлах сітки упаюють голки довжиною не більше 50 мм і товщиною 0,25...0,5 мм. Бажано, щоб вони були максимально заточені, оскільки струм, що надходить з вістря, збільшується, а можливість утворення побічного шкідливого продукту - озону зменшується. У нашому випадку використовувати шпильки з колечком, які зазвичай продаються в магазинах канцтоварів.

Дослідження і розрахунки (Додаток 1) показали, що вміст озону

- до включення іонізатора $0,05 \text{ мг/м}^3$ і менше
- після 10 хв. $0,061 - 0,064 \text{ мг/м}^3$
- після 20хв. $0,071 - 0,079 \text{ мг/м}^3$
- після 30 хв. $0,087 - 0,092 \text{ мг/м}^3$

Згідно загальних санітарно-гігієнічних вимог до повітря робочої зони, що діють в Україні, гранично допустима концентрація озону – $0,8 \text{ мг/м}^3$

Висновок.

1. Використання модернізованого іонізатора повітря дасть можливість не тільки утворювати «екологічно чисте повітря», а й можливість використовувати його в процесі лікування цілого ряду різних захворювань.

2. Виготовлений нами прилад може бути використаний в навчальних кабінетах для поліпшення мікроклімату, але в межах рекомендованого часу 15-20 хвилин.

3. Удосконалення принципової схеми апарату дало можливість відмовитись від понижувача напруги та унеможливити попадання імпульсу в зовнішню мережу та його впливу на роботу іншої побутової техніки.

4. Використання радіодеталей побутової техніки дасть можливість скоротити затрати на виготовлення іонізатора в 10-15 разів у порівнянні з промисловими аналогами.



Рис. 1. Модернізований Іонізатор повітря.

Список літератури

1. <https://www.systopt.com.ua/cat-aspirate> Аспіратор
 2. <https://zdorovee.com/ua/blog/dlya-chego-nuzhna-ionizatsiya-vozdukha-vred-i-polza> Для чого потрібна іонізація повітря? Шкода і користь.
 3. <https://ufoshop.net.ua/ua/ionizatory-vozduxa-funktsii-dejstvie-xarakteristiki-i-pravila-ispolzovanija> Іонізатори повітря – функції, дія, правила використання.
 4. <https://www.npblog.com.ua/index.php/tehnika/ionizator-povitrja.html> Іонізатор повітря.
 5. <https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%86%D0%BE%D0%BD%D1%96%D0%B7%D0%B0%D1%86%D1%96%D1%8F> Іонізація.
-

УДК 620.92:581.1

Котляр Т.М.. студент 3 курсу .

Науковий керівник: Червінський Л.С. , доктор технічних наук,
професор

Білоцерківський національний аграрний університет

СВІТЛО І ТЕПЛО – ОСНОВНІ ДЖЕРЕЛА ЕНЕРГІЇ ДЛЯ ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ РОСЛИН

Життєдіяльність рослин складається із двох взаємозалежних процесів - речовинного обміну й енергообміну. Основними енергетичними джерелами фотосинтезуючих рослин є оптичне випромінювання й теплота навколишнього середовища, що характеризується температурою. Оптичне випромінювання робить багатосторонній вплив на рослини. Від спектрального складу випромінювання, величини опромінення й чергування періодів опромінення й перерв в опроміненні залежить не тільки фотосинтез, але й багато інших фізіологічних процесів.

Все різноманіття дії випромінювання на рослини з енергетичної точки зору зручно розділити на дві групи.

До першої варто віднести всі регулюючі, або каталітичні дії. Це, у першу чергу, фотоперіодична дія, вплив випромінювання на розвиток і формування рослин й ін. При таких впливах невелика кількість поглиненої енергії випромінювання викликає певні реакції в організмі, які приводять до мобілізації внутрішньої енергії. Для забезпечення регулюючого впливу потрібен невеликий рівень опромінення, так званий граничний рівень. Подальше, збільшення опромінення більш граничного значення не підвищує відповідну реакцію. Каталітична дія випромінювання на рослини в багатьох випадках можна замінити дією інших фізичних факторів (температури й ін.).

До другої групи відносяться енергетичні впливи. Загальна енергетична дія складається з фотосинтетичного й теплового. Основна кількість енергії випромінювання, що поглинає рослиною, нагріває рослини й переходить у хімічну завдяки фотосинтезу. Енергія, засвоєна при фотосинтезі, використовується рослиною на здійснення життєвих функцій і накопичується в органічних речовинах. Невелика кількість енергії випромінювання, поглиненої листям (1-2%), *випускається* у вигляді люмінесценції.

Для здійснення фотосинтезу й нагрівання рослин випромінюванням необхідні більші значення опромінення. Інтенсивності фотосинтезу й нагрівання в значних межах пропорційні опроміненню. Зі збільшенням опромінення інтенсивність цих процесів зростає.

Висновок. Розвиток рослини, і відповідно, підвищення продуктивності і якості рослинної продукції залежить від комплексу параметрів навколишнього середовища. Головними з них є інтенсивність і спектральний склад оптичного випромінювання та температура навколишнього середовища. Від оптимальної

їх комбінації та достатньої кількості вуглекислого газу в повітрі залежить інтенсивність фотосинтезу і продуктивність рослин.

Список літератури

1. *Червінський Л.С. Електричне освітлення та опромінення / Червінський Л.С., Сторожук Л.О./ Навчальний посібник, Київ. 2011 -224 с.*

УДК 620.91:338.23

Івченко О.М., здобувач вищої освіти

Науковий керівник: **Лобода В.Б.**, к.ф.-м.н., професор

Сумський національний аграрний університет

ЗАГАЛЬНА КОНЦЕПЦІЯ КОМБІНОВАНОЇ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

Анотація. Більшість сфер життєдіяльності людини під час війни зазнала доволі потужного удару по енергетичній структурі України. Вирішення питання електропостачання гостро повстало на сьогодні, адже проблемами енергопостачання займаються спеціалісти різноманітних сфер традиційної енергетики. Традиційна енергетика зазнає доволі великого впливу з точки зору військової, а відновлювальна енергетика не набула достатньо широкого розповсюдження для більш сталого електропостачання регіону.

Ключові слова: комбінована система, вітроелектроустановка, акумуляторна установка, сонячні панелі, показники роботи, вітровий потік, сонячна радіація, кути розташування.

Комбінована система це така система де пов'язано в загальний блок кілька джерел енергії. Дія цих джерел може відбуватись одночасно, або в певній різноманітності їх комбінацій. Особливістю побудови комбінованої системи, що базується на основі вітроустановки є використання енергії вітру з комбінацією інших відновлювальних або традиційних джерел енергії.

Комбінація з використанням відновлювальних джерел енергії це в основному використання вітроелектростанцій та сонячних електростанцій в комбінаціях з різною потужністю – часткою енергії, що виробляється від тої чи іншої системи.

Комбінація вітроустановок з традиційними джерелами електричної енергії це в основному використання вітряків та певних дизельних генераторів, газотурбінних установок чи щось подібне. Але слід зазначити, що існують варіанти комбінації з електромережою, що називають комбінованими централізованими.

Дослідження різноманітних комбінованих систем можливе лише з боку впливу його на конкретного споживача, а іншими показниками є загальна комплексна оцінка процесу. Виходячи з такого розподілу врахування показників необхідною умовою також є і врахування особливостей електричної мережі регіону розміщення комбінованої системи.

Основною особливістю комбінованої системи на базі вітроелектростанції є регіон її розміщення. Для проведення аналізу комбінованої системи

електропостачання нами пропонується взяти різноманітні регіони України з аналізом показників роботи. Слід зазначити, що територіально комбінація системи електропостачання на основі вітроелектростанції може бути різною. Регіони України відрізняються значно по потужності вітрових потоків, по сонячній радіації, по доступним видам традиційної енергії та ін.

Для організації електропостачання різноманітних споживачів можливі додатково комбінації з розподілом по потужності. Так наприклад в південних регіонах є можливість ефективного використання як вітроенергетики так і енергії сонця. А отже в цих регіонах можна використовувати їх як окремо, так і в комбінації. При цьому комбінація таких систем фактично виконується в рівнозначних потужностях.

При організації електропостачання комбінованою системою на основі вітроелектростанції в північних регіонах є менш збалансованою, а отже можливий перекид по потужності в бік тієї чи іншої системи.

Іншою особливістю комбінованих систем є її призначення. Вони можуть використовуватись в якості мережевих з віддачою одразу в мережу, акумулюючи з акумулюванням електричної енергії та інші.

На сьогодні доволі часто комбіновані системи називають гібридними. Однак цей термін не завжди характеризує комбінацію двох різновидів відновлювальних джерел енергії. В більшості випадків цей термін має за основу комбінацію відновлювальних джерел енергії з традиційними джерелами енергії.

Слід зазначити, що для досягнення високих техніко-економічних показників використання комбінованих систем є забезпечення стабільності роботи всього обладнання, забезпеченню акумулювання енергії. Більш стабільними на сьогодні вважаються системи з використанням різних типів енергії, наприклад теплової та електричної.

Робота комбінованих систем можлива в трьох режимах: паралельному режимі; послідовному режимі; послідовно-паралельному режимі.

Слід зазначити, що більшість комбінованих систем, що базуються на основі вітроустановок працюють в основному в паралельному режимі. Цей режим характеризуються тим, що виробіток електричної енергії відбувається одночасно всіма елементами системи.

Наведемо основні фактори комбінованих систем, що впливають на співвідношення кожного окремого елемента в ній. Такими факторами є: забезпеченість регіону розташування відповідними джерелами енергії та їх потенціал; умови кліматичні та метеорологічні для використання комбінованих систем; особливості енергоспоживання та енергетичного живлення; якісні показники електричної енергії регіону; показники навантаження та економічності; особливості погодинних графіків енергоспоживання та енергопостачання; екологічність рішення в конкретному регіоні.

Список літератури

1. М. Медиковський, Р. Мельник та М. Дубчак, «Нейромережевий метод визначення активного складу вітрової електричної станції,» Вісник

Національного університету «Львівська політехніка» «Інформаційні системи та мережі», т. 8, р. 55 – 64, 2020.

2. Г. Шмідт, А. Конеченков, М. Ільчук та М. Гріцишина, «Вітроенергетичний сектор України 2018. Огляд ринку,» Українська вітроенергетична асоціація, 2019.

УДК 620.91:338.23

Івченко С.М., здобувач вищої освіти

Науковий керівник: **Лобода В.Б.**, к.ф.-м.н., професор

Сумський національний аграрний університет

ОСОБЛИВОСТІ ВПРОВАДЖЕННЯ ТЕПЛООВОГО НАСОСУ ПОВІТРЯ – ПОВІТРЯ В м. СУМИ

Анотація. Дорога вартість енергоносіїв в Україні спонукає до пошуку різноманітних варіантів пошуку джерел енергії для проведення опалення та вентиляції приміщень. Теплові насоси займають доволі високий рівень використання в країнах Європейського союзу та інших країнах. При цьому сформувались певні групи країн в яких популярність певної групи теплових насосів перевищують інший тип.

Використання доволі сильного набули теплові насоси пов'язані з низькотемпературним джерелом в вигляді ґрунту. Але необхідно зазначити, що впровадження такого типу теплових насосів є проблематичним, оскільки потребує значних коштів для впровадження такої системи. Впровадження такого теплового насосу неможливо в умовах міста, адже потребує значного будівництва.

Ключові слова: тепловий насос, рекуперація, рециркуляція, регулятор, температура, джерело енергії, ефективність.

В світі доволі великого поширення знаходять теплові насоси типу повітря-повітря через відносну простоту, відсутність специфічних умов для монтажних робіт та інше. Найбільшого розповсюдження дані теплові насоси набули в різноманітних приміщеннях загального користування для виконання їх опалення та вентиляції.

Для більш детального розуміння основних процесів, що відбуваються в теплових насосах такого типу розглянемо особливості їх роботи. Повітря з навколишнього середовища подається до випарника теплового насосу де віддає своє тепло рідині в трубках теплового насосу. Цю рідину ще називають робочим тілом. Далі робоче тіло теплового насосу передає отриману теплоту повітрю з приміщення, яке необхідно обігрівати. Загальна компоновка насосу може бути цілісною і зібраною в одному корпусі, або кожен з його частин розмістити на певній відстані одна від одної (класична схема кондиціонерів приміщень).

Зазначимо, що повітря є доволі низькопотенційним джерелом теплової енергії, а отже необхідною умовою використання даних теплових насосів є постійне їх вдосконалення оскільки при низьких температурах робота є малоефективною. При температурах -20°C ефективність такого насосу дуже

низька або майже неможлива без застосування додаткових компонентів та різноманітних заходів по підвищенню ефективності їх використання.

Теплові насоси, що мають різноманітні додаткові компоненти з виконанням заходів підвищення ефективності рекомендовано саме в холодних північних областях України. Стандартні теплові насоси без різного роду модифікацій найчастіше використовують в південних областях, адже тут їх компоненти здатні задовольнити всі умови їх використання.

Зазначимо, що при температурі -15°C значення коефіцієнта трансформації в тепловому насосі становить приблизно 2%. При цьому необхідною умовою є необхідність виконання резервування з використанням іншого джерела. Зимові періоди мають поганий вплив на споживачів теплоти, адже їй необхідно подавати значно більше. При цьому спостерігається значне зменшення ефективності роботи теплового насосу повітря – повітря. Виходячи з такої проблематики виникає доволі велика кількість досліджень з підвищення їх ефективності.

В тепловому насосі типу повітря – повітря отримана теплота з повітря передається на пряму повітрю, а отже має простоту в роботі та використання. За свою простоту цей тип насосів знайшов широкого розповсюдження в таких країнах, як Норвегія, Швеція, Фінляндія та інших. Нажаль в Україні даний тип теплових насосів має не високу популярність, але все ж таки популярність їх з роками зростає, оскільки на ринку з'являються все нові та більш ефективні показники роботи.

Зазначимо, що науковими дослідженнями встановлено, що спостерігається збільшення виробництва теплової енергії з використанням даних теплових насосів в Україні (рисунок 1).

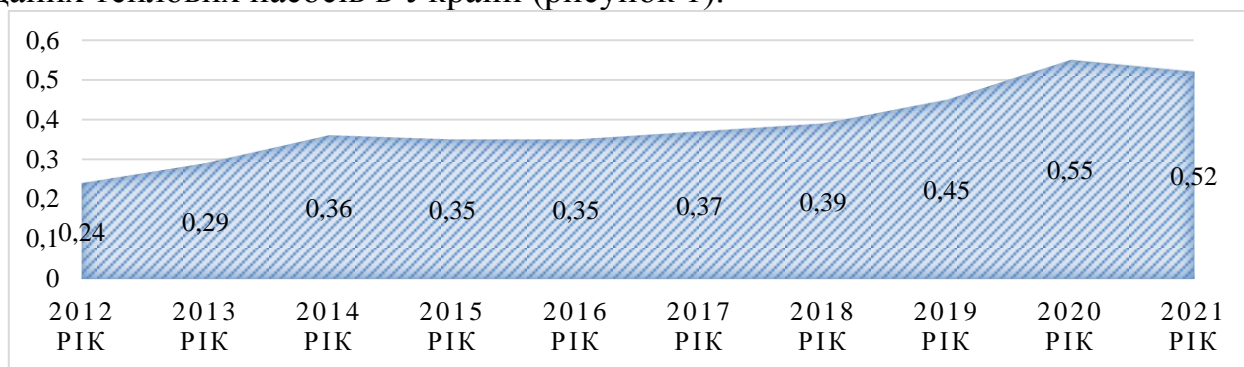


Рис. 1. Графік частки енергії виробленої з використанням теплових насосів у відсотках.

Виходячи з зміни графіку рисунку 1 можна сказати, що спостерігається певне збільшення частки теплової енергії, яку виробляють теплові насоси, а отже даний напрям є доволі перспективним за умови використання модернізованих теплових насосів.

Список літератури

1. Баган Т.Г. Підвищення ефективності систем опалення та кондиціонування шляхом використання теплових насосів / Т.Г. Баган, Р.О. Безуглий // Сучасні проблеми наукового забезпечення енергетики : XVIII

міжнар. наук.-прак. конф. аспірантів, магістрантів і студентів, 21-24 кв. 2020р. : мат.конф. – К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – Т.2. – С. 37.

2. Безродний М.К. Комбінована теплонасосна система повітряного опалення та вентиляції з рекуператором теплоти та частковою рециркуляцією відпрацьованого повітря / М.К. Безродний, Н.О. Притула, І.Ю. Опанасюк // «Енергетика: економіка, технології, екологія» КПІ – 2019. – № 3. – С.65-73.

УДК 621.311

Максименко О.М., здобувач вищої освіти

Науковий керівник: **Чепіжний А.В.**, к.т.н., доцент

Сумський національний аграрний університет

АНАЛІЗ МЕТОДІВ МОДЕЛЮВАННЯ ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯ БАГАТОКВАРТИРНИМ ЖИТЛОВИМ БУДИНКОМ

Анотація. На сьогоднішній день поняття економії електричної енергії та інших енергетичних ресурсів є одним з найбільш важливіших питань в країні. Існує доволі велика кількість багатоквартирних будинків, що використовують старі підходи та принципи в споживанні енергетичних ресурсів. Однією з проблем, що постала перед Україною перед початком війни є проблема економії електричної енергії. Більшість багатоквартирних житлових будинків не мають систем, що дозволяють економити електричну енергію та інші енергетичні ресурси. Як показує статистичний аналіз на сьогодні більше 80% таких будинків не забезпечені в повній мірі системами для зменшення витрати електричної енергії. На рівні держави сьогодні немає варіантів регулювання питань про обов'язковість встановлення систем контролю за енергетичними ресурсами в житловому фонді, особливо в багатоквартирних житлових будинках.

Ключові слова: енергоефективність, економія, датчики руху, астрономічне реле часу, освітлювальні прилади, приміщення, будинки

Для аналізу електроспоживання багатоквартирним житловим будинком можливо використовувати різноманітні методи: часових рядів; регресії; порівняння а також метод кореляції.

Метод часових рядів є певна послідовність значень якогось конкретного показника, що розташовують в певному хронологічному порядку. Для аналізу показників даним методом застосовують рівні, які повинні відповідати часовим моментам. Часові рівні можуть носити випадковий характер або детермінований, але порядок не повинен мати довільної зміни. Слід зазначити, що можливі ситуації, коли в один і той же момент часу може бути декілька значень. В такому випадку виникає певна багатовимірність побудови часового ряду.

Умовою якісного аналізу методом часових рядів є те, що ряди повинен мати однорідність за змістом та враховувати мету дослідження. А отже всі статистичні дані для аналізу даним методом потрібно порівнювати з іншим показником, таким як одиниці вимірювання величини або інше.

Основною умовою, що повинні враховувати данні при аналізі є різностороння повнота охоплення явища, що аналізується. А отже для аналізу необхідно використовувати єдину методику проведення розрахунків. Слід враховувати також неоднаковість одиниць вимірювання значень аналізу. Подібна проблема доволі часто виникає при аналізі потужності в енергетиці.

Іншою умовою, що необхідна для даної методики аналізу є певна однорідність етапів, тобто межі в яких показник характеризується одним і тим же законом. Отже основною метою застосування даного методу є характеристика зміни конкретного показника в часовому проміжку.

У випадку появи аномальних значень рівнів часових рядів основними причинами можуть бути помилками на стадії збору або обробки інформації, хоча зустрічаються і реальні стрибки показників в зміні динаміки.

Регресійний метод найчастіше використовують для аналізу зв'язків між різноманітними явищами. Слід зазначити, що показники енергоспоживання залежить від доволі великої кількості показників та чинників. Регресійний метод аналізу в основному призначений для вивчення різноманітних стохастичних залежностей з змінними величинами.

Регресійний метод аналізу проводять побудовою рівня регресії, а отже проводиться визначення впливу кожної змінної в досліджувану величину. А рівняння регресії показує зміну показника під дією зміни факторних ознак. Однією із математичних залежностей є парна регресія, що показує певні математичні залежності між двома різними змінними. Основним рівняння такої регресії є:

$$\bar{y} = f(x) \quad (1)$$

Функція опису зв'язків може бути лінійною або нелінійною. Лінійний зв'язок має вигляд:

$$\bar{y} = a_0 + a_1 \cdot x \quad (2)$$

де \bar{y} – результуючий показник; x – незалежний показник (змінна); a_0, a_1 – параметри лінійної парної регресії.

В статистиці застосовується доволі часто рівень значущості α події, тобто значення при якому подія є неможливою або помилковою. Найбільшого поширення при аналізі набув рівень 0,05, що означає допуск не більше 5% ймовірності помилки. Для найбільшої впевненості в результатах застосовують рівень 0,01, а інколи можуть приймати рівним 0,1. Виходячи з цього виникає певний рівень надійності P , або довірчою ймовірністю, що визначається за формулою:

$$P = 1 - \alpha \quad (3)$$

З даного рівняння (3) можна зазначити, що рівень надійності обирають також рівним 0,95 або більш точно 0,99. Також можуть застосовувати значення 0,90.

При вирішенні різноманітних практичних задач ймовірність менше 1 % (нульова ймовірність), а також менше 5 та 10 %. Також відсікають значення 99 % (нульова ймовірність) та 95 і 90 %.

Регресивний метод аналізу є найбільш вдосконалим на сьогодні і застосовується в усіх сферах технологій а також систем.

Наступним методом аналізу є порівняльний метод. Порівняння може виконуватись в двох вимірах: в просторі або в часі. Просторовий вимір має можливість порівняння двох та більше значень в синхроністичному аналізі, а часовий – порівнює різні історичні періоди цих значень в діахроністичному аналізі. Особливістю порівняльного методу є наявність певної загальної або спільної ознаки чи властивості на фоні яких є певні розрізнені перемінні.

Порівняльний метод аналізу дає можливість отримати інформацію про ознаки порівняльних явищ, а і про загальну тенденцію розвитку чи їх функціонування.

Кореляційний метод аналізу враховує співвідношення або відповідність певних понять чи речей, тобто це дослідження сукупності ознак, що є випадковими у генеральній сукупності. Основною ознакою або проблемою є достатня кількість даних по спостереженням. Слід зазначити, що кореляційний метод аналізу тісно пов'язаний з регресивним методом.

Кореляційний метод показує свою корисність при вказанні на певні відношення, що мають передбачувальний характер практичного застосування. В енергетиці доволі часто застосовують кореляційний метод при аналізі виробітку електричної енергії та її споживанням залежно від погодних умов або пори року. Але однієї такої залежності недостатньо для проведення кореляційного аналізу. Величина кореляції може бути як негативною так і позитивною. Негативна виникає за умови збільшення однієї величини та зменшення іншої, а додаткова виникає при збільшенні обох величин.

Найбільш відомою залежністю двох величин є коефіцієнт кореляції Пірсона, що розраховується, як відношення коваріації різних двох величин на добуток їх стандартних значень відхилення. Лінійна залежність показника кореляції двох змінних X та Y набувають відповідних значень від -1 до $+1$. Де значення $+1$ характеризує пряму зростаючу лінійну залежність, а -1 – обернену спадаючу лінійну залежність. Слід зазначити, що чим ближче значення коефіцієнта до -1 чи $+1$ тим сильніша кореляція між різними величинами. Також необхідно сказати, що при коефіцієнті кореляції рівному 0 всі змінні є статистично незалежними.

Список літератури

1. Г.В. Іванець , Ю.І. Євдокименко, О.Г. Марченко , О.А. Наконечний Алгоритм підвищення точності прогнозу економічних показників на основі багатofакторної лінійної моделі за рахунок передбачення похибок моделі і уточнення оцінок її параметрів на основі зваженого методу найменших квадратів// Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних Сил- 2013. - № 35. - С. 94 -97.

2. Іншеков Є.М. Екологічна крива Саймона Кузнеця: погляд з позицій ефективності енерговикористання на прикладі України- М.: Энергия, №1 2009. - 108 с.

3. Енергоефективні технології : навчальний посібник / А. С. Мандрика та ін. ; за заг. ред. А. С. Мандрики. – Суми : Сумський державний університет, 2021. – 330 с.

4. Разумний Ю. Т., Заїка В. Т., Степаненко Ю. В. Енергозбереження. – Дніпропетровськ: НГУ, 2008. – 164 с.

УДК:541.13

Гаюк Н.В.¹, доктор філософії з хімії, асистент

Селезньова О.О.¹, к.б.наук, асистент

Сокольський Г.В.², доктор філософії з хімії

Білоцерківський національний аграрний університет¹

Київський Політехнічний Інститут² ім. Ігоря Сікорського, м.

ЕЛЕКТРОХІМІЧНИЙ СИНТЕЗ ДІОКСИДУ МАНГАНУ

Серед інших оксидів мангану, манган(IV) оксид займає важливе місце внаслідок широкого застосування в хімічних джерелах струму (ХДС), каталізі та в інших галузях хімії промисловості. Штучно отриманий діоксид мангану як катодний матеріал у хімічних джерелах струму, виявляє більшу активність порівняно з природним, тому його називають «активним» або «активованим». Існує велика кількість методів синтезу різних кристалографічних модифікацій MnO_2 . У літературі прийнято виділяти електрохімічні та хімічні методи синтезу. Метод електролітичного осадження манган(IV) оксиду має переваги порівняно з традиційними хімічними методами.

Ключові слова: діоксид мангану, електрохімічний синтез, хімічні джерела струму.

Діоксид мангану широко використовують у хімічних джерелах струму (ХДС) (Рисунок 1), до яких належать первинні ХДС, наприклад, лужні MnO_2 -Zn та акумулятори або вторинні джерела струму на основі літію (апроіонні MnO_2 -Li) [1]. Це зумовлено низькими ціною та токсичністю, високою напругою розряду електродного матеріалу на основі MnO_2 . Відомі чисельні застосування цього оксиду в каталізі [2], електрокаталітичних процесах [3] як сорбенту.

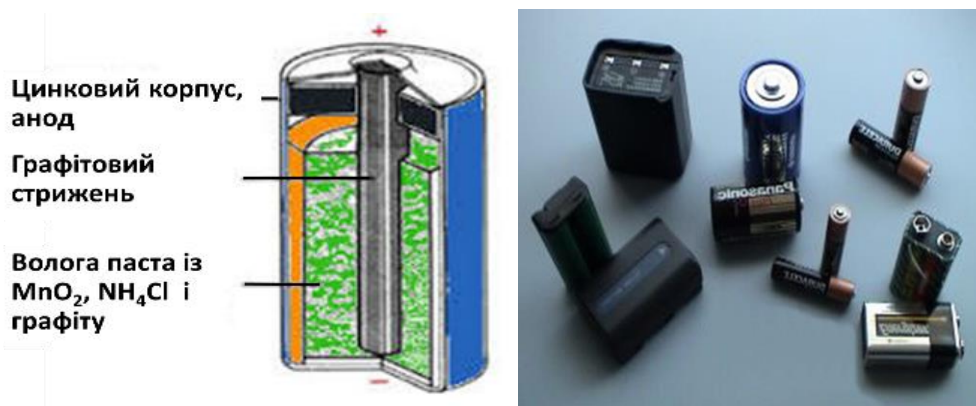


Рис. Хімічні джерела струму (ХДС);

Незважаючи на різні підходи до структурного порядку діоксиду мангану, слід відокремлювати різні поліморфні модифікації MnO_2 . Область практичного застосування MnO_2 визначається його структурою, яка може існувати у вигляді ряду поліморфних модифікацій – голандиту (α - MnO_2), піролюзиту (β - MnO_2), рамделіту (R - MnO_2), бірнеситу (δ - MnO_2), шпінелі (λ - MnO_2), структур вrostання піролюзиту і рамделіту (γ - MnO_2) та деяких інших [4].

Діоксид мангану – надзвичайно важлива сполука для дослідження впливу структури на каталітичну та електрохімічну активність матеріалу, оскільки лише його β - модифікація може вважатися такою, котра має стехіометричний склад і відповідає формулі MnO_2 , тоді як склад інших модифікацій може бути поданий загальною формулою MnO_x , де $1,7 < x < 2$.

Подібна структурна невпорядкованість сприяє транспорту заряду та масопереносу при електровідновленні діоксиду мангану в хімічних джерелах струму. Утворенню такої структурної невпорядкованості сприяє електрохімічний метод синтезу матеріалу.

За даними [5] (Рисунок 2.), незалежно від перебігу подальших стадій, першим етапом процесу є одноелектронне окиснення Mn^{2+} до розчинного Mn^{3+} . В слабкокислому середовищі (А) далі відбувається гідроліз Mn^{3+} з утворенням твердої фази $MnOOH$ на поверхні електроду. Заключний етап – твердофазне окиснення $MnOOH$ в MnO_2 , утворюється порошкоподібний матеріал чорного кольору.

Сильнокисле середовище (С) відрізняється тим, що після первісного окиснення, два Mn^{3+} - йони диспропорціонують з утворенням йонів Mn^{2+} і Mn^{4+} , останній з яких гідролізується з утворенням твердого MnO_2 на поверхні електроду. Прямий шлях (В) теоретично є можливим, але літературних даних про нього не знайдено.

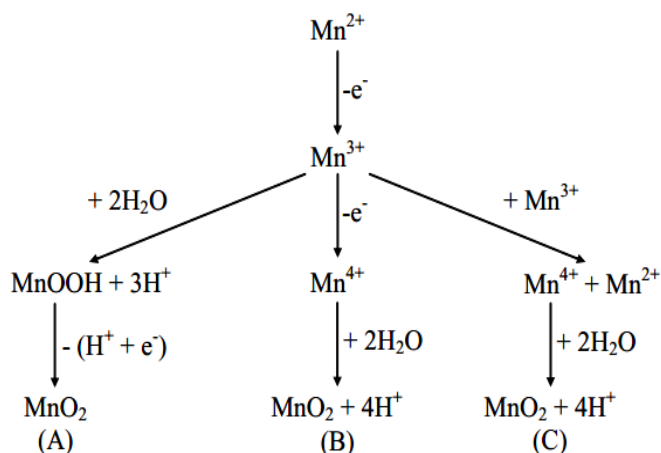


Рис. 2. Хімізм електроосадження діоксиду мангану залежно від реакції середовища:

(А) - низька кислотність; (С) - висока кислотність; (В) - пряме двохелектронне окиснення [5].

Цей метод дозволяє керувати процесом на різних рівнях структурної ієрархії за рахунок зміни таких параметрів процесу, як склад електроліту, тривалість електроосадження, електродний потенціал, густина струму з можливістю одержання матеріалів різної морфології структури, форми кристалітів, пористості, питомої поверхні тощо [6].

Механізм анодного окиснення Mn(II) досліджують, в основному, в сульфатних електролітах на платиновому аноді. Даний електроліт є найбільш розповсюдженим [7].

Окиснення Mn^{2+} до MnO_2 на Pt-електроді в сульфатній кислоті досліджували методом циклічної вольтамперометрії залежно від концентрації Mn^{2+} , концентрації кислоти, швидкості сканування, температури та конвекції. Було відмічено, що окиснення Mn(II) до Mn(IV) контролюється масопереносом. Висока температура і перемішування збільшували швидкість окиснення Mn(II) до Mn(IV). [8].

В основі осаження MnO_2 з сульфатних електролітів лежить сумарна реакція анодного окиснення йонів Mn (II) [9]:



У загальному вигляді процес осаження оксиду включає до себе три типи реакцій [10]:

електрохімічне окиснення



диспропорціонування йонів



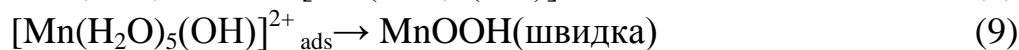
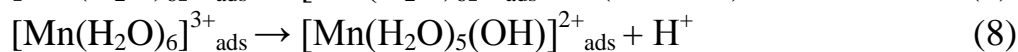
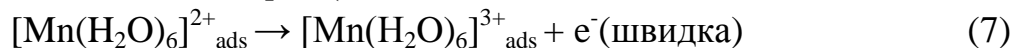
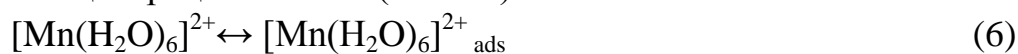
гідроліз йонів Mn^{3+} і Mn^{4+} з утворенням MnO_2 і $MnOOH$



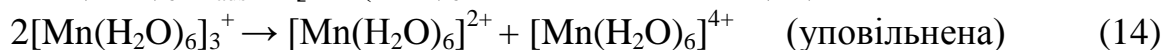
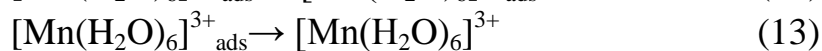
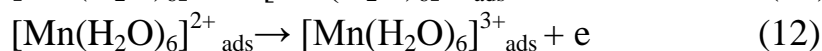
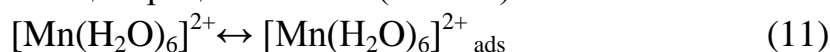
Уповільненою стадією в даному процесі є електрохімічне окислення $MnOOH$ до MnO_2 . У сильно кислих розчинах ($> 0,1$ моль/л) гідролізу Mn (III) не відбувається, а швидкість процесу визначає реакція диспропорціонування Mn (III) (реакція 3)) з утворенням MnO_2 та сполук Mn (II), що повертаються знову до розчину. За даними [11] Mn (II) є стабільним у всіх діапазонах концентрацій H_2SO_4 ($pK_a = 10,59$) і існує в формі гексааквооктаедричному комплексу $[Mn(H_2O)_6]^{2+}$. На відміну від Mn (II), стабільність аналогічного Mn (III) у вигляді $[Mn(H_2O)_6]^{3+}$ сильно залежить від концентрації H_2SO_4 .

Враховуючи факт наявності структурної води в MnO_2 [12], запропонували механізми окиснення Mn^{2+} в розчинах кислоти з концентрацією ($<0.1 \text{ M}$) та ($>0.1 \text{ M}$) з урахуванням форми існування йонів в якості гідроксокомплексів:

Концентрація кислоти ($<0.1 \text{ M}$)



Концентрація кислоти ($>0.1 \text{ M}$)



Для синтезу композиту діоксиду мангану використовували базові методики, що були впроваджені раніше для діоксиду мангану з флуорвмісного електроліту [13], допованих іонами амонію [14]. Порошкові зразки композитних матеріалів на основі манган(IV) оксиду синтезували у стандартній трьохелектродній комірці з використанням Pt робочого електроду та двох допоміжних електродів — скловуглецевих пластин. Окислення відбувалось на аноді площею $3,6 \text{ cm}^2$ (використовували дві робочі сторони), що була менша за сумарну площу катодув $5-10$ разів. Підготовка платиного електроду та скловуглецевих пластин включала операції знежирювання віденським вапном, промивання дистильованою водою, активації протягом 2 хв. у розбавленій сульфатній кислоті з повторною промивкою дистильованою водою. Осад діоксиду мангану формувався в електролітичній ванні на Pt електроді при високій густині струму $i = 10 \text{ A/дм}^2$. Осади сушили у сушильній шафі до постійної ваги при 120°C . Висушений порошок перетирали в агатовій ступці. Отримані композитні матеріали зберігали в ексікаторі над кальцій хлоридом. Перед дослідженням зразки просушували при 300°C до постійної ваги.

Висновок: Як видно з наведеного огляду, точки зору на механізм і кінетику електрохімічного осадження манган(IV) оксидів, можна використовувати в різних цілях, як для ХДС так і як каталізatori. Така розбіжність у поглядах вимагає подальшого дослідження процесу електроосадження діоксиду мангану.

Нові розумні так звані “smart” матеріали мають не тільки адитивно поєднувати властивості компонентів, а й забезпечувати певний синергізм

властивостей. Зокрема оксиди мангану (IV) здатний до ефекту модифікації напівпровідникових властивостей та покращення їх характеристик.

Список літератури.

1. Сокольський, Г. В., et al. Електрохімічний синтез діоксиду мангану в присутності іонів Fe^{2+} та Co^{2+} . *advances in aerospace technology*, 40.3: 274-278.
2. Иванова, Н. Д., et al. "Высокоэффективные оксидномарганцевые катализаторы реакции окисления CO." *Журнал прикладной химии* 9 (2002): 1452.
3. Ivanova, N. D., et al. "Comparative Characteristics of Chemical Power Cells Based on MnO₂-Zn Systems with Various Manganese Dioxide Samples." *Russian Journal of Applied Chemistry* 75 (2002): 935-938.
4. Albering J.H. Structurae chemistry of manganese dioxide and related compounds// Handbook of Battery Materials. Part II:Materials for Aqueous Electrolyte Batteries. – Weinheim, Germany: Wiley-VCH Verlag GmbH &Co.KGaA. – 2011. – P. 87 .
5. Cross A. Electrochemical Quartz Crystal Microbalance and Rotating Ring Disk Electrode Analysis of Manganese Dioxide Electrodeposition for Thin Film Electrochemical Capacitors/ A. Cross, I. Olcomendy, M. Drozd, A. F. Hollenkamp, S. W. Donne // *Journal of The Electrochemical Society*. – 2012. –V. 160(2). – PP. 368-375.
6. Sotgiu G. Production and characterization of manganese oxide-based electrodes for anodic oxidation of organic compounds / G. Sotgiu, M. Foderà, F. Marra, E. Petrucci, D. Ingegneria, R. Tre, V.V. Volterra //Chem. Eng. Trans. – 2014. –vol. 41. – p. 11512.
7. Макеєва І. С. Механізм та кінетика електроокислення іонів Mn(II) з фторвмісного електроліту: дис. канд. хім. наук: 02.00.05. – К.: НАН України, Ін-т заг. та неорган. хімії ім. В. І. Вернадського, 2001. – 133с
8. Nijjer S. Oxidation of manganese(II) and reduction of manganese dioxide in sulphuric acid/ S. Nijjer, J. Thonsta, G.M. Haarberg // *Electrochimica Acta*. – 2000. – V. 46(2). – P. 395-399.
9. Kinetics of Anodic Formation and Cathodic Reduction of MnO₂ in the Sulfate Electrolyte Solutions/ O. G. Tsiklauria, T. A. Marsagishvilia, G. S. Tsurtsumiya, S. A. Kirillov, D. I. Dzanashvili // *Russian Journal of Electrochemistry*. – 2008. – V. 44. – N. 11. – pp. 1299-1306.
10. Reynaud J. A. /J. A. Reynaud, J. P. Brenet// *Bull. Soc. Chim. France*. – 1968. – p. 3505.
11. Aylward G. SI Chemical Data / G. Aylward, T. Findlay. –John Wiley and Sons. –1998.

12. Clarke C. J. An RDE and RRDE study into the electrodeposition of manganese dioxide / C. J. Clarke, G. J. Browning, S. W. Donne // *Electrochimica Acta*. – 2006. – V. 51. – P. 5773-5784.

13. Иванова Н.Д.
Получение диоксида марганца из фторсодержащих электролитов / Н.Д.Иванова, Е.И.Болдырев, И.С.Макеева, Г.В.Сокольский // *Журнал прикладной химии*. – 1998. – Т.71. – №7. – С. 1209-1211.

14. Сокольский Г.В. Допированный оксид марганца (IV) в процессах деструкции и удаления органических соединений из водных растворов / Г.В. Сокольский, С.В. Иванов, Н.Д. Иванова, Е.И. Болдырев, Т.Ф. Лобунец, Т.В. Томила // *Химия и технология воды*. – 2012. – Т. 34. – № 5. – С. 386–397.

УДК 631.171

Снігур Т.М., асистент

Білоцерківський національний аграрний університет.

АВТОМАТИЗАЦІЯ ТА РОБОТИЗАЦІЯ В АГРАРНОМУ ВИРОБНИЦТВІ

Розвиток розумних електротехнологій в аграрній сфері має значний потенціал для підвищення ефективності, врожайності та стійкості сільськогосподарського виробництва. Автоматизація та роботизація в аграрному виробництві може принести значні переваги, включаючи підвищення ефективності, зменшення витрат та оптимізацію процесів. Наведено деякі аспекти автоматизації та роботизації в сільському господарстві.

Ключові слова: автоматизація, роботизація, аграрне виробництво, врожай, оптимізація.

1. Автоматизований посів та збір врожаю.

Дрони та роботизовані трактори: Вони можуть використовуватися для автоматичного посіву, поливу та збору врожаю. Роботизовані системи можуть працювати на полі, виконуючи завдання без необхідності перегляду фермера. Автоматизовані сівалки та обприскувачі: системи, які можуть самостійно визначати оптимальний розмір посіву та кількість добрив, можуть покращити якість вирощування культури та зменшити витрати.

2. Моніторинг та сенсори.

Системи моніторингу ґрунту: Сенсори, розташовані на полі, можуть видавати дані про вологість ґрунту, рівень поживних речовин та інші параметри. Ця інформація дозволяє фермерам точно визначити оптимальний час для поливу та внесення добрив.

Системи автоматизації поливу:

Автоматизовані системи поливу: вони можуть відслідковувати вологість ґрунту та автоматично регулювати режим поливу залежно від потреб рослин, також вони можуть реагувати на сенсори і самостійно регулювати обсяг полива

залежно від потреб рослин і погодних умов.

Роботи для видалення бур'янів: Автоматизовані системи можуть ідентифікувати та видаляти бур'яни, зменшуючи потребу в хімічних рослинницьких захисних засобах та оптимізуючи вирощування рослин.

Роботи по зборі врожаю: Автоматизовані роботи можуть виявляти та збирати врожай без присутності людей, забезпечуючи ефективність та швидкість процесу. Датчики та камери, встановлені на збірних машинах, допомагають визначити оптимальний момент для збору врожаю та визначення якості плодів.

Системи комп'ютерного зору можуть виявити шкідників, хвороби або інші проблеми на рослинах, що дозволяють оперативно реагувати.

3. Електромобільність в сільському господарстві.

Електричні трактори та транспорт: Заміна традиційних тракторів електричними може призвести до зменшення викидів CO₂ та економії на витратах додатково. Роботизовані трактори можуть автономно виконувати завдання по обробці обґрунтування, внесенню добрив та посіву.

Дрони та сенсори: Використання дронів та сенсорів для моніторингу урожаю, виявлення хвороб і шкідників дозволяє оперативно реагувати на проблеми та покращувати якість виробництва.

Самонавігація: сучасні збиральні машини можуть мати функції самонавігації, які дозволяють їм самостійно рухатися по полю, визначаючи оптимальний маршрут.

4. Автоматизація складу та логістики.

Системи автоматичного сортування та упаковки: Для оптимізації логістики та підготовки продукції до транспортування можуть використовуватися автоматизовані системи сортування та упаковки.

5. Інтеграція з обліковими системами.

Системи автоматизованого обліку: Інтеграція з системами обліку може допомогти фермерам у веденні точного обліку виробництва, витрат та прибутків.

Споживання енергії:

Енергоефективність та використання альтернативних джерел енергії: автоматизована система може сприяти ефективнішому використанню енергії, а також впровадження альтернативних джерел енергії для сільськогосподарської техніки.

Екологічні переваги:

Мінімізація використання хімічних речовин: Завдяки точній системі нанесення добрив та захисту рослин можна зменшити негативний вплив на навколишнє середовище та зберегти ґрунтовні ресурси.

Навчання та підтримка фермерів:

Тренування фермерів: Важливо забезпечити фермерів необхідними навичками та знаннями для використання новітніх технологій.

Загалом, розумні електротехнології в аграрній сфері можуть призвести до покращення продуктивності, стійкості та конкурентоспроможності сільськогосподарського виробництва. Однак, для успішної реалізації цих

технологій, важливі фактори, такі як доступність інфраструктури, навчання фермерів та аспекти кібербезпеки.

Загальна мета автоматизації та роботизації в аграрному виробництві - це підвищення продуктивності, зменшення витрат та створення більш стійкого та ефективного сільськогосподарського виробництва. Однак, для успішної реалізації цих технологій, важливо підтримувати особливості конкретного господарства, навчання персоналу та вирішення етичних та соціальних питань.

Виробництво з елементами екологічної стійкості: Розумні технології можуть бути використані для впровадження екологічно стійких методів виробництва, що дозволяє зменшити вплив сільськогосподарської діяльності на навколишнє середовище.

Загалом, розвиток розумних електротехнологій в аграрній сфері може призвести до створення більш стійких, ефективних та екологічно чистих систем виробництва, що відповідає викликам сучасності та завершить забезпечення продовольчої безпеки.

Список літератури

1. Болтянський О.В. Сфери інноваційного розвитку та агроекономічного зростання сільськогосподарських підприємств. Мелітополь: ТДАТУ, 2020. С. 75-78.
2. Надикто В.Т. Колійна та мостова системи землеробства. Монографія / Надикто В.Т., Улексін В.О. – Мелітополь: ТОВ «Видавничий будинок ММД», 2008.-270 с.2.
3. Кувачов В.П. Електрифікований агромодуль – ефективне рішення проблем механізації с.-г. виробництва / Кувачов В.П., Куценко Ю.М., Ковальов О.В. // Праці ТДАТУ.-2012. -Вип. 12, том 2.–С.86-92

УДК: 620; 620:628;

Брижицький А.І. студент 3 курсу

Науковий керівник: **Чуба В.В.**, кандидат технічних наук, доцент

Білоцерківський національний аграрний університет

РОЗУМНІ РОЗЕТКИ В ПОБУТОВОМУ ВИКОРИСТАННІ

В доповіді йдеться про основні характеристики розумних розеток.

Визначено характеристики, за якими слід притримуватися вибору розумних розеток.

Наведені перспективи при масовому використанні розумних розеток.

Ключові слова: енергоощадження, техніка, розетка, розумна техніка.

Мета роботи – ознайомити з перевагами та недоліками використання розумних розеток для побутового приміщення, та розглядання перспектив в використанні розумної техніки(розеток).

Зі збільшенням кількості енергозатратних пристроїв в побуті, настає момент, коли споживання електричної енергії стає вище, ніж виробляється, або

коли пропускна можливість комутаційних апаратів не справляється з навантаженням.

Одним із способів справитися зі цією проблемою є відключення пристроїв від електромережі, щоб послабити навантаження на комутаційні апарати та провідники, але постійно механічно вмикати та вимикати пристрої може бути часозатратно, і тому можна використовувати дистанційні реле.

Так як на встановлення повноцінного реле не завжди є можливість, можна використати більш побутові варіанти, такі як розумні реле або розумні розетки.

Розумні розетки – це розетки, які мають додаткові функції при дистанційному підключенні, такі як керування живленням пристрою що підключений до розетки та додаткові електрозахисти(захист від перегрівання, надлишкового струму та напруги).

В своїх функціях має можливість добавлення користувацьких алгоритмів роботи за часом, та можливість керуватись групами з іншими розетками.

Будова розеток в основному складається з таких складових як:

1. Контакти підключення – контакти, через які розетка підключається до мережі.

2. Контролер – «мізки» розумної розетки, через які і відбувається керування реле.

3. Реле – комутаційний пристрій, через який струм із мережі потрапляє до приєднаного пристрою. Керується через плату управління (контролер).

4. Кнопка управління – кнопка розумної розетки, за допомогою якої можна перемикає режим роботи реле(включення або виключення), вмикати режим роботи сполучення(для підключення розетки до програми керування), перезавантаження розетки без необхідності відключення від електромережі, та, іноді, скидання налаштувань розетки за замовчуванням.

Розумні розетки мають перспективи замінити звичайні розетки в побутовому рішенні. Ринок розумних розеток швидко зростає. За останні роки популярність цих пристроїв значно зросла, що сприяє розвитку нових технологій домашньої автоматизації. Очікується, що цей ринок продовжуватиме зростати і надалі, пропонуючи ще більше інноваційних можливостей в майбутньому.

Висновок.

Використання розумних розеток дає можливість:

- зменшити витрати на електроспоживанні ;
- підвищити рівень безпеки при використанні пристроїв в незахищеній мережі;
- автоматизувати включення та виключення пристроїв за часом.

Список літератури

1. Розумні розетки та вимикачі: автоматизація електроприладів у будинку URL: <https://electrica-shop.com.ua/ua/umnie-rozetki-i-viklyuchateli-avtomatizatsiya-elektropriborov-v-dome>.

2. Розумна розетка. Дозвольте передовим технологіям полегшити вам життя. URL: <https://ohrana.ua/uk/stati-i-obzory/umnaya-rozetka-pozvolte-peredovym-tekhnologiyam-oblegchit-vam-zhizn.html>.

3. Розумна розетка – що це і що вміє такий гаджет. URL: <https://itechua.com/articles/204994>.

4. Що таке розумна розетка? URL: <https://wisehome.com.ua/ua/scho-take-rozumna-rozetka/>.

5. РОЗЕТКА З WI-FI АБО РОЗУМНА РОЗЕТКА, ЩО ВМІЄ І ДЛЯ ЧОГО ПОТРІБНА. URL: <https://stinex.ua/ua/blog-news/rozetka-s-wifi-ili-umnaya-rozetka-chto-umeyet-i-dlya-chego-nuzhna>.

6. Переробка відходів в розвинених країнах світу. URL: <http://www.biowatt.com.ua/analitika/pererobka-vidhodiv-v-rozvinenih-krayinah-svitu/>.

7. What Is a Smart Plug? URL: <https://www.howtogeek.com/730221/what-is-a-smart-plug/>

2. Електропривод обладнання аграрних підприємств.

УДК 620.92

Мірний В. Ю., аспірант.

Науковий керівник: **Погорілий С. П.**, доктор технічних наук,
*Інститут механіки та автоматики агропромислового виробництва
Національної академії аграрних наук України.*

МЕТОДИКА ДЛЯ ВИКОНАННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ІЗ ВИЗНАЧЕННЯ ВПЛИВУ ПАРАМЕТРІВ ТЕХНОЛОГІЧНИХ МОДУЛІВ НА ПАРАМЕТРИ МОБІЛЬНОГО ЕНЕРГЕТИЧНОГО ЗАСОБУ ТИПУ «АВТОТРАКТОР»

Анотація

Мета. Розробити методику та підібрати обладнання для виконання експериментальних досліджень.

Методи. Під час розробки методики виконання експериментальних досліджень використано основні положення ДСТУ ГОСТ 7057-2003 «Трактори сільськогосподарські. Методи випробування»

Результати. Обґрунтовано методику та обладнання для виконання експериментальних досліджень.

Висновки. Розроблена методика та обґрунтоване вимірювальне обладнання дасть можливість виконати експериментальні дослідження з високою точністю (до 3 %).

Ключові слова: методика проведення експериментальних досліджень, вимірювальне обладнання, тарування датчиків, автотрактор, мобільний енергетичний засіб.

Створений в Інституті механіки та автоматики агропромислового виробництва Національної академії аграрних наук України багатофункціональний мобільний енергетичний засіб МЕЗ-115 «Автотрактор» (МЕЗ) [1] ставить перед вченими завдання проведення як

теоретичних, так і експериментальних досліджень із метою вивчення його параметрів та режимів роботи під час виконання процесу агрегування технологічних модулів (ТМ) із МЕЗ [2].

Теоретичні дослідження процесу агрегування ТМ із МЕЗ дають можливість встановити взаємозв'язки між параметрами ТМ та параметрами МЕЗ під час агрегування, зокрема навантаження на осі МЕЗ, параметри гідроциліндрів, які необхідно встановити в гідравлічну систему МЕЗ [3].

Для перевірки отриманих теоретичних даних необхідно виконати експериментальні дослідження. У зв'язку із цим необхідно розробити методику експериментальних досліджень та підібрати обладнання, завдяки якому будуть досліджені необхідні параметри МЕЗ, зокрема навантаження на осі МЕЗ та тиск робочої рідини в гідроциліндрах МЕЗ під час агрегування з ТМ. При цьому, результати отриманих даних мають задовольняти вимоги діючих стандартів [4], [5].

Програма та методика експериментальних досліджень передбачає виконання таких досліджень:

- 1) визначення навантажень на осі МЕЗ від маси ТМ;
- 2) визначення тиску робочої рідини в гідросистемі МЕЗ під час агрегування ТМ із ним;
- 3) визначення відстані від моста МЕЗ до опорної поверхні (прогин шин);
- 4) визначення відстані від верхньої частини рами до моста (прогин ресор).

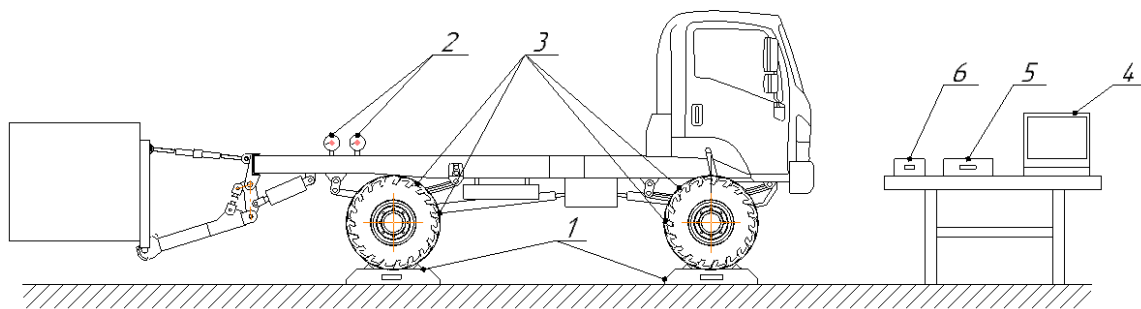


Рис. 1. Схема розміщення обладнання, вимірювальних та реєструвальних приладів:

1 – тензометричні ваги; 2 – перетворювач тиску робочої рідини в гідроциліндрах типу ПМ; 3 – оптичні датчики відстані; 4 – персональний комп'ютер; 5 – аналоговий цифровий перетворювач (АЦП); 6 – блок живлення постійного струму 5 В.

За методикою експериментальних досліджень передбачається фіксування даних за допомогою застосування LGraph2. 4 досліді, в яких змінною є маса ТМ: 1500 кг, 1000 кг, 500 кг та 0 кг (ТМ від'єднано від МЕЗ). Згідно методики кількість повторностей в досліді - 3 повторності. Частота

запису результатів досліджень аналоговим цифровим перетворювачем 10 кГц.

Висновки. Розроблено методику, яку буде використано для виконання експериментальних досліджень впливу параметрів ТМ на параметри МЕЗ, та обґрунтовано обладнання, що дасть можливість експериментально дослідити роботу навісного пристрою МЕЗ та зміну навантаження на його осі та прогин шин і ресор за зміни маси ТМ. Обґрунтоване вимірювальне обладнання дасть можливість виконати експериментальні дослідження з високою точністю (до 3 %).

Список літератури

1. Погорілий С., Присяжний В., Мірний В. Ю. Обґрунтування параметрів технологічних модулів до мобільного енергетичного засобу МЕЗ-115 «Автотрактор». *Механіка та автоматика агропромислового виробництва* : загальнодерж. зб. / ІМА АПВ НААН. Глеваха, 2023. Вип. 1 (115). С. 135–142. <https://doi.org/10.37204/2786-7765-2023-1-14>.

2. Перспективи використання мобільних енергетичних засобів тягового класу 1,4; 2 в агропромисловому виробництві / С. П. Погорілий та ін. *Механізація та електрифікація сільського господарства* : загальнодерж. зб. / ННЦ «ІМЕСГ». Глеваха, 2022. Вип. № 15 (114). С. 108–114. <https://doi.org/10.37204/0131-2189-2022-15-13>.

3. Погорілий С. П., Присяжний В. Г., Мірний В. Ю. Обґрунтування параметрів навісного пристрою мобільного енергетичного засобу типу «Автотрактор» тягового класу 1,4. *Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету* : електронне наукове фахове видання. 2023. Вип. № 13. Т. 2. С. 109–116. <https://doi.org/10.31388/2220-8674-2023-2-10>.

4. ДСТУ ГОСТ 7057-2003. Трактори сільськогосподарські. Методи випробування. [Чинний від 2003-07-01]. К. : Держспоживстандарт України, 2003. 11 с.

5. ДСТУ ГОСТ 10677-2003. Пристрій навісний задній сільськогосподарських тракторів класів 0,6–8. Типи, основні параметри і розміри. [Чинний від 2003-07-01]. К. : Держспоживстандарт України, 2003. 7 с.

УДК 631.37:621.313.13

Градко В.В., здобувач вищої освіти

Чепіжний А.В., к.т.н., доцент, науковий керівник

Сумський національний аграрний університет

ОСОБЛИВОСТІ НАДІЙНОСТІ ОБМОТОК АСИНХРОННИХ ДВИГУНІВ

Станом на сьогодні в Україні фіксується доволі значна кількість асинхронних електричних двигунів, які мають доволі великий термін експлуатації. Все це впливає на

надійність та подальшу ефективність використання таких двигунів, а отже виникає доволі висока ймовірність виникнення різних раптових відмов.

Ключові слова: статор, ротор, обмотка, надійність, безвідмовна роботи, асинхронний двигун, вібрація, стенд, підшипниковий вузол, температурний режим.

В результаті тривалої роботи асинхронних електричних двигунів можуть виконуватись капітальні ремонти із повною заміною обмоток, а отже виникає необхідність дослідження їх експлуатаційних, робочих характеристик та інших параметрів. Слід зазначити, що якість капітального ремонту не завжди відповідає технічному рівню виробництва даних двигунів. Все це може доволі сильно змінювати параметри асинхронного двигуна, а отже в результаті повторного використання в попередніх умовах експлуатації може виникнути більш швидкий вихід його з ладу.

Вивченням питання надійності обмоток різноманітних асинхронних двигунів займалось доволі багато вчених. Серед них такі, як О.Д. Гольдберг, Г.Г. Счасливий, В.Є. Воробйова та інші. Та все ж при цьому доволі багато питань надійності обмоток асинхронних двигунів залишається не дослідженими.

На сьогоднішній день існує проблема непрогнозованості виникнення відмов в асинхронних двигунах, а отже є невизначеність залишкового ресурсу конкретного електродвигуна. В результаті цього залишається проблемним питання використання застарілих асинхронних електродвигунів, адже немає можливості чітко спрогнозувати вихід їх з ладу. Вирішенням проблеми може бути заміна електричних двигунів на нові, але є доволі велике фінансове навантаження, що може бути не оправдано високим. Тож доводиться дотримуватись балансу в різноманітних технологічних процесах між новими асинхронними двигунами та відремонтованими. Неможливість прогнозування напрацювання на відмову також відноситься і до нових двигунів, і точно сказати чи є дефекти в обмотках чи інших елементах нового електродвигуна не можливо.

Як показує практика, на різноманітних підприємствах виходить з ладу майже 30 % різноманітних електричних асинхронних двигунів. В результаті ці двигуни ремонтують та повертають назад в попередні умови експлуатації. Деякі з цих асинхронних двигунів можуть ремонтуватись до 4 разів на рік, що дає напрацювання на ремонт між їх проведенням від 3 місяців і більше. Цей показник є доволі малим для деяких асинхронних двигунів. Недостатні показники надійності різноманітних двигунів наносить значні збитки підприємствам, що їх використовують. Ці витрати пов'язані з двома значними показниками. По-перше, це витрати безпосередньо на ремонт електричного двигуна, а по-друге витрати пов'язані з простоем обладнання, де використовувався даний електричний двигун.

Виходячи з цього можна зробити висновок, що визначення фактичної надійності асинхронного електричного двигуна є основним завданням досліджень. Удосконалення методів аналізу показників надійності обмоток є

одним із важливих задач дослідження, що дасть можливість отримати залишковий ресурс будь-якого асинхронного електричного двигуна.

Список літератури

1. Сьомка О. О., В. В. Прус Урахування зміни теплових та вібраційних параметрів електричних машин із тривалим напрацюванням на відмову Науково-практичний журнал «Електротехніка і електромеханіка» – Харків: Національний технічний університет «ХПІ», 2014. – Вип. 2/2014 – С. 52–55.

2. Сьомка О. О. Розробка методу визначення та прогнозування показників надійності електричних машин із різним ступенем напрацювання на відмову Електромеханічні і енергозберігаючі системи. Щоквартальний науково-виробничий журнал. – Кременчук: КрНУ, 2013. – Вип. 2/2013 (22). Частина 2 – С. 46-51.

УДК 621.313.33

Єфімов С.Б., здобувач вищої освіти

Чепіжний А.В., к.т.н., доцент, науковий керівник

Сумський національний аграрний університет

АНАЛІЗ ОСНОВНИХ ПРИЧИН ВИХОДУ ЗІ СТРОЮ АСИНХРОННИХ ЕЛЕКТРОДВИГУНІВ

Анотація. Розповсюдженість асинхронних двигунів дає їх доволі широке використання в усіх сферах діяльності та промисловості. Основною особливістю даних двигунів є показники надійності, що дають можливість безвідмовної роботи всього обладнання. При цьому слід зазначити, що існує доволі багато двигунів які відмовили з різноманітних причин. Основними причинами виходу з ладу є пошкодження обмоток ротора та статора. Необхідно зазначити, що для визначення їх стану необхідною умовою є розбирання асинхронного двигуна з подальшою дефектацією основних його складових. На розбирання та збирання двигуна витрачається доволі велика кількість часу. А отже обладнання, що використовує цей двигун весь цей час повинно простоювати.

Ключові слова: пристрої, генератор, двигун, стенд, штучне навантаження, показники, частота обертання, потужність, частотний перетворювач.

Сьогоднішній розвиток промисловості дає можливість випускати різноманітні серії асинхронних електродвигунів. Всього випускається три серії, з врахуванням двигунів зі спеціальним виконанням. Дані двигуни повністю відповідають міжнародним стандартам.

Не зважаючи на таку ситуацію та конструктивні особливості асинхронних електродвигунів спостерігається доволі високий показник аварійності, особливо при роботі у важких умовах. Якщо провести аналіз всіх асинхронних електродвигунів що працюють в сільському господарстві то можна сказати, що щорічно ламаються від 15 до 20 % від всієї кількості двигунів. Існують також і інші дані, за якими цей відсоток становить від 20 до 25 %, а іноді навіть і 30 % від загальної їх кількості.

Виходячи з цього при роботі таких двигунів в сільському господарстві їх ресурс зменшується від 2 до 3 разів від нормативного значення. Якщо поглянути по галузям, то можна зробити висновок, що при роботі асинхронного двигуна в тваринництві строк його роботи становить 3,5 роки. При роботі асинхронного електродвигуна в рослинництві строк роботи становить 4 роки. Найбільший термін експлуатації припадає на роботу асинхронних електродвигунів на різноманітних підсобних підприємствах, де строк роботи їх становить фактично 5 років. Для збільшення терміну роботи асинхронних електродвигунів їх забезпечують різноманітною апаратурою, наприклад пускозахисною. При цьому час їх роботи все ж становить не більше 3-5 роки. А отже основною причиною виходу з ладу всіх асинхронних двигунів є різноманітні аварійні режими роботи. Для прикладу розглянемо основні причини виникнення несправностей електричних двигунів, в тому числі з врахуванням роботи в сільському господарстві (рис. 1.).



Рис. 1. Особливості несправностей асинхронних електродвигунів

Як видно з рисунку 1 найбільша кількість причин несправностей асинхронних електродвигунів відбувається через пошкодження обмоток статора електродвигуна.

Основними причинами виходу з ладу обмоток асинхронного електродвигуна є обрив фаз. Іншими не менш важливими причинами є різноманітного роду перенавантаження. Також доволі великі проблеми виникають при виході з ладу підшипників, адже вони спричиняють відсутність симетрії в обертанні ротора і в результаті виникає пошкодження як конструкції ротора так і пошкодження конструкції статора, а отже і обмоток.

Необхідно зазначити, що обрив фаз та несиметрія напруги в асинхронному електродвигуні становлять найбільший відсоток пошкодження від загальної кількості. На сьогодні виникає доволі багато проведених досліджень, що пов'язані з визначенням несиметрії в режимах роботи електродвигунів. При цьому необхідно зазначити, що для зменшення дії несиметрії напруги при роботі використовують різноманітні засоби захисту.

Також доволі велика кількість статей, що присвячена визначенню методики знаходження параметрів при обриві фаз. Хоча в більшості робіт присвяченій даній проблематиці не враховують коефіцієнт завантаження від якого залежить зміна інших параметрів, таких як ковзання.

Станом на сьогодні виникає необхідність підвищення експлуатаційної надійності за умови ефективного застосування засобів різноманітного діагностування. Відповідно застосування всіх параметрів дає можливість отримати дані про роботу електродвигуна, його стан, значно зменшити ізоляційний знос, зменшити кількість відмов, а також вихід з ладу при аварійних режимах.

Список літератури

1. М.В. Загірняк, Д. Г. Мамчур, А. П. Калінов, А. В. Чумачова Діагностика асинхронних двигунів на основі аналізу сигналу споживаної потужності : монографія – Кременчук, 2013. – 208 с.

2. Сьомка О. О., В. В. Прус Аналіз методів визначення та прогнозування показників надійності електричних машин Електромеханічні та енергетичні системи, методи моделювання та оптимізації. Збірник наукових праць XI Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених і спеціалістів у місті Кременчук 09-11 квітня 2013 р. – Кременчук, КрНУ, 2013. – Ст. 302-303.

UDC 62-7:621.882.5

Andrii Rubets, Dr.-Ing., Dozent, CAD-Entwicklungskonstrukteur.
SURYS GmbH, Dieburg, Deutschland.

KINEMATISCHER ASPEKT DER KLASSIFIZIERUNG VON SCHRAUBVERBINDUNGEN BEWEGLICHER TECHNISCHER EINRICHTUNGEN

In diesem Beitrag wird ein Ansatz zur Untersuchung der Frage vorgestellt, wie die erforderliche technische Lebensdauer einer Schraubverbindung auf der Grundlage der Analyse der Schwingungen von Schraubkopf und Mutter gewährleistet werden kann.

Schlüsselwörter: Gewindeverbindung, Vibration, Kinematik, bewegliche landwirtschaftliche Maschinen

EINLEITUNG

Etwa 2/3 der Verbindungen von modernen Landmaschinen sind Schraubverbindungen [1]. Im Gegensatz zu stationären Maschinen sind alle Verschraubungen von Landmaschinen räumlichen Schwingungsbelastungen ausgesetzt.

PROBLEMSTELLUNG

Die effiziente Nutzung von Gewindeverbindungen hängt von der Berechnung ihrer Parameter in Abhängigkeit von den Einsatzbedingungen, der Art der Belastung, der Notwendigkeit der Wartung der Baugruppe usw. ab. Bis vor kurzem war der wichtigste Betriebsparameter die erforderliche Klemmkraft der verbundenen Teile, die die Bedingungen ihrer Verwendung nicht vollständig widerspiegelte [2, 3, 4, 7].

MATERIALIEN UND METHODEN

Gegenstand der Untersuchung sind die Schwingungen einer Gewindeverbindung von Landmaschinen. Die Forschungsergebnisse wurden mit den

Methoden der theoretischen Mechanik, der mathematischen Analyse und der statistischen Verarbeitung erzielt.

HAUPTINHALT DER FORSCHUNG

Je nach Betriebsbedingungen lassen sich die Gewindeverbindungen in Landmaschinen in die folgenden Gruppen einteilen, die unter schrägen, linearen, länglichen und komplexen Schwingungen arbeiten;

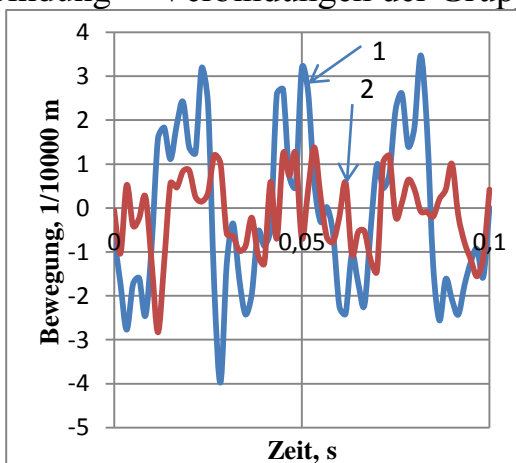
Unter dem Einfluss der oben genannten Belastungen führt die Auflagefläche der Mutter und des Schraubenkopfes komplexe Bewegungen um ihre eigene Gleichgewichtslage aus.

Bisher wurden theoretische Abhängigkeiten der kinematischen Parameter von Gewindeverbindungen unter den Bedingungen von Raumschwingungen ermittelt [4, 5, 6]. Auf der Grundlage der Analyse der Schwingungsaufzeichnung durch 3-D-Sensoreinheiten unter dem Schraubenkopf und der Mutter wurde festgestellt, dass sich die Gewindeverbindungen je nach Art der in den entsprechenden X-, Y- und Z-Richtungen gemessenen Schwingungen in zwei Gruppen unterteilen lassen:

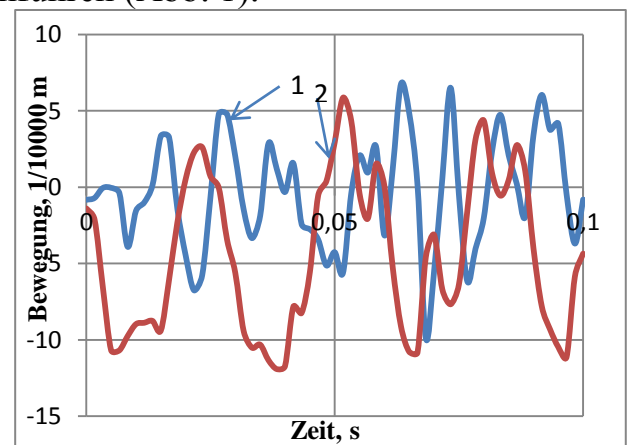
1 - Verbindungen, bei denen die Differenz der Schwingungen in den jeweiligen Richtungen zwischen der Auflagefläche der Schraube und der Mutter von Null verschieden ist;

2 - Verbindungen, bei denen die Differenz der Schwingungen in den jeweiligen Richtungen zwischen der Auflagefläche der Schraube und der Mutter nicht wesentlich von Null abweicht und vernachlässigt werden kann.

Für eine gründliche Beschreibung dieser Gruppen werden wir die Begriffe "synchrone Verbindung" - Verbindungen der Gruppe 2, "nichtsynchrone Verbindung" - Verbindungen der Gruppe 1 einführen (Abb. 1).



a)

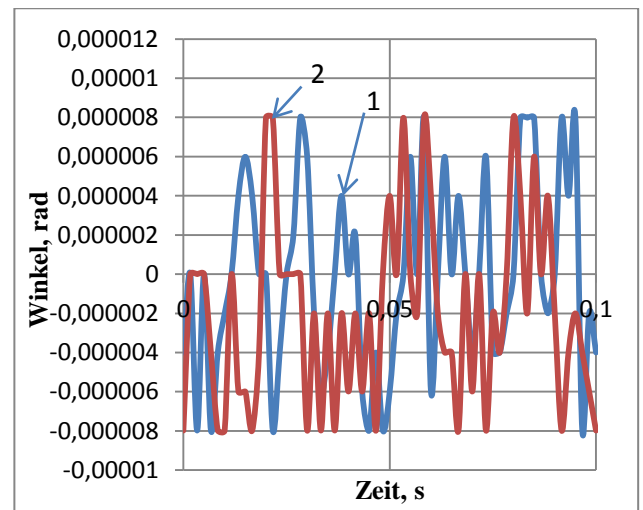
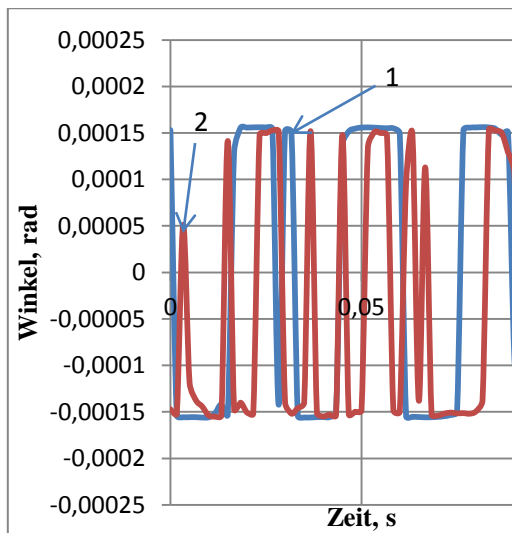


b)

Abb. 1. Schwingungen der Mutterlagerfläche (a) einer nichtsynchronen Verbindung und einer synchronen Verbindung (c).

Die Winkelverschiebungen einer nichtsynchronen Verbindung haben scharfe Spitzen und konstante Werte bei einem bestimmten Winkel (Abb. 2, a)

Bei der Schwingung einer synchronen Verbindung treten keine Winkelschwingungen auf, da sich die Lagerflächen synchron in Richtung der jeweiligen Achsen bewegen (Abb. 2, b).

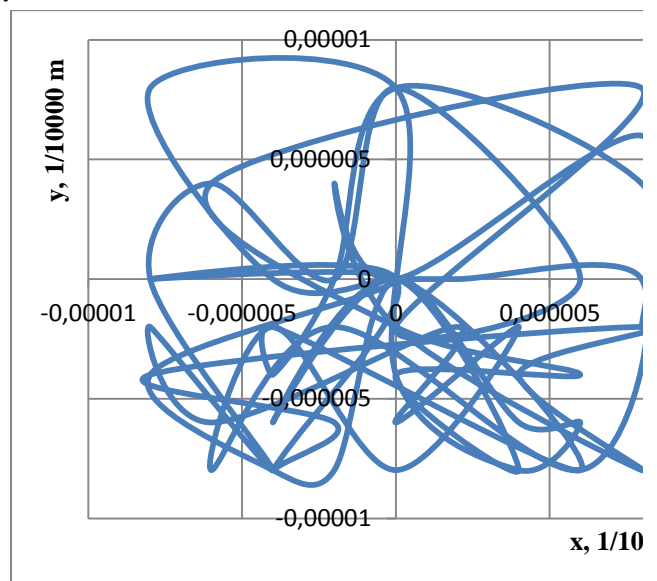


a)

b)

Abb. 2. Veränderung des Winkels zwischen der Mittellinie des Bolzens und der Gleichgewichtslinie bei einer nichtsynchrone (a) und einer synchronen (b) Verbindung.

In den XY-Koordinatenachsen führen die Punkte der Auflageflächen von Schraubenkopf und Mutter eine komplexe Bewegung aus (Abb. 3). Dieses Phänomen tritt auf, bis die Schraubverbindung gelöst ist.



a)

b)

Abb. 3. Bewegung der Punkte der Auflagefläche der Mutter in den XY-Koordinatenachsen für nichtsynchrone (a) und synchrone (b) Verbindungen.

Die mit der numerischen Methode berechneten Winkelgeschwindigkeiten der Schraubenachse für die synchrone Verbindung erreichen nur in einigen Fällen bis zu 0,003 rad/s (Abb. 4), was diese Eigenschaft der synchronen Verbindung bestätigt.

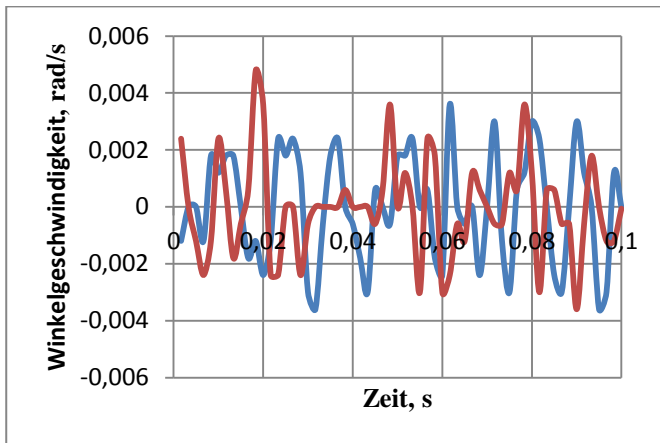


Abb. 4. Winkelgeschwindigkeit der Achse einer synchronen Schraubverbindung, rad/s

Schwingungen einer Gewindeverbindung in landwirtschaftlichen Maschinen ermöglicht es, die Belastung der Gewindeverbindung anhand der erzwungenen Querkraft und der relativen Winkelschwingungen der Lagerflächen von Schraubenkopf und Mutter zu beurteilen. Der Wert der spezifischen Leistung (W/kg) kann bei Schwingungen in der Schraubenspannungsebene (XY) sowohl positive als auch negative Werte annehmen. Die Entwicklung der spezifischen Schwingungsleistung einer Gewindeverbindung ist von größtem wissenschaftlichem, technischem und praktischem Interesse. Die Zunahme der Leistung kann die Ursache für eine Abnahme der dissipativen Parameter des Systems sein, die auf eine Beschädigung der Kontaktflächen, eine Restverformung der Verbindungselemente und das Auftreten von Brüchen zurückzuführen ist; eine Zunahme der erzwungenen Kraft kann das Ergebnis einer Zunahme der Unwucht der beweglichen Teile oder Mechanismen und einer ungleichmäßigen technologischen Belastung der Arbeitskörper sein.

LITERATURLISTE

1. Рубець А. М. Обґрунтування періодичності технічного обслуговування різбових з'єднань зернозбиральних комбайнів. Автореферат дис. канд. тех. наук. – К., 2009. – 20 с.
2. Михайлович Я. М. Підвищення наробітку різбових з'єднань сільськогосподарської техніки до послаблення / Я. М. Михайлович, А. М. Рубець // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. – Київ, 2012. – Вип. 170. Ч. 2, – С. 178–185.
3. W. Eccles, I. Sherrington, R. D. Arnell. (2010). Frictional changes during repeated tightening of zinc plated threaded fasteners. Tribology International. Vol. 43. 700-707.
4. Михайлович Я. М., Рубець А. М. Синхронні та несинхронні різбові з'єднання сільськогосподарської техніки. Збірник тез доповідей XIX міжнародної наукової конференції "Сучасні проблеми землеробської механіки". Київ. НУБіП України. 2018. С. 152-154..

Bei der nicht-synchronen Verbindung gibt es schnelle Anstiege und Nullwerte während bestimmter Perioden. Die maximalen Winkelgeschwindigkeiten betragen 0,092 rad/s.

SCHLUSSFOLGERUNG

Auf der Grundlage der Analyse der Schwingungen der Auflagefläche von Schraubenkopf und Mutter werden die Begriffe "synchron" und "asynchron" Verbindung eingeführt. Die numerische Analyse der

5. Михайлович Я. М. Кінематичний аспект забезпечення працездатності різьбового з'єднання сільськогосподарської техніки / Михайлович Я. М., А. М. Рубець // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. – Київ, 2015. – Вип. 226. – С. 65–73.

6. Рубець А. М. Рух точок нейтральної лінії різьбового стрижня шпилькового з'єднання сільськогосподарської техніки під впливом поперечної вібрації / А. М. Рубець // Техніка і технології АПК. – 2014. – № 2. – С. 19–21.

7. <https://www.bornemann-gewindetechnik.de/de/lebensdauer-ermittlung-fuer-gewinde-schneller-praeziser-guenstiger-auch-fuer-spezialloesungen/>

Summary

Kinematic aspect of the classification of threaded fasteners of moving technical equipment

Andrii Rubets

PhD., Docent, CAD development designer,
SURYS GmbH, Dieburg, Germany

An approach to studying the issue of ensuring the required technical life of a bolted joint based on the analysis of the vibration of the bolt head and nut is presented.

Keywords: threaded fasteners, vibration, kinematics, threaded connection, vibration, kinematics, moving agricultural machinery

УДК 621.3.067

Голодний І.М.¹, кандидат технічних наук, доцент;

Санченко О.В.², кандидат технічних наук, викладач

¹*Білоцерківський національний аграрний університет, м. Біла Церква.*

²*Національний університет біоресурсів і природокористування України.*

ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНІ ПОКАЗНИКИ РЕГУЛЬОВАНОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДА З ВЕНТИЛЯТОРНИМ НАВАНТАЖЕННЯМ

Анотація. В сільському господарстві велика частка електрообладнання використовується з малопотужними регульованими електроприводами осьових вентиляторів. Регулювання швидкості двигуна проводиться зміною підведеної напруги живлення. Для одержання необхідного діапазону регулювання, при даному способі керування, використовують асинхронні спеціальні двигуни серії АИРП та 4АПА з підвищеним ковзанням, які мають низький ККД=67%. Зміну підведеної напруги здійснюють за допомогою тиристорних регуляторів напруги з фазо-імпульсним керуванням. Такі регулятори напруги створюють всі непарні вищі гармоніки, які погіршують якість електроенергії. Переваги перетворювача частоти, зокрема лінійна регульовальна характеристика і розширений діапазон регулювання 10:1, більш потребує привод з точним регулюванням (дозатори, виконавчі механізми), а економія електроенергії за рахунок роботи двигуна в діапазоні регулювання з номінальним ККД не покриває вартості самого перетворювача частоти через низькі енергетичні показники електродвигуна.

Техніко-економічному обґрунтуванню по використанню регульованого електропривода вентиляційної системи з різними способами керування і присвячені дані дослідження.

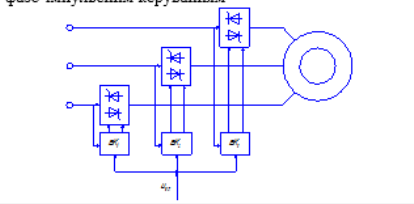
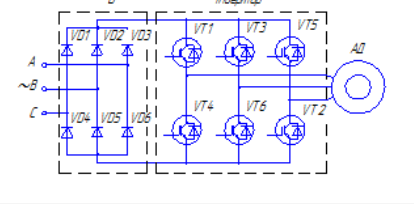
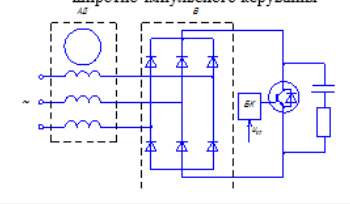

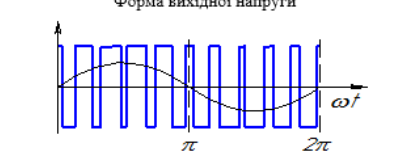


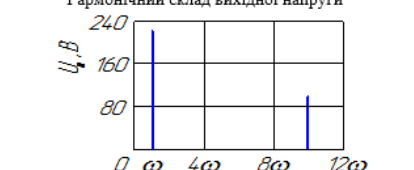
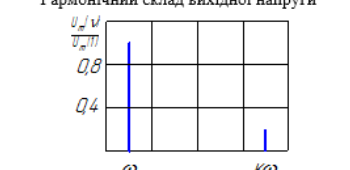
Ключові слова. Напівпровідникові перетворювачі напруги, перетворювач частоти, фазо-імпульсне керування, широтно-імпульсне керування, регульований електропривод, осьовий вентилятор, прибуток.

Метою роботи є порівняння техніко-економічної ефективності регульованого електропривода вентиляційної системи з різними способами керування.

Матеріали і методика досліджень. Аналіз економічної ефективності при вибраному способі керування проводився з використанням положень теорії електропривода, статистичних методів обробки результатів досліджень та методики визначення економічної ефективності прикладних досліджень.

Техніко-економічний розрахунок розробки, якою є регульований електропривод вентиляційної системи з широтно-імпульсним керуванням, проводився за відомою методикою визначення економічної ефективності прикладних досліджень [1]. За базові варіанти (див. рис.) взято електропривод вентиляційної установки "Климатика-5" з тиристорним регулятором напруги та регульована вентиляційна система з частотним перетворювачем. Основні технічні характеристики вентиляційної системи: $U_H = 380$ В, $I_H = 63$ А [2].

Порівняльні техніко-економічні показники

Базовий варіант		Новий варіант	
Електропривод з тиристорним регулятором напруги з фазо-імпульсним керуванням		Електропривод з частотним регулюванням	
			
Електропривод з регулятором напруги на базі широтно-імпульсного керування			
			
Основні капітальні затрати		Основні капітальні затрати	
Елементи	Вартість, грн.	Елементи	Вартість, грн.
Тиристори 250 А, 6 шт. Синхронізовані блоки керування БК, 3 шт.	16200 3000	Перетворювач частоти, 1 шт.	25000
Всього	19200	Всього	25000
Форма вихідної напруги		Форма вихідної напруги	
			
Гармонічний склад вихідної напруги		Гармонічний склад вихідної напруги	
			

Висновки і перспективи

Розроблений регульований електропривод вентиляційної системи з широтно-імпульсним керуванням має кращу економічну ефективність в порівнянні з електроприводом з тиристорним регулятором з фазо-імпульсним керуванням і складає 16391 грн., а з частотним електроприводом – 18042 грн.

Економія електроенергії частотного електропривода за рахунок підвищеного коефіцієнта корисної дії електропривода, із-за низького ККД і малопотужності двигуна, незначна, а капітальні затрати набагато більші в порівнянні з регульованим електроприводом на базі тиристорного регулятора напруги чи регулятора з широтно-імпульсним керуванням.

Список використаних джерел

1. Методика визначення економічної ефективності використання в сільському господарстві результатів науково-дослідних і дослідно-конструкторських робіт, нової техніки, винаходів і раціоналізаторських пропозицій – К.: Урожай, 1986. – 118 с.

2. Голодний І.М. Дослідження асинхронного електропривода осьового вентилятора з частотним керуванням / І.М. Голодний, О.Ю. Синявський, О.В. Санченко // Енергетика і автоматика. Електронне видання НУБіП України. – К.: – 2018. – №6. С. 70-77.

3. Сонячна, та вітрова електроенергетика.

UDC 62:519.876.5

**Andrii Rubets, Ph.D., Docent, CAD development designer,
SURYS GmbH, Dieburg, Germany**

INVESTIGATION OF THE INFLUENCE OF GEOMETRIC PARAMETERS ON THE EFFICIENCY OF A WIND TURBINE WITH A VERTICAL AXIS OF ROTATION IN SOLID WORKS FLOW SIMULATIONS.

A simulation study of the efficiency of wind turbines with a vertical axis of rotation with straight prismatic and helical blades in a wind tunnel is proposed. On the basis of the obtained technical parameters, the relevant conclusions are drawn.

Keywords: engineering, digital simulation and modelling of systems

INTRODUCTION

The use of simulation modelling is now a common practice in engineering. It reduces the cost of design and shortens the time from idea to finished product.

PROBLEM FORMULATION

Mechanical calculations in engineering, optimisation of complex design solutions, and linear and nonlinear dynamics are time-consuming in product design. Given the great relevance of alternative energy worldwide, the issue of increasingly

deeper use of computer-aided design in calculating the aerodynamic characteristics of wind turbines, energy storage and utilisation facilities arises.

MATERIALS AND METHODS

The study uses simulation modelling of the effect of wind flow on a wind turbine in the Solid Works Flow Simulation software package.

MAIN CONTENT OF THE RESEARCH

Wind turbine efficiency does not exceed 50%. For vertical wind turbines, this figure is 25-45%, which reduces their prevalence for large generating companies. Nevertheless, this type of wind turbine has proven itself in the system of dispersed power generation. This is due to their low noise, relatively small size, and lack of need to adjust to the wind direction, and therefore they are often used in the private sector as an additional source of electricity. The starting wind speed of such wind turbines starts from 0.5m/s and is justified in conditions of average annual wind speeds of up to 5m/s in combination with solar power plants (mainly with hybrid inverters). To maximise the benefits of vertical wind turbines, it is advisable to study the impact of their geometry on aerodynamic characteristics: the question arises of the blade profile, shape, angle of orientation, diameter and height of the wind turbine, and these parameters, in turn, dictate the need to ensure the required safety factor, minimise weight and cost, maintainability, etc.

The study uses the designed wind turbine structure with the same cross-section of blades, shaft, and blade attachment to the shaft. The cross-sectional profile of the blade is biconvex, symmetrical, with stiffeners. The calculation was carried out using the following formula in relative units

$$y(x) = 0,75(0.2969\sqrt{x} - 0,1260x - 0,3516x^2 + 0,2843x^3 - 0,1015x^4)$$

However, in this study, the wing profile is not the object of investigation. A new study should be conducted to identify the optimal profile. The following geometry variations were performed:

1-angle of rotation of the blade helical line 0, 30, 60, 90 degrees

2 - angle of rotation of the blade relative to its fixation -12, -8, -4, 0, 4, 8, 12 degrees.

There were 11 experiments in total. The wind tunnel is slightly larger than the overall dimensions of the wind turbine to avoid wall effects - 4m long, 3m high and 3m wide. The location of the wind turbine in the wind tunnel is identical for all experiments.

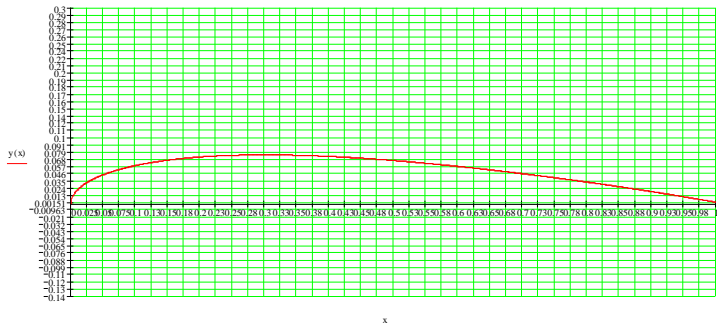


Fig. 1. The curve of the half-profile of the wind turbine blade.

The wind speed was assumed to be 10 m/s and the surface roughness of the wind turbine to be 5 μ m.

The main parameters studied were: turbulence energy, pressure force reactions in three coordinate axes, torques relative to three coordinate axes (Flow

Simulation capabilities allow for the study of more than 50 quantities). Simulation calculations require large computing power of a PC, so the optimal discretisation step of calculations was selected for the available computer to maximise the use of Hardware (CPU: Intel(R) Core(TM) i3-3110M 2.40GHz; RAM16284 MB / 10756 MB).

Experiment 1. At low wind speeds and a large discretisation step, no significant differences between the velocities of the air flows are observed (Fig. 2). A similar pattern is also observed on the pressure response surfaces of the wind turbine elements (Fig. 3).

The total force exerted by the wind on the structure decreases with increasing torsion angle. The torque (maximum) is cubically dependent and has a maximum modulus value at an angle of 0 degrees. This is likely due to lower turbulent energy losses in the air flow (Fig. 4).

The maximum average turbulence energy is at an angle of 54 degrees (Fig. 5).

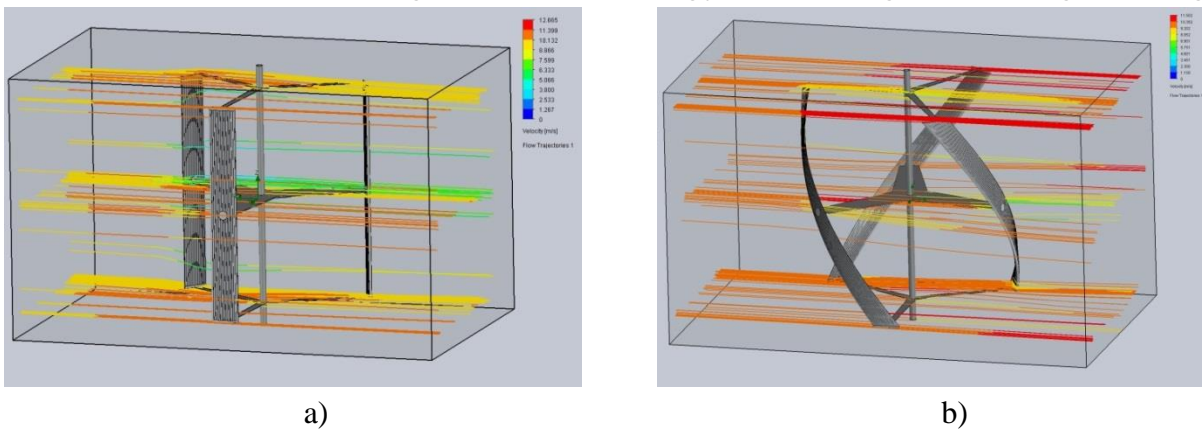


Fig. 2. Graphical representation of the airflow velocity trajectories for a twist angle of 0 deg (a) and 90 deg (b).

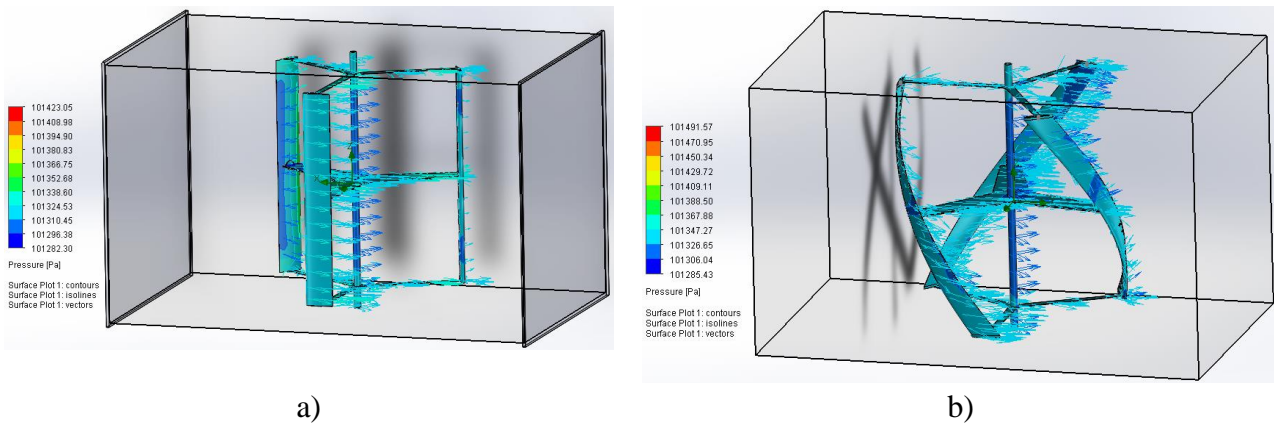


Fig. 3. Pressure response surfaces on wind turbine elements for 0 deg (a) and 90 deg (b) torsion angles.

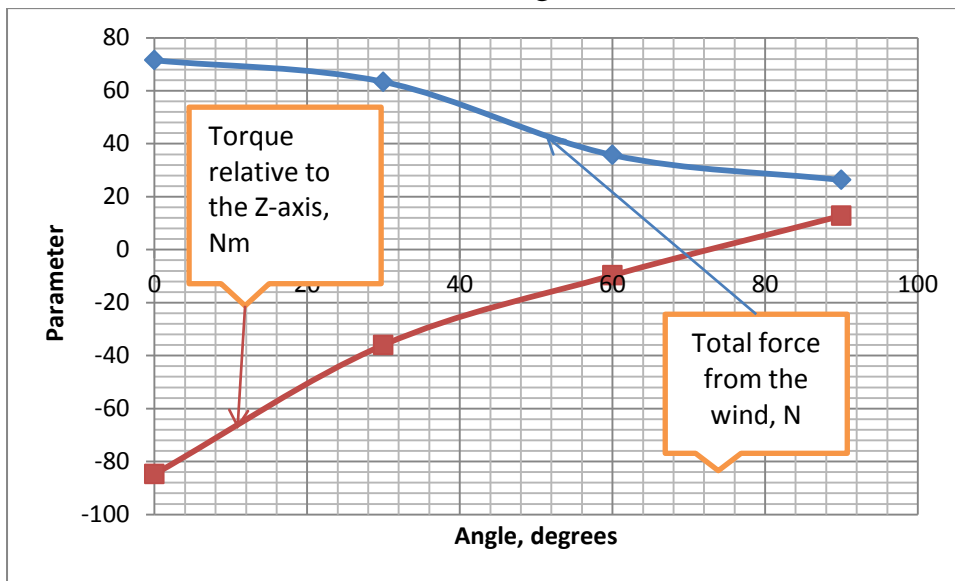


Fig. 4. Dependence of the total force and torque change on the blade angle.

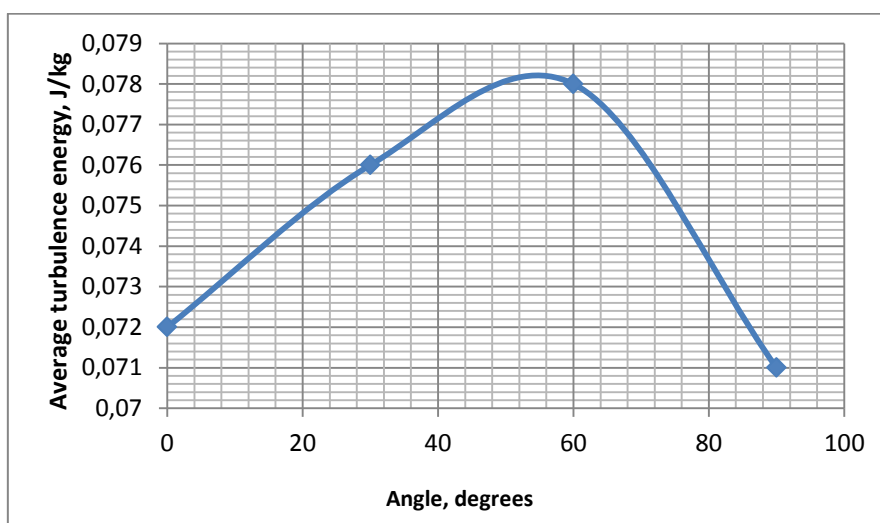


Fig. 5. Dependence of the change in the average energy of turbulence on the angle of rotation of the blades.

It should also be noted that the torque in the vicinity of 22 and 52 degrees changes sign to the opposite, reaching zero.

The force that loads the support is also interesting for practice. In our case, the wind is blowing along the Y-axis, so the maximum force occurs in the direction of this axis, with the maximum force at an angle of 0 degrees.

Experiment 2. For the most effective blade spin angle, the effect of the blade rotation angle relative to the wind turbine rotation axis was investigated. A simulation was conducted for a straight blade (angle equal to 0) (Fig. 6). The most effective blade angle according to the maximum torque criterion is 4-5 degrees (Fig. 8). At an angle of 4 degrees, the torque increases by 1.51 times compared to 0 degrees, thus increasing the power of the wind turbine. The average energy of turbulence is increasing (Fig. 9); at the same time, the modulus of the structure reaction in the direction of wind action (Fig. 10).

CONCLUSIONS

The use of simulation modelling to find parameters of interest for practical application allows for the optimisation of technical solutions in engineering in a short time. Let's highlight the main conclusions from the above studies, which will be key in the design of a wind turbine:

1 - When using a biconvex, symmetrical blade profile with a larger side of 315 mm, a rotation radius of 1.2 m and a height of 2.4 m, the relevance of twisting the blade in a helical line to maximise torque has not been confirmed;

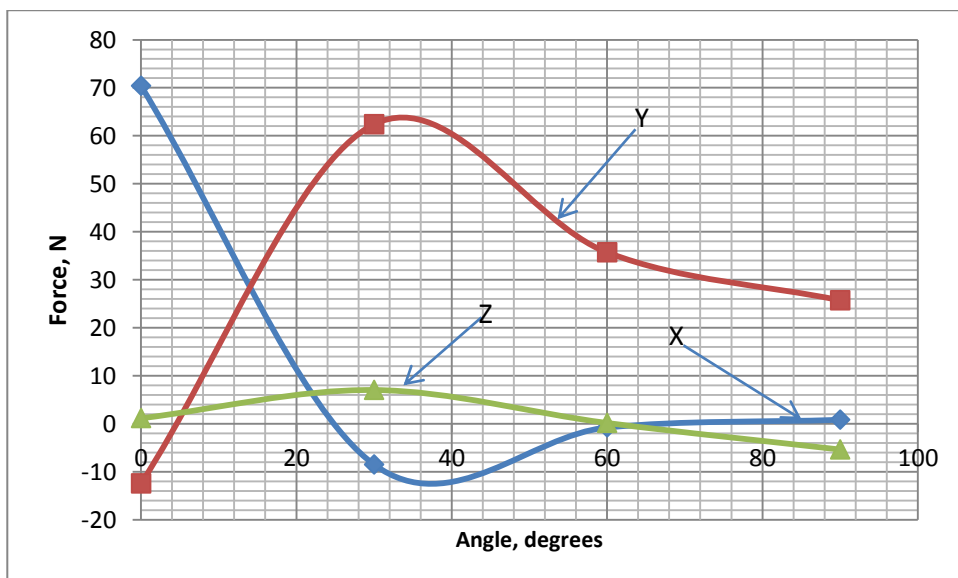


Fig. 6. Dependence of the change in the reaction force of the structure on the angle of blade twist along the coordinate axes X, Y, Z.

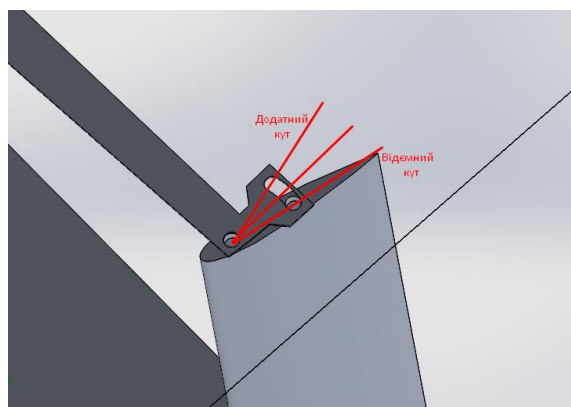


Fig. 7. Diagram to explain the blade angle sign.

2-The use of helical blades increases the turbulence energy by more than 3 times, they are heavier and more difficult to manufacture than straight blades;

3- Reduction of the load on the structure by 2.72 times for wind turbines with screw

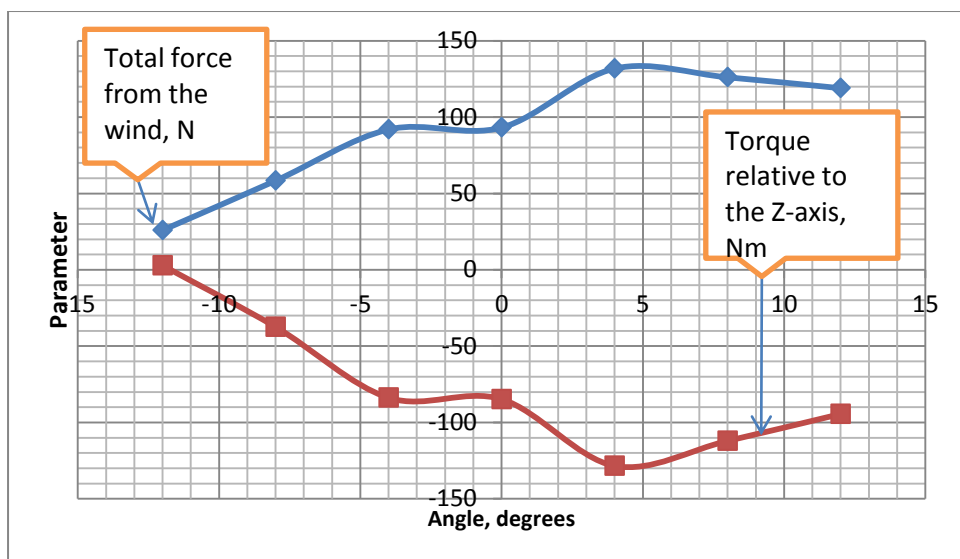


Fig. 8. Dependence of the total force and torque change on the blade angle.

blades is not of engineering value due to relatively small forces (specifically for wind speeds of 10 m/s), since the maximum force was 71.5 N);

4- A vertical component of the force arises in a wind turbine with helical

blades; this circumstance can be used to relieve the shaft support bearings;

5- Installation of straight blades allows to obtain a maximum torque of 84.77Nm;

6- When using straight blades, the relevance of optimising the blade angle of rotation relative to the wind turbine axis of rotation in terms of the maximum torque parameter by (an increase of 1.51 times) was confirmed;

7- At the maximum torque for straight blades, an increase in the reaction force of the structure by 1.41 times is observed compared to the zero value of the angle;

8-Torques relative to the coordinate axes that are not the axes of rotation (X, Y) are not significant and vary in modulus within 0.062...9.134 Nm, which have a negligible effect on the bearing structure of the wind turbine.

9-In the vicinity of the angle of maximum torque for straight blades (2-6 degrees), it is advisable to reduce the angle change step to 1 degree to obtain a more accurate value of the angle at maximum torque;

10-To increase the accuracy of calculations of full-size 3D models that will be suitable for practice, it is necessary to use a PC with characteristics not less than:
RAM - 64GB; VRAM - 8GB;
P.S.

Today's rapid development in certain industries often gives rise to the eternal debate in engineering and scientific circles on what comes first: science or practice. To give an unambiguous answer to this question, the task of engineers is to apply modern methods of simulation modelling in their activities. And for this purpose, the patent-oriented engineering education sector must make every effort and financial contribution.

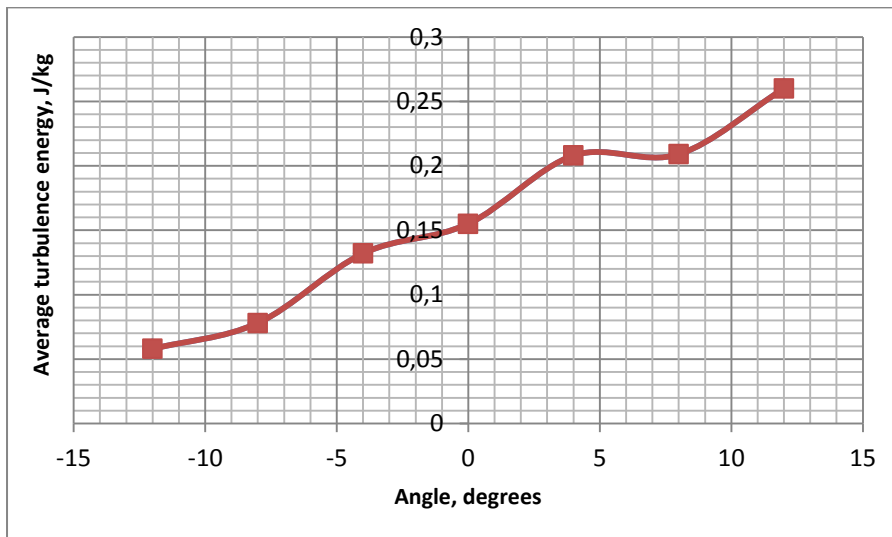


Fig. 9. Dependence of the change in the average turbulence energy on the blade angle.

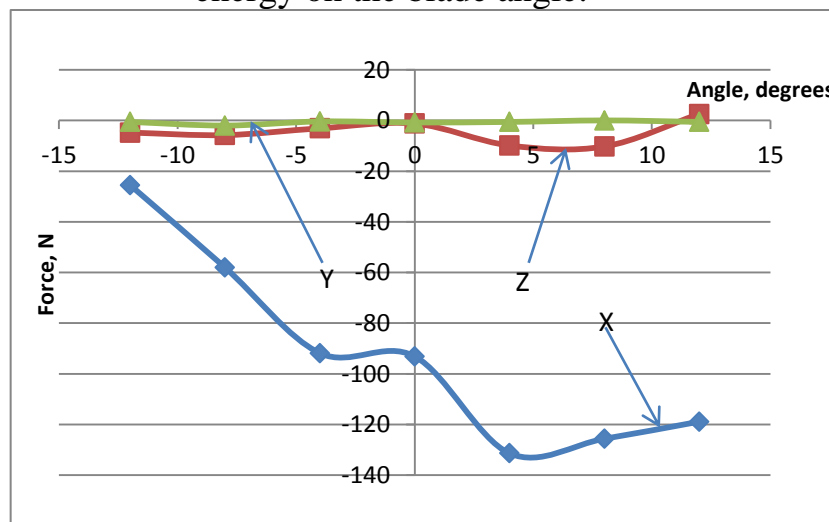


Fig. 10. Dependence of the change in the reaction force of the structure on the angle of blade twist along the coordinate axes X, Y, Z.

УДК 621.311.243

Синявський М.А., дійсний член Малої академії наук Білоцерківського Центру науково-технічної творчості учнівської молоді.

Науковий керівник: **Єрмоленко В.О.**, кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, керівник гуртка «Науково-технічні та експериментальні дослідження», Центру науково-технічної творчості Білоцерківської міської ради Київської області.

ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ СОНЯЧНИХ БАТАРЕЙ

Перед споживачем постають запитання «Які батареї ефективніші? Як і де їх встановлювати? Від чого залежить їх ефективність?»

Тому дослідницьку роботу присвячено актуальній, на сьогодні, проблемі дослідження основних фізико-технічних параметрів сонячної батареї та чинників, які впливають на ефективність її роботи.

Проведено аналітичний огляд існуючих установок для використання сонячної енергії.

Проведено дослідження виробництва електричної енергії СБ з автоматичним поворотом за сонцем та зміною кута нахилу у вересні 2022 року та дослідження виробництва електричної енергії СБ в стаціонарному положенні у жовтні 2022 року.

Встановлено, що втрати енергії батареями в стаціонарному положенні в порівнянні з батареями регульованого кута падіння становлять майже 43%.

Ключові слова: сонячна енергетика, сонячні батареї, типи сонячних батарей, ефективність, акумуляція сонячної енергії.

Сонячна енергетика – є одним з найбільш екологічно чистих варіантів видобутку енергії, який успішно конкурує з традиційними видами отримання енергії й тепла – тепловими електростанціями, що використовують в якості палива – корисні копалини нашої планети. Вона має величезний енергетичний потенціал, який перевищує енергію всіх світових запасів викопних ресурсів. Так обсяг енергії, отриманої від сонця за 22 дні сонячної активності, рівноцінний усім запасам органічного палива на землі.[3] Тому актуальність дослідження зумовлена посиленою зацікавленістю у використанні ефективного фотоенергетичного обладнання – сонячних батарей (СБ).

Мета роботи - дослідження роботи сонячних батарей

Завдання дослідження:

- аналіз та огляд джерел інформації з даної теми;
- визначення основних чинників, які впливають на ефективність роботи сонячної батареї;
- розробити рекомендації щодо ефективної експлуатації сонячних батарей.

Об'єктом дослідження є сонячна батарея (функціональна модель).

Предметом дослідження є фізико-технічні параметри сонячної батареї, та акумуляція енергії.

Методи дослідження:

- теоретичні: вивчення та аналіз відповідних наукових видань

- індуктивні: збір, систематизація та оброблення даних;
- практичні: дослідження залежності потужності батареї, від її акумуляції

Практичне значення дослідження. Матеріали даної роботи можуть бути використані в навчальному процесі під час вивчення окремих тем з фізики, на факультативних заняттях та можуть бути цікавим для загального кола читачів. Також робота може бути застосована для розроблення проєкту використання сонячних батарей з метою автономного забезпечення електричною енергією як в побутових так і в виробничих ситуаціях.

Сонячна енергетика (геліоенергетика – альтернативна назва) заснована на перетворенні прямого сонячного випромінювання на теплову та електричну енергію. [13]

Сучасна сонячна енергетика поділяється на дві галузі:

- Сонячна теплоенергетика – використання теплового випромінювання енергії безпосередньо від сонця для нагрівання теплоносія та подальшої подачі його на об'єкти обігріву (пристрої, які використовуються при цьому називають сонячними тепловими колекторами, в якості носія у них використовується здебільшого вода);
- Сонячна електроенергетика або фотовольтаїка (photovoltaics) – передбачає перетворення спектрального випромінювання сонця безпосередньо в електричну енергію, шляхом використання внутрішнього фотоефекту в напівпровідникових фотоелектричних перетворювачах (ФЕП) та їх конструкцій – сонячних батарей. Дана галузь є більш цікавою і поширеною, особливо зараз під час воєнного стану, коли відбувається постійне відключення електричної енергії. [4]

Дослідження виробництва електричної енергії СБ з автоматичним поворотом за сонцем та зміною кута нахилу у вересні 2022 року.

Обсяги щоденної генерації електроенергії можна побачити на діаграмі рис. 1.

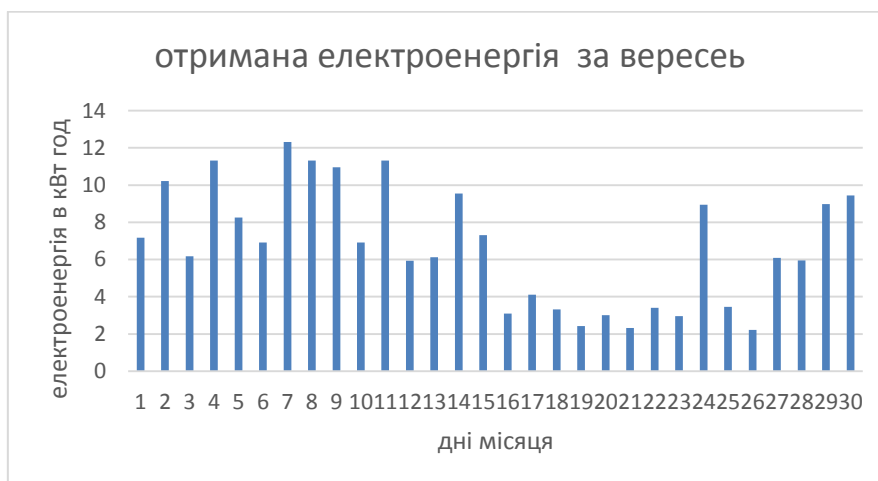


Рис.1. Генерація сонячної енергії за вересень.

Згідно з показами за 30 днів роботи СБ було згенеровано 201,42 кВт·год електроенергії.

Нормативні показники:

Інсоляція сонячної енергії в Київській області за вересень 3,12 кВт·год/м².
Площа сонячної панелі 1,54 м². ККД сонячної панелі 20,2%. Кількість днів роботи 30; Кількість сонячних панелей 8.

Генерації СБ за вересень теоретично має складати

$$E = I \cdot S \cdot \eta \cdot D \cdot n,$$

Де E – генерація сонячної енергії, кВт·год/дів; I – інсоляція сонячної енергії, кВт·год/м² ;

S – площа сонячної панелі, м²; η – коефіцієнт корисної дії панелі;

D – кількість дів роботи сонячної енергії, n – кількість панелей.

$$E = 3,12 \cdot 1,55 \cdot 0,202 \cdot 30 \cdot 8 = 234,45 \text{ кВт}\cdot\text{год}$$

Загальний фактичний вихід за місяць становить 201,42 кВт·год.

Втрати енергії до

$$\left| 1 - \frac{201,42}{234,45} \right| \cdot 100\% = 14,1 \%$$

пояснюються зміною інтенсивності сонячного випромінювання в залежності від кількості похмурих днів.

Експериментальне дослідження 2

Дослідження виробництва електричної енергії СБ в стаціонарному положенні у жовтні 2022 року.

Оптимальним вважається розташування, при якому сонячне світло потрапляє на панель під прямим кутом. Також варто пам'ятати про сезонні зміни кута, під яким падає сонячне світло на батарею. Розрахуємо оптимальний кут нахилу батареї для нашої широти.

Місто Біла Церква перебуває на широті близько 50°, тому оптимальний кут становитиме

Широта місцевості	Кут нахилу
0-15	15
15-25	Кут нахилу рівний широті
25-30	+/- 5
30-35	+/- 10
35-40	+/- 15
Понад 40	+/- 20

$$50^\circ - 20^\circ = 30^\circ$$

Обсяги щоденної генерації електроенергії можна побачити на діаграмі рис 2.

Згідно з показами за 31 день роботи СБ було згенеровано 166,84 кВт·год електроенергії

Нормативні показники

1. Інсоляція сонячної енергії в Київській області за жовтень 1,94 кВт·год/м²;
2. Площа сонячної панелі 1.54 м²;
3. ККД сонячної панелі 20,2%;
4. кількість днів роботи 31;
5. кількість сонячних панелей 8



Рис. 2. Генерація сонячної енергії за жовтень.

Генерації СБ за вересень теоретично має складати

$$E = 1,94 \cdot 1,55 \cdot 0,202 \cdot 31 \cdot 8 = 150,64 \text{ кВт}\cdot\text{год}$$

Загальний фактичний вихід за місяць становить 166,84 кВт·год.

Надлишок енергії до

$$\left| 1 - \frac{166,84}{150,64} \right| \cdot 100\% = 10,7\%$$

пояснюється зміною інтенсивності сонячного випромінювання в залежності від кількості сонячних днів (середня температура в жовті була на 2% вище норми).

Порівняння даних

В цьому випадку оптимальний варіант 30 вересня та 1 жовтня.

Таблиця 1- **Порівняння даних роботи сонячної батареї за регульованого кута падіння та в стаціонарному положенні**

Вироблення енергії, кВт·год за 30.09	Вироблення енергії, кВт·год за 01.10	Різниця показів у кВт·год	Різниця показів у %
9,45	5,42	4,03	42,64

Висновок.

Як видно з показів втрати енергії батареями в стаціонарному положенні в порівнянні з батареями регульованого кута падіння становлять майже 43%.

Список літератури

1. irbis-nbuv.gov.ua. URL: <https://cutt.ly/hMJnymQ>
2. Photovoltaic energy, electricity from the sun / Daniel Fraile, Marie Latour, Adel El Gammal, Michael Annett. // EPIA Publications. –vol.50.– april 2010. URL: <http://www.epia.org/publications/photovoltaic-publications-global-market-outlook.html> (дата звернення 09.11.2022)
3. Вдовіченко К.В. Вплив оптичного випромінювання на вихідні характеристики сонячних елементів.2019. – 57 ст. URL: <https://cutt.ly/iMJQM1v>

4. Гевко Р.Б. Напрями підвищення ефективності функціонування підприємств агропромислового виробництва. URL: <https://cutt.ly/RMJbrYW>
5. Дзядикевич Ю. В. та ін. Економіка довкілля і природних ресурсів: Монографія. Тернопіль : Астон, 2016. – 392 с. URL: <https://cutt.ly/mMJn003>
6. Заяц Н. В. Кремнієві фотоелектричні перетворювачі для безпілотних літальних апаратів. Дипломна робота на здобуття ступеня бакалавра. Київ – 2019 року // Zaiats_bakalavr.pdf. URL: <https://cutt.ly/yMJkv9T> (дата звернення 29.10.2022)
7. Інсоляція: вплив на виробництво електроенергії сонячними панелями // Статті. Solar Garden. URL: <https://cutt.ly/QMJxg80> (дата звернення 29.10.2022)
8. Климко О.М, Федоша Д. В., Кузьменко О. І. Методичні вказівки до лабораторних робіт з дисципліни "Електрична частина станцій та підстанцій" для підготовки бакалаврів усіх форм навчання за спеціальністю 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» з навчанням за освітніми програмами "Енергетичний менеджмент" та "Електротехнічні системи електроспоживання" частина 2. Запоріжжя: ЗНТУ, 2019.- 46 с. URL: <https://cutt.ly/DMJbZ7r>

УДК 620.91:338.23

Підковка М.І., здобувач вищої освіти

Чепіжний А.В., к.т.н., доцент, науковий керівник

Сумський національний аграрний університет

ВПЛИВ ВІДНОВЛЮВАЛЬНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ НА ЕЛЕКТРИЧНІ МЕРЕЖІ

Анотація. Відновлювальна енергетика є доволі популярним видом джерел енергії в світі але Україна з її можливостями значно відстає від провідних держав в даній галузі. Сьогодні в Україні розповсюдження набирають сонячні електростанції, вітроелектростанції та інші види відновлювальної енергетики. Слід зазначити, що з цієї точки зору всі регіони неоднаково розвинені в галузі відновлювальної енергетики, а також мають різноманітний потенціал.

Ключові слова: сонячна електростанція, генерація, джерело енергії, сонячна радіація, вітроелектростанція, панель, вітряк, гідроелектростанція, ефективність, споживачі, напруга.

Чернігівська область в порівнянні з іншими областями має невеликий потенціал в галузі застосування відновлювальної енергетики. Хоча розвиток технологій та наукових досліджень дають можливість ефективно використовувати альтернативні джерела енергії навіть в таких регіонах.

Найбільшого поширення в Чернігівській області набирають електростанції сонячні та комбіновані (сонце + вітер), що розміщуються в

приватних домогосподарствах. Такий розподіл потужностей для споживачів області не є дуже суттєвим, але слід розуміти, що виробництво електричної енергії відновлювальними джерелами енергії є нерівномірним протягом доби, місяця та року. Така нерівномірність вносить певні свої корективи в роботу електричних мереж.

Дослідженням впливу відновлювальної енергетики на електричні мережі та в кінцевому випадку на споживача займається мало вчених. Це пов'язано в першу чергу з переліком певних проблем з контролем виробітку, передачі та розподілу електричної енергії.

Контроль всіх параметрів можна виконати за допомогою спеціального програмного забезпечення, яке дасть можливість додатково отримати дані для подальшої реалізації процесів узгодження роботи відновлювальних джерел енергії з традиційними джерелами енергії. В результаті отримаємо певні показники роботи електричної мережі та загальні показники надійності роботи такої системи.

Основною особливістю використання сонячних електростанцій та вітроелектростанцій в загальній характеристиці генерації електричної енергії України є певний ймовірнісний характер виробництва. Впродовж року, місяця та доби спостерігається часті перепади згенерованої потужності в значному діапазоні, що надає значні вимоги до відповідних енергетичних систем. Отже, як результат, необхідна суттєва робота в злагоджуванні та інтеграції сонячних та вітроелектростанцій з іншими електростанціями.

Оскільки нами до розгляду було запропоновано сонячні електростанції, вітроелектростанції та їх комбінації то доцільно буде аналізувати саме їх вплив на енергосистему без врахування інших відновлювальних джерел енергії Чернігівської області. Основною особливістю всіх інших відновлювальних джерел є схожість з традиційною енергетикою.

З точки зору кількості відновлювальних джерел енергії на території Чернігівської області бачимо, що даний напрям представлено дуже слабо. А отже і вплив на електричні мережі та в кінцевому випадку на споживача може бути незначним.

Список літератури

1. Атлас енергетичного потенціалу відновлюваних джерел енергії України. Київ: Вікторія, 2012. 60 с.

2. Черненко П. О., Мартинюк О. В., Мірошник В. О. Моделювання та короткострокове прогнозування технологічної складової електричного навантаження обласної енергосистеми. Технічна електродинаміка. 2016. № 4. С. 68–70.

УДК: 631.524.5:633.111”324“

Литвин Ю.С.¹, студент.

Науковий керівник: Червінський Л.С.², доктор технічних наук,
професор

¹Національний університет біоресурсів і природокористування України.

²Білоцерківський національний аграрний університет.

ОСОБЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ СОНЯЧНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ

Анотація. Енергія, яка є головною проблемою нашого світу, надзвичайно важлива для людей. Багато країн часто проводили зустрічі та дискусії з енергетичного порядку денного, працюючи над тим, щоб збалансувати попит і пропозицію енергії. Щоб знайти рішення, слід спробувати представити більш ефективний спосіб використання енергії, а також відновлюваних джерел енергії.

У цьому дослідженні розкривається поняття сонячної енергетики та розглядається її роль в електроенергетиці майбутнього. Крім того, у статті обговорюються тенденції та бачення майбутнього, а також ключові дії для розвитку фотоелектричної енергії (PV).

Ключові слова: сонячна енергія, фотоелектрична енергія (PV), альтернативні джерела енергії.

Актуальність напряму досліджень. Зростаючий світовий попит на енергію з викопних видів палива відіграє ключову роль у тенденції до збільшення викидів парникових газів і забруднювачів повітря. Швидке зростання населення та збільшення попиту на енергію в країнах, що розвиваються, спричинило багато проблем, таких як бідність, забруднення, проблеми зі здоров'ям та навколишнім середовищем. Для цих країн, особливо найбідніших, сучасна енергетика необхідна для стимулювання виробництва, генерування доходів і соціального розвитку, а також для зменшення серйозних проблем зі здоров'ям, викликаних використанням паливної деревини, деревного вугілля, гною тварин і сільськогосподарських відходів.

Мета тез розкрити актуальність сонячної енергетики та визначити її можливості в стимулюванні та підтримці енергетики.

Результати дослідження. Вирубка лісів, щоб звільнити місце для сонячної енергетики, спричиняє викиди CO₂ на рівні 36 г CO₂ кВт год⁻¹, що є значним внеском у викиди CO₂ протягом життєвого циклу сонячної енергетики, але все ще є низьким порівняно з викидами CO₂ від вугільної енергетики, які становлять близько 1100 г CO₂ кВт год⁻¹ [4]. Сонячна енергія є найкращою відповіддю на енергетичну бідність і може надати чудові можливості для скорочення викидів парникових газів і забруднення повітря в приміщеннях шляхом заміни гасу і дров для приготування їжі. Сонячна PV може бути відповідною технологією для джерела відновлюваної електроенергії в країнах, що розвиваються, особливо у віддалених сільських районах, де розширення електромереж є фінансово або технічно нежиттєздатним.

За оцінками Міжнародного енергетичного агентства (МЕА), сонячна енергетика може забезпечити до чверті світового виробництва електроенергії у

2050 році [2]. Але це залежить від того, чи багато країн запровадять схеми стимулювання для підтримки сонячної енергетики протягом наступних 5-10 років, щоб знизити інвестиційні витрати. Ця частка буде приблизно порівну розподілена між фотоелектричною та концентраційною сонячною енергією.

Деякі ключові дії для розвитку PV промисловості[1]:

1. Визначити довгострокові цілі та політику підтримки для зміцнення довіри до інвестицій у виробничі потужності та розгортання фотоелектричних систем.

2. Існує потреба в розширенні міжнародної співпраці в галузі досліджень, розробок, розбудови потенціалу та фінансування для прискорення навчання та уникнення дублювання зусиль.

3. Впроваджувати ефективні та економічно вигідні схеми стимулювання PV промисловості, які мають перехідний характер і зменшуються з часом, щоб сприяти інноваціям та технологічному вдосконаленню.

4. Уряди та промисловість повинні активізувати науково-дослідницьку діяльність, щоб зменшити витрати та забезпечити готовність фотоелектричних систем до швидкого впровадження, а також підтримувати довгострокові технологічні інновації.

Сьогодні вартість сонячних панелей на основі кремнію знизилася настільки стрімко, що вартість панелей становить <30% від вартості повністю встановленої сонячної електростанції. Таким чином, можливості досліджень і розробок полягають у вивченні матеріалів з дуже високою ефективністю перетворення, щоб вигідно використовувати пов'язане з цим зниження витрат на баланс систем, пов'язаних з площею. Такі матеріали оптимально використовуватимуться або поєднуюватимуться з існуючими недорогими кремнієвими (PV) технологіями. Надлегкі, гнучкі, міцні та ефективні матеріали могли б також значно зменшити витрати на встановлення і дозволили б підвищити рівень автоматизації та створити недорогі опорні конструкції [3].

Висновки. Використання сонячної енергії стало актуальним та необхідним для нашого часу, особливо в умовах глобальних змін клімату та виснаження традиційних джерел енергії. Сприятливі аспекти використання сонячної енергії, такі як екологічна безпека, відновлюваність та низький рівень викидів, стали ключовими елементами стратегій сталого розвитку. Світовій спільноті необхідно об'єднати зусилля для розробки і впровадження сучасних технологій сонячних електростанцій та систем накопичення енергії. Це зменшить залежність від викопних ресурсів, знизить негативний вплив на навколишнє середовище та сприятиме створенню надійного та екологічно чистого енергетичного майбутнього.

Список літератури:

1. Dincer F. The analysis on photovoltaic electricity generation status potential and policies of the leading countries in solar energy. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2011. Т. 15, № 1. С. 713-720.

2. Jukwey J. Solar can provide 22 percent world's power by 2050: IEA. Reuters. URL: <https://www.reuters.com/article/idUSTRE64A3L7/> (дата звернення: 06.12.2023).

3. S. Lewis N. Research opportunities to advance solar energy utilization. Science. URL: <https://www.science.org/doi/abs/10.1126/science.aad1920> (дата звернення: 05.12.2023).

4. Turney D., Fthenakis V. Environmental impacts from the installation and operation of large-scale solar power plants. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2011. Т. 15, № 6. С. 3261–3270.

УДК 620.91:338.23

Богданова П.В., здобувач вищої освіти

Шашков С.В., к.е.н., ст. викладач, науковий керівник

Сумський національний аграрний університет

АНАЛІЗ ОСОБЛИВОСТЕЙ ВИКОРИСТАННЯ ТРЕКЕРНИХ СИСТЕМ

Анотація. Використання сонячних електростанцій в північній частині України є проблематичним, оскільки кількість сонячної радіації в даному регіоні є незнаною. Для підвищення ефективності сонячних електростанцій особливо в північних регіонах одним з варіантів є використання трекерних систем. Трекерні системи дають можливість слідкувати за положенням сонця, а отже протягом дня сонячні панелі розташовуються таким чином, що сонячні промені падають на них під кутом необхідним для максимального виробітку електроенергії.

Необхідно також зазначити, що дані системи доволі сильно збільшують вартість загальну сонячної електростанції. А також необхідною умовою є розміщення на відкритій місцевості, оскільки основною проблемою є рух панелей, яким нічого не повинно заважати.

Ключові слова: генерація енергії, трекер, одновісний, двовісний, сонячна панель, інсоляція, азимут, зеніт.

Ефективність використання сонячних електростанцій напряму залежить від кількості енергії сонця, що потрапляє на її панелі під максимально ефективним для цього кутом. Необхідно зазначити, що більшість сонячних панелей доволі гарно працюють за умови, що промені сонця потрапляють до неї під прямим кутом.

Враховуючи особливості світлового дня, необхідно зазначити, що при зміні положення земної кулі відбувається зміна положення конкретної точки (сонячної електростанції), а отже і промені сонця на неї потрапляють під різними кутами (за умови стаціонарного її закріплення). По величині азимуту кут може становити до 150°. Необхідно зазначити, що за умови стаціонарного закріплення сонячної електростанції в ранковий та вечірній час спостерігається втрата можливої генерації сонячної енергії близько 76% від загального можливого обсягу сонячної радіації.

При цьому існує додаткова, сезонна зміна між півднем та північчю, а також з заходу на схід. При цьому таке переміщення в середньому становить

близько 47°. Необхідно зазначити, що при переміщенні з півночі на південь втрати генерованої потужності можуть становити від 8 до 9% енергії.

Виходячи з такої ситуації розподілу та зміни сонячної радіації можна сказати, що для стаціонарних систем втрата можливої генерації може становити до 85 % в ранкові та вечірні періоди.

Як зазначалось дану проблему можливо вирішити за допомогою використання трекерних систем на які кріпляться сонячні панелі. При цьому трекерні системи дозволяють автоматично стежити за положенням сонця протягом доби. При цьому найбільшої ефективності отримали трекери з двома можливими регулюваннями по горизонталі та вертикалі. При цьому необхідно зазначити, що залежно від трекерної системи є можливість підвищення вироблення електричної енергії такої системи від 30 до 50 % порівняно зі стаціонарними сонячними електростанціями.

Для більш детального розгляду особливостей виробітку електричної енергії сонячною електростанцією з використанням трекерних систем та без них наведемо графік (рисунок 1).

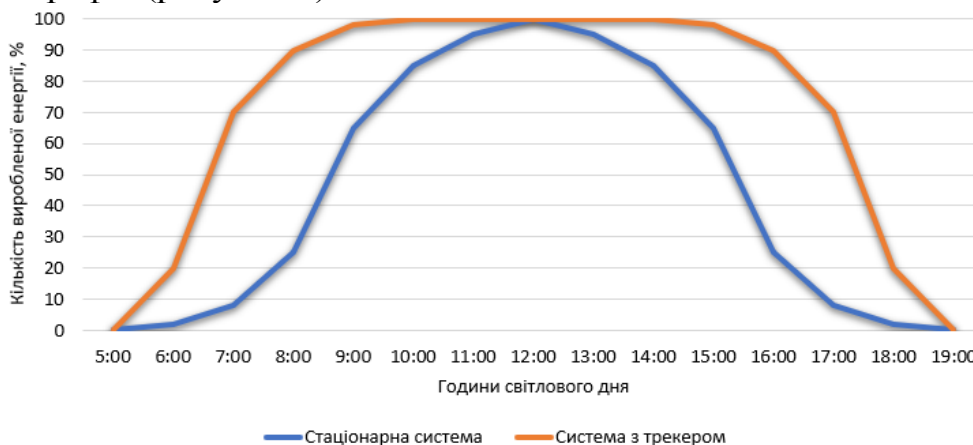


Рис. 1. Графік генерації енергії стаціонарних систем та систем з трекерами.

Отже, як видно з рисунку 1 при використанні стаціонарних сонячних електростанцій пікове значення спостерігається в години денного сонцестояння. При цьому спостерігається певний пік з попереднім плавним ростом та плавним спадом. Трекерні системи дають можливість збільшити пікові значення виробітку електричної енергії. При цьому рівень генерації їх буде значно швидшим порівняно з попереднім варіантом. При цьому пікові значення тривають більшість світлового дня, а отже інтенсивність виробітку електричної енергії є максимально можливою в цей час.

Список літератури

1. С. Кудря, Л. Яценко та Г. Душина, Атлас енергетичного потенціалу відновлюваних джерел енергії України, Київ: Інститут відновлюваної енергетики НАН України, 2008.
2. А. Барило, М. Бенменні, В. Будько, М. Будько та П. Васько, Відновлювальні джерела енергії. Монографія, Київ, 2020.

УДК 33(100):167.1

Ковальчук В.Є., здобувач вищої освіти.

Науковий керівник: **Калініченко З. Д.**, к. е. н., доцент.

Запорізький національний університет

СТАН ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ УКРАЇНИ ПІСЛЯ РУЙНІВНИХ ОБСТРІЛІВ. ПОТЕНЦІАЛ ВІТРОВОЇ І СОНЯЧНОЇ ГЕНЕРАЦІЇ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ.

Анотація Україні необхідно розробити план переходу до «зеленого» відновлення енергетичного сектора. Вітрова і сонячна генерація електроенергії є критично важливими, але згідно з оцінкою обсяги генерації знизилися більш ніж на половину через втрату територій і пошкодження обладнання. Закладається основа для більш децентралізованого вироблення електроенергії з джерел, які включають біомасу, біогаз, а також за допомогою отримання електроенергії шляхом переробки відходів. Кінцевою метою має бути створення енергосистеми, яка може протистояти кризам.

Ключові слова: енергетична інфраструктура, потенціал, переробки відходів, генерація електроенергії, відновлювальні джерела

У виконаній фахівцями оцінці збитків, яких зазнала енергетична інфраструктура України, представлена картина катастрофічних руйнувань, яких зазнала енергетична інфраструктура країни через масовані обстріли. Оцінка, яка була проведена Програмою розвитку Організації Об'єднаних Націй разом зі Світовим банком, надає уряду і міжнародній спільноті критично важливі дані для виявлення значних руйнувань, а також дозволяє оцінити рівень можливостей проведення ремонтних робіт, розрахувати обсяг фінансування, необхідного для відновлення інфраструктури.

Завдані збитки у розмірі 10 млрд дол. означають обмежений доступ до електрики. 22 з 36 електростанцій було пошкоджено, зруйновано або стали недоступними, а значна частина інфраструктури для опалення на охоплених війною територіях не підлягає ремонту. Здатність України виробляти електроенергію знизилася на 61%[1]. Через інтенсивність обстрілів енергосистеми важливо визначити, що буде в Україні в найближчі роки.

Створено план відновлення енергетичного сектора, в якому не тільки зазначено масштаб руйнувань і необхідні обсяги ремонтних робіт, а й розроблені шляхи забезпечення безперебійного функціонування енергетичної інфраструктури України навіть під час війни.

Для повного відновлення потрібні роки та міжнародна допомога і інвестиції. За останні 12 місяців міжнародна спільнота реагувала швидко і кошти без затримки надходили на енергетичні потреби. Уряд України здійснював організацію ремонтних робіт в енергетичній інфраструктурі. Але потрібно більше. Розроблені такі ключові напрямки відновлення енергетичного сектора України, як постійний доступ до послуг з надання опалення, водопостачання і водовідведення під час обмеженого постачання електроенергії або вимкнення електрики. Вартість аварійно-відновлювальних робіт, під час

яких основна увага приділятиметься відбудові пошкоджених та зруйнованих ТЕЦ в українських містах, оцінюється в 1,2 млрд дол. [2].

Другий напрямок стосується підготовки до опалювального сезону у 2023-2024 роках, щоб не допустити повторення минулорічної ситуації. В оцінці розрахунковий обсяг цих витрат дорівнює приблизно 1 млрд дол.[2], в тому числі на мобілізацію необхідного технічного обладнання.

По-третє, Україні необхідно розробити план переходу до тривалішого, стійкого і «зеленого» відновлення енергетичного сектора. Вітрова і сонячна генерація електроенергії будуть критично важливими, але згідно з оцінкою обсяги генерації знизилися більш ніж на половину через втрату контролю і пошкодження обладнання. Необхідно закласти основи для децентралізованого вироблення електроенергії з джерел, які включають біомасу, біогаз, а також за допомогою отримання електроенергії шляхом переробки відходів.

Кінцевою метою має бути створення енергосистеми, яка може протистояти кризам. Наслідки обстрілів об'єктів енергосистеми можуть стати катализатором змін, у результаті чого оновлена енергетична інфраструктура стане менш залежною від газу, більш орієнтованою на використання відновлювальних джерел енергії і впровадження нових, інноваційних рішень із виробництва «зеленої» електроенергії, а також такою, яка допомагатиме українським громадам постійно підтримувати зв'язок, теплі домівки, лікарні, школи.

У 2021 році, енергетичний сектор України виявився на перехресті в очікуванні який вектор розвитку енергетики обере держава. В невизначеності знаходився й сектор відновлюваних джерел енергії. Адже, з одного боку, Уряд України почав поетапно виконувати свої зобов'язання, передбачені Меморандумом «Про Взаєморозуміння щодо врегулювання проблемних питань у сфері відновлюваної енергетики України», укладеним в червні 2020 року в результаті проведення медіації при Центрі вирішення спорів Енергетичного Співтовариства між Урядом України та НКРЕКП, з однієї сторони, та двома провідними профільними асоціаціями — Українська вітроенергетична асоціація та Європейсько-Українське енергетичне агентство — з іншої, та розпочав поступово виплачувати заборгованість, накопичену перед виробниками з ВДЕ протягом минулих років, таким чином, надаючи ринку позитивні сигнали.

Але, з іншого боку виникли спроби визнати «зелений» тариф як незаконну державну підтримку[1] або як той, що був прийнятий у неконституційний спосіб. Якщо з одного боку, Президент України став одним із підписантів Глобального вітроенергетичного маніфесту в рамках COP26 та взяв міжнародне зобов'язання повністю припинити внутрішнє споживання вугілля до 2035 року і почати поступово виводити з експлуатації теплову генерацію, починаючи з 2022 року, то, з іншого боку, Уряд України продовжував спрямовувати усі зусилля на підтримку застарілої інфраструктури атомної енергетики і прийняв державну програму з розвитку атомно-промислового комплексу до 2026 року[3].

Виробляючи електроенергію за рахунок вітру та сонця, споживачі не залежать від кількості і скінченності палива, термінів добування чи поставки цього палива, наявності місця для зберігання палива і утилізації похідних від нього відходів. Тобто, вони не залежать від усіх тих аспектів, які змушують країни залежати один від одного протягом десятка років.

Окрім того, виробництво енергії за рахунок відновлюваних джерел енергії, і вітру зокрема, робить країну незалежною від глобальних цінових коливань на паливо. Електроенергія стає більш доступною, її собівартість падає, відповідно споживач платить менше. Сьогодні ціни на електроенергію з відновлювальних джерел енергії є абсолютно конкурентоспроможними, а іноді і нижчими, за ціни на електроенергію, вироблену за рахунок викопного палива, яке потребує додаткових субсидій від населення.

Якщо з одного боку, Верховна Рада України підтримала, і Президент України підписав Закон України «Про внесення змін до деяких законів України щодо розвитку систем накопичення енергії», що надає можливість зробити генерацію з ВДЕ більш стабільною за рахунок будівництва систем накопичення енергії (energy storage), то, з іншого боку, виробники з ВДЕ були змушені боротись із ініціативою окремих народних депутатів України щодо введення акцизного податку на електроенергію з відновлюваних джерел енергії.

Політична воля Європи спрямована на максимальне скорочення своєї залежності від російського викопного палива за рахунок нарощення темпів розвитку відновлюваних джерел енергії, дає надію на світле майбутнє й українського ринку ВДЕ, який не просто є безпосередньою частиною європейської енергетичної системи, а й володіє достатніми потужностями для заміщення російських енергоресурсів своєю відновлюваною генерацією.

Починаючи із 2019 року інвестиції у нові проєкти відновлюваної енергетики в Україні є стабільно вищими, ніж у проєкти на викопному паливі. Тільки за останні десять років провідні міжнародні та українські інвестори залучили в економіку України понад 12 млрд доларів прямих іноземних інвестицій, а частка іноземних інвесторів у встановленій потужності відновлюваних джерел енергії станом на кінець 2021 року сягнула понад 35%, що характеризує український сектор ВДЕ як доволі конкурентний та відкритий.

Як економічні, так і суспільні переваги розвитку відновлюваних джерел енергії є беззаперечними. Проте, жоден сектор економіки не зможе стабільно розвиватись без відповідних державних стимулів та привабливого бізнес-клімату в державі. За сьогоднішніх умов, перед Урядом України стоїть єдине завдання — зберегти тих національних та міжнародних інвесторів в відновлювальні джерела енергії, які вже інвестували в економіку України, і забезпечити умови для їх подальшої бізнес-діяльності в післявоєнний період.

Список літератури

1. Енергетичний комітет контролює погашення боргів в енергетиці
<https://eco.rayon.in.ua/news/541688-cherez-viynu-v-ukraini-ne-pratsyuyut-90-potuzhnostey-vitrovoi-energetiki>

2. Щорічний Звіт УВЕА «Вітроенергетичний сектор України 2021. Огляд ринку». <https://global-climatescope.org/downloads/climatescope-2021-report.pdf>

3. Яко Сільє Виявлення реального стану енергетики України після руйнівних обстрілів <https://www.undp.org/uk/ukraine/blog/vyyavlennya-realnoho-stanu-enerhetychnoyi-infrastruktury-ukrayiny-pislya-ruynivnykh-obstriliv>

4. Енергоресурси органічного походження

УДК 620.925.003.13

Сенчук М.М., канд. техн. наук, **Хахула В.С.**, канд. с.-г. наук
Білоцерківський національний аграрний університет

ОПТИМІЗАЦІЯ ПРОДУКТИВНОСТІ ПІДПРИЄМСТВ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА БІОДИЗЕЛЬНОГО ПАЛИВА

Розглянуто можливі шляхи підвищення ефективності виробництва біопалива на етапі проектування виробництва. Подано методичні основи розрахунку відстані до механізованих пунктів з виробництва біопалива.

Виведено формулу для визначення оптимальної потужності пункту для переробки олійної культури і отримання сировини для виробництва біодизельного палива.

Встановлено оптимальну відстань перевезення олії та продуктивність заводу для отримання біодизельного палива – 101 км, потужність заводу – 58923 т, при умовах вартості перевезення – 2,6 грн./ т-км, накладних витратах 13000000 грн., прямих витратах на виготовлення 1 т біодизельного палива - 25000 грн., $\beta = 1,1$.

Також встановлено залежність собівартості виробництва біодизельного палива від відстані перевезення олії на завод, а саме:

для відстані до заводу 40 км – собівартість виробництва біопалива – 25596 грн./т, при 60 км – 25496 грн./т, при 80 км – 25462 грн./т, при 80 км – 25459 грн./т, при 100 км – 25459 грн./т, при 120 км – 25471 грн./т, при 140 км – 25493 грн./т.

Запропонована методика дає можливість визначати оптимальну продуктивність заводу для переробки органічної сировини в біодизельне паливо з урахуванням відстані її перевезень ще на етапі проектування.

Ключові слова: біодизельне паливо, економічна ефективність, оптимізація виробництва, прямі витрати, накладні витрати.

Постановка проблеми. Одним з найбільш важливих стратегічних завдань економіки України є підвищення ефективності енергозабезпечення. Збільшення енергоспоживання вже найближчим часом можливе лише за рахунок поширення використання нетрадиційних і поновлювальних джерел енергії, в першу чергу – енергії біомаси.

Основним джерелом біомаси є сільське господарство, а саме насіння олійних культур, яке використовується для отримання рідкого біопалива та вторинна органічна сировина продовольчих і технічних культур (солота, стебла соняшнику та кукурудзи, луска насіння соняшнику, костра льону, тощо), які залишаються після збирання та переробки врожаю.

Аналіз наукових розробок показав, що ведуться пошуки і дослідження з широкого кола проблем і інтересів, пов'язаних з виробництвом та використанням біопалива. Ці роботи можна класифікувати за такими напрямками:

- екологічні аспекти біопалива [1];
- технологічні питання виробництва та використання біопалива [3-6, 10];
- економічна ефективність виробництва та використання біопалива [7-8, 11].

Для обґрунтування параметрів пунктів з отримання біопалива необхідно розв'язати питання оптимізації потужності пунктів та відстані між ними.

Актуальним завданням для дослідження є виробництво біодизельного палива, де сировину – олію рекомендується отримувати безпосередньо на пунктах переробки олійних культур, які розміщуються поблизу вирощування цих культур, а потім олію транспортують на переробний завод по виготовленню біопалива.

Метою дослідження є розробка методики розрахунку потужності та розташування пунктів з переробки насіння олійних культур в сировину для біопалива з урахуванням зайнятості полів олійними культурами в сівозміні, а також заводу для отримання біопалива.

Матеріал і методи дослідження. Розрахунок складається з двох частин:

1. Розрахунок потужності пункту переробки насіння олійних культур з отриманням олії – сировини для виробництва біодизельного палива, та оптимальну відстань перевезень насіння.

2. Розрахунок потужності заводу по виробництву біодизельного палива з олії, та оптимальну відстань перевезень сировини.

Питомі витрати можна представити такою функціональною залежністю:

$$C = \frac{z_g}{M} + z_n r + z_v \quad (1)$$

де C – питома собівартість виробництва, грн/т;

z_v – загальні накладні витрати на переробку органічної сировини, грн./рік;

z_n – питомі витрати на перевезення сировини, грн/(т·км);

z_g – приведені прямі витрати на переробку органічної сировини, грн/т;

r – відстань від пункту переробки до місцезнаходження сировини, км;

M – маса органічної сировини для переробки, яку необхідно зібрати і доставити з полів, т/рік.

До загальних накладних витрат на переробку органічної сировини відноситься амортизація обладнання, будівель і споруд пункту, витрати на утримання будівель і споруд, витрати на утримання адміністративного персоналу та інші витрати, не пов'язані з технологічним процесом виробництва

біодизельного палива. До приведених прямих витрат відносять: вартість органічної сировини та витрати, які пов'язані з виконанням технологічного процесу переробки в розрахунку на одиницю органічної сировини (енергетичні витрати), витрати на оплату праці робітників тощо).

У формулі (1) маємо дві змінні величини. Перший доданок характеризує зменшення питомих витрат залежно від збільшення маси, що переробляється. Другий – витрати, які зростають внаслідок збільшення площі збору і відстані доставки сировини. Для приведення до однієї змінної встановимо їх взаємозв'язок.

Встановивши залежність отримання маси органічної сировини від відстані перевезень і дослідивши формулу 1 на екстремум і отримали формулу для визначення оптимальної відстані перевезення насіння ріпаку r_{opt} (км) та потужності пункту для переробки ріпаку і отримання олії M_{opt} , (т/рік) – насіння ріпаку з отриманням олії:

$$r_{opt} = \sqrt[3]{\frac{23_6}{\pi \rho \alpha z_n}}, \quad (2)$$

$$M_{opt} = \sqrt[3]{\pi \rho \alpha \left(\frac{23_6}{z_n}\right)^2}. \quad (3)$$

де ρ - характеризується врожайністю (для олійних культур) або щільністю (для вторинної органічної сировини), т/км²;

α – щільність розміщення полів з сировиною для біопалива, а саме – насіння ріпаку:

$$\alpha = \frac{S_6}{S}, \quad (4)$$

S_6 – площа ділянок на якій розміщена сировина для отримання біопалива, га;

S – загальна площа земельних угідь, га;

π – стала = 3,14

Дану методику також можна використовувати для розрахунків пунктів з виготовлення брикетів, чи пелетів.

Основні результати дослідження.

1. Визначимо оптимальну відстань перевезень та продуктивність пункту для переробки насіння ріпаку в олію, якщо загальні накладні витрати $3_6 = 360000$ грн/рік; питомі витрати на перевезення сировини $z_n = 2,6$ грн/(т·км); урожайність олійної культури (ріпак) $\rho = 1$ т/га (100 т/км²); щільність розміщення полів $\alpha = 0,4$.

Підставивши вихідні дані в формули (8) і (10) визначимо, що оптимальна відстань перевезень насіння ріпаку становить 14,4 км, а продуктивність пункту

з переробки насіння ріпаку в олію – 21280 т/рік і при 25 % виході олії можна отримати 5320 т сировини для виробництва біодизельного палива.

Напрямом підвищення ефективності виробництва біодизельного палива на заводах на етапі їх створення є визначенні оптимальної річної продуктивності заводу з урахуванням транспортних витрат на перевезення сировини – олії. За наявності олії для одержання біопалива на пунктах з переробки олійних культур в олію, з урахуванням відстані перевезення її до заводу, визначається її функція. Тоді собівартість отримання біодизельного палива в розрахунку на одиницю вихідної продукції визначається за формулою:

$$C_{\delta} = \frac{Z_{\epsilon}}{M_o(l) \cdot \beta} + z_{\epsilon n} + \frac{z_n \cdot l}{\beta}, \quad (5)$$

де C_{δ} – собівартість виробництва однієї тонни біопалива, грн/т;

Z_{ϵ} – накладні витрати на виробництво, грн.;

$z_{\epsilon n}$ – прямі витрати на виробництво біопалива, грн./т;

z_n – питомі транспортні витрати, грн./т-км;

β – коефіцієнт перетворення олії на біодизельне паливо.

$$M_{\delta} = M_o(l) \cdot \beta \quad (6)$$

$$\beta = \frac{M_{\delta}}{M_o}, \quad (7)$$

M_{δ} – маса біопалива, т

За формулою (11) будується функція $C_{\delta} = f(l)$ (рис. 4), а також, дослідивши її на екстремум $\frac{dC_{\delta}}{dl} = 0$, визначається відстань до господарства $l_{кр}$, при якій собівартість виробництва мінімальна.

Основні результати дослідження.

Визначимо оптимальну відстань перевезення олії та продуктивність заводу для отримання біодизельного палива, якщо вартість перевезення – 2,6 грн./ т-км, накладні витрати 13000 тис. грн., прямі витрати на виготовлення 1 т біодизельного палива складають 25 тис. грн., $\beta = 1,1$. Залежність наявності сировини від відстані її перевезення подано в табл. 1

Таблиця 1 – **Наявність сировини від відстані її перевезення на завод для виготовлення біодизельного палива**

Маса олії, M_o , т	5000	15000	35000	70000	100000	150000
Відстань до заводу l , км	10	25	60	120	200	300



Рис.5. Залежність наявності олії від відстані до заводу для виготовлення біодизельного палива.

$$C_{\bar{o}} = \frac{z_{\bar{o}}}{(491,77 \cdot l + 3897,7) \cdot \beta} + z_{\text{en}} + \frac{z_n \cdot l}{\beta}; \quad (8)$$

$$\frac{dC_{\bar{o}}}{dl} = -\frac{491,77 \cdot z_{\bar{o}} \cdot \beta}{(491,77 \cdot \beta \cdot l + 3897,7 \cdot \beta)^2} + \frac{z_n}{\beta} = 0; \quad (9)$$

$$M_{\bar{o}} = (491,77 \cdot l + 3897,7) \cdot \beta \quad (10)$$

$$C_{\bar{o}} = \frac{13000000}{(491,77 \cdot l + 3897,7) \cdot 1,1} + 25000 + \frac{2,6 \cdot l}{1,1} \quad (11)$$

Підставивши вихідні дані в формули (8), (10) визначимо, що оптимальна відстань перевезень ріпакової олії становить 101 км, а продуктивність заводу по виготовленню біодизельного палива – 58923 т/рік.

Використовуючи формулу (11), отримаємо залежність собівартості виробництва біодизельного палива від відстані перевезення олії на завод (табл. 2).

Таблиця 2. – Залежність собівартості виробництва біодизельного палива від відстані перевезення олії на завод.

Відстань до заводу l , км	40	60	80	100	120	140
Собівартість виробництва $C_{\bar{o}}$, грн./т	25596	25496	25462	25459	25471	25493

Висновки. Встановлено оптимальну відстань перевезення олії та продуктивність заводу для отримання біодизельного палива – 101 км, потужність заводу – 58923 т, при умовах вартості перевезення – 2,6 грн/ т·км,

накладних витратах 13000000 грн., прямих витратах на виготовлення 1 т біодизельного палива - 25000 грн., $\beta = 1,1$.

Також встановлено залежність собівартості виробництва біодизельного палива від відстані перевезення олії на завод, а саме:

при відстані до заводу 40 км – собівартість виробництва біопалива – 25596 грн./т, при 60 км – 25496 грн./т, при 80 км – 25462 грн./т, при 80 км – 25459 грн./т, при 100 км – 25459 грн./т, при 120 км – 25471 грн./т, при 140 км – 25493 грн./т.

Запропонована методика дає можливість визначати оптимальну продуктивність заводу для переробки органічної сировини в біопаливо з урахуванням відстані її перевезень ще на етапі проектування.

Список літератури

1. Ковальський В., Голодніков О., Григорак М., Косарев О., Кузьменко В. Про підвищення рівня еколого-енергетичної безпеки України. Економіка України. 2000. № 10. С. 34–41.
2. Винтоняк В. Українська рапсодія. Агроперспектива. 2000. № 1. С. 10–14.
3. В.О. Дубровін, М.О. Корчемний, І.П. Масло, О. Шептицький, А. Рожковський, З. Пасторек, А. Гжибек, П. Євич, Т. Амон, В.В. Криворучко. Біопалива (технології, машини і обладнання) – К.: ЦТІ «Енергетика і електрифікація 2004. 256 с.
4. Семенов В.Г., Марченко А.П., Семенова Д.У., Ліньков О.Ю. Дослідження фізико-хімічних показників альтернативного біопалива на основі ріпакової олії. Машинобудування: Вісник Харківського державного політехнічного університету. Харків: ХДПУ, 2000. Випуск 101. С. 159–163.
5. Семенов В.Г. Гармонізація національного стандарту на біодизельне паливо до європейського та американського стандартів. Матеріали I Міжнародної науково-технічної конференції «Проблеми хіммотології». К.: Книжкове вид-во НАУ. 2006. С. 119–121.
6. Адаменко О., Височанський В., Льотко В., Михайлів М. Альтернативні палива та інші нетрадиційні джерела енергії: монографія. Івано-Франківськ. 2001. 432 с.
7. Колосов О. Є. Високоєфективні засоби приготування біопалива. К. : Січка. 2010. 152 с.
8. Сенчук М.М. Обґрунтування потужності механізованих пунктів для переробки органічних відходів вермикомпостуванням. Техніка АПК. 2004. № 10-11. С. 32-34
9. Biofuels Issues and Trends. Independent Statistics Analysis. Washington: U.S. Energy Information Administration. 2012. 48 p.
10. Technology Roadmap. Biofuels for Transport. Paris: International Energy Agency. 2011. 56 p.

11. Hill J., Nelson E., Tilman D., Polasky S., Tiffan D. Environmental, economic, and energetic costs and benefits of biodiesel and ethanol biofuels. Proc. of National. Academy of Science the USA. 2006. V.103. №30. P. 11206 –11210.

12. Laan T., Litman T. A., Steenblik R. Biofuels – At what cost? Government support for ethanol and biodiesel in Canada. Winnipeg: International Institute for Sustainable Development. 2011. 121 p.

13. Oilseeds: World Markets and Trade / United States Department of Agriculture Report. World Agricultural Outlook Board/USDA. July 2014. 35 p.

14. Mortimer N.D., Cormack P., Elsayed M.A. and Horne R.E. Evaluation of the comparative energy, global warming and socio-economic costs and benefits of biodiesel. Sheffield: Sheffield Hallam University. 2003. 132 p.

УДК :619: 639.2.09; 639.3.09

Царенко Б.О., студент

Науковий керівник: **Сенчук М.М.**, кандидат технічних наук, доцент
Білоцерківський національний аграрний університет

РОЗРОБКА МОДУЛЬНИХ БІОГАЗОВИХ УСТАНОВОК.

В доповіді йдеться про основні характеристики роботи біогазової установки.

Визначено сучасні тенденції удосконалювання конструкційних схем анаеробних біореакторів.

Розроблена конструкційна схема анаеробного реактора модульного типу з рухомими іммобілізаторами і обґрунтовані типорозміри біогазових установок для України.

Наведені параметри процесу мікробіологічної ферментації, для біореактрів що рекомендуються, а також технологічний процес.

Ключові слова: біогазові установка, біогаз, рідкий гній, метан, органічні відходи.

Мета роботи - створення біогазової установки для переробки рідких органічних відходів в товарний біогаз та високоякісне органічне добриво шляхом розробки оптимальної конструкції мікробіологічного реактора 3^{***0} покоління модульного типу.

Обмеженість паливно-енергетичних ресурсі в країні вимагає подальшого розвитку та впровадження енергозберігаючих технологій та обладнання та альтернативних джерел енергії.

Однією з перспективних технологій утилізації сільськогосподарських відходів в енергетичних цілях є виробництво біогазу.

Біогаз можливо отримати з будь-якої органічної речовини, однак найбільш вигідним є використання для цих цілей рідкого безпідетіл- кового гною.

В Україні в загальній кількості відходів тваринницьких ферм і комплексів більше 60 % складає безпідетіяковий напіврідкий і рідкий гній, а загальна кількість безпідстилкового гною сягає близько 100 млн.т за рік.

Метанове бродіння відзначається високим ККД перетворення енергії органічних речовин в біогаз, досягаючим 80-90 %.

Крім того, метанове бродіння відходів призводить до мінералізації азоту і фосфору - основних складових добрив, що забезпечує їх збереження, тоді як при традиційних способах приготування органічних добрив втрачається до 30-40 % азоту.

При анаеробному розкладі фактично проходить санітарний обробіток стоків (особливо тваринницьких і комунально-побутових), знищуються патогенна мікрофлора, яйця гельмінтів, насіння бур'янів, проходить дезодорація.

Роботи виконані на основі аналізу тенденцій розвитку конструкцій анаеробних реакторів.

Аналіз конструкцій мікробіологічних реакторів показав, що не існує єдиної систематизації типорозмірів біореакторів.

В таблиці 1 показано деякі типи перспективних біоенергетичних установок і робочі об'єми реакторів.

Таблиця 1 - Робочі об'єми реакторів біоенергетичних установок

Країна, біогазові установка	Робочий об'єм біореактора, м ³
США, "Колорадо-біогаз"	110
Фінляндія, "ЕНБОМ"	120
Швеція, "Біосистем"	160
Англія, "Бритине біогаз"	200
Чехія, Гідропроект	6000
Данія, "Клаухан"	80
Італія, "Джі е Джі"	7000
Україна, "КОБОС"	250
Німеччина, "ЛПП"	72
Франція, "Пехенженіринг"	25
Японія, "Нічименкомпорейшен"	80

Науковими і проектно-конструкторськими установами України /НВО "КТІСМ", УкрНДІагропроект, УНДІМЕСГ/ розроблено біоенергетичні установки для сімейних ферм з об'ємом біореакторів 3, 8, 25 і 50 м³.

Ці біореактори різні за конструкційними схемами, що потребує розробки для кожного типорозміру відповідної конструкторської документації.

З метою уніфікації виробництва біореакторів в Україні запропоновано типорозміри модульних біореактрів.

Модульність біоустановки характеризується конструктивними особливостями біореактора. Це - уніфікація основних вузлів метантенку незалежно від об'єму біореактора.

Таблиця 2 - Типорозміри модульних біореакторів.

Типо розмір метан тенка	Кількість секцій			
	2	3	4	5
	Робочий об'єм реактора, м ³			
I	8	12	16	20
II	20	30	40	50
III	50	75	100	125
IV	125	200	275	350

Аналізуючи таблицю 2 запропоновано чотири типорозміри біореакторів. Така систематизація дає можливість максимальної уніфікації біореакторів, а також при використанні конструкторської документації одного типорозміру налагоджувати випуск метантенків різного робочого об'єму.

Метантенки I, II, і III типорозміру - це, в основному, метан-тенки для малих сімейних ферм і фермерських господарств.

Метантенки IV типорозміру - це метантенки для колективних господарств і комплексів.

Для великих сільськогосподарських підприємств рекомендується розробка індивідуальних проектів (конструкцій) в залежності від об'єму відходів, що належить переробити.

Висновок.

Використання модульних схем біореакторів дає можливість:

- зменшити витрати на виготовлення ;
- максимально уніфікувати конструкції біореакторів ;
- систематизувати виробництво і впровадження біореакторів.

Список літератури

2. Сакун Л.М., Різніченко Л.В., Велькін Б.О., Перспективи розвитку ринку біогазу в Україні та за кордоном./ Економіка і організація управління № 1(37), 2020. С. 160-170.

2. Эдер Б., Шульц Х., Биогазовые установки: Практическое пособие. 2006. URL: http://zorgbiogas.ru/upload/pdf/Biogas_plants_Practics.pdf

3. Матвеев Ю., Гелетуха Г. Биогазовая станция. Украинский досвід. Зелена енергетика. 2004. № 1. С. 4-6.

4. Хажмурадов М.А. Установка та технологія по утилізації біогазу. Наука та інновації. 2006. № 4. С. 19.

5. Калетнік Г. М., Здирко Н. Г., Фабіянська В. Ю. Біогаз в домогосподарствах – запорука енергонезалежності сільських територій України. Економіка. Фінанси. Менеджмент: актуальні питання науки і практики. 2018. № 8. С. 7-22. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/efmapnp_2018_8_3.

6. Переробка відходів в розвинених країнах світу. URL: <http://www.biowatt.com.ua/analitika/pererobka-vidhodiv-v- rozvinenih-krayinah-svitu/>.

7. Findeisen C. Biogas – trends on the German and the international market / German Biogas Association. 2019. URL: https://www.eclareon.com/sites/default/files/clemens_findeisen-biogas-_trends_on_the_german_and_international_market.pdf

УДК 620.92

Омаров І.С., аспірант

Інститут відновлюваної енергетики НАН України

Цивенкова Н.М., кандидат технічних наук, доцент

Національний університет біоресурсів і природокористування України

СИСТЕМА ЖИВЛЕННЯ ДВИГУНА ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРЯННЯ, ЩО ПРАЦЮЄ НА БІОПАЛИВІ

Анотація. Представлено сучасний стан ринку біопалив в світі. Проаналізовано можливість переведення двигунів внутрішнього згорання транспортних засобів на біопаливне живлення. Зазначено основні завади широкому використанню біопалив для роботи ДВЗ.

Ключові слова: біодизель, біопаливо, система живлення двигуна внутрішнього згорання.

Сьогодні біопаливо інтенсивно використовують в якості моторного палива в усьому світі. Це зумовлено двома основними факторами – високими екологічними нормами щодо складу відпрацьованих газів ДВЗ транспортних засобів, що сприятиме зменшенню їх шкідливого впливу на озоновий шар, та постійним зменшенням нафтових ресурсів [1]. Тому директиви та законодавчі документи, що діють в Україні та в Європейському Союзі, обумовлюють широке використання біопалив. В країнах, що входять до складу Європейського Союзу, директива 2009/28/ЄС зазначає, що до 2030 року 15% палива, яке використовується для живлення ДВЗ транспортних засобів, повинно вироблятися з поновлюваної екологічно-чистої сировини [2].

В якості альтернативи паливам нафтового походження в ДВЗ використовують такі види палива, як: біометан, біоетанол, рослинні олії, біодизель, водень. Сьогодні однією з найбільш успішних країн, яка спеціалізується на використанні біопалив для живлення ДВЗ, є Бразилія. В Бразилії, переважно, використовують біопалива першого покоління [3]. Однак, рівень використання біопалив для живлення ДВЗ все ще залишається досить низьким. Це пов'язано, в першу чергу, зі складністю виробництва біопалива та низкою питань, пов'язаних з експлуатацією ДВЗ на біопаливах.

Експлуатація ДВЗ на різних видах палива пов'язана з наступними проблемами. Ці проблеми за групами можна поділити на наступні [4]:

- 1) технічні, наприклад вихід з ладу системи подачі палива ДВЗ;

2) технологічні, наприклад надмірна питома витрата палива двигуном, або надмірна подача палива форсунками системи живлення ДВЗ, тощо;

3) пов'язані з навколишнім середовищем, наприклад збільшення викидів відпрацьованих газів ДВЗ в навколишнє середовище.

Проблеми, пов'язані з виходом з ладу системи живлення ДВЗ, до функцій якої відноситься формування паливо-повітряної суміші і подача її в циліндри двигуна, зустрічаються найчастіше. Також при використанні біопалив спостерігається ерозійне зношення поверхонь форсунок системи живлення ДВЗ, внаслідок чого спостерігається їх закупорювання. Це призводить до утворення збіднених паливо-повітряних сумішей, які складно запалити в двигунах без використання додаткової енергії і які згорають лише частково. Внаслідок, збільшується кількість відпрацьованих газів ДВЗ, що, в свою чергу, збільшує рівень забруднення навколишнього середовища [5].

Найчастіше в конструкціях транспортних засобів зустрічаються: система живлення двигунів з запалюванням від стиснення і система живлення ДВЗ з іскровим запалюванням, які, відповідно, працюють на дизельному паливі та на бензині. Якість зазначених видів палива повинна відповідати вимогам ДСТУ ISO 5163:2012 [6].

Системи живлення ДВЗ з запалюванням від стиснення і система живлення ДВЗ з іскровим запалюванням були спроектовані, щоб працювати на стандартних паливах нафтового походження, тому вони є чутливими, до води, кислот і твердих компонентів, що входять до складу біопалив. Крім того, в'язкість і щільність біопалив впливають на здатність форсунок розпиляти паливо і на швидкість та ступінь випаровування палива. Тому для різних видів біопалив потрібно проектувати різні системи живлення, щоб гарантувати формування якісної паливо-повітряної суміші і довговічність системи живлення ДВЗ [7].

Біопалива можна поділити на стандартні біопалива, наприклад на E85 і біодизель, а також на біопалива низької якості, наприклад, біоетанол із вмістом води та рапсова олія. Виробництво такого виду палива не потребує значних енергетичних витрат, а технологія є простішою порівняно з виробництвом стандартних видів палива, однак і використання таких палив для живлення ДВЗ є складнішим. Тому слід шукати технічні рішення щодо використання палив, технологія виробництва яких є більш конкурентоспроможною, або розробляти нові конструкції системи живлення двигунів [8, 9].

Висновок. Одним з шляхів вирішення зазначеної проблеми є розробка конструкції системи живлення ДВЗ, яка буде адаптована до роботи на двигунах з різним типом запалювання (запалювання від стиснення та з іскровим запалюванням) та на різних видах палива. Зазначена система живлення ДВЗ може використовуватися як основна система, або як допоміжна. Нова система живлення дозволить сільськогосподарським підприємствам в якості палива для ДВЗ використовувати біопаливо власного виробництва, що, в свою чергу, зменшить залежність від палив нафтового походження.

Список літератури

1. Sathyamurthy R, Balaji D., Gorjian Sh., Muthiya S.J. Bharathwaaj R., Vasanthaseelan S., Essae F.A. Performance, combustion and emission characteristics of a DI-CI diesel engine fueled with corn oil methyl ester biodiesel blends. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*. 2021. Vol. 43. <https://doi.org/10.1016/j.seta.2020.100981>
2. Директива Європейського Парламенту та Ради 2009/28/ЄС від 23 квітня 2009 року “Про заохочення до використання енергії, виробленої з відновлюваних джерел та якою вносяться зміни до, а в подальшому скасовуються Директиви 2001/77/ЄС та 2003/30/ЄС. 62 с.
3. Topare N. S., Patil K. D. Biodiesel from waste cooking soybean oil under ultrasonication as an alternative fuel for diesel engine. *Materials today. Proceedings*. 2021. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.12.025>
4. Осетров О.О. Поліпшення техніко-економічних показників дизеля ЧН 12/14, що працює на біопаливах: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 05.05.03 «Двигуни та енергетичні установки» / О.О. Осетров. Харків, 2015. 20 с.
5. Покращення показників дизеля зміною пропорцій дизельного та біодизельного палив в паливній суміші / А.П. Поляков, О.О. Галушак, П.А. Поляков, Д.Л. Королюк. *Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних сил*. 2013. Вип. 3. С. 167–169.
6. ДСТУ ISO 5163:2012 Паливо моторне. Ефіри метилові жирних кислот олій і жирів для дизельних двигунів. Технічні вимоги. 2012.
7. Дунин А. Ю. Совершенствование системы совместной подачи двух топлив в камеру сгорания дизеля через одну форсунку: автореф. дис. на соискание ученой степени канд. техн. наук: спец. 05.04.02 «Тепловые Двигатели» / А.Ю.Дунин. М., 2006. 18 с.
8. Khanjani A., Sobati M.S. Performance and emission of a diesel engine using different water/waste fish oil (WFO) biodiesel/diesel emulsion fuels: Optimization of fuel formulation via response surface methodology (RSM). *Fuel*. 2021. Vol. 288. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2020.119662>
9. Uyumaz A., Aydoğan B., Yılmaz E., Solmaz H., Aksoy F., Mutlu İ., Calam A. Experimental investigation on the combustion, performance and exhaust emission characteristics of poppy oil biodiesel-diesel dual fuel combustion in a CI engine. *Fuel*. 2020. Vol. 280. 118588. doi:10.1016/j.fuel.2020.118588.

УДК 631.172:662.76

Цивенкова Н. М., к.т.н., доцент

Національний університет біоресурсів і природокористування України

Омаров І.С., аспірант

Інститут відновлюваної енергетики НАН України

Демещук В.А., асистент

Білоцерківський національний аграрний університет

ЕФЕКТИВНІСТЬ РОБОТИ ПРОТИПОТОКОВОГО ГАЗОГЕНЕРАТОРА НА КУКУРУДЗИННІ

Анотація. Досліджено вплив режиму дуття, об'ємного відсотку пористого інертного матеріалу в загальному об'ємі камери газифікації та теплоємності інертного матеріалу на температурний режим в активній зоні камери газифікації в процесі гібридної фільтраційної газифікації біомаси.

Ключові слова: газогенератор, генераторний газ, реактор, інертне середовище

Дослідження реалізовані на установці з газогенератором оберненого процесу газифікації, що газифікує кукурудзиння і має продуктивність $70 \text{ м}^3/\text{год}$ (рис. 1).

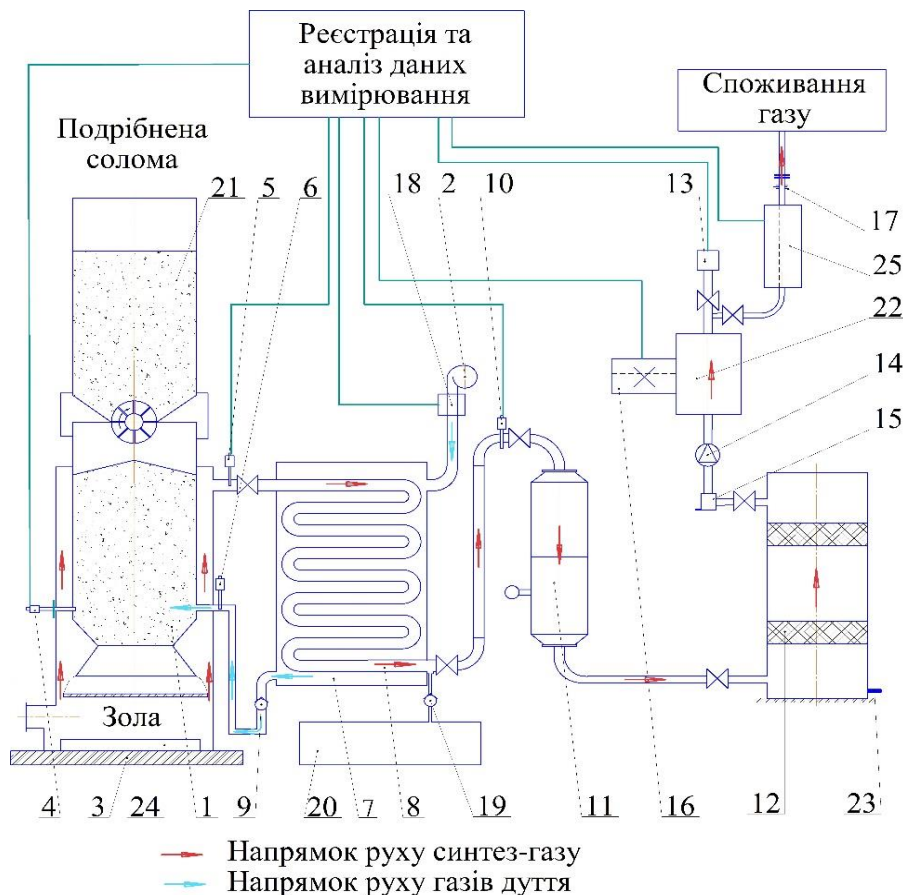


Рис. 1. Газогенераторна установка: 1 – газогенератор оберненого процесу газифікації; 2 – вентилятор; 3, 24 – ваги; 4, 5, 6, 10 – термометри; 7 – теплообмінник; 8 – змійовик; 9 – зворотний клапан; 11 – фільтр грубого

очищення; 12 – фільтр тонкого очищення; 13 – газовий калориметр; 14 – вакуумний насос; 15 – відокремлювач вологи; 16, 19, 23 – патрубок; 17 – вентиль; 18 – лічильник; 20 – бак; 21 – система подачі палива; 22 – ресивер; 25 – лічильник.

Щоб пов'язати незалежні фактори (β , $V_{\text{дуть}}$, c) із температурою (t), встановити характер зазначеного зв'язку і знайти математичне рівняння за методикою [1] реалізовано багатфакторний експеримент. Виконано 5-рівневий план 2-го порядку. Один і той же дослід повторювали тричі. Фактори кодували наступним чином: $x_3=c$, $x_2=V_{\text{нов}}$, $x_1=\beta$. Де об'єм повітряного дуття ($V_{\text{нов}}$) становив 28, 40 та 52 м³/год; об'ємний відсоток інертного матеріалу в загальному об'ємі камери – 0, 18 та 36 об. %; теплоємність інертного матеріалу – 780, 960 та 1140 Дж/(кг·°C).

В результаті досліджень отримано масив даних t , наведений у таблиці 1.

Таблиця 1 – Матриця планування багатфакторного експерименту

№	План експерименту			Результати експерименту					Перевірка адекватності моделі	
	x_3	x_2	x_1	t_3	t_2	t_1	$t_{\text{ср.}}$	$t_{\text{ср.р.}}$	$(t_{\text{ср.}} - t_{\text{ср.р.}})$	$(t_{\text{ср.}} - t_{\text{ср.р.}})^2$
1	+	+	0	849,0	845,0	839,0	844,3	873,6	-29,3	858,0
2	+	-	0	865,0	868,0	869,0	867,3	891,3	-24,0	574,0
3	-	+	0	758,0	742,0	750,0	750,0	726,0	24,0	574,0
4	-	-	0	685,0	698,0	704,0	695,7	666,4	29,3	858,0
5	0	0	0	1110,0	1118,0	1116,0	1114,7	1132,4	-17,8	316,1
6	+	0	+	980,0	976,0	979,0	978,3	975,6	2,7	7,3
7	+	0	-	1050,0	1046,0	1042,0	1046,0	999,8	46,2	2135,2
8	-	0	+	721,0	728,0	726,0	725,0	771,2	-46,2	2135,2
9	-	0	-	835,0	828,0	824,0	829,0	831,7	-2,7	7,3
10	0	0	0	1141,0	1139,0	1134,0	1138,0	1132,4	5,6	30,9
11	0	+	+	929,0	924,0	930,0	927,7	900,7	27,0	729,0
12	0	+	-	910,0	912,0	908,0	910,0	926,5	-16,5	272,3
13	0	-	+	884,0	875,0	880,0	879,7	863,2	16,5	272,3
14	0	-	-	892,0	898,0	895,0	895,0	922,0	-27,0	729,0
15	0	0	0	1145,0	1141,0	1148,0	1144,7	1132,4	12,2	149,4

Коефіцієнти регресії: $b_0=1132,4$; $b_1=93,1$; $b_2=10,5$; $b_3=-21,2$; $b_{12}=-19,3$; $b_{13}=9,1$; $b_{23}=8,3$; $b_{11}=-175,8$; $b_{22}=-167,3$; $b_{33}=-62,1$.

Результати дослідження обробляли за допомогою програми “Statistica 10”. Для перевірки однорідності дисперсії використовували критерій Кохрейна. Процес відтворюється, оскільки $G_{роз} = 0,385 < G_{табл}(0,05; 15; 2) = 0,55$.

При визначенні довірчих інтервалів коефіцієнтів регресії використали критерій Стюдента, $G_{табл}$ якого при 5 % рівні значущості та $f_1=2$ становить $t=4,3$ [1]. Значимість коефіцієнтів регресії перевіряли за довірчими інтервалами. Перевірку адекватності гіпотези отриманому рівнянню регресії виконували за критерієм Фішера. $F_{розр}$ при дисперсії неадекватності $S_{неад}^2=1,03$ та дисперсії відтворюваності експерименту $S_y^2=0,8$ склало $F_{розр}=6,84$. Табличне значення критерію Фішера, прийняте при 5 % рівні значущості, за [1] становить $F_{табл}(0,05; f_1; f_2)=19,38$, де $f_2=8$, а $f_1=2$. Оскільки, $F_{розр}=6,84 < F_{табл}(0,05; f_1; f_2)=19,38$, то гіпотеза щодо адекватності рівняння регресії підтверджується. Коефіцієнт детермінації склав $R^2=0,91$. Рівняння регресії матиме вид:

В результаті рівняння регресії набуло вигляду:

$$t=1132,4+93,1 \cdot \beta+10,5 \cdot V_{дуг}-21,2 \cdot c-19,3 \cdot \beta \cdot V_{дуг}+9,1 \cdot \beta \cdot c+8,3 \cdot c \cdot V_{дуг}-175,8 \cdot \beta^2-167,3 \cdot V_{дуг}^2-62,1 \cdot c^2, \quad (1)$$

де:

t – температура реакційної зони, °С

β – об'ємна частка інертного матеріалу в загальному об'ємі реактора, % об.;

c – теплоємність інертного матеріалу, Дж/(кг·°С);

$V_{дуг}$ – подача повітряно-парової суміші на процес газифікації, м³/год.

Дослідженнями встановлено, що:

– при збільшенні швидкості дуття 42...50 м³/год температура в реакційній зоні підвищується на 18...22% і, навпаки, знижується при подальшому збільшенні швидкості дуття понад 50 м³/год. Отже, існує раціональний діапазон об'єму паро-повітряного дуття – 46...50 м³/год, при якому температура досягає максимуму 895...1150°С (залежно від типу і вмісту пористого матеріалу);

– найвища температура 1150°С досягається при об'ємі дуття 46 м³/год, об'ємному вмісті пористого матеріалу 24 % об. і теплоємності інертного матеріалу 960 Дж/(кг·°С). При подальшому збільшенні вмісту пористого матеріалу температура знижувалася;

– найвищий вміст водню в генераторному газі становив 27 % об. і був досягнутий при вмісті інертного пористого матеріалу 36 % об. (з теплоємністю 960 Дж/(кг·°С) і об'ємі паро-повітряного дуття 48 м³/год. Вміст водню вищий на 35% порівняно зі стандартною паро-повітряною газифікацією пелет.

– найвищий вміст окису вуглецю в генераторному газі становив 29 % об. і був досягнутий при 18 % об. інертного пористого матеріалу (з теплоємністю 960 Дж/(кг·°С) і об'ємі паро-повітряного дуття 48 м³/год.

Висновок. Використання інертного пористого середовища у кількості 36% об. з теплоємністю 960 Дж/(кг·°С) забезпечило отримання генераторного газу з вищою теплотворною здатністю 11,4 МДж/м³. Проведені дослідження

свідчать про доцільність енергетичного перетворення біомаси шляхом гібридної фільтраційної газифікації.

Список літератури

1. Підручник дослідника: навч. посіб. для студ. агротех. спец. / О. Васильковський, С. Лещенко, К. Васильковська, Д. Петренко. Кіровоград, 2016. 204 с.

УДК 620.92

Жабський Д. О., дійсний член Малої академії наук Білоцерківського Центру науково-технічної творчості учнівської молоді.

Науковий керівник: **Єрмоленко В.О.**, кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, керівник гуртка «Науково-технічні та експериментальні дослідження», Центру науково-технічної творчості Білоцерківської міської ради Київської області.

ДОСЛІДЖЕННЯ БІОТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ В АГРОБІОТЕХНОЛОГІЯХ

В Україні щорічно в результаті життєдіяльності усіх видів тварин утворюється понад 1,5 млрд/м³ органічних відходів, розрахунковий енергетичний потенціал яких складає 330x10⁶ ГДж, що еквівалентно 10-12 млн тон умовного палива. Раціональне використання біомаси в поєднанні з біоконверсійними технологіями: утилізація гною і органічних відходів дає можливість одержати додаткові прибутки за рахунок підвищення урожайності сільськогосподарських культур, особливо технічних, одержання біопалива у вигляді біогазу, а також запобігання збитків від екологічних порушень в навколишньому середовищі. Розроблені реактори (ферментери) з різними принципами змішування біомаси, кращою ізоляцією, конструктивними ознаками, що сприяють ефективному розпаду біомаси і зниженню споживаної енергії, хоча й виконують свої функції, але не достатньо ефективні для широкого їх впровадження в сільськогосподарське виробництво. Отже, науково-практичні пошуки ефективних технологій, зокрема біоконверсії органічних відходів, та забезпечення їх засобами механізації на сьогоднішній час є актуальними.

Ключові слова: твердофазна ферментація, біоконверсія, гомогенізація, ферментер, анаеробне збродження, органічна маса.

Актуальність досліджень. На сучасному етапі розвитку агропромислового комплексу все більшої популярності набирають біогазові установки, які одночасно вирішують низку екологічних, соціально-економічних і енергетичних завдань. Розроблені реактори з різними принципами змішування біомаси, кращою ізоляцією, конструктивними особливостями, що сприяють ефективному розпаду біомаси і зниженню споживаної енергії, хоча й виконують свої функції, але не достатньо ефективні для широкого їх впровадження в сільськогосподарське виробництво. Отже, науково-практичні пошуки ефективних технологій, зокрема біоконверсії органічної маси та забезпечення їх ефективним обладнанням, зокрема біореактором, на сьогоднішній день є актуальним питанням.

Мета і завдання досліджень. Метою роботи є удосконалення біогазової установки для твердофазної ферментації. Для досягнення поставленої мети були визначені наступні завдання:

- провести аналіз існуючих типів біогазових установок;
- визначити методику оцінки роботи біогазових установок;
- удосконалити біореактор для твердофазної ферментації органічної маси;
- провести експериментальні дослідження роботи модернізованої експериментальної установки та визначити її ефективність.

Об'єкт досліджень. Біогазові установки та технології їх використання.

Предмет досліджень. Основні параметри твердофазної ферментації органічної маси.

Методи досліджень. Теоретичні дослідження проводились на основі загальноприйнятих методик випробування біогазових установок.

Наукова новизна і практичне застосування. У результаті аналітико-експериментальних досліджень буде розроблена конструкторська документація біореактора нового покоління, який забезпечить твердофазну ферментацію органічної маси. Ефективність його роботи на порядок вища від рідкофазної ферментації.

В останні роки в аграрному секторі економіки - як у нас в країні, так і за її межами - досить чітко простежується економічна та екологічна концепція доцільності створення біотехнічних систем. У зв'язку з цим, на думку науковців і практиків, головними положеннями розвитку цих систем є:

- стабілізація рівня використання додаткової енергії на виробництво сільськогосподарської продукції в межах 15-20 МДж/га;
- підвищення коефіцієнта енергетичної ефективності продукції тваринництва з 0,032 до 0,062 (Дж/кг сухої речовини);
- високий ступінь збалансованості кругообігу речовин та енергії за типом природних екосистем;
- максимальне виробництво продукції за умови обмежень енергомісткості, збереження родючості ґрунтів та допустимого рівня екологічної безпеки.

Завдяки цьому формуються агробіотехнічні системи (АБТС) - виробничо-технологічні системи нового типу, що об'єднують агробіоценози як засоби сільськогосподарського виробництва (рослини, тварини, птиця, мікроорганізми, промислові приміщення, машини і обладнання нового покоління) і керуються людиною.

Для дослідження у виробничих умовах ферментації органічної маси за різними технологічними параметрами була розроблена експериментальна установка твердофазного ферментера.

Установка для експериментальних досліджень представляє собою циліндричний корпус, об'єм, якого становить ($v=5\text{м.куб.}$), механізм завантаження органічної маси, який складається з заслінки, бункера та трубопровода. Крім того в верхній частині установки розміщена ємність закритого типу (інкубатор для концентрації мікро організмів анаеробного типу), з розподільником рідкої маси анаеробів. В нижній частині установки розміщений механізм для вивантаження збродженої маси.

Робота установки (технологічний процес) проходить наступним чином. Органічна маса з бункера порційно подається в циліндричну установку (ферментер), через трубопровід одночасно із інкубатора подається рідка фракція анаеробів високонцентрованих.

Змішана органічна маса з анаеробами пошарово розміщується в корпусі ферментера, яка завантажується порційно за добу 5-7 раз. Таким чином змішана органічна маса при певних умовах проходить інтенсивну ферментацію її зброджування, при цьому виділяється біогаз в газгольдер, який в подальшому використовується для виробничих потреб, а зброджена органічна маса, як біологічно активне добриво застосовується в рослинництві в агросекторі для збільшення гумусу в ґрунті, що виливає на підвищення урожайності сільськогосподарських культур.

Для порівняльної характеристики роботи біогазових установок провели експериментальні дослідження на запропонованій установці (рис 3.1) в режимі твердофазної ферментації з розрахунком коефіцієнта енергетичної оцінки. Результати експериментальних досліджень приведені в таблиці 1

Таблиця 1 - Результати експериментальних досліджень.

№ з/п	Об'єм експериментальної установки в дм куб.	Вологість органічної маси, %	Добова маса завантаження в установку, кг	Температура ферментації органічної маси, °С	Термін обертання органічної маси в ферментері, діб	Вихід біомаси з одного кг абсолютно сухої органічної речовини, м. куб. на кг АСор	Маса завантаження органічної маси в установку, кг АСор за добу	Вихід біогазу за добу, дм. куб. за добу
1	5,5	87,0	1,0	40,0	5,0	0,032	0,2	6,4
2	5,5	82,0	1,0	40,0	5,0	0,047	0,2	9,4
3	5,5		1,0	40,0	5,0	0,098	0,2	19,6

Для визначення виходу біогазу з експериментальної установки, застосувавши одночасне насичення органічної маси, яка подається в установку, висококонцентрованою рідиною анаеробних мікроорганізмів використаємо відповідну залежність за якою визначатимемо вихід біогазу за добу при різних долях абсолютно сухої органічної речовини (АСор), яка виражається слідуною формулою:

$$V=M \times D \times K_{op} \times m_{асор} \times n,$$

де M - маса органічної речовини, яка завантажується в установку, кг;

D - доля абсолютно сухої речовини, %;

K_{op} - доля абсолютно сухої органічної речовини, %;

$m_{асор}$ - маса абсолютно сухої органічної речовини, кг;
 n - доля завантаження органічною масою за добу, кг;
 V - вихід біогазу за добу, дм³

Висновок.

Проаналізувавши результати експериментальних досліджень проведених в реальних виробничих умовах можна зробити висновок, що при твердофазній ферментації органічної маси із застосуванням інкубатора анаеробних мікроорганізмів вихід біогазу збільшується в порівнянні з технологією рідкофазної ферментації в (2,1-3,1) рази ,що суттєво приведе до скорочення матеріально-технічних затрат при запровадженні цієї технології.

Таким чином науковцям і практикам необхідно направити свій пошук, як над удосконаленням мікробіологічних процесів ферментації біомаси так і на ефективні конструктивно-технологічні аспекти в розробці ферментерів і особливу увагу при цьому звернути на такі технологічні операції як стабільне завантаження біомаси її безперервне перемішування і дотримання стабільного температурного режиму роботи ферментера.

Провівши експериментальні дослідження біоконверсійної ферментації органічної маси прийшли до висновку, що найбільш ефективна біотехнічна система полягає в твердофазній ферментації з використанням інкубатора анаеробних мікроорганізмів це дає можливість на 30-40 % підвищити продуктивність біогазових установок.

Список літератури

1. Концепція розвитку біоенергетики в Україні / Ін-т технічної теплофізики НАН України, НТЦ “Біомаса”, ТО “Енергія майбутнього століття”. – К., 2001.- 14 с.
2. Заїка П.М. Теорія сільськогосподарських машин. Т. 1 (ч.3). Машини для приготування і внесення добрив.- Харків: Око. 2002.- 352 с.
3. Дозорець М.П. Основи теплотехніки і теплопостачання тваринницьких ферм.- К.: Вища школа, 1973. – 256 с.
4. КНД 46.16.02.11-95. Техніка сільськогосподарська. Випробування. Методи визначення біоенергетичної ефективності машин для рослинництва. Введ. 01.04.96.- Дослідницьке: УкрНДПТВТ, 1995.-24с.
5. Медведовський О.К., Іваненко І.П. Енергетичний аналіз інтенсивних технологій в сільськогосподарському виробництві.-К.: Урожай,1988.- 208 с.

УДК 662.76

Мельнічук Д.О., дійсний член Малої академії наук Білоцерківського Центру науково-технічної творчості учнівської молоді.

Науковий керівник: **Єрмоленко В.О.**, кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, керівник гуртка «Науково-технічні та експериментальні дослідження», Центру науково-технічної творчості Білоцерківської міської ради Київської області.

РОЗРОБКА МЕТОДИКИ БІОЕНЕРГЕТИЧНОЇ ОЦІНКИ БІОГАЗОВИХ УСТАНОВОК

Актуальність досліджень.

Науково-технічний прогрес в біоенергетичній сфері являє собою процес безперервного удосконалення і послідовного освоєння якісно-нових технічних засобів і обладнання, енергетичних ресурсів, безвідходних ресурсозберігаючих технологій та прогресивних форм організацій виробництва і праці. Його головним результатом є пошук, в першу чергу, новітніх мікробіологічних та біотехнологічних процесів, а також удосконалення і модернізація технічних засобів і обладнання.

В умовах постійного зростання енергетичного дефіциту виникає гостра необхідність розробки і використання нових методів системної оцінки біоконверсних технологій, які вирішують триєдину задачу, а саме: екологічну, енергетичну та економічну.

На їх основі науково-дослідні і проєктні організації та конструкторські бюро зможуть розробляти практичні методики вибору конкретних напрямків раціонального використання біоконверсних, біотехнологічних та біоенергетичних технологій переробки продукції агропромислового комплексу (АПК).

Мета дослідження: розробити методику оцінювання роботи біогазових установок.

Завдання: провести аналітичний аналіз роботи біогазових установок, а також методів і методик їх техніко-економічного оцінювання. Визначити критерії оцінки роботи біогазових установок.

Об'єкт досліджень.

Біогазові установки. Техніко-економічна характеристика біогазових установок. Методи оцінювання роботи біогазових установок.

Результати досліджень: на основі аналітико-економічних досліджень буде розроблена методика оцінювання біогазових установок і визначений коефіцієнт їх біоенергетичної ефективності та розроблено програмне забезпечення оцінювання ефективності використання біогазових установок, як в побуті так і у виробничій сфері.

Для порівняльної характеристики біоенергетичних установок та для визначення їх ефективного використання у виробничій практиці та

конструкторсько-технологічних розробках БГУ, а також для проведення техніко-економічних розрахунків рекомендується використовувати запропоновану методику, за якою визначається коефіцієнт енергетичної ефективності БГУ.

В табл. 1 наведена техніко-економічна характеристика біоенергетичних установок відповідно до результатів їх випробувань у виробничих умовах за запропонованою, вище згадану, методикою визначення коефіцієнта біоенергетичної ефективності БГУ (k_{ef}).

Таблиця 1 - Техніко-економічна характеристика газових установок (БГУ) за результатами випробувань

№ п/п	Назва біоенергетичних установок	Показники									
		V, м ³ /доб	V _к , м ³	N, кВт·год·доб ⁻¹	у, т·доб	W, %	T _{збр} , °C	n, діб	п, %	ρ м ³ /кг АСОР	K _{ef}
1	КОБОС-1 Україна (гній ВРХ)	150	100	42,0	12,5	94,7	42	8	12,5	0,28	0,33
2	БГУ "Золотоноша" Україна (св. гній)	165	120	10,2	16,5	93,7	42	7	13,7	0,21	0,33
3	БГУ "Огри" Латвія (св.гній)	256	120	37,5	20,0	93,6	54	6	16,0	0,26	0,43
4	Біогаз-301 Україна(св. гній)	350	240	151,1	30,9	96,0	41	8	12,8	0,35	0,76
5	БГУ «Терезіне» Україна(св.гній)	1400	120	250,7	60,0	92,0	40	25	4,0	0,32	0,78

Показники: V- добовий вихід біогазу в період експлуатації БГУ, м³/доб; у - доза завантаження біореактора, т/доб; W - вологість біомаси, %; T_{зб} - температура зародження, °C; n - час обертання біомаси, добу; п - доля завантаження біомаси в реактор, %; ρ - вихід біогазу з абсолютно сухої органічної речовини (АСОР) м³/кг*АСОР; V_к- корисний об'єкт реактора, м³.

Біоенергетичну ефективність відображає біоенергетичний коефіцієнт k_{ef} , який кількісно дорівнює відношенню енерговмісту продукції до затрат сукупної енергії, виражаємо такою залежністю:

$$k_{ef} = 1 - \left[\frac{E_{max} - (E_{\phi} - E_{зг})}{E_{max}} \right] \quad (1)$$

Зрештою, метод запропонованої біоенергетичної оцінки технологічних процесів біоконверсії гною та різних органічних відходів зводиться до визначення біоенергетичних коефіцієнтів. Технологія, що дає найбільший

енерговміст продукції, при найменших питомих затратах сукупної енергії, є енергоощадною і має перевагу.

При підрахунку коефіцієнта біоенергетичної ефективності виробництва продукції (основної і побічної частин) може виявитись, що при модернізації технології або прив'язці її до конкретних умов даний коефіцієнт буде збільшуватись не лише за рахунок покращення якості добрив (наприклад, підвищення вмісту діючої речовини), але й завдяки підвищенню вмісту білків, жирів, вуглеводів. За рахунок більшої енергоємності жиру (1г жиру містить 39,0 кДж енергії, а протеїну чи вуглеводів-тільки 17,2 кДж) загальний енерговміст продукції буде зростати, що дасть викривлену біоенергетичну оцінку пропонованої технології. Тому й необхідно проводити більш детальний розгляд і аналіз складових частин продукції біоконверсного комплексу.

У (табл. 2) проведено розрахунки грошово-фінансових витрат на виробництво 1 м³ газу, який продукується біогазовими установками.

Таблиця - Фінансово-енергетична оцінка біогазових установок

№ п / п	Назва біоенергетичних установок	Показники					
		V_k м ³	$V_n = (E_{\phi} - E_{зам})$ м ³ /доб	$V_{T,p}$ м ³ /рік	C_1 тис.дол	C_2 тис.дол/ рік	C дол/м ³
1	КОБОС-1 Україна (гній ВРХ)	100	79,0	28835,0	100,0	4,0	0,13
2	БГУ «Золотоноша» Україна (св. гній)	120	61,0	22265	120,0	4,8	0,21
3	БГУ «Огри» Латвія (св. гній)	120	39,0	13140,0	120,0	4,8	0,36
4	БГУ «Пярну» Естонія (св. гній)	5200	4316,0	1575340,0	5200,0	208,0	0,13
5	Біогаз-30 І Україна (св. гній)	240	145,0	52925,0	240,0	9,6	0,18
6	БГУ «Терезіне» Україна (гній ВРХ)	1200	1202,0	424130	1200,0	48,0	0,11

Показник: V_k - корисний об'єм реактора, m^3 $V_{тв}$ - товарний вихід біогазу за добу, m^3 /доб; $V_{т.р}$ - товарний вихід біогазу за рік, m^3 /рік; C_1 - вартість біоенергетичної установки, тис. дол; C_2 - повернення кредиту за БГУ в рік, тис.дол/рік; C - мінімальна ціна з $1m^3$ біогазу при якому буде повернений кредит за БГУ, дол./ m^3 .

Висновки

В результаті аналітичних та експериментальних досліджень прийшли до висновку: щоб визначити коефіцієнт ефективності БГУ, зокрема. виробництва біоенергії (біогазу) тією чи іншою установкою, необхідно визначити основні техніко-технологічні показники установок, що характеризують їх технічний і технологічний рівень.

Таким чином, методика біоенергетичної оцінки біоконверсних технологічних процесів дозволяє виявити їх найбільш енергоємні елементи, їх конкурентоспроможність, а також визначити напрямки підвищення біоенергетичного коефіцієнта, тобто, зростання біоенергетичної ефективності виробництва на перспективу.

Для порівняльної оцінки біоконверсійних технологій поряд з визначенням затрат живої праці, пального, енергоємності засобів механізації, необхідно врахувати затрати енергії на видалення гною, його накопичення, попередню підготовку для ферментації та енергоємність виробничих приміщень, споруд для його зберігання, а також біоенергетичні параметри.

Були виконані такі завдання: проведений аналіз методів і методик оцінювання роботи біогазових установок; визначені критерії оцінювання роботи біогазових установок з економічної точки зору.

Для порівняльної характеристики біоконверсійних установок і для визначення їх ефективного використання у виробничій практиці та при конструкторсько-технологічній розробці нових біогазових установок, а також для визначення техніко-економічних розрахунків, рекомендується використовувати запропонований коефіцієнт ефективності БГУ (k_{ef}).

Зрештою, метод запропонованої біоенергетичної оцінки технологічних процесів біоконверсії гною та різних органічних відходів зводиться до визначення біоенергетичних коефіцієнтів. Технологія, що дає найбільший енерговміст продукції при найменших питомих витратах сукупної енергії, є енергоощадною і має перевагу.

Фінансово-енергетична оцінка біогазових установок (табл. 3.2) показує, що мінімальні витрати на виробництво $1 m^3$ біогазу одержані на біогазовій установці «Терезине» Україна, становлять $0,11$ дол/ m^3 .

За допомогою залежності визначення коефіцієнта енергетичної ефективності БГУ була розроблена програма. Користувач дізнається коефіцієнт корисної дії біогазової установки у відсотках, тільки знаючи: $V\phi$ - кількість біогазу виробленого установкою за добу, m^3 /доб; N - витрати електроенергії при експлуатації БГУ, кВт/год; y - доза завантаження біореактора, т/доб; Vbr - об'єм

реактора, м³; тип установки – термофільний або мезофільний, в залежності від температури під час якої відбувається ферментація.

Список літератури

1. В. Дубровін., М. Корчемний. Біопалива технології, машини і обладнання-К:, “Енергетика та електрифікація” 2004р. – 255с.
2. В. Дубровін, М.Корчемний, І. Масло. Біопалива технології, машини і обладнання – Київ 2004р. – 123-187с.
3. В.О. Дубровін., Ю.Ф. Мельник. Біоенергія в Україні-К: “Аграрна наука” 2009р. – 109с.
4. В.О. Єрмоленко, Л.О.Рудик, О.В. Єрмоленко. Біологічно активні добрива. Технологія виробництва – К: Черкаси УДЖУ 2013р. – 153с.
5. В.О. Єрмоленко. Біоконверсійні процеси і технології – Ч: Вертикаль 2018р. 403с.
6. В.А. Ясинецький, В.О. Єрмоленко, А.Д. Гарьковий. Зниження енергозатрат у тваринництві і кормовиробництві – К: “Урожай” 1989р. – 125с.
7. Гарькавий А.Д., Єрмоленко В.О., Ясенецький В.А. Зниження енергозатрат у тваринництві і кормо виробництві – К:,1898.-с.96-104
8. Г.М. Калетник. Розвиток ринку біопалив в Україні-К: “Аграрна наука” 2008р. – 460с.
9. Журнал: Сільськогосподарські машини. Л.О Рудик, УкрНДПВТ ім. Л. Погорілого, В.О. Єрмоленко к.т.н. ННЦ «ІМЕСГ»
10. Погорельый Л.В.. Луценко М.М. Биотехнические системы в животноводстве- К.: “Урожай”, 1992р. – 344с
11. Я.Б. Блюм., Г.Г. Гелетуша. Біологічні ресурси і технології виробництва біопалив-К: ТОВ “АГРАР МЕДІА ГРУП” 2012р. – 403с.

УДК 662.767.2

Кулібаба Н.І., асистент

Національний університет біоресурсів і природокористування України

Голубенко А.А., асистент

Поліський національний університет

СУЧАСНІ ТЕНДЕНЦІЇ РОБОТИ ДИЗЕЛЬНИХ ДВИГУНІВ НА СУМІШАХ ДИЗЕЛЬНОГО ТА БІОДИЗЕЛЬНОГО ПАЛИВА

Анотація. Виконано аналіз літературних досліджень щодо сучасних тенденцій роботи дизельних двигунів на сумішах дизельного та біодизельного палива. Представлено основні недоліки та переваги роботи двигунів транспортних засобів на біодизелі.

Ключові слова: біодизель, живлення двигуна внутрішнього згорання, перетерифікація.

Гостра потреба в заміні традиційних джерел енергії альтернативними була спричинена скороченням викопних видів палива через різке зростання їх вартості та можливих негативних екологічних наслідків. Посилене забруднення повітряного басейну та прискорене глобальне потепління – лише деякі з негативних наслідків, спричинені викидом в атмосферу вуглекислого газу в результаті спалювання викопних видів палива. Також, збільшення кількості енергії, що споживається, спричинене стрімким ростом населення планети та зміною людського стилю життя і вподобань.

За [1] важливою складовою, яка живить енергією більшу частину технологічних процесів світового сільського господарства, промисловості, транспорту та інших галузей є двигун внутрішнього згорання (ДВЗ). На відміну від бензинових, дизельні двигуни знайшли ширше застосування через вищий коефіцієнт корисної дії (ККД). Поклади нафти, вугілля та газу при існуючому рівні їх споживання закінчаться відповідно через 35, 107 і 35 років. Запасів вугілля вистачить до 2042 року [2].

Значна частина світових запасів нафти та природного газу (близько 62 %) зосереджена на Близньому Сході, тобто на невеликій за площею території. Світове споживання викопних видів палива в 2012 році збільшилося на 44 % порівняно з 2011 роком, а їх загальне споживання становило 0,5 млн. барелів вартістю приблизно 112 долар/барель. За [2] до 2023 року світові запаси палива не зможуть задовольнити навіть половини енергетичних потреб людства. Через подібні властивості з дизелем широкого використання в якості палива до ДВЗ набуває біодизель. Він також має і інші переваги, такі як: високу температуру спалаху, здатність до біологічного розкладання, відсутність токсичних компонентів, здатність до відновлення. Використання біодизелю сприяє зменшенню викидів парникових газів, а також низький рівень забруднення навколишнього середовища (СО, складні вуглеводні) тощо.

Проте, використання біодизеля в дизельних двигунах має деякі недоліки: виникає засмічення форсунок через високу в'язкість біодизеля, що призводить до поганого розпилення палива та його неповного згорання; висока ступінь утворення оксидів азоту, які призводять до руйнування стінок циліндрів; наявність на стінках циліндрів відкладень недопаленого вуглецю, а на інших деталях двигуна – сконденсованої смоли. Зазначені проблеми усуваються застосуванням перетерифікації тригліцеридів жирних кислот спиртами. Також дані проблеми можна усунути шляхом попереднього нагрівання палива, застосуванням процесу мікроемульгування рослинної олії та додаванням до біопалива звичайного дизельного палива.

Науковці в роботі [3] використовували гранецентровану центральну композитну конструкцію для отримання максимального виходу біодизеля шляхом ретельної переетерифікації. Шляхом проведення 29 оригінальних експериментів, з врахуванням максимальної кількості змінних робочих параметрів, було отримано позитивні результати. В дослідженнях порівнювалися властивості стандартного дизельного палива та біодизеля,

виробленого з насіння льону. Автори праці прийшли висновку, що суттєвої різниці між вказаними видами палива не має.

В роботі [4] в якості палива до ДВЗ автор використав метиловий ефір ліноленової кислоти насіння льону. Робота двигуна протікала при сталій швидкості, проте змінювався тиск впорскування. Визначалися параметри відпрацьованих газів ДВЗ. Встановлено, що при тиску впорскування 240 бар відпрацьовані гази ДВЗ мали менший вміст СО, а також мала місце менша затримка спалаху. Значення теплового ККД двигуна на біодизелі і дизельному паливі майже не відрізнялося. Автори прийшли висновку, що сира олія насіння льону не придатна як до виробництва на її основі біодизеля, так і до його використання в ДВЗ, оскільки характеризується високою летючістю і в'язкістю.

В усіх роботах [1-4] зазначено, що використання біодизелю порівняно з дизелем має ряд суттєвих переваг як з економічної, так і з екологічної точки зору. Проте існують завади більш широкому використанню біодизелю, які, переважно, пов'язані з складністю адаптації сучасних конструкцій ДВЗ до фізико-хімічних властивостей даних палив. Тому існує гостра потреба в дослідженнях фізико-хімічних властивостей як біодизелю з різних олійних культур, так і паливних сумішей на основі дизелю з додаванням відповідних відсотків біодизелю, води та різних присадок.

Висновок. Оскільки в відомих дослідженнях мало висвітлено фізико-хімічні властивості біодизеля, виробленого з олії соняшника, сої, ріпака (рослинних культур, які вирощуються на території України), а також умови роботи та склад відпрацьованих газів дизельних двигунів на даних видах палива, доцільним було б такі дослідження провести.

Список літератури

1. Janakiraman, S., Lakshmanan, T., & Raghu, P. (2021). Experimental investigative analysis of ternary (diesel + biodiesel + bio-ethanol) fuel blended with metal-doped titanium oxide nanoadditives tested on a diesel engine. *Energy*, 235.
2. Vergel-Ortega, M., Valencia-Ochoa, G., & Duarte-Forero, J. (2021). Experimental study of emissions in single-cylinder diesel engine operating with diesel-biodiesel blends of palm oil-sunflower oil and ethanol. *Case Studies in Thermal Engineering*, 26, 101190.
3. Аксая, М., Yilmaz, I. T., & Feyzioglu, A. (2021). The influence of hydrogen addition on the combustion characteristics of a common-rail CI engine fueled with waste cooking oil biodiesel/diesel blends. *Fuel Processing Technology*, 223, 106999.
4. Sukumar Puhan, R. Jegan, K. Balasubramanian, G. Nagarajan.(2009). Effect of injection pressure on performance, emission and combustion characteristics of high linolenic linseed oil methyl ester in a DI diesel engine, *Renew. Energy* 34 (5), 1227–1233.

УДК 662.76:662.71:661.183.2

Клюс В.П., кандидат технічних наук, доцент

Омаров І.С., аспірант

Інститут відновлюваної енергетики НАН України

Цивенкова Н.М., кандидат технічних наук, доцент

Національний університет біоресурсів і природокористування України

ГАЗИФІКАЦІЯ СОЛОМИ В ПРОТИПОТОКОВОМУ ГАЗОГЕНЕРАТОРІ

Анотація. Досліджено ступінь засмічення генераторного газу, виробленого з соломи зернових в протипотоковому газогенераторі, за вмістом механічних домішок.

Ключові слова: газогенератор, газифікація, механічні домішки.

Метою роботи було дослідити можливість виробляти генераторний газ з соломи пшениці з високим вмістом калію та кремнезему в двоступеневому газогенераторі потужністю 100 кВт [1, рис. 1] уникнувши явищ золо-шлакової агломерації та спікання залишків золи. Також перевірити ступінь засміченості газу механічними домішками для подальшого вибору системи його очищення. Генераторний газ призначався для децентралізованого тепло- та електропостачання. Для підтримання високої реакційної здатності палива та уникнення явища золо-шлакової агломерації солону змішували із добавкою із вмістом оксиду кремнію. Вчені з НУБіП та ІВЕ НАН України упродовж 10 років досліджували властивості золи під час газифікації та прямого спалювання соломи пшениці [2]. Для поточних досліджень обрано солону пшениці сорту «Богдана», зола якої після газифікації складалася з (% до маси золи): SiO_2 – 53; NaO – 0,4; ZnO – 0,02; SrO – 0,03; TiO – 0,06; MnO – 0,07; BaO – 0,08; F – 0,021; Al_2O_3 – 0,6; Fe_2O_3 – 0,7; Na_2O – 0,4; MgO – 2,1; P_2O_5 – 4,5; SO_3 – 4,2; Cl – 6,5; CaO – 6,5; K_2O – 20,6.

З метою запобігання золо-шлаковій агломерації слід уникати реакцій кремнію та калію, які призводять до утворення силікату калію та силікату калій-кальцію з температурами плавлення нижчими за 720°C . Додавання до соломи з низьким вмістом кремнезему незначної кількості оксиду кальцію сприяє меншому спіканню її золи через здатність кремнію, вступаючи в реакції з надлишком кальцію, утворювати бінарні силікатні сполуки кальцію (Ca_3SiO_5 , Ca_2SiO_4) з температурою плавлення понад 850°C . Досліджувана солома мала зольність 8,5%, вміст кремнію – 55 % до маси SiO_2 і калію – 20,6% до маси K_2O . Для синтезу фосфатів калій-кальцію було використано суміш на основі калій-фосфорних добавок.

З метою дослідження ефективності додавання до соломи добавки проти спікання було виготовлено дослідну партію (0,6 тон) пелет з вагою однієї пелети п'ять грамів. Пелети газифікували упродовж 15 хвилин в газогенераторі потужністю 100 кВт, який було виведено на стабільний режим роботи. Двоступеневий газогенератор містив шлюзовий бункер для завантаження палива, шнек для безперебійного видалення золи, камеру піролізу,

протипотоковий газифікатор з суцільним шаром. Ступінь спікання визначали за допомогою оптичного мікроскопа. Дослідження проводилися при температурі навколишнього середовища 20° та вологості 40%. Розроблена добавка проти спікання золи підтвердила високу ефективність навіть під час газифікації соломи при температурі понад 1100°. Проте додавання значної кількості добавки зменшувало реакційну здатність соломи в 2,5 рази і більше. Відповідно до матеріального балансу газогенераторного процесу вміст компонентів був наступний: солома (без вологи та золи) – 20 кг/год; водяна пара (волога палива + додана пара на процес газифікації) – 20 кг/год; повітря – 36 кг/год.

Під час досліджень було забезпечено постійну швидкість подачі палива синхронізовану із швидкістю видалення золи. Температури в камері піролізу (550°C) та в газифікаторі (1000–1100°C) постійно контролювалися та упродовж досліджень не змінювалися. Перепад тисків над шаром обвугленого палива та під колосниковою решіткою становив 300 мм вод. стовпчика.

Ступінь конверсії соломи (робоче паливо → горючий газ) упродовж дослідження постійно зростала з 78% за масою і досягла свого максимального значення 96% за масою наприкінці дослідження.

Ступінь засмічення генераторного газу з температурою 600°C визначали наступним чином: 1) пропускали газовий потік через кварцовий фільтр з температурою 450–550°C; 2) пропускали газовий потік через кварцовий фільтр з температурою 150–200°C; 3) розмір механічних частинок, присутніх у газі, визначали шляхом використання п'ятиступеневого каскадного імпактора. При цьому генераторний газ охолоджували до температури 60°C.

У першому випадку механічні частинки були близько 960 мг/нм³, мали біле або світло-сіре забарвлення, переважна частина яких (≈85%) – це солі розчинні у воді, а решта – органічні речовини.

У другому випадку результати були подібними до першого, проте кількість механічних частинок переважно становила 1 – 1,3 г/нм³ (без врахування солей). Якщо врахувати ці солі, то сумарна кількість механічних частинок в газі сягала 3,2 г/нм³. Зробити розподіл механічних частинок, вилучених з імпактора, за розміром не було можливості, оскільки всередині імпактора мало місце явище конденсації води, отже більша частина солей розчинилася.

Механічні домішки містили Cl, K, P та Si. Основним компонентом був хлор, калій – становив решту. Отже, якщо говорити про хлориди, то KCl становив основну частину механічних включень, хоча Cl у чистому вигляді також був присутній. Також у виробленому газі присутні аміак і HCl, отже під час охолодження газу матиме місце утворення NH₄Cl, що було підтверджено аналізом зразків солей.

Висновок. Солома пшениці може бути газифікована в двоступеневому газогенераторі без спікання золи, з високим ступенем конверсії вуглецю в горючі компоненти газу та з низьким вмістом механічних домішок 3,2 г/нм³.

Список літератури

1. G Golub et al. Determining the effect of the structural and technological parameters of a gas blower unit on the air flow distribution in a gas generator. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, Vol. 4, №8 (118), 2022, pp. 29–43.
2. G Golub et al. Experimental study into the influence of straw content in fuel on parameters of generator gas. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, Vol. 5, №8 (95), 2018, pp. 76–86.
3. Pavlenko M., Chuba V., Tsyvenkova N., Tereshchuk M. An experimental study on biomass air-steam gasification effectiveness in a downdraft gasifier. Proceedings of the 19th International Scientific Conference Rural Development, 2020, pp. 1831–1839.

УДК 620.97

Калініченко З. Д. к. е. н., доцент

Запорізький національний університет

РОЗВИТОК ВІДНОВЛЮВАНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ В УКРАЇНІ ТА НАСЛІДКИ ДЛЯ РАЦІОНАЛЬНОГО ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ

Анотація. Необхідність зменшення залежності світової енергетики від викопних джерел енергії, наявність потенціалу для впровадження відновлювальних джерел енергії та зменшення негативного впливу на навколишнє середовище вимагають подальших досліджень щодо розвитку відновлюваної енергетики у світі та Україні. Чинники, пов'язані з війною, мають дати поштовх до стрімкого розширення зеленої енергетики в Україні, де близько 40% територій придатні до генерування енергії з вітру.

Ключові слова: відновлювальні джерела енергії, зелена енергетика, раціональне природокористування, сталий розвиток

Переорієнтація вектора енергетичної політики в більшості країн світу сприяла зростанню обсягів інвестицій у будівництво СЕС, ВЕС та електростанцій, що працюють на біопаливі. Сектор відновлюваної енергетики почав стрімко розвиватися. Розвиток відновлювальних джерел енергії отримав підтримку від низки міжнародних фінансових організацій: ЄІБ, ЄБРР та СБ, які відкрили кредитні лінії для приватних банків із метою фінансування проектів у сфері вітроенергетики та сонячної енергетики. Проте сьогодні світові інвестиції в енергетичні потужності, що працюють на ВДЕ, залишаються значно меншими від обсягів, необхідних для переходу на сталий розвиток.

На початок 2022 року загальна потужність об'єктів зеленої енергетики в Україні сягнула позначки 9 656 МВт. Але вже восени були вимушено виведені з експлуатації майже всі вітрові електростанції та близько половини сонячних. Через що частка відновлюваних джерел в енергобалансі впала більш ніж удвічі.

Зелена енергетика до повномасштабної війни становила понад 13%. Україна у 2019 році опинилася в першій десятці країн за темпами розвитку

зеленої енергетики. 2020-го – в першій п'ятірці країн Європи за темпами розвитку сонячної енергетики[1].

Чинники, пов'язані з війною, мають дати поштовх до стрімкого розширення зеленої енергетики в Україні, де близько 40% територій придатні до генерування енергії з вітру. В середньостроковій перспективі можна розвинути потужності в близько 5 тис. МВт вітрової енергії, тобто 20-30% всього споживання електроенергії в країні.

Зараз через війну в роботі залишаються близько 20% вітрових потужностей із загальних 1 673 МВт переважно на Львівщині й Одещині.

Наприкінці травня цього року компанія ДТЕК запустила в роботу нову вітроелектростанцію на Миколаївщині – це перша в світі вітрова електростанція, що будується під час війни. Перша черга Тилігульської ВЕС розташована лише за 100 км від окупованої території в Миколаївській області. Вона вже генерує зелену електроенергію: 19 турбін станції мають встановлену потужність 114 МВт та виробляють до 390 тис. кВт-год. Цього достатньо для забезпечення електрикою 200 тис. домогосподарств на рік[2].

Україна, зокрема, є тією країною, яка протягом років незалежності, намагається вижити в умовах постійного енергетичного шантажу і тиску з боку російської федерації. Вже довгий час, наявність тепла і електроенергії в українського споживача залежить від рішення кремля і привабливості української внутрішньої і зовнішньої політики для російської влади. То й же паливний інструмент, росія використовує зараз і для здійснення впливу на європейські країни, які надають масштабну гуманітарну та військову підтримку Україні у війні. Натомість, використовуючи відновлювані джерела енергії, країнам не потрібно буде боротись за них, адже вони є місцевими енергоресурсами, доступними для всіх.

Відновлювані джерела енергії гарантують безпеку та здоров'я суспільства. Чорнобильська катастрофа показала, наскільки атомна енергетика є небезпечною для існування людства.

Масштабне нарощення нових чи продовження терміну експлуатації старих атомних потужностей, яке декларується на рівні органів державної влади і закріплене у Плані відновлення України, викликає значне занепокоєння, адже це посилить вразливість України до подібного роду «ядерного тероризму» і збереже залежність нашої держави від імпорту ядерного палива з інших держав.

Вітрова енергетика робить суспільство незалежним не лише в питанні електроенергії, але й в питанні декарбонізації інших вуглецеємних галузей економіки, включно і з транспортним сектором. Водень, вироблений за рахунок вітру та сонцю, є реальним паливом для усіх видів транспорту і інструментом незалежності країн від імпорту відповідних нафтопродуктів.

Як економічні, так і суспільні переваги розвитку відновлюваних джерел енергії є беззаперечними. Проте, жоден сектор економіки не зможе стабільно розвиватись без відповідних державних стимулів та привабливого бізнес-

клімату в державі. За сьогоднішніх умов, перед Урядом України стоїть єдине завдання — зберегти тих національних та міжнародних інвесторів в відновлювальні джерела енергії, які вже інвестували в економіку України і забезпечити умови для їх подальшої бізнес-діяльності в післявоєнний період.

Відновлювана енергетика сьогодні є одним із найбільш перспективних напрямів розвитку світової енергетичної системи. Головними проблемами на шляху до повного переходу країн на ВДЕ залишаються висока капіталомісткість проєктів, недосконалість законодавчої бази, відсутність необхідного фінансування. Тому необхідно вдосконалювати законодавство, розробляти заходи щодо поліпшення інвестиційного клімату в країнах, сприяти впровадженню ефективних інвестиційних проєктів у відновлювану енергетику.

Список літератури

1. Енергетична інфраструктура в Україні: чи помічниця їй зелена енергетика <https://finance.ua/ua/goodtoknow/energyuczna-infrastruktura-v-ukraini>
2. Щорічний Звіт УВЕА «Вітроенергетичний сектор України 2021. Огляд ринку» <https://razumkov.org.ua/statti/sekto-vidnovlyuvanoyi-energetyky-ukrayiny-do-pid-chas-ta-pislya-viyny>

УДК 662.65

Клюс В.П., кандидат технічних наук, доцент

Омаров І.С., аспірант

Інститут відновлюваної енергетики НАН України

Цивенкова Н.М., кандидат технічних наук, доцент

Національний університет біоресурсів і природокористування України

МАТЕРІАЛЬНИЙ ТА ТЕПЛОВИЙ БАЛАНС ПРОЦЕСУ ВИРОБНИЦТВА СИНТЕЗ-ГАЗУ

Анотація. Представлено методику складання матеріального та теплового балансу процесу виробництва синтез-газу з соломи зернових.

Ключові слова: синтез-газ, газифікація, тепловий та матеріальний баланс.

Вихідними даними для складання матеріально-теплового балансу є елементний склад палива та хімічний склад виробленого синтез-газу.

Питомий вихід виробленого сухого газу з 1 кг соломи пшениці визначається за балансом карбону [1]. Елементний склад 1 кг робочої маси соломи пшениці:

$$C^p + W^p + O^p + N^p + H^p + A^p = m_{\text{солома}}^p,$$

де C^p , W^p , O^p , N^p , H^p , A^p – вміст карбону, вологи, оксигену, нітрогену, гідрогену та золи в робочій масі соломи, мас. частка; $m_{\text{солома}}^p$ – робоча маса соломи еквівалентна 1 кг.

Із загальної кількості карбону (C^p), що міститься в кілограмі соломи, лише частина переходить в горючий газ:

$$C_{\text{синтез-газ}} = C^p - C_{\text{смола}} - C_c,$$

де $C_{\text{смола}}$, C_C – вміст карбону в коксовому залишку соломи, яка не прореагувала під час хімічних реакцій утворення газу, та в смолі в розрахунку на 1 кг соломи.

$$C_{\text{смоли}} = m_{\text{смоли}} \cdot q_{\text{смоли}}; \quad C_C = m_C \cdot C^C,$$

C^C – вміст карбону в коксовому залишку соломи, мас. частка; $q_{\text{смоли}}$ – вміст карбону в смолі, мас. частка;

$m_{\text{смоли}}$, m_C – маса коксового залишку і смоли, кг.

1 м³ сухого газу містить наступну кількість карбону:

$$C_{\text{синтез-газ}} = 0,536(CO_2 + CO + \sum m \cdot C_m H_n),$$

де 0,536 – відношення молекулярної маси карбону до молекулярної маси газу при 0°C і 760 мм.рт.ст.

CO_2 , CO , $C_m H_n$ – вміст двоокису карбону, окису карбону та вуглеводнів у синтез-газі.

Поділивши значення вмісту карбону в соломі, який перейшов у синтез-газ, на вміст карбону в стандартному кубометрі газу отримаємо вихід сухого синтез-газу з кілограма робочої маси соломи пшениці, м³/кг. [1]:

$$V_{\text{синтез-газ}} = 1,87(CO_2 + CO + \sum m \cdot C_m H_n)^{-1} \cdot (C^P - C_{\text{смоли}} - C_C),$$

де $V_{\text{синтез-газ}}$ – вихід сухого газу з 1 кг $m^P_{\text{солома}}$, м³/кг.

Густина сухого газу за нормальних умов залежить від його хімічного складу та визначається за формулою:

$$\rho_{\text{синтез-газ}} = 1,27 \cdot CO + 2,01 \cdot CO_2 + 0,1 \cdot H_2 + 2,72 \cdot C_4 H_{10} + \\ + 2,04 \cdot C_3 H_8 + 1,88 \cdot C_3 H_6 + 1,294 \cdot C_2 H_6 + 1,14 \cdot C_2 H_2 + \\ + 1,3 \cdot C_2 H_4 + 0,7 \cdot CH_4 + 1,26 \cdot N_2,$$

де N_2 , $C_m H_n$, CO_2 , CH_4 , H_2 , CO – вміст відповідних газів у сухому синтез-газі, об'ємні частки; відповідні коефіцієнти визначають густину цих газів при нормальних умовах процесу виробництва синтез-газу (0°C і 760 мм.рт.ст.); $\rho_{\text{синтез-газ}}$ – густина сухого газу за нормальних умов, кг/м³.

Вологовміст газу визначається за балансом гідрогену. Отже, кількість води у виробленому синтез-газі складається з гігроскопічної води соломи та пірогенетичної води, яка утворюється з гідрогену, який міститься в структурі соломи, за різницею вмісту гідрогену в смолі та газах. Вологовміст 1 м³ газу:

$$d_{\text{синтез-газ}} = \frac{(9H^P + W^P - 0,9m_{\text{смоли}} \cdot h_{\text{смоли}} - 0,804[H_2 + \sum n \cdot C_m H_n / 2])}{V_{\text{синтез-газ}}},$$

де $d_{\text{синтез-газ}}$ – вологовміст газу, кг/м³ сухого газу;

$h_{\text{смоли}}$ – вміст гідрогену в смолі, мас. частка;

0,804 – вміст води при 0°C та 760 мм рт. ст., кг/м³.

Загальний об'єм вологого газу:

$$V_{\text{синтез-газ}}^{\text{вол}} = V_{\text{синтез-газ}} \cdot (1 + 1,25 \cdot d_{\text{синтез-газ}})$$

де 1,25=22,4/18 м³/кг – питомий об'єм водяних парів.

Об'єм повітря, необхідного для газифікації кілограма соломи визначається з матеріального балансу нітрогену, який переходить з повітря у вироблений синтез-газ.

$$V_{нов} = (N_2 \cdot V_{синтез-газ} - 0,8 \cdot N^P) / 79,$$

де $V_{нов}$ – питомі витрати повітря на процес газифікації, м³/кг; N_2 – вміст нітрогену в сухому газі, %; 0,8 – питомий об'єм нітрогену, м³/кг; 79 – вміст нітрогену в повітрі, %; N^P – вміст нітрогену в соломі, %.

Складемо матеріальний та тепловий баланси.

Закон збереження маси говорить, що маса речовин, які були витрачені на виробництво синтез-газу, дорівнює масі речовин, отриманих в результаті процесу газифікації соломи. Рівняння матеріального балансу в перерахунку на кілограм робочої маси соломи:

$$m_{солома}^P + m_{пара} + m_{нов} = m_{синтез-газ} + m_{волога} + m_C + m_{смола},$$

де $m_{солома}^P$ – маса робочої частини палива з 1 кг соломи, кг;

$m_{пара}$, $m_{волога}$, $m_{смола}$ – відповідно маси пари, вологи та смоли, кг; $m_{нов}$ – маса повітря, потрібна на газифікацію 1 кг соломи ($m_{нов} = \rho_{нов} \cdot V_{нов}$), кг; $m_{синтез-газ}$ – маса сухого синтез-газу, виробленого з 1 кг соломи ($m_{синтез-газ} = V_{синтез-газ} \cdot \rho_{синтез-газ}$), кг; m_C – маса коксового залишку з 1 кг соломи ($m_C = 0,02 \cdot m_{солома}^{60л}$), кг.

Тепловий баланс можна скласти як за вищою ($Q_B^{синтез-газ}$), так і за нижчою ($Q_H^{синтез-газ}$) теплотворною здатністю виробленого газу. У нашому випадку ми складатимемо баланс за $Q_B^{синтез-газ}$.

$$Q_I + Q_{II} + Q_{III} + Q_{IV} = Q_V + Q_{VI} + Q_{VII} + Q_{VIII} + Q_{IX} + Q_X,$$

Q_I , Q_{II} , Q_{III} та Q_{IV} є прибутковою частиною балансу, а Q_V , Q_{VI} , Q_{VII} , Q_{VIII} , Q_{IX} , Q_X – витратною частиною балансу. Розрахунок кожної з частин наведено нижче.

Потенційна теплота газифікованої соломи Q_I , Дж:

$$Q_I = Q_B^{соломи} \cdot m_{соломи}^P,$$

де $Q_B^{соломи}$ – вища теплотворна здатність соломи, Дж/кг.

Фізичне тепло соломи, Дж:

$$Q_{II} = c_{соломи} \cdot m_{соломи}^P \cdot t_{соломи},$$

де $c_{соломи}$ – середня питома теплоємність соломи (від 0 до $t_{соломи}$ °C), Дж/(кг·°C); $t_{соломи}$ – температура соломи, °C.

Теплота сухого повітря, що надходить в газогенератор Q_{III} , Дж:

$$Q_{III} = t_{сум} \cdot c_{нов} \cdot m_{нов},$$

де $c_{нов}$ – середня питома теплоємність повітря (0 до $t_{сум}$ °C), Дж/(кг·°C); $t_{сум}$ – температура паро-повітряної суміші, °C.

Теплота пари Q_{IV} в пароповітряній суміші, Дж:

$$Q_{IV} = (m_{нов} \cdot d_{нов} + m_{пари}) \cdot i_{пари} \cdot X,$$

де $d_{нов}$ – вологовміст повітря, кг/кг; $i_{пари}$ – тепловміст насиченої пари при $t_{сум}$, Дж/кг; X – міра сухості пари, %.

Витратна частина балансу складається з теплотворної здатності виробленого сухого синтез-газу (Q_V), фізичної теплоти синтез-газу (Q_{VI}), теплоти водяної пари в синтез-газі (Q_{VII}), теплоти смоли, що міститься в газі (Q_{VIII}), теплоти коксоподібного залишку соломи (Q_{IX}). Решта (Q_X) – невраховані втрати теплоти, втрати тепла в навколишнє середовище та помилки спостережень.

Теплотворна здатність виробленого газу Q_V , Дж:

$$Q_V = m_{\text{синтез-газ}} \cdot Q_B^{\text{синтез-газ}},$$

де $Q_B^{\text{синтез-газ}}$ – вища теплотворна здатність сухого синтез-газу, Дж/кг.

Фізичне тепло синтез-газу Q_{VI} , Дж:

$$Q_{VI} = t_{\text{синтез-газ}} \cdot c_{\text{синтез-газ}} \cdot m_{\text{синтез-газ}},$$

де $t_{\text{синтез-газ}}$ – температура газу, °C; $c_{\text{синтез-газ}}$ – середня питома теплоємність газу (від 0 до $t_{\text{синтез-газ}}$ °C), Дж/(кг·°C).

Теплоємність газу ($c_{\text{синтез-газ}}$) визначається шляхом врахування теплоємності кожного з його компонентів, Дж/кг:

$$c_{\text{синтез-газ}} = c_{N_2} \cdot \frac{N_2^{\text{газ}}}{100} + c_{H_2} \cdot \frac{H_2^g}{100} + c_{CO} \cdot \frac{CO^{\text{газ}}}{100} + \\ + c_{CH_4} \cdot \frac{CH_4^{\text{газ}}}{100} + c_{C_2H_4} \cdot \frac{C_2H_4^{\text{газ}}}{100} + c_{O_2} \cdot \frac{O_2^{\text{газ}}}{100} + c_{CO_2} \cdot \frac{CO_2^{\text{газ}}}{100},$$

де $N_2^{\text{газ}}$, $H_2^{\text{газ}}$, $CO^{\text{газ}}$, $CH_4^{\text{газ}}$, $C_2H_4^{\text{газ}}$, $O_2^{\text{газ}}$, $CO_2^{\text{газ}}$ – ваговий відсоток зазначених компонентів газу в 1 кг синтез-газу, кг/кг.

Теплота пари в синтез-газі Q_{VII} , Дж:

$$Q_{VII} = i_{\text{н.парі}} \cdot m_{\text{синтез-газ}} \cdot d_{\text{синтез-газ}},$$

де $d_{\text{синтез-газ}}$ – вологовміст газу, кг/кг; $i_{\text{н.парі}}$ – теплоємність перегрітої водяної пари, Дж/кг:

$$i_{\text{н.парі}} = (t_{\text{синтез-газ}} - t_{\text{н.п.}}) \cdot c_{\text{парі}} + i_{\text{н.п.}},$$

де $i_{\text{н.п.}}$ – тепловміст 1 кг пари при точці роси, що відповідає мірі насичення синтез-газу, Дж/кг водяної пари; $c_{\text{парі}}$ – середня питома теплоємність пари (від $t_{\text{н.п.}}$ до $t_{\text{синтез-газ}}$ °C), Дж/(кг·°C); $t_{\text{н.п.}}$ – температура точки роси, що визначається пружністю водяної пари за показами психрометра, °C.

Теплота смоли газу Q_{VIII} , Дж:

$$Q_{VIII} = m_{\text{смола}} \cdot Q_B^{\text{смола}},$$

де $Q_B^{\text{смола}}$ – вища теплотворна здатність смоли, Дж/кг.

Теплота коксоподібного залишку Q_{IX} , Дж:

$$Q_{IX} = m_{\text{к.з.}} \cdot Q_B^{\text{к.з.}},$$

де $Q_B^{\text{к.з.}}$ – вища теплотворна здатність коксоподібного залишку, Дж/кг; $m_{\text{к.з.}}$ – маса коксоподібного залишку, кг.

Теплота Q_X визначається як різниця між прибутковою і витратною частинами балансу:

$$Q_X = \sum Q_{I-IV} - \sum Q_{V-IX}.$$

ККД процесу газифікації:

$$\eta = C_{\text{синтез-газ}} \cdot H \cdot Q_B^{\text{синтез-газ}} / Q_{\text{соломи}}$$

де H – відношення об'єму сухого газу, виробленого шляхом газифікації соломи, в стехіометричній кількості повітря, до сухих продуктів згорання; $Q_{\text{соломи}}$ – теплотворність соломи, віднесена до 1 м³ сухих продуктів горіння теоретичного складу; $C_{\text{синтез-газ}}$ – відсоток вуглецю, що перейшов у газ, %.

$$H = CO_{2\text{max}} / [C_2H_4 + H_2 + CO + CH_4 + O_2 + CO_2].$$

де $CO_{2\text{max}}$ – максимальний вміст CO_2 в сухих продуктах згорання, отриманих від спалювання соломи в теоретично необхідній кількості повітря, %; H_2 , CO , CH_4 , C_2H_4 , O_2 , CO_2 – вміст компонентів у газі, %.

Висновок. Представлена методика дозволяє з високим ступенем достовірності визначати ефективність процесу виробництва синтез-газу з соломи зернових.

Список літератури

4. Basu P. Biomass gasification, pyrolysis and torrefaction: practical design and theory. Elsevier, 2013. 548 p. Available at: <https://doi.org/10.1016/c2011-0-07564-6>

УДК 631.2:658.264

Омаров І.С., аспірант

Інститут відновлюваної енергетики НАН України

Цивенкова Н.М., кандидат технічних наук, доцент

Національний університет біоресурсів і природокористування України

ПРАКТИЧНІ РЕЗУЛЬТАТИ СУШІННЯ ЗЕРНОВИХ ГЕНЕРАТОРНИМ ГАЗОМ

Анотація. В роботі розглянуто практичні результати сушіння зерна в сушарці шахтного типу генераторним газом, отриманим з соломи зернових. Встановлено температурні режими роботи газогенератора і зерносушарки та ступінь їх узгодженості.

Ключові слова: генераторний газ, прямопотоковий газогенератор, солома зернових, продуктивність.

Актуальність дослідження. Продукція зерновиробництва складає значну частину товарообігу на вітчизняному та світовому аграрних ринках. Проте за останні роки в Україні спостерігається зменшення обсягів вирощування і переробки зернових поряд з підвищенням собівартості продукції на їх основі. Це пояснюється рядом факторів, серед яких висока енергоємність їх виробництва та значні втрати якісних показників кінцевого продукту під час окремих технологічних операцій, зокрема сушіння, тощо [1–4, 6, 7]. Використання в процесі сушіння зернових генераторного газу, отриманого із відходів рослинництва, наприклад соломи, є одним із перспективних методів зниження енергетичних витрат, тому було проведено дослідження з сушіння зернових генераторним газом в сушарці шахтного типу.

Метою дослідження є підвищення ефективності процесу сушіння зернових генераторним газом.

Результати дослідження. Під час дослідження визначено технологічні показники роботи зерносушарки ЗШ-1000 із використанням генераторного газу, а саме – встановлено залежність питомої витрати соломи-січки пшениці $G_{кз/м\cdot\%}$ на процес сушіння зерна від відносної вологості сировини W^P і розраховано показник питомої продуктивності зерносушарки $\Pi_{м\cdot\%/кг}$.

Питомі витрати соломи-січки $G_{кз/м\cdot\%}$ на процес сушіння зерна, кг/т·% та питома продуктивність зерносушарки $\Pi_{м\cdot\%/кг}$, т·%/кг визначались за математичними залежностями (1–2):

$$G_{кз/м\cdot\%} = \frac{\pi \cdot D_6^2 \cdot h_6 \cdot \rho \cdot n}{4 \cdot M_{зерн.мат} \cdot (W_1 - W_2)}, \quad (1)$$

$$\Pi_{м\cdot\%/кг} = \frac{1}{G_{кз/м\cdot\%}}. \quad (2)$$

де D_6 , h_6 – відповідно діаметр і висота бункера газогенератора, м; ρ – насипна щільність соломи-січки, кг/м³; n – кількість бункерів газогенератора, завантажених січкою соломи протягом циклу роботи сушарки періодичної дії, шт; $M_{зерн.мат}$ – маса зернового матеріалу, т; W_1 – початкова вологість зернового матеріалу, %; W_2 – кінцева вологість зернового матеріалу, %.

Послідовність проведення вимірювань полягала в наступному: солома-січка з вологістю 10 % завантажувалась в бункер газогенератора і газифікувалась. Протягом циклу сушіння зерна визначали кількість бункерів, завантажених соломою-січкою і, знаючи об'єм бункера газогенератора, визначався загальний об'єм сировини, використаний на процес сушіння.

Знаючи загальну масу зерна в сушарці і значення його початкової і кінцевої вологості визначалися питомі витрати сировини на процес сушіння зерна.

Потім досліди повторювали для соломи-січки з вологістю 15, 20, 25, 30 %. Повторюваність дослідних замірів $n=5$.

Експериментальні дані з визначення залежності питомої витрати січки $G_{кз/м\cdot\%}$ на процес сушіння зерна від її вологості W^P свідчать про те, що при вологості сировини $W^P > 30\%$ застосування газогенераторних технологій з метою енергозабезпечення процесу сушіння зернових стає економічно недоцільним. Мінімальне значення питомої витрати палива $G_{кз/м\cdot\%}$ на процес сушіння зерна досягається при значеннях відносної вологості соломи $W^P \leq 10\%$ і його визначено, з коефіцієнтом детермінації $R^2=0,996$ за допомогою поліному II ступеню:

$$G_{кз/м\cdot\%} = 0,001 \cdot (W^P)^2 + 0,045 \cdot W^P + 3,678. \quad (3)$$

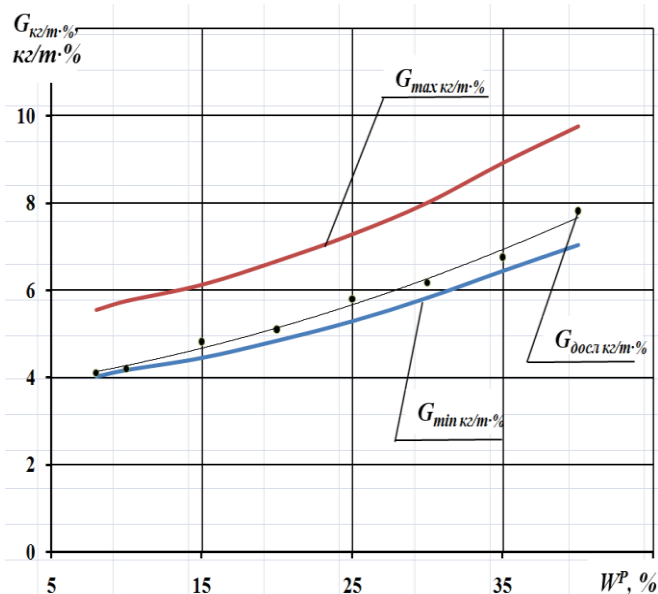


Рис. 1. Залежність питомої витрати палива $G_{\text{кг/м.}\%}$ на процес сушіння зерна від вологості W^p

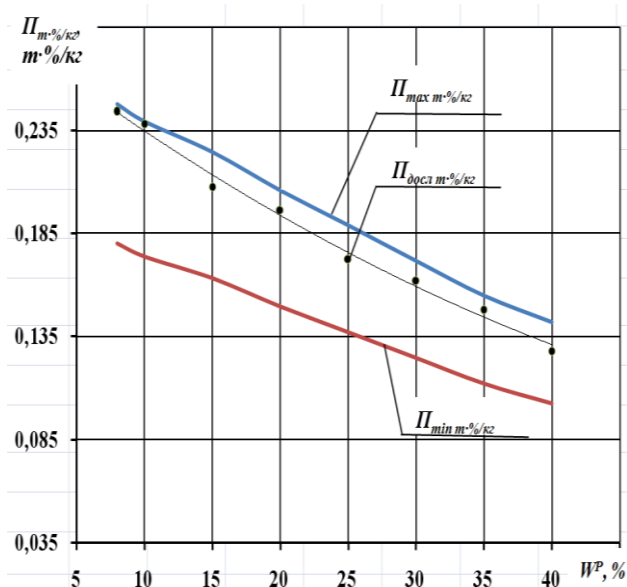


Рис. 2. Залежність питомої продуктивності $\Pi_{\text{т.}\%/\text{кг}}$ сушарки від вологості W^p

Аналіз графічної залежності (рис. 2) питомої продуктивності зерносушарки за паливом $\Pi_{\text{т.}\%/\text{кг}}$ від вологості соломи-січки W^p свідчить, що значне зниження питомої продуктивності $\Pi_{\text{т.}\%/\text{кг}}$ спостерігається вже при перевищенні значення вологості соломи-січки $W^p=20 \%$.

За (рис. 2) підвищення вологості сировини на 5 % призводить до зниження питомої продуктивності $\Pi_{\text{т.}\%/\text{кг}}$ сушарки на 18 – 20 %, а при використанні сировини з вологістю $W^p>30 \%$, питома продуктивність $\Pi_{\text{т.}\%/\text{кг}}$ сушарки може знизитися до 25 – 30 %. При використанні сировини з вологістю $W^p=30 \%$ можна висушити 0,16 тон зерна на 1 % вологості з одного кілограма палива. Максимальне значення питомої продуктивності сушарки $\Pi_{\text{т.}\%/\text{кг}}$ досягається при вологості сировини $W^p \leq 10 \%$.

З метою реалізації енергозберігаючої технології сушіння зерна використано зерносушильний комплекс з прямопоточним газогенератором, який працює на соломі-січці пшениці. Основним вузлом комплексу була зерносушарка шахтного типу ЗШ-1000 [5], призначена для сушіння зернових, бобових, масляничних культур сім'яного, продовольчого і фуражного призначення за рахунок агенту сушіння, який складається з повітря та топкових газів, отриманих в результаті спалювання генераторного газу в топці зерносушарки. Сам зерносушильний комплекс складався з: зерносушарки шахтної ЗШ-1000, норії Н-10, димової труби, трубопроводу для відведення димових газів, бункера завантаження та вивантаження зерна, прямопоточного газогенератора, завантажувального пристрою з шнековою подачею соломи в зону газоутворення.

Для газогенератора було спроектовано камеру газоутворення, адаптовану до соломи-січки пшениці. При виконанні розрахунків діаметр фурменого поясу D_k було збільшено з 0,3 м до 0,34 м з врахуванням стандартного кроку l_ϕ

встановлення фурм 0,11 м та умов забезпечення необхідних витрат повітря $V_{нов}$ на процес газотворення з розрахунку кількості $n=10$ шт фурм та їх діаметру $d_{ф}=0,012$ м при швидкості газів дуття $\omega = 18$ м/с. Період роботи газогенератора без чищення зольника складав 3 години для забезпечення повного висушування одного завантаження сушарки з масою зерна 3 тони. Коефіцієнт пропорційності площ m прийнято рівним 4,5 і визначено дослідним шляхом виходячи з вимоги забезпечення максимального розкладання смол в процесі газотворення.

При конструюванні камери газотворення враховано необхідну вимогу до забезпечення температури в зоні відновлення – не менше 800°C , скорочено надлишкові простори навколо камери газотворення з температурою $500 - 600^{\circ}\text{C}$, в яких може протікати зворотна реакція $\text{CO} \rightarrow \text{CO}_2$, що значно погіршує якість газу. Матеріал камери – сталь 12Х1МФ (0,12 вуглецю, 1% хрому, 1% молібдену і ванадію). Враховано раціональне розташування фурм для забезпечення об'єму повітря, необхідного для протікання процесу газотворення, $V_{нов}=41 \text{ м}^3$, а також їх раціональне заглиблення в шар січки (осьове переміщення однієї фурми становить $\Delta=34$ мм) для запобігання нагріванню стінок камери до температур початку пластичної деформації матеріалу.

Умови випробовування і агротехнічні показники сушарки ЗШ-1000 на зерні пшениці і зерні кукурудзи, отримані при виробничих випробовуваннях, наведено в табл. 1. Аналіз результатів випробовувань показує, що техніко-експлуатаційні показники роботи ЗШ-1000, оснащеної газогенератором, адаптованим до соломи-січки пшениці, відповідають її технічним характеристикам.

Продуктивність зерносушарки за зерном пшениці склала 1 т/год, за продовольчим зерном кукурудзи – 0,74 т/год, за фуражним зерном кукурудзи – 0,9 т/год. Питомі приведені витрати тепла сушаркою при сушінні зерна пшениці (продовольчий режим) склала 2856 кДж/кг. вип. вол., при сушінні кукурудзи (продовольчий режим) – 2688 кДж/кг. вип. вол., при сушінні кукурудзи (фуражний режим) – 2690 кДж/кг. вип. вол.

Таблиця 1. Показники виробничих випробовувань прямопотокового газогенератора у складі з зерносушаркою ЗШ-1000

Показники	Значення показників		
	дослід 1	дослід 2	дослід 3
Час проведення випробувань	Серпень-жовтень 2015		
Зернова культура, сорт	пшениця	кукурудза	
Режим роботи	продовольчий	фуражний	продовольчий
Параметри зовнішнього повітря			
Температура, К	293	296	297
Відносна вологість, %	65	72	62
Вологовміст, г/кг	9,6	12,1	11,3
Тип сировини	Солома-січка		
Температура теплоносія, К	328	398	368

Продуктивність, т/год			
Фактично за сухим матеріалом	0,98	0,86	0,71
Фактично за сирим матеріалом	1	0,9	0,74
Вологість матеріалу, %			
До сушіння	19	19,2	19,2
Після сушіння	13,6	14	14
Після охолодження	13,5	13,8	13,9
Кількість видаленої вологи, %	5,5	5,4	5,3
Температура матеріалу			
До сушіння, К	292	295	296
Після сушіння, К	311	332	322
максимальна	312	333	324
Після охолодження	298	300	297
Витрати палива вологістю 20%, кг/год	26	32	29
Витрати теплоти на кілограм випареної вологи, кДж/кг			
фактичний	2856	2690	2688
ККД топки	0,8	0,83	0,85
Напрацювання в тонах висушеного зерна, т	20	18	18

Таблиця 2. Технічні характеристики розробленого газогенератора

№	Назва параметру і характеристика	Одиниці вимірювання	Величина
1	Номінальна теплова продуктивність	МДж/м ³	320
2	Відносна вологість соломи-січки	%	до 35 %
3	Зольність соломи-січки пшениці	% (ваг)	до 6,5
4	Робочий тиск в газогенераторі	кПа	102 – 105
5	Температура в камері газоутворення	°С	500 – 1500
6	Нижча теплота згорання газу	МДж/м ³	6,14 – при $W^P=8\%$ 4,64 – при $W^P=35\%$
7	Хімічний склад газу при вологості соломи 35% з виходом сухого газу з 1 кг соломи $v_c=1,56$ м ³ /кг.		$H_2=12,26\%$, $CO=13,57\%$, $CO_2=13,63\%$, $N_2=52,56\%$, $CH_4=5,17\%$.
8	Термічний коефіцієнт корисної дії	%	85
9	Споживана електрична потужність	кВт	до 5

10	Габаритні розміри газогенератора	мм	1950×620×620
11	Вміст вологи в газі	% (ваг)	до 10
12	Витрати сухого генераторного газу	м ³ /год	64

Підвищені витрати теплоти на процес сушіння, порівняно з технічною характеристикою сушарки, пояснюються циклічністю її роботи. Найвища температура нагрівання зерна становила 335 К (на фуражному режимі), найменша – 311 К (на продовольчому при сушінні пшениці).



Рис. 3. Зерносушильний комплекс, оснащений прямопоточковим газогенератором (зерносушарка шахтного типу ЗШ – 1000)

Висновки: аналізуючи показники виробничих випробовувань газогенератора у складі зерносушарки можна відмітити наступне:

- температурні режими роботи газогенератора і зерносушарки добре узгоджені при усіх категоріях випробовувань;

- продуктивність газогенератора $P_{V_{22}} = 64 \text{ м}^3/\text{год}$ і його теплотехнічні умови роботи відповідають потребам сушарки в генераторному газі з теплотою згорання $Q_n^{22} = 5,42 \text{ МДж}/\text{м}^3$, що забезпечується використанням соломи-січки з вологістю 30 %.

Список літератури:

1. Агропромисловий комплекс України: стан, тенденції та перспективи розвитку : інформ.-аналіт. збірник / за ред. П. П. Саблука. – К. : ІАЄ, 2000. – Вип. 4. – 601 с.
2. Альтернативна енергетика : навч. посібник / [М. Д. Мельничук, В. О. Дубровін, В. Г. Мироненко та ін.]. – К. : Аграр Медіа Груп, 2011. – 612 с.
3. Біологічні ресурси і технології виробництва біопалива. Монографія / [Я. Блюм, Г. Гелетука, І. Григорюк, В. Дубровін, В. Мироненко та ін.]. – К. : «Аграр Медіа Груп», 2010. – 408 с.
4. Біопалива (технології, машини і обладнання) / [В. О. Дубровін, М. О. Корчемний, І. П. Масло, О. Шептицький, А. Рожковський, З. Пасторек, А. Гжибек, П. Євич, Т. Амон, В.В. Криворучко]. – К. : ЦТІ “Енергетика і електрифікація”, 2004. – 256 с.
5. БРИГ [Електронний ресурс]: Зерносушилка КС-1. – Режим доступу : www.brig-zerno.com.ua/продукт_Зерносушилка-КС-1
6. Ковалко М. П. Енергозбереження – пріоритетний напрямок державної політики України / М. П. Ковалко, С. П. Денисюк ; під ред. А. К. Шидловський. – К. : УЕЗ, 1998. – 506 с.
7. Розвиток зерновиробництва в Україні до 2015 року [Електронний ресурс] : комплексна галузева програма, затверджена наказом Міністерства аграрної політики України від 23.10.2007 № 757/101. – Режим доступу : <http://zakon1.rada.gov.ua>.
8. Цивенкова Н. М. Обґрунтування параметрів камери газоутворення газогенератора, адаптованого до сировини рослинного походження : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 05.05.11 «Машини і засоби механізації сільськогосподарського виробництва» / Н. М. Цивенкова. – К., 2013. – 24 с.

УДК 620.952

Ганженко О.М., д.с.-г.н.,

Кравчук В.І., д.т.н., професор,

Інститут біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН

КОНЦЕПЦІЯ СТАЛОГО ВИРОБНИЦТВА І ВИКОРИСТАННЯ ТВЕРДОГО БІОПАЛИВА В УКРАЇНІ

Підвищений інтерес до використання відновлювальних джерел енергії (ВДЕ) спонукає по-новому оцінити потенціал агропромислового комплексу України. Ураховуючи сприятливі ґрунтово-кліматичні умови для вирощування рослин, найперспективнішим видом ВДЕ для України є біоенергетика, яка базується на біосировині рослинного походження. До основних переваг рослинної біомаси як джерела енергії можна віднести екологічну чистоту викидів, порівняно з викопними видами палива, та відсутність негативного впливу на баланс вуглекислого газу в атмосфері. Біомаса, як відновлювальний енергоносіє, створює для України великі перспективи, а можливості її використання в енергетиці є дуже різноманітними.

Ключові слова: біоенергетика, міскантус, верба, паливні гранули

Найбільшого розвитку в Україні набуло виробництво і використання твердих видів біопалива (деревна тріска, паливні гранули, брикети тощо), які виготовляють здебільшого із відходів деревообробної промисловості (тирса, тріска) та залишків і відходів сільськогосподарського виробництва (солома, соняшникова лузга, качани кукурудзи та інше). Надходження такої сировини є нестабільним і носить сезонний характер, що негативно впливає на ефективність роботи установок з виробництва біопалива. Крім того, біопаливо, виготовлене із залишків та відходів містить значну частку (до 10%) зольних елементів, що зменшує його теплотворні властивості і експлуатаційні характеристики котлів. Водночас, під час прямого спалювання високозольного твердого біопалива з соломи в атмосферу потрапляють шкідливі речовини, для утримування яких необхідно встановлювати спеціальні фільтри.

Ґрунтово-кліматичні умови більшості регіонів України є сприятливими для вирощування багаторічних енергетичних рослин групи C₄, здатних інтенсивно акумулювати енергію сонця впродовж вегетаційного періоду. Ці рослини характеризуються низькою собівартістю вирощування, не вимогливі до родючості ґрунту, не потребують значного використання добрив та пестицидів, запобігають ерозії ґрунту, сприяють збереженню та покращанню агроєкосистем. Це дозволяє культивувати енергетичні рослини на малопродуктивних землях, яких згідно з статистичними даними в Україні налічується до 8 млн.га.

До таких рослин належить міскантус гігантський (*Miscanthus x giganteus*) – одна з найефективніших рослин для біоенергетики за рахунок високої врожайності сухої біомаси (до 25 т/га), високої теплотворної здатності (18 МДж/кг), низької природної вологості стебел на час збирання (до 25%). Новою перспективною енергетичною культурою для України є просо прутіподібне або свічграс (*Panicum virgatum*), що належить до багаторічних злакових культур. Свічграс невимогливий до вологи та поживних речовин, має високу природну стійкість до хвороб і шкідників, що дозволяє отримувати стабільні врожаї сухої біомаси на малопродуктивних еродованих землях.

Серед дерев, біомаса яких може використовуватись на біопаливо, найкраще підходять сорти швидкоростучої верби прутівидної (*Salix Viminalis*) та тополі (*Populus*). Верба не вибаглива до наявності поживних речовин у ґрунті, може рости на малородючих та кислих землях, але потребує багато вологи. Тому плантації енергетичної верби доцільно закладати в зоні достатнього зволоження або у заплавах рік чи інших водойм з високим рівнем залягання ґрунтових вод.

Вирощування енергетичних культур із високою продуктивністю біомаси забезпечує значне надходження органічних речовин у ґрунт кореневою системою та післяжнивними рештками, що сприяє нагромадженню органічного вуглецю у ґрунті. Відсутність механічного обробітку ґрунту під час вирощування багаторічних культур сприяє стабілізації видового та кількісного

складу ґрунтової мікрофлори, проходженню ґрунтотворних процесів згідно з генетичними особливостями ґрунтового покриву. Плантації швидкорослих деревних культур здійснюватимуть поглинання і утримання вуглецю, а вирощена біомаса буде використовуватись для виробництва різних видів біопалив.

За даними науковців у структурі земель України знаходиться до 8 млн.га малопродуктивних та деградованих (маргінальних) земель, які не використовуються для вирощування традиційних сільськогосподарських культур. Частину цих земель (2 млн.га) доцільно залучити для вирощування багаторічних біоенергетичних культур, з яких 1,5 млн.га – енергетична верба і тополя; 0,5 млн.га – міскантус і свічграс. За урожайності сухої маси верби 15 т/га (в розрахунку на 1 рік) та міскантусу – 20 т/га потенційний вихід твердого біопалива становитиме 35,8 млн.т/рік (табл. 1), що еквівалентно 13,7 млн.т.н.е. або 16,4 млрд м³ природного газу.

Таблиця 1 - Потенційний вихід твердого біопалива з багаторічних енергетичних культур

Культура	Площа плантацій, млн.га	Щорічна урожайність сухої маси, т/га	Вихід сухої біомаси, млн.т/рік	Вихід твердого біопалива (10% вологи), млн.т/рік
верба, тополя	1,5	15	22,5	24,8
міскантус, свічграс	0,5	20	10,0	11,0
Разом	2	-	32,5	35,8

Висновки

1. Сприяння розвитку біоенергетики дозволить Україні позбутися статусу енергодефіцитної держави та укріпить її економічну, політичну та енергетичну незалежність.
2. Сприятливі ґрунтово-кліматичні умови та достатня кількість маргінальних земель дозволяють Україні стати світовим лідером з виробництва і використання твердого біопалива.

Список літератури

1. Вирощування біоенергетичних культур: монографія / за ред. к.с.-г.н. М.Я. Гументика / [М.Я. Гументик, Б.М. Радейко, Я.Д. Фучило, В.М. Сінченко, О.М. Ганженко та ін.]. – К.: ТОВ «ЦП «Компринт», 2018. – 178 с. (ISBN 978-966-929-779-2)
2. Ганженко О.М. Економічні аспекти вирощування багаторічних енергетичних культур / О.М. Ганженко, Я.Д. Фучило, В.М. Квак // Біоенергетика/Bioenergy. – №1 (13). – 2019. – С. 4-7.

3. Сінченко В.М. Структура продуктивності енергетичної верби залежно від технології її вирощування / В.М. Сінченко, Я.Д. Фучило, О.М. Ганженко, Г.А. Мельничук // Біоенергетика/Bioenergy. – №2 (14). – 2019. – С. 15-18

4. Міскантус в Україні: монографія / [М.В. Роїк, В.М. Сінченко, [В.І. Пиркін], В.М. Квак та ін.]. - К. : ФОП Ямчинський О.В., 2019 – 256 с. ISSN 978-617-7804-11-5

5. Роїк М.В., Ганженко О.М. Агроекологічні аспекти сталого розвитку біоенергетики / М.В. Роїк, О.М. Ганженко // Біоенергетика/Bioenergy. – №1 (15). – 2020. – С. 4-7.

6. Роїк М.В., Ганженко О.М., Гончарук Г.С. Вплив багаторічних біоенергетичних культур на відновлення родючості ґрунту / М.В. Роїк, О.М. Ганженко, Г.С. Гончарук // Біоенергетика/Bioenergy. – №2 (16). – 2020. – С. 4-6.

7. Роїк М.В., Ганженко О.М., Фучило Я.Д. Розвиток біоенергетики в Україні та її вплив на декарбонізацію вітчизняної економіки. Вісник Малинського фахового коледжу. Випуск 1. 2022. С. 175-186.

8. Енергетична верба: технологія вирощування та використання / [М.В. Роїк, В.М. Сінченко, Я.Д. Фучило, О.М. Ганженко та ін.]. – Вінниця: «Твори», 2023. – 346 с. ISBN 978-617-552-256-1

9. Технології та обладнання для використання поновлювальних джерел енергії в сільськогосподарському виробництві / За ред. Кравчука В.І., Дубровіна В.О. Дослідницьке: УкрНДПВТ ім. Л.Погорілого. 2010. 184 с.

УДК 620.92

Ключ В.П., кандидат технічних наук, доцент

Омаров І.С., аспірант

Інститут відновлюваної енергетики НАН України

Цивенкова Н.М., кандидат технічних наук, доцент

Національний університет біоресурсів і природокористування України

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ФІЛЬТРАЦІЙНОГО ГОРІННЯ БІОМАСИ

Представлено експериментальні результати, отримані при гібридному фільтраційному спалюванні з використанням гранул біомаси. Дослідження проводилися з використанням газогенератора з пористим середовищем, заповненим пелетами та інертним матеріалом. В якості агенту газифікації використовувалася пароповітряна суміш, 40% якої складала пара.

Досліджено залежність температури в реакційній зоні газогенератора від об'ємного відсоткового вмісту інертного пористого матеріалу в газогенераторі, питомої теплоємності цього матеріалу, а також швидкості пароповітряного дуття. Для досліджень застосовувався метод багатофакторного експерименту. Максимальна температура 1245°C була досягнута при використанні 28 % об. пористого матеріалу з теплоємністю 1000 Дж/(кг·°C) і при швидкості повітряного дуття 42 м³/год. Максимальний вміст водню в синтез-газі становив 28 % об. Вказане було досягнуто при швидкості пароповітряного дуття 42 м³/год і вмісті пористого матеріалу 40% об. з теплоємністю 1000 Дж/(кг·°C). Теплота згоряння синтез-газу

становила $12,6 \text{ МДж/м}^3$. Найбільший вміст CO в газі становив 28% об. і був отриманий при вмісті пористого матеріалу 20% об. з теплоємністю $1000 \text{ Дж/(кг}\cdot\text{°C)}$ і швидкості дуття $42 \text{ м}^3/\text{год}$. Отримані результати можуть бути використані при проектуванні, управлінні та контролі виробництвом газу шляхом гібридного фільтраційного спалювання в протипотоковому газогенераторі.

Ключові слова: біомаса; фільтраційне спалювання; синтез-газ; газифікація; суперадіабатичне нагрівання; вища теплота згорання; оксид вуглецю; водень

Актуальність. Одним з ефективних методів виробництва синтез-газу з підвищеним вмістом водню є гібридне фільтраційне спалювання біомаси [1, 2].

Метою досліджень було встановити залежність температури в реакційній зоні газогенератора з суцільним шаром під час гібридного фільтраційного горіння біомаси від дуттьового режиму, питомої теплоємності інертного пористого матеріалу та його об'ємного вмісту в реакторі газогенератора.

Результати досліджень. Дослідження виконувалися шляхом проведення багатофакторного експерименту. В якості інертного матеріалу використовувалися: керамзитна крошка ($800 \text{ Дж/(кг}\cdot\text{°C)}$); композит з суміші червоної глини та гранітного пилу ($1000 \text{ Дж/(кг}\cdot\text{°C)}$); сфери з шамотної глини ($1200 \text{ Дж/(кг}\cdot\text{°C)}$). Витрати повітряного дуття становили 30, 40 та $50 \text{ м}^3/\text{год}$. Об'ємний вміст інертного матеріалу в реакційній зоні – 0, 20, та 40% об. відповідно. Для отримання моделей процесу у вигляді поліномів другого ступеню вибрано некомпозиційний план другого порядку на кубі типу Бокса-Бенкіна [3]. Відносна похибка моделі 2,8 %. Середнє відносне відхилення – 1,8 %.

Під час дослідження визначалися умови, за яких температура в реакційній зоні є найвищою і, яким є при цьому у складі виробленого генераторного газу є вміст H_2 та CO . Це не зовсім відповідає класичним дослідженням, де вивчається хвиля горіння з відповідними їй температурними режимами.

В результаті досліджень отримано рівняння регресії та побудовано відповідні поверхні відгуку. Встановлено, що максимальна температура в реакційній зоні газогенератора склала 1245°C і мала місце при об'ємі повітряного дуття $42 \text{ м}^3/\text{год}$, об'ємному вмісті інертного пористого матеріалу 28 % об. з теплоємністю $1000 \text{ Дж/(кг}\cdot\text{°C)}$. Найвищий вміст H_2 в газі становив 28 % і досягався при 40 % об. вмісту інертного матеріалу в реакторі. Найвищий вміст CO становив 29 % при 20 % об. вмісту інертного матеріалу в реакторі. Найвище значення теплотворної здатності синтез-газу склало $12,6 \text{ МДж/м}^3$. Метод гібридного фільтраційного спалювання біомаси в газогенераторі з суцільним шаром забезпечив виробництво синтез-газу з мінімальним рівнем засміченості, оскільки вміст механічних домішок в не перевищував 21 мг/м^3 .

Висновок. Отримані результати фільтраційного спалювання біомаси в нерухомому шарі можуть бути використані для виробництва синтез-газу з підвищеним вмістом водню.

Список літератури

16. Toledo, M.; Arriagada, A.; Ripoll, N.; Salgansky, E.A.; Mujeebu, M.A. Hydrogen and syngas production by hybrid filtration combustion: Progress and challenges. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 2023, 177, 113213.
- An Official Website of the European Union. A European Green Deal. Available online: https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal_en (accessed on 12 June 2023).
- Melnikov, S.V.; Atselkin, V.R.; Roshchin, P.M. Planning Experiment of Agricultural Process Research; Kolos: Leningrad, Russia, 1980; 168p.

УДК 662. 767. 2

Кулібаба Н.І., асистент

Національний університет біоресурсів і природокористування України

МЕТОД АНАЕРОБНОГО ЗБРОДЖУВАННЯ ОРГАНІЧНОЇ СИРОВИНИ В БІОГАЗОВИХ УСТАНОВКАХ

Анотація. Виконано аналіз наукових досліджень процесу збродження органічної сировини в біогазових установках. Представлено основні переваги та недоліки цього процесу та перспективи подальших досліджень.

Ключові слова: органічна сировина, біогазова установка, збродження.

Головним вузлом біогазової установки є реактор (метантенк), в якому протікає процес анаеробного розкладання біомаси під дією метаноутворюючих бактерій в певному діапазоні температур збродження (рис. 1).

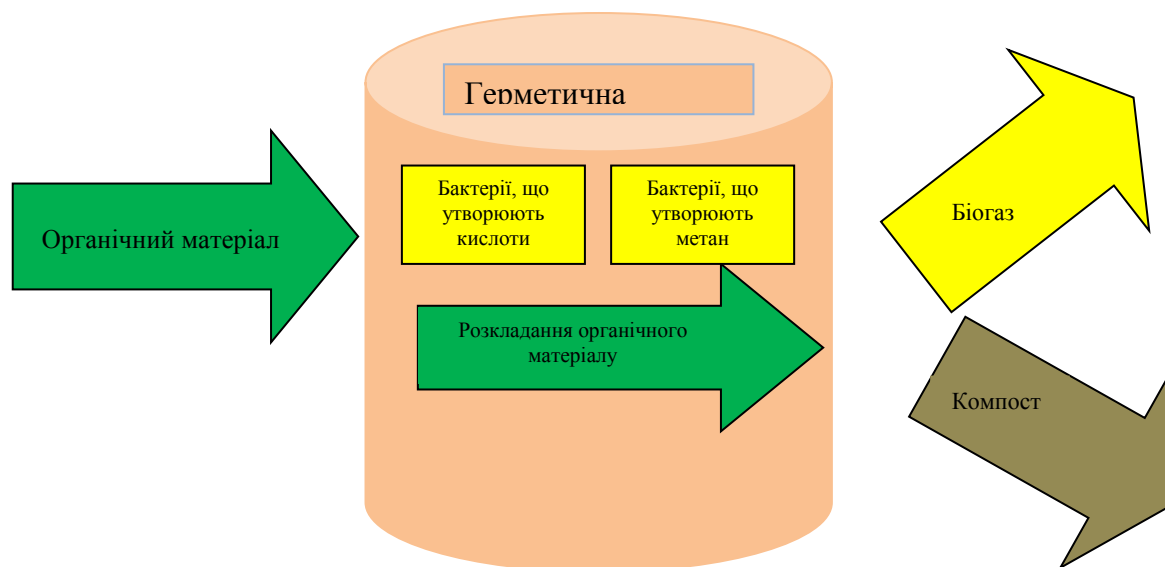


Рис. 1. Спрощена схема процесу анаеробного збродження

Аналіз літературних джерел [1, 2] свідчить, що сьогодні в світі розроблені і успішно застосовуються різні біогазові технології. Основною метою

біогазової технології є утилізація відходів і виробництво органічного добрива, відновлення екології. Також, внаслідок хімічних перетворень з органічного матеріалу утворюється біогаз – один з видів альтернативного палива [3].

Щоб відновити запаси енергоносіїв, які швидко вичерпуються, провідні країни світу, які експлуатують біогазові установи, першочергово зацікавлені в отриманні найбільших обсягів газу з органічних відходів. Тому біогазові установки оснащені значними за об'ємом метантенками та займають досить великі площі. Крім цього, для забезпечення безперебійної роботи метантенків ведеться заготівля значних об'ємів рослинної сировини [4].

Все це вимагає суттєвих капітальних витрат на будівництво станцій з переробки відходів і, як наслідок, такі проекти мають тривалий термін окупності і потребують державних дотацій.

Одним з суттєвих недоліків процесу анаеробного зброджування є невисока швидкість переробки біомаси та відносно низька якість одержуваного біогазу. Процес є досить нестійким і залежить від температурного режиму, в якому протікає процес зброджування.

Згідно ДСТУ 4516:2006 виділено три температурні режими з метою оптимізації процесу анаеробного зброджування: психрофільні – до 20°C – 25°C; мезофільні – 25°C – 40°C; термофільні – понад 40°C.

Слід зазначити, що вимоги до допустимих меж коливання температури для забезпечення оптимального газоутворення є настільки жорсткими, наскільки вищою є температура процесу зброджування: при психрофільному температурному режимі – $\pm 2^\circ\text{C}$ за годину; мезофільному – $\pm 1^\circ\text{C}$ за годину; термофільному – $\pm 0,5^\circ\text{C}$ за годину [5].

Функціонуючі в даний час біоенергетичні установки є складними автоматизованими комплексами, які працюють в мезофільному і термофільному режимах і переробляють великі об'єми відходів. В Україні психрофільний режим, в порівнянні з іншими режимами, вивчений мало. Даний режим зброджування широко застосовується в Китаї, В'єтнамі та Індії в біогазових установках, які встановлено на невеликих фермерських господарствах [6]. Зниження швидкості бродіння при психрофільних температурах компенсується простотою конструкцій метантенків і легкістю їх експлуатації та обслуговування. В роботі [7] представлено, що основні вихідні параметри – вихід біогазу, ступінь розкладання органічних речовин – в психрофільному режимі роботи залишаються на такому ж рівні, як і в мезофільному, збільшується тільки час витримування зброджуваного субстрату.

В [8] зазначається, що для підвищення ефективності біогазової технології доцільно: проектувати установки зі спрощеною експлуатацією (контроль, управління, регулювання); знизити вартість шляхом розробки простіших і дешевших ємностей; розробити моделі для конкретних технологічних рішень, які передбачають різні цілі процесу (застосування кінцевих продуктів, захист навколишнього середовища) і виробниче підпорядкування установки:

сільськогосподарські приватні підприємства різного масштабу, виробничі об'єднання (наприклад, для одного села).

Розмір можливого завантаження бродильної камери метантенка залежить, в першу чергу, від обраної температури зброджування і часу бродіння. Чим нижчою є температура і чим тривалішим є процес бродіння, тим більшою може бути ступінь завантаження метантенка, тим більше органіки може бути внесено. Зниження температури в реакторі також призводить до зниження токсичності [9].

В роботі [10] відзначається, що при зброджуванні свіжого гною ВРХ в реакторі не виникає такої проблеми, як утворення кірки. Проблеми виникають в тому випадку, якщо в субстраті присутні тверді і нерозкладані речовини. В [11] зазначається, що в субстратах з високою здатністю до текучості, маленькі бульбашки повітря піднімаються на поверхню самостійно.

При виборі форми, розмірів і конструкції метантенка відіграють суттєве значення ступінь завантаження робочого простору, час циклу зброджування та інтенсивність перемішування; застосована система виробництва; рівень механізації. Ці фактори визначаються умовами виробництва і цілями технологічного процесу [12]. Можна досягти істотного зниження енергетичних витрат, якщо екскременти тварин на шляху до метантенка будуть втрачати якомога менше своєї природної теплоти. Тому слід прагнути мінімізувати відстань між тваринами і метантенком. Бажано розмістити метантенк всередині тваринницьких приміщень [13, 14]. Отже, потрібно обґрунтовувати і підбирати оптимальний об'єм і конструкцію метантенка біогазової установки, а як наслідок – розробляти пропозиції щодо технології його виготовлення, запуску, експлуатації та обслуговування в умовах України.

Список літератури

1. Куценко Ю.М., Коломицев В.М. Аналіз основних чинників анаеробного метанового зброджування для отримання біогазу. *Праці ТДАТУ*. Мелітополь : ТДАТУ, 2011. Вип. 11, т.3. С. 49–56.
2. Альтернативне паливо для енергетики АПК : посібн. / В.М. Кюрчев, В.А. Дідур, Л.І. Грачова ; за ред. В.А. Дідура. К.: Аграрна освіта, 2012. 416 с.
3. Новітні технології біоенергоконверсії : монографія / Я.Б. Блюм, Г.Г. Гелетуша та ін. К. : «Аграр Медіа Груп», 2010. 326 с.
4. Щербина О.М. Енергія для всіх: технічний довідник. Ужгород : Видавництво Валерія Подяка. 2007. 340 с.
5. Sharma H. B., Panigrahi S., Sarmah A. K., Dubey B. K. Downstream augmentation of hydrothermal carbonization with anaerobic digestion for integrated biogas and hydrochar production from the organic fraction of municipal solid waste: A circular economy concept. *Science of The Total Environment*. 2019. 135907. doi:10.1016/j.scitotenv.2019.135907

6. Abdeshahian P., Lim J. S., Ho W. S., Hashim H., Lee C. T. Potential of biogas production from farm animal waste in Malaysia. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2016. Vol. 60. P. 714–723. doi:10.1016/j.rser.2016.01.117
7. Bulatov N. K., Sarzhanov D. K., Elubaev S. Z., Suleymenov T. B., Kasymzhanova K. S., Balabayev O. T. Model of effective system of processing of organic wastes in biogas and environmental fuel production plant. *Food and Bioproducts Processing*. 2019. doi:10.1016/j.fbp.2019.03.005
8. Fedailaine M., Moussi K., Khitous M., Abada S., Saber M., Tirichine N. Modeling of the Anaerobic Digestion of Organic Waste for Biogas Production. *Procedia Computer Science*. 2015. Vol. 52. P. 730–737. doi:10.1016/j.procs.2015.05.086
9. Zhu B., Gikas P., Zhang R., Lord J., Jenkins B., Li X. Characteristics and biogas production potential of municipal solid wastes pretreated with a rotary drum reactor. *Bioresource Technology*. 2009. Vol. 100(3). P. 1122–1129. doi:10.1016/j.biortech.2008.08.024
10. Zhu B., Zhang R., Gikas P., Rapport J., Jenkins B., Li, X. Biogas production from municipal solid wastes using an integrated rotary drum and anaerobic-phased solids digester system. *Bioresource Technology*. 2010. Vol. 101(16). P. 6374–6380. doi:10.1016/j.biortech.2010.03.075
11. Yang S., Phan H.V., Bustamante H., Guo W., Ngo H. H., Nghiem L. D. Effects of shearing on biogas production and microbial community structure during anaerobic digestion with recuperative thickening. *Bioresource Technology*. 2017. Vol. 234. P. 439–447. doi:10.1016/j.biortech.2017.03.051
12. Panigrahi S., Dubey B. K. A critical review on operating parameters and strategies to improve the biogas yield from anaerobic digestion of organic fraction of municipal solid waste. *Renewable Energy*. 2019. doi:10.1016/j.renene.2019.05.040
13. Технологія переробки біологічних відходів у біогазових установках з обертовими реакторами / Г.А. Голуб, О.В. Сидорчук, С.М. Кухарець та ін.; за ред. Г.А. Голуба. К. : НУБІП України, 2014. 106 с.
14. Любін М.В., Цуркан О.В., Токарчук Д.М. Основи запуску та експлуатації біогазових установок для фермерських господарств. *Збірник наукових праць Вінницького національного аграрного університету. Серія «Технічні науки»*. 2012. №10, т. 1 (58). С. 69–76.

УДК 662.659

Цивенкова Н.М., кандидат технічних наук, доцент

Національний університет біоресурсів і природокористування України

Голубенко А.А., асистент

Поліський національний університет

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ПАРАМЕТРІВ РЕАКТОРА НА РІВНОМІРНІСТЬ ЗМІШУВАННЯ КОМПОНЕНТІВ СУБСТРАТУ

Анотація. Експериментально визначено вологість субстрату та кутову швидкість барабана реактора при яких рівномірність розподілу компонентів в субстраті досягає максимальних значень та відповідає існуючим мікробіологічним вимогам до компостів. Встановлено адекватність математичної моделі експериментальним даним. Отримані результати аналітичних та експериментальних досліджень дають змогу визначити величину лінійної швидкості частинок субстрату залежно від вологості субстрату та кутової швидкості барабану при моделюванні параметрів роботи реакторів барабанного типу.

Ключові слова: лінійна швидкість, рівномірність змішування, лопать, коефіцієнт тертя, вологість субстрату

Зброджування біосировини в реакторах барабанного типу є одним з перспективних методів виробництва компостів, що інтенсивно розвивається [1]. Для досягнення високої якості виробленого компосту потрібно під час процесу зброджування забезпечити рівномірне змішування компонентів субстрату на основі біосировини, що є об'єктом проведеного дослідження. Однак, забезпечити максимально рівномірний розподіл компонентів в субстраті складно через їх різні фізико-хімічні властивості та геометричні параметри [2].

Також дія відцентрового силового та гравітаційного полів є причиною складного руху компонентів у субстраті, яким заповнений обертовий барабан, що значно ускладнює рівномірність їх перемішування та здійснення моделювання робочих характеристик. Відсутність загальноприйнятої методики прогнозування поведінки заповнення субстратом барабану реактора суттєво обмежує ефективність реалізації технологічних процесів при застосуванні цього обладнання [3].

Для вирішення даної проблеми запропоновано встановити кінематичні параметри процесу змішування та здійснити його математичний опис.

Авторами статті розпочато цикл досліджень по детальному встановленню впливу параметрів процесу змішування та фізико-хімічних властивостей сировини на рівномірність змішування компонентів у субстраті [4]. Рівномірне змішування досягається забезпеченням умови повного розосередження компонентів матеріалу по вільній поверхні сегменту субстрату. Досліджено, що зазначена умова виконується, коли частинки, які в останню чергу спадають з лопаті, досягають точки сполучення обичайки барабана та вільної поверхні субстрату. Розроблено математичну модель, яка поєднує рівняння падіння часточок субстрату за параболічною траєкторією та межі завалу частинок субстрату у барабані. Визначено кінематичні параметри процесу змішування компонентів у субстраті за умови, що частинки субстрату розсіюються в повздовжньому та поперечному перерізах барабану. Розв'язком диференціальних рівнянь встановлено залежність величини лінійної швидкості руху частинок субстрату по поверхні лопаті, при якій спостерігається повне розосередження матеріалу по вільній поверхні сегменту субстрату, від вологості субстрату та кутової швидкості барабану. Методом комп'ютерного моделювання отримано рішення системи рівнянь у графічному вигляді.

Представлено конструкцію експериментального реактора барабанного типу для визначення рівномірності розподілу компонентів у субстраті для зброджування. Дослідження проводилися з субстратом, який складався із 50 % суміші підстилкового гною та січки соломи (загальною вологістю 45 %), 20 % пташиного посліду та 30 % рослинних матеріалів (15 % торфу та 15 % тирси дерев листяних порід). Експериментальним шляхом визначено, що при кутовій швидкості барабана $0,93...1,18 \text{ c}^{-1}$ ($n=8,5...11,3 \text{ об/хв}$) (рис. 1) та вологості субстрату 57...62 % (рис.2) рівномірність розподілу компонентів в субстраті є максимальною. Вміст контрольного компоненту в субстраті складає 3 % від загальної маси матеріалу в барабані. Найменше значення коефіцієнту варіації фактичного розподілу контрольного компоненту становить 11,4 % при частоті обертання барабану рівній $1,05 \text{ рад/с}$. За таких умов вироблений компост відповідає існуючим мікробіологічним вимогам щодо якості.

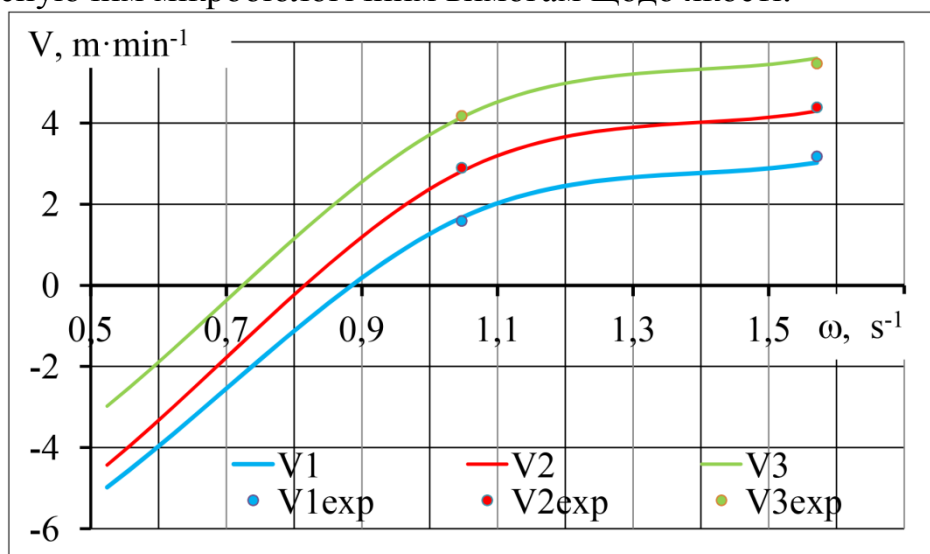


Рис. 1. Залежність лінійної швидкості руху частинок субстрату по криволінійній поверхні лопаті від кутової швидкості барабану.

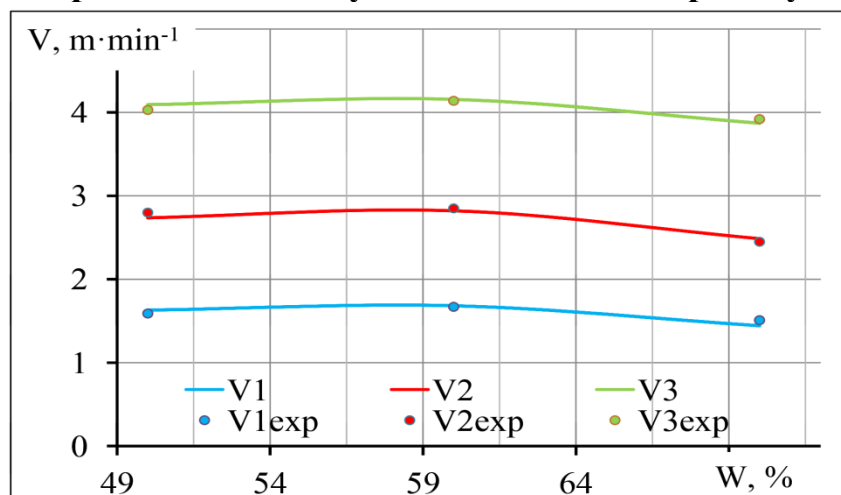


Рис. 2. Залежність лінійної швидкості руху частинок субстрату по криволінійній поверхні лопаті від вологості субстрату.

Адекватність отриманої моделі оцінено індексом детермінації експериментальних та теоретичних даних, який становить $\eta^2=0,99$.

Висновок. Використання результатів досліджень дозволить, на рівні обрахункового експерименту, визначити оптимальну швидкість руху частинок по лопаті при зміні технологічних параметрів процесу змішування та фізико-хімічних властивостей субстрату. Це суттєво зменшує витрати на проведення фізичних експериментів та забезпечує керованість процесу компостування.

Список літератури

1. Chia, W. Y., Chew, K. W., Le, C. F., Lam, S. S., Chyi Chee, C. S., Luan Ooi, M. S., & Show, P. L. (2020). Sustainable Utilization of Biowaste Compost for Renewable Energy and Soil Amendments. *Environmental Pollution*, 115662. doi:10.1016/j.envpol.2020.115662
2. Golub, G., Pavlenko, S. & Kukharets, S. (2017). Analytical research into the motion of organic mixture components during formation of compost clamps. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3, 1(87), 30–35.
3. Geethamani, R., Soundara, B., Kanmani, S., Jayanthi, V., Subaharini, T. R., Sowbiyalakshmi, V., & Sowmini, C. (2020). Production of cost affordable organic manure using institutional waste by rapid composting method. *Materials Today: Proceedings*. doi:10.1016/j.matpr.2020.02.803
4. Vechera O., Tereshchuk M., Chuba V., Tsyvenkova N. 2020. Investigation of aerobic solid fraction fermentation process` parameters for organic material. *Proceedings of the 19th International Scientific Conference Rural Development*: pp. 1450–1455.

УДК 662. 767. 2

Кулібаба Н.І., асистент

Національний університет біоресурсів і природокористування України

ПЕРЕВАГИ І НЕДОЛІКИ ВИКОРИСТАННЯ АЕРОБНОЇ ТВЕРДОФАЗНОЇ ФЕРМЕНТАЦІЇ ОРГАНІЧНОЇ СИРОВИНИ

Анотація. Дано визначення поняття аеробної твердофазної ферментації органічної сировини. Представлено основні переваги та недоліки процесу аеробної твердофазної ферментації органічної сировини.

Ключові слова: аеробна твердофазна ферментація, органічна сировина.

У працях [1, 2], представлених в наукових виданнях, стверджується про значні переваги використання аеробної твердофазної ферментації (АТФ) порівняно із зануреним бродінням. Однак, питання полягає в тому, чи дійсно ці переваги реальні? Чи дійсно один метод є кращим за інший? Науковці, які вивчають питання ферментації біосировини [3, 4], підкреслюють, що багато тверджень є правдивими, однак багато з них викликають сумніви та потребують глибокого вивчення.

АТФ має багатовікову історію, однак бурхливого розвитку набула лише за останні два десятиліття [5]. За цей час змінилося розуміння параметрів біологічної обробки сировини в процесі ферментації, змінився спектр продуктів та видів сировини, до яких можна застосувати даний метод обробки тощо.

Хоча і досягнуто значних успіхів у питаннях організації процесу АТФ та контролю його продуктивності, однак є потреба у дослідженнях конструкційно-технологічних параметрів цього процесу (аераційний та температурний режими, частота обертання робочих органів, мікробіотичне середовище, геометричні параметри обладнання тощо).

Також результати експериментальних досліджень, оприлюднені за останні десять років, сприяли суттєвому вдосконаленню існуючої широко застосовуваної технології. Певною мірою практичні результати зазначених досліджень сприяли розширенню сфери дослідницької діяльності в галузі твердофазної ферментації, що, в свою чергу, допомогло краще зрозуміти наявні системи АТФ [6]. Переваги АТФ, про які зазначається в роботах [1–6] можна поділити за категоріями: біологічні; за обробкою сировини; екологічні, економічні. В табл. 1 наведено основні переваги АТФ в рамках цих категорій.

Таблиця 1 - Переваги аеробної твердофазної ферментації органічної сировини.

Категорія	Переваги
Біологічні	Переваги, пов'язані із виробництвом ферментів; можливість виробництва продукції у значних обсягах; відсутність катаболічної репресії; можливість біологічної активності на субстратах з високою концентрацією твердої фази; вищий рівень продуктивності за показником виготовленої продукції та її висока стабільність; відсутність суворого контролю за процесом; полегшена аерація; низька потреба у воді; багаторазовість використання спор, можливість їх тривалого зберігання та використання в якості посівного матеріалу.
Обробка органічної сировини	Компактність, простота конструкції та обслуговування камер ферментації; удосконалені технології порційного завантаження субстратів та вивантаження готового компосту; відсутність складної попередньої обробки органічної сировини для приготування субстратів; проста технологія переробки субстратів у компости; низьке енергоспоживання; мінімальна потреба в інгібіторах.
Екологічні	Менша кількість рідких стоків; високий ступінь дезінфекції; вирішення проблеми відходів як джерела біологічного забруднення оточуючого середовища.
Економічні	Технологія є економічно привабливою через низьку вартість обладнання та сировини (використовуються органічні залишки рослинництва та тваринництва).

Однак, процес АТФ має ряд недоліків, таких як: нерівномірність змішування компонентів у субстраті; утворення зон зосередження інгібіторів процесу; сповільнена стадія гідролізу тощо. Недоліки представлені в таблиці 2.

Таблиця 2 - Недоліки аеробної твердофазної ферментації органічної сировини.

Недоліки	Можливі методи їх вирішення
Проблеми інженерного характеру, пов'язані із зростанням температури, зміною рН, перенесенням кисню, масо-та теплообмінними процесами тощо.	Здійснювати поточне вимірювання параметрів процесу з використанням ПК для підвищення ефективності контролю процесу АТФ.
Нерівномірний розподіл поживних речовин, вологи та кисню в субстраті.	Розробка конструкцій змішувачів, лопаток тощо.
Складність забезпечення стабільної аерації і розподілу кисню в усьому об'ємі субстрату.	Розробка систем примусової аерації, що також дозволяє контролювати температуру процесу.
Тепло, вилучене під час взаємодії мікробіоти з поживним середовищем, сприяє зростанню температури і призводить або до втрати вологи, або до надмірної вологості субстрату.	Використання теплоізоляційних матеріалів.
Дозування біомаси відповідно до швидкості росту колоній мікроорганізмів.	Розробка засобів вимірювання параметрів процесу з використанням ПК і застосуванням отриманих даних для контролю процесу АТФ.
Складність дослідження кінетичних параметрів процесу. Наявна інформація є обмеженою та суперечливою.	Розробка математичних моделей для ефективного прогнозування та оптимізації даних.

Лабораторні дослідження параметрів процесу АТФ допомогли зрозуміти які хімічні, та мікробіологічні зміни протікають в субстратах в процесі їх біохімічної конверсії в компости. Аналіз традиційних технологій обробки ферментованих продуктів харчування з метою виробництва цінних біотехнологічних продуктів свідчить, що АТФ має величезний потенціал для промислової експлуатації.

Звичайно, наукові результати, отримані під час дослідження параметрів процесу АТФ на невеликих камерах ферментації, не завжди можуть співпадати з результатами дослідження цих же параметрів, які проведені на установках об'ємом 250 л і більше. Проте процес АТФ все ж є набагато економічно привабливішими і конкурентоспроможнішими порівняно із зануреним бродінням.

Висновок. З метою підвищення ефективності переробки субстратів в компости та підвищення продуктивності установок АТФ з виробництва біотехнологічних продуктів слід виконати ряд досліджень із застосуванням сучасних досягнень науки та технологій. У зв'язку з цим необхідним є розуміння характеристик росту мікробіоти на різних субстратах за різних параметрів процесу (температура, вологість, режим аерації). Більше того, вказане розуміння є вкрай важливим для раціонального проектування ферментаційних установок та з метою забезпечення керованості процесом АТФ.

Список літератури

1. Banat I. M., Carboué Q., Saucedo-Castañeda G., de Jesús Cázares-Marinero J. Biosurfactants: The Green Generation of Speciality Chemicals and Potential Production Using Solid-State Fermentation (SSF) Technology. *Bioresource Technology*. 2020. Article number 124222. doi:10.1016/j.biortech.2020.12
2. Sharma P., Gaur V. K., Kim S.-H., Pandey A. Microbial strategies for bio-transforming food waste into resources. *Bioresource Technology*. 2020. Vol. 299. Article number 122580. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.12258>
3. Fan B., Xiang L., Yu Y., Chen X., Wu Q., Zhao K., ... Zheng Q. Solid-state fermentation with pretreated rice husk: Green technology for the distilled spirit (Baijiu) production. *Environmental Technology & Innovation*. 2020. Vol. 20. P. 101049. doi:10.1016/j.eti.2020.101049
4. Arora S., Rani R., Ghosh S. Bioreactors in solid state fermentation technology: Design, applications and engineering aspects. *Journal of Biotechnology*. 2018. Vol. 269. P. 16–34. doi:10.1016/j.jbiotec.2018.01.
5. Chen H., He Q. Value-added bioconversion of biomass by solid-state fermentation. *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*. 2012. Vol. 87, Issue 12. P. 1619–1625. doi:10.1002/jctb.3901
6. Singhanian R. R., Sukumaran R. K., Patel A. K., Larroche C., Pandey A. Advancement and comparative profiles in the production technologies using solid-state and submerged fermentation for microbial cellulases. *Enzyme and Microbial Technology*. 2010. Vol. 46, Issue 7. P. 541–549. doi:10.1016/j.enzmictec.2010.0

УДК 620.92

Цивенкова Н.М., кандидат технічних наук, доцент

Національний університет біоресурсів і природокористування України

Омаров І.С., аспірант

Інститут відновлюваної енергетики НАН України

РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ РОБОТИ ЗЕРНОСУШАРКИ НА ГЕНЕРАТОРНОМУ ГАЗІ

Анотація. Представлено результати експериментальних досліджень зернової сушарки з псевдозрідженим шаром, що працює на генераторному газі. Встановлено оптимальне відношення тривалості продування до тривалості циклу сушіння та визначено необхідну

температуру агента сушіння для забезпечення вищої швидкості випаровування вологи з зерна. Використання даної сушарки зменшує енерговитрати на післязбиральну обробку зерна на 30 %.

Ключові слова: генераторний газ, сушарка, псевдозріджений шар.

Актуальність та постановка проблеми. В Україні наявні режими сушіння в установках періодичної і безперервної дії не забезпечують потрібної якості сушіння і відповідних норм витрат енергії. Сушарки характеризуються низьким термічним ккд і підвищеною питомою матеріалоємністю [1]. Альтернативою використання обладнання конвективного способу підведення теплоти є сушарки з псевдозрідженим шаром [2]. Вологий продукт сушать в псевдозрідженому шарі, який створюється підігрітим агентом сушіння, що надходить через систему розподілу і підтримує в камері сушіння киплячий шар. При цьому створений режим ефективно перемішує продукт, що збільшує коефіцієнт теплопередачі, підвищуючи ефективність висушування усього об'єму зернового матеріалу. По мірі просування зерна в киплячому шарі по камерам сушарки відпрацьований агент сушіння видаляється через систему фільтрів та циклонів [2-4]. На підприємствах з надлишком соломи для забезпечення самодостатності виробництва та високих показників екологічної та енергетичної ефективності доцільним є оснащення сушарок газогенераторними установками [5].

Існує достатня кількість наукових праць з описом процесу сушіння в киплячому шарі, однак не усі вони дають модельне представлення сушіння зернового матеріалу, особливо насінневого, при енергозабезпеченні сушарки генераторним газом. Систематизувати методи моделювання процесу сушіння зерна в псевдозрідженому шарі складно через безліч факторів, які чинять вплив на інтегральний ефект даного процесу [6]. Науковці аналізують ці фактори по-різному, залежно від типу системи, що досліджується: властивості зерна, параметри процесу та ін. [6]. Розглядаються припущення (залежно від моделі) стосовно типу внутрішнього тепло- масопереносу, характеру руху зернин в матеріалі, ступеню перемішування, типу агенту сушіння, співвідношення температур агенту сушіння в об'ємі шару зерна та на виході з нього, типу експериментальної кінетики процесу та нагрівання матеріалу [7].

Існує необхідність дослідити процес сушіння зерна у сушарці з псевдозрідженим шаром з переривчастою подачею теплоносія, що працює на генераторному газі.

Метою роботи є підвищення ефективності роботи зерносушарки на генераторному газі.

Основні матеріали та методи дослідження. Дослідження виконано шляхом проведення багатофакторного експерименту. Конструкція запропонованої сушарки (рис. 1а), оснащеної газогенераторної установкою (рис. 1б), передбачає псевдозрідження зернового матеріалу не на всій поверхні зони сушіння, а послідовно по ділянкам. В кожен момент часу гарячим повітрям зерно продувається на одній ділянці зони сушіння. Тут воно

знаходиться в псевдозрідженому стані. Протікає інтенсивне сушіння і виникає біжуча хвиля, що сприяє транспортуванню зерна вздовж камери сушіння. В цей час решта зерна знаходиться в стані спокою. Здійснюється його рівномірне прогрівання і переміщення вологи капілярами до поверхні зерна.



а



б

Рис. 1. Видгляд робочої зони сушарки (а) та газогенераторної установки (б).

Метою дослідження було визначення оптимального відношення тривалості продування до тривалості циклу сушіння та визначення необхідної температури агенту сушіння для забезпечення вищої швидкості випаровування вологи з зерна. Зерно не повинне нагріватися вище граничної температури $T_1=45...50$ °С. Змінними факторами експерименту були: температура агенту сушіння T_2 , співвідношення часу відлежування зерна до тривалості продування, яке залежить від кількості секцій на решітці n та тривалості продування агентом сушіння однієї секції газорозподільного решета τ' . Зазначені параметри змінювалися: T_2 в діапазоні від 30 до 54; n від 4 до 16; τ' від 10 до 50. Кодування значень факторів було наступним: $X_1=T_2$, $X_2=n$, $X_3=\tau'$. Для отримання моделей процесу у вигляді поліномів другого ступеню вибрано некомпозиційний план другого порядку на кубі типу Бокса-Бенкіна. Для достовірності дослідних даних прийнято, що кількість паралельних дослідів, проведених за однакових умов, рівна $k=3$. Було виконано серію з 8 оригінальних дослідів у відповідності до матриці планування та обраховані коефіцієнти лінійної частини полінома.

Результати досліджень. Після обрахування коефіцієнтів кореляційних залежностей отримано рівняння регресії експозиції сушіння (1) та нагрівання зерна (2):

$$\tau = 5280 - 186.02 \cdot T_2 + 168.5 \cdot n - 30.42 \cdot \tau' - 3.33 \cdot T_2 \cdot n - 0.134 \cdot n \cdot \tau' + 2.2 \cdot T_2^2 + 6.21 \cdot n^2, \quad (1)$$

Характеристика адекватності рівняння: $R^2=0.987$; $F=20.88$; $p=1.89 \cdot 10^{-3}$.

$$\Delta T_1 = 20.66 + 0.08 T_2 - 0.0375 n + 0.025 \tau' - 0.07 T_2 \cdot n + 0.062 T_2 \cdot \tau' + 0.07 n \tau' - 0.034 T_2^2 + 0.017 n^2 - 0.025 (\tau')^2, \quad (2)$$

Характеристика адекватності рівняння: $R^2=0.994$; $F=44.641$; $p=3.03 \cdot 10^{-4}$.

Аналіз залежностей (1) та (2) свідчить, що із зменшенням температури агенту сушіння експозиція сушки зростає. Вона набуває мінімального значення

при найменшій кількості секцій. Зерно, в свою чергу, має тим вищу температуру, чим вища температура агенту сушіння. Температура зерна набуває найменших значень при кількості секцій 13...16. Тому була складена програма, за допомогою якої здійснили оптимізацію рівнянь (1) і (2). При цьому розраховувалися швидкість сушки і продуктивність сушарки. Дослідження показали, що при температурі сушильного агенту 60 °С процес сушіння протікає з найвищою швидкістю на ділянці з 6 до 10 секції. Максимальна продуктивність досягається при максимальній швидкості сушіння зерна при кількості секцій 14.

Шляхом випробовувань встановлено кінетичні залежності процесу сушіння, за якими, залежно від початкової вологості зерна, можна визначити потрібний час сушіння. Даний показник було отримано шляхом перебирання усіх комбінацій дослідних даних за допомогою програмного забезпечення Statistica 10 за відношенням часу відлежування τ'' до часу продування τ' . Час відлежування складає $\tau'' = \tau'(n-1)$. Найвища швидкість сушіння спостерігалася при відношенні $\tau'' \cdot (\tau')^{-1}$ в межах 0...8 залежно від температури агента сушіння. Спостерігалася явище зменшення швидкості випаровування вологи з шару зерна при подальшому зростанні температури агента сушіння. Дана закономірність пояснюється явищем загартовування зернин при високих температурах агенту сушіння, що ускладнює випаровування вологи з поверхні шару зерна.

За результатами досліджень продуктивність зерносушарки зростала при збільшенні температури агенту сушіння до 60 °С, а далі знижувалася. Максимальна продуктивність сушарки при температурі агента сушіння 60 °С зафіксована при співвідношенні $\tau'' \cdot (\tau')^{-1} = 13$. Хоча найвище значення швидкості сушіння та продуктивності досягаються за різних значень $\tau'' \cdot (\tau')^{-1}$, однак слід зазначити, що із збільшенням кількості секцій на газорозподільній решітці продуктивність різко зростає, хоча швидкість випаровування вологи зменшується.

Зернова сушарка була спроектована і виготовлена за критерієм максимальної продуктивності, яку було отримано дослідним шляхом за наступних раціональних значень параметрів: $T_2 = 60$ °С, $n = 14$, $\tau' = 30$ с. Техніко-економічні показники сушарки наступні: продуктивність 1,5 т/год; початкова вологість зерна – 19 %, кінцева – 13,5 %; температура агенту сушіння 60 °С; експозиція сушіння – 12 хв; витрати агента сушіння – 2600 м³/год; витрати палива (солома-січка) 50...56 кг/год, питомі витрати енергії – $4,28 \cdot 10^6$ Дж/кг.

Досліди щодо застосування газогенераторних технологій для енергозабезпечення зернової сушарки показують, що питомі витрати соломи-січки G на процес сушіння зерна в значній мірі залежать від її вологості $W_{\text{соломи}}$. Підвищення вологості сировини на 5 % призводить до зниження питомої продуктивності сушарки на 18 – 20 %. Отже, раціональним встановлено діапазоном значень вологості соломи в межах $W_{\text{соломи}} = 10...30$ %. При використанні сировини з вологістю $W_{\text{соломи}} > 30$ % питома продуктивність

сушарки знижується на 25 – 30 % і використання газогенераторних технологій є недоцільним.

Висновок. Методом проведення багатофакторного експерименту з подальшим аналізом даних встановлено раціональні конструктивно-технологічні параметри сушарки: максимальна продуктивність сушарки досягається при температурі агента сушіння 60 °С та співвідношенні часу продування до часу відлежування зерна 13; кількість секцій – 14 з тривалістю продування однієї секції 30 с. Застосування газогенераторних технологій для енергозабезпечення зернових сушарок є доцільним і забезпечує високі показники економічної, енергетичної та екологічної ефективності при використанні соломи з вологістю 10...30 %. Збільшення відносної вологості соломи на 5 – 10 % призводить до додаткових витрат теплоти на випаровування цієї вологи на 7...15 %. Використання соломи з вологістю понад 30 % знижує питому продуктивність сушарки на 25 – 30 %

Список літератури

1. Марченко В. Що потрібно знати, щоб висушити зерно (What you must know to dry the grain). Agroexpert, № 9, 2016. (In Ukrainian). [online] [12.09.2016]. Available at: <https://www.agroexpert.ua/ru/so-potribno-znati-sob-visusiti-zerno>
2. Novmand S. Fluidized bed drying. Handbook of Industrial Drying. Mujumdar A.S. (Ed.). New York: CRC press, 1995, pp. 195-248.
3. Мухлев И.П., Сажин Б.С., Фролов В.Ф. Расчеты аппаратов кипящего слоя: Справочник (Calculations of fluidized bed apparatus: Handbook). Leningrad: Chemistry, 1986, 352 p.
4. Golub G.A., Kukharets S.M., Yarosh Y.D., Kukharets V.V. Integrated use of bioenergy conversion technologies in agroecosystems. INMATEH – Agricultural Engineering, vol. 51, No. 1, 2017, pp. 93–100.
5. Tsyvenkova N.M., Golubenko A.A., Kukharets S.M., Biletsky V.R. The research of downdraft gas producer heat productivity on straw. Proceedings of International symposium “ISB-INMA TEH Agricultural and Mechanical Engineering”, October 27-29, 2016, Bucharest, Romania, pp. 83-91.
6. Azmir J., Hou Q., Yu A. Discrete particle simulation of food grain drying in a fluidised bed. Powder Technology, vol. 323, 2018, pp. 238-249.
7. Jajcevic D., Siegmanna E., Radeke Ch., Khinastab J.G. Large-scale CFD–DEM simulations of fluidized granular systems. Chemical Engineering Science, vol. 98, 2013, pp. 298-310.

УДК 662. 767. 2

Голубенко А.А., асистент

Поліський національний університет

Кулібаба Н.І., асистент

Національний університет біоресурсів і природокористування України

ФУНКЦІЯ ПРОДУКТИВНОСТІ КАМЕРИ ФЕРМЕНТАЦІЇ ОРГАНІЧНОЇ СИРОВИНИ

Анотація. Представлено математичну модель процесу ферментації органічної сировини. Виведено функцію продуктивності камери ферментації органічної сировини.

Ключові слова: органічна сировина, камера ферментації, біосировина.

Під час конверсії органічної сировини в метан (компост) в камерах ферментації (КФ) згідно [1] за умови анаеробного (аеробного) зброджування має місце вплив різноманітних факторів (довільні, керуючі, контролюючі, незмінні в часі, обов'язкові), ступінь значимості яких також різний.

Обов'язкові фактори свідчать про: наявність вільної води та органічної складової у субстраті; відсутність світла; анаеробність процесу; здатність здійснювати процеси метанової та кислотної генерації; наявність симбіозу мікробіоти середовища; стабільність температури на кожній з фаз ферментації.

Усі технологічні операції процесу сумісного виробництва біогазу та компосту, з врахуванням впливу зазначених факторів, оцінюються за якістю їх виконання за умови найменших матеріальних витрат та енергоємності процесу.

Технологічний процес ферментації біосировини включає наступні основні операції: I – підготовка субстрату; II – завантаження субстрату в КФ; III – анаеробне (аеробне) зброджування субстрату в камері; IV – очищення та використання біогазу; V – вивантаження та використання компосту.

За [3] функцію продуктивності КФ органічної сировини можна записати як суму двох складових – продуктивності КФ за компостом та за біогазом.

$$f\Pi_{\text{КФ}} = f\Pi_{\text{комп}} + f\Pi_{\text{біогаз}} \quad (1)$$

Обґрунтувавши етапи процесу ферментації органічної сировини в КФ функції $f\Pi_{\text{комп}}$ та $f\Pi_{\text{біогаз}}$ запишемо як:

$$f\Pi_{\text{комп}} = V_{\text{комп}} \cdot C_{\text{комп}} + \sum_{i=1}^k V_{\text{компДі}} \cdot C_{\text{комп}} - \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^l V_{\text{компіj}} \cdot C_{\text{комп}} - B_o + \sum_{i=1}^k B_{\text{Ді}} \rightarrow \max \quad (2)$$

$$f\Pi_{\text{біогаз}} = V_{\text{біогаз}} \cdot C_{\text{біогаз}} + \sum_{i=1}^k V_{\text{біогазДі}} \cdot C_{\text{біогаз}} - \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^l V_{\text{біогазіj}} \cdot C_{\text{біогаз}} - B_o + \sum_{i=1}^k B_{\text{Ді}} \rightarrow \max \quad (3)$$

де $f\Pi_{\text{комп}}$, $f\Pi_{\text{комп}}$ та $f\Pi_{\text{біогаз}}$ – відповідно функції сумарної продуктивності КФ, продуктивності КФ за компостом та за біогазом.

$V_{\text{комп}}$, $V_{\text{біогаз}}$ – відповідно кількість виробленого компосту та біогазу за добу з однієї тони субстрату, м³/т·добу;

$C_{\text{комп}}$, $C_{\text{біогаз}}$ – ціна 1 м³ об'єму компосту та біогазу, грн/м³;

$\sum_{i=1}^k V_{\text{біогаз}Di}$, $\sum_{i=1}^k V_{\text{комп}Di}$ – виробництво побічної продукція (залежно від умов ферментації – біогаз, компост) при виконанні i -ї операції техпроцесу, м³/т·добу;
 $\sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^l V_{\text{біогаз}ij}$, $\sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^l V_{\text{комп}ij}$ – можливе неповне виробництво побічної продукції через невиконання j показника якості при виконанні i -ї операції за технологічним процесом, м³/т·добу;
 B_o – витрати на виробництво продукції з тони субстрату, грн/т·добу;
 $\sum_{i=1}^k B_{Di}$ – додаткові витрати на i -ту операцію технологічного процесу виробництва продукції, грн/т·добу.

Максимуми функцій $f\Pi_{\text{комп}}$ та $f\Pi_{\text{біогаз}}$ матимуть місце за умови:

$$\sum_{i=1}^k V_{\text{біогаз}Di} \rightarrow \max; \sum_{i=1}^k V_{\text{комп}Di} \rightarrow \max; \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^l V_{\text{біогаз}ij} \rightarrow \min; \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^l V_{\text{комп}ij} \rightarrow \min; \sum_{i=1}^k B_{Di} \rightarrow \min. \quad (4)$$

Рівняння 4 має розв'язок, якщо буде виконано умови:

$$\sum_{i=1}^k V_{\text{комп}Di} > 0; \sum_{i=1}^k V_{\text{комп}Di} \cdot C_{\text{комп}} - \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^l V_{\text{комп}ij} \cdot C_{\text{комп}} \geq \sum_{i=1}^k B_{Di}. \quad (5)$$

$$\sum_{i=1}^k V_{\text{біогаз}Di} > 0; \sum_{i=1}^k V_{\text{біогаз}Di} \cdot C_{\text{біогаз}} - \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^l V_{\text{біогаз}ij} \cdot C_{\text{біогаз}} \geq \sum_{i=1}^k B_{Di}. \quad (6)$$

Отже, функцію витрат запишемо у вигляді:

$$B_o(x) = \sum_{i=1}^k B_i(x) = B_1(x) + B_2(x) + \dots + B_k(x) \rightarrow \min, \quad (7)$$

де $B_1(x)$, $B_2(x)$, ..., $B_k(x)$ – витрати на виконання відповідної операції за технологічним процесом ферментації субстратів з біосировини, грн/т·добу;
 $i=1, 2, \dots, k$ – послідовність операцій в технологічному процесі.

Для здійснення розрахунків з визначення ступеню значимості кожної операції було використано витрати, пов'язані з реалізацією даної операції.

Під час ферментації субстрату в КФ найбільші витрати праці пов'язані з перемішуванням компонентів у субстраті та нагріванням і підтриманням стабільної температури у камері відповідно до фази ферментації.

Облаштування установки системою фільтрації та очищення біогазу дозволяють використовувати зазначений газ для виробництва електроенергії і теплоти шляхом його прямого спалювання в котлах.

Висновки. Аналіз свідчить, що удосконалити технологічний процес ферментації субстратів з біосировини в КФ можна шляхом:

1. Виготовлення КФ стаціонарного типу для підготовки метагенної мікрофлори, адаптованої до психрофільних умов. Внесення її в свіжі субстрати прискорить процес анаеробного розкладання субстрату в КФ;
2. Зниження витрат на підігрівання субстрату в КФ шляхом застосування психрофільного режиму ферментації;

3. Розробка конструкції КФ, доступної по вартості, простої у виготовленні, експлуатації та обслуговуванні з можливістю її встановлення в закритих приміщеннях, на зразок приміщень з утримання ВРХ тощо;

4. Виготовлення і застосування ефективної системи фільтрації і очищення біогазу для виробництва теплової та електричної енергії.

Список літератури

7. Singhania R. R., Sukumaran R. K., Patel A. K., Larroche C., Pandey A. Advancement and comparative profiles in the production technologies using solid-state and submerged fermentation for microbial cellulases. *Enzyme and Microbial Technology*. 2010. Vol. 46, Issue 7. P. 541–549. doi:10.1016/j.enzmictec.2010.0

УДК 631.861, 631.171

Цивенкова Н.М., кандидат технічних наук, доцент

Національний університет біоресурсів і природокористування України

Голубенко А.А., асистент

Терещук М.Б., аспірант

Поліський національний університет

МОДЕЛЮВАННЯ ТЕПЛООВОГО БАЛАНСУ ЗАКРИТОЇ КАМЕРИ ФЕРМЕНТАЦІЇ З ВИРОБНИЦТВА КОМПОСТУ

Анотація. Представлено методику визначення балансової теплоти, необхідної для забезпечення оптимального температурного режиму активної фази процесу компостування субстратів з біосировини.

Ключові слова: закрыта камера, процес ферментації, тепловий баланс, біосировина, компост

Вихідними даними до математичної моделі були конструктивні параметри камери, фізико-хімічні властивості ізоляційного матеріалу, параметри оточуючого середовища та температурні режими кожної з фаз процесу компостування [1]. Для спрощення моделі прийнято ряд припущень: субстрат – це однорідне середовище; повітря для аерації субстрату – ідеальний газ; матеріал утеплювача за тепло-ізолюючими властивостями є однорідним матеріалом. Прийняті припущення дозволили спростити математичну модель без втрати точності.

При складанні теплового балансу введено параметр «балансова теплота» – кількість теплоти, яку потрібно підвести/відвести до/з системи, щоб підтримувати оптимальний температурний режим на усіх фазах процесу компостування. Розглянемо лише активну фазу процесу компостування, а саме мезофільну та термофільну фази.

Тепловий баланс є рівністю прибуткової та видаткової частин:

$$\sum Q_{\text{надх}} = \sum Q_{\text{витрат}}, \quad (1)$$

де $Q_{надх}$, $Q_{витр}$ – відповідно теплота, яка надходить та витрачається під час активної фази процесу, Дж.

Виконаємо аналіз обох частин балансу:

$$Q_{суб} + Q_{нов.аерац} + Q_{баланс} + Q_{іни} = Q_{відп.нов.} + Q_{втрат}, \quad (2)$$

де $Q_{суб}$ – кількість теплоти, яка виділяється при розкладанні субстрату протягом активної фази, Дж;

$Q_{нов. аерац.}$ – кількість теплоти, яка підводиться до камери з повітрям для аерації субстрату, Дж;

$Q_{баланс}$ – балансова теплота, Дж;

$Q_{іни}$ – теплота, що надходить з інших джерел (внаслідок тертя субстрату по поверхням камери, тощо), Дж. Складовою $Q_{іни}$ нехтуємо через її малі значення;

$Q_{відп. нов.}$ – кількість теплоти, яка відводиться від камери з відпрацьованим повітрям аерації субстрату, Дж;

$Q_{втрат}$ – втрати теплоти в довкілля через конвекцію та теплове випромінювання, Дж.

Досліджуваним параметром є балансова теплота $Q_{баланс}$, яка приймає як додатні, так і від'ємні значення.

$$Q_{баланс} = Q_{відп.нов.} + Q_{втрат} - Q_{суб} - Q_{нов.аерац.}, \quad (3)$$

Теплота, виділена при розкладанні субстрату під час активної фази процесу компостування, Дж:

$$Q_{суб} = m \cdot k \cdot I \cdot \Delta\tau / t, \quad (4)$$

де m – маса субстрату, кг; k – коефіцієнт, що враховує нерівномірність виділення теплоти під час активної фази процесу; I – питоме тепловиділення з одного кілограму субстрату, Дж/кг; $\Delta\tau$ – інтервал часу активної фази, год; t – тривалість активної фази процесу компостування, год.

Теплота, яка підводиться до камери з повітрям для аерації субстрату $Q_{нов. аерац.}$, Дж:

$$Q_{нов.аерац} = C_{нов.} \cdot \rho \cdot V_{нов.} (T_{опт} - T_{нов.аерац.}) \Delta\tau t^{-1}, \quad (5)$$

де $C_{нов.}$ – питома теплоємність повітря, Дж/(кг·°C); ρ – щільність повітря, кг/м³; $V_{нов.}$ – об'єм повітря, необхідного для аерації субстрату протягом активної фази процесу компостування, м³; $T_{опт}$ – оптимальна температура активної фази процесу [2], °C; $T_{нов. аерац.}$ – температура повітря, яке використовується для аерації субстрату, °C.

Кількість теплоти $Q_{відп. нов.}$, яка відводиться від камери з відпрацьованим повітрям аерації субстрату, Дж:

$$Q_{відп.нов.} = C_{нов.} \cdot \rho \cdot V_{нов.} (T_{відп.нов.} - T_{зовніш.}) \Delta\tau t^{-1}, \quad (6)$$

де $T_{зовніш.}$, $T_{відп. нов.}$ – відповідно температура навколишнього середовища та температура відпрацьованого повітря для аерації субстрату, яке відводиться від камери, °C.

Втрати теплоти в довкілля $Q_{втрат}$ через конвекцію та теплове випромінювання є найвищими. Рівняння для визначення величини цих втрат $Q_{втрат}$ наступне, Дж:

$$Q_{втрат} = F(T_{онт} - T_{зовнш}) \Delta \tau / \sum_{i=1}^n R_i, \quad (7)$$

де F – площа поверхні теплообміну, м²; $\sum_{i=1}^n R_i$ – сумарний коефіцієнт теплового опору, м²·°C/Вт.

$$F = \pi \left(D + 2 \sum_{i=1}^n h_i \right) \left(0.5 \cdot D + \sum_{i=1}^n h_i + L \right), \quad (8)$$

де D – внутрішній діаметр барабана камери, м; h_i – товщина i -ої стінки барабана камери з врахуванням утеплювача, м; L – довжина барабана, м.

Сумарний коефіцієнт теплового опору для багатошарової стінки барабана камери ферментації [3]:

$$\sum_{i=1}^n R_i = \frac{1}{\alpha_1} + \sum_{i=1}^n \frac{h_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_2}, \quad (9)$$

де h_i – товщина i -го шару стінки барабана камери, м; λ_i – коефіцієнт теплопровідності i -го шару барабана камери, Вт/(м·°C); α_1 , α_2 – коефіцієнти тепловіддачі від субстрату до внутрішньої стінки барабану камери та від зовнішньої стінки в навколишнє середовище, Вт/(м²·°C).

Підстановкою виразів (4–7) в рівняння (3) маємо:

$$Q_{баланс} = m \cdot k \cdot I \cdot \Delta \tau \cdot t^{-1} + C_{нов} \cdot \rho \cdot V_{нов} (T_{онт} - T_{нов.аераци}) \Delta \tau \cdot t^{-1} - \left(\pi \left(D + 2 \sum_{i=1}^n h_i \right) \left(\frac{D}{2} + \sum_{i=1}^n h_i + L \right) (T_{онт} - T_{зовнш}) \Delta \tau \left[\frac{1}{\alpha_1} + \sum_{i=1}^n \frac{h_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_2} \right]^{-1} \right) \quad (10)$$

З рівняння (10) отримаємо:

$$\frac{dQ_{баланс}}{d\tau} = m \cdot k \cdot I \cdot t^{-1} + C_{нов} \cdot \rho \cdot V_{нов} (T_{онт} - T_{нов.аераци}) / t - \left(\pi \left(D + 2 \sum_{i=1}^n h_i \right) \left(\frac{D}{2} + \sum_{i=1}^n h_i + L \right) (T_{онт} - T_{зовнш}) \left[\frac{1}{\alpha_1} + \sum_{i=1}^n \frac{h_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_2} \right]^{-1} \right) \quad (11)$$

Висновок. Відповідно до рівняння (11) балансова теплота залежить від температури навколишнього середовища, температури повітря для аерації субстрату та товщини шару теплоізоляції. Щоб задати високу точність математичної моделі, такі вхідні параметри як оптимальна температура відповідної фази компостування, тривалість циклу компостування та питоме тепловиділення субстрату потрібно визначати для кожного певного складу субстрату.

Список літератури

5. G Golub et al. Determining of the influence of reactor parameters on the uniformity of mixing substrate components. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, Vol. 6, №7 (108), 2020, pp. 60–70.

6. O. Vechera, M. Tereshchuk, V. Chuba, N. Tsyvenkova. Investigation of aerobic solid fraction fermentation process parameters for organic material.

Engineering for rural development 2020: proceedings of the 19-th International scientific conference, May 20-22 2020. Jelgava, Latvia, 2020. P. 1450–1455.

7. *Теплотехнический справочник, Т. 2. / Под ред. В.Н. Юренева, П.Д. Лебедева. М.: Энергия, 1976, 896 с.*

УДК 622.65

Цивенкова Н.М., кандидат технічних наук, доцент

Національний університет біоресурсів і природокористування України

Омаров І.С., аспірант

Інститут відновлюваної енергетики НАН України

ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ ЕНЕРГЕТИЧНОГО СЕКТОРУ УКРАЇНИ

Анотація. Розглянуто умови переходу України на виробництво енергії з альтернативних джерел, що дозволить децентралізувати процеси виробництва енергії відповідно до загальноєвропейських правил безвуглецевого розвитку та увійти до складу світових ланцюгів постачання «чистої енергії», які усе більше зосереджуються в євроатлантичному просторі.

Ключові слова: енергія, альтернативні джерела, безвуглецевий розвиток, біомаса.

8.

В умовах війни, через прицільні атаки ворога, об'єкти енергетичної інфраструктури України зазнали серйозних руйнувань. Проте, це сприяло розумінню що терміново потрібно зробити енергетичний перехід, який полягатиме у відмові від викопного палива на користь низьковуглецевих технологій. Сучасна Україна має можливість досягти чистого енергетичного майбутнього шляхом використання альтернативних джерел енергії. Позитивним є й те, що використання цих джерел дозволить децентралізувати процеси виробництва енергії, що відповідає загальноєвропейським правилам безвуглецевого розвитку [1], та увійти до складу світових ланцюгів постачання «чистої енергії», які усе більше зосереджуються в євроатлантичному просторі.

Для України, в розрізі децентралізації енергосистеми, перспективним є розвиток технології малих модульних установок невеликої потужності. Проте, вище зазначене потребує розробки та впровадження нової енергетичної інфраструктури.

Отже, план її відновлення повинен включати впровадження об'єктів виробництва енергії шляхом хіміко-термічної конверсії біомаси, а також сонячної і вітрової енергетики. Безумовно, потрібно розробляти потужні системи з видобутку «зеленого водню», забезпечувати енергетичну систему інвентарним обладнанням, системами зберігання енергії тощо.

Звісно, що відбудова енергетичного сектора України і в умовах війни, і в повоєнний час потребує як значних власних зусиль, так і підтримки міжнародних фінансових інституцій та закордонних партнерів. Вкладені зусилля – інвестиції не лише в енергосектор України, а й в енергетику майбутнього члена Європейського Союзу, оскільки наша держава у різних

секторах поступово адаптує своє енергетичне законодавство до законодавства ЄС. Для України відкриваються двері для конкуренції, впроваджуватимуться інноваційні технології доступного рівня з низьким ступенем викидів, залучатимуться інвестиції.

Оскільки наша держава є аграрною країною з потужною базою рослинної сировини – доцільно основні зусилля зосередити саме на виробництві енергії з біомаси, зокрема шляхом її піролізу чи газифікації. Це дозволить отримувати не лише електричну, але й силову та теплову енергії. Аграрний сектор зможе забезпечувати дешевою енергією як власні технологічні процеси, так і експортувати її іншим секторам економіки. Це сприятиме відкриттю нових робочих місць, розвитку регіонів та забезпеченню сталого розвитку енергетики і економіки України загалом.

Однак, перед науковцями стоїть серйозне завдання: не лише розробити нові високоефективні процеси виробництва енергії з рослинної біомаси, але й забезпечити відповідне обладнання засобами регулювання параметрами енергетичного обладнання. Зокрема, якщо мова йде про електричну енергію, тоді це можуть бути засоби регулювання частоти, напруги і потужності на основі чого наступним кроком буде створення спільного блоку регулювання енергосистем України та будь-якої іншої держави-партнера (Польщі, Молдови тощо).

Список літератури

Геращенко Г. Приєднання до європейської енергосистеми дозволило Україні вистояти в енергетичній війні. *Урядовий портал. Єдиний веб-портал органів виконавчої влади України*. URL: <https://www.kmu.gov.ua/news> (дата звернення: 24.03.2023).

5. Технологічні аспекти сільськогосподарського виробництва.

УДК 631.331.922

Вечера О.М.

Національний університет біоресурсів і природокористування України

Куянов В. В

Інститут післядипломної освіти Національного університету харчових технологій

ВДОСКОНАЛЕННЯ ІНЕРЦІЙНО-ФРИКЦІЙНОГО ПРОТРУЮВАЧА НАСІННЯ

Проведені останніми десятиліттями дослідження показали, що метод хімічного знезараження не завжди забезпечує необхідну ефективність дезінфекції зерна. Деякі типи мікроорганізмів, присутніх у насінні, спостерігають збільшення стійкості до дії отрутохімікатів, що

використовуються в процесі його знезараження. Таким чином для досягнення необхідної ефективності знезараження необхідно застосовувати підвищені дози протруйників, або використовувати нові більш ефективні та дорогі хімічні препарати, які мають високу токсичність. Крім того, існує межа використання отрутохімікатів, після якої їх подальше використання стає небезпечним. При цьому недосконалість технологій і технічних засобів хімічного захисту рослин від шкідників і хвороб, а також недотримання інших агротехнічних і технологічних вимог, призводять до надлишкового вмісту пестицидів у ґрунті, забруднення водоймищ і ґрунтових вод, пригнічення життєдіяльності ґрунтових мікроорганізмів, знищенню корисної мікрофлори. Одним з шляхів поліпшення даної ситуації є покращення передпосівної обробки насіння зернових.

До найбільш ефективних методів обробки насіння - дезінфекції на сьогоднішній день можна віднести різні електрофізичні методи знезараження, такі як: знезараження зерна прискореними електронами, потужним рентгенівським або гама-випромінюванням, струмами високої та надвисокої частоти, ультрафіолетовим опроміненням та іншими, а також озонування. Всі ці методи характеризуються високою ефективністю знезараження, але мають особливості. Так, за допомогою електрофізичних методів можна організувати безперервне знезараження зерна в потоці.

Сучасний світовий ринок машин для протруювання - це переважно камерні, шнекові і ротаційні машини, виготовлені у модифікаціях періодичної чи неперервної дії, стаціонарні і пересувні.

Розроблений раніше інерційно-фрикційний протруювач неперервної дії на сьогодні є найбільш досконалим – він не травмує насіння, навіть гороху, сої, соняшника, ріпаку та ін., самоочищається від залишків препаратів, забезпечує високу продуктивність і якість обробки насіння.

Протруювач інерційно-фрикційної дії здійснює неперервну обробку насіння за такою схемою: насіння з бункера протруювача надходить самопливом через дозуючу горловину по встановленому під нею розподільнику на дно обертового конічного робочого органа, куди під конус подається робоча рідина, яка під дією відцентрових сил розтягується в плівку на дні і зустрічається з насінням, яке обертаючись навколо своєї осі, відбирає своєю поверхнею препарат. Оброблене таким чином насіння самопливом вивантажується через випускні горловину але нанесений препарат не встигає утворити стійку тверду плівку за браком часу для цього і високої вологості повітря всередині камери протруювання.

Як показав аналіз конструктивно-технологічних параметрів цих протруювачів, вони потребують вдосконалення, особливо в напрямку забезпечення можливостей безпосереднього використання їх у фермерських господарствах, які до сьогодні змушені користуватися шнековим протруювачем ПНШ-3, що є модифікацією знятого з виробництва ще у 70-х роках ХХ століття протруювача ПСШ-3 [2].

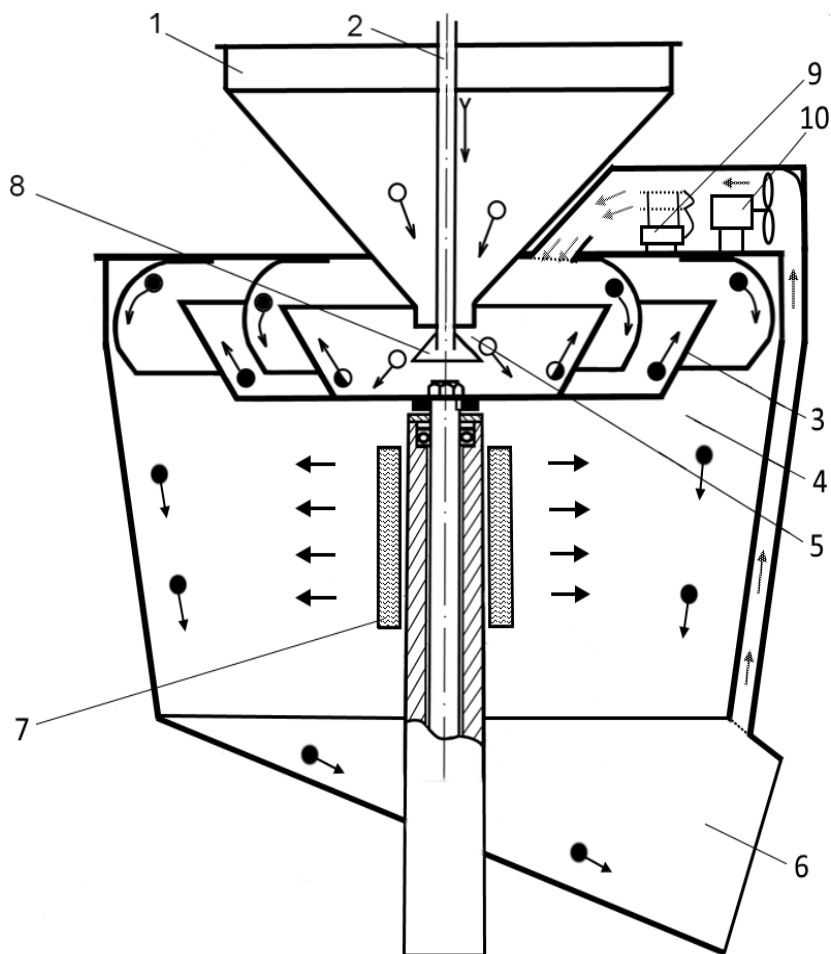


Рис.1. Робочий процес модифікованого протруювача інерційно-фрикційного типу: 1- бункер; 2- трубка подачі робочої рідини; 3- чашоподібний змішувач; 4- камера протруювання; 5- дозатор насіння; 6- вивантажувальна горловина; 7- ультрафіолетовий електро випромінювач; 8- конічний розподільник; 9- генератор озону; 10- повітряний нагнітач.

В результаті була розроблена нова вдосконалена конструкція протруювача інерційно-фрикційного типу (Рис.1.), яка має значно збільшену камеру протруювання з встановленим всередині потужним інфрачервоним джерелом опромінення, яке забезпечує швидкий нагрів поверхні протруєного насіння і підсушування його в процесі руху. Одночасно відбувається ультрафіолетове опромінення (фото стимуляція) насіння. Зверху додатково встановлений генератор озону з повітряним нагнітачем, який засмоктує повітря з вивантажувальної горловини, збагачує його озоном та подає в камеру протруювання.

Внаслідок комплексного впливу на насіння – знезараження озоном та дії опромінення швидко утворюється тверда плівка робочого препарату на поверхні, вона більш стійка до стирання та утримує більшу кількість пестицидів на насініні, таким чином підвищується загальна ефективність

обробки і підвищується врожайність культури завдяки додаткового знезараження озonom.

Також значна ефективність по збільшенню схожості була досягнута в дослідах по використанню фото стимуляції насіння найбільш поширених на території України сільськогосподарських культур - буряка, ячменю, сої, озимої пшениці, кукурудзи [3].

Крім того, в залежності від стану та виду насіння, стає можливо виконати екологічне знезараження без застосування пестицидів, використовуючи тільки дію ультрафіолету та озону.

Список літератури

1. Сергій Кнечунас Авіцена – вдалий старт на шляху до якісного та високого врожаю. Кнечунас Сергій. Агроном. 2016. №3. С. 82-84.
2. Тримбач С. П., Вечера О. М. Сучасний стан та перспективи розвитку машин для протруювання насіння с.-г. культур. Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин, 2011. Вип. 41. С. 406-413.
3. Одилбеков К.М., Акназаров О.А. Влияние предпосевной обработки семян УФ-лучами разной длины волны на ростовые процессы, уровень гормонов и продуктивность растений // Доклады Академии наук Республики Таджикистан. 2007. Т. 50. N2. С. 165-170.

УДК 631.331.922

Вечера О.М.

Національний університет біоресурсів і природокористування України

Куянов В. В

Інститут післядипломної освіти Національного університету харчових технологій

ВИКОРИСТАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ОЗОНУВАННЯ В ПРОТРУЮВАННІ НАСІННЯ

Мета: модернізація універсального протруювача насіння з метою підвищення якості технологічного процесу.

Сучасні господарства зменшують інтенсивність виробництва з використанням високоякісного насіння, та сподіваються, що така стратегія означатиме нижчу якість врожаю, але забезпечить його достатній обсяг.

Тому підготовку насіння для посіву (очистку, калібровку та протруювання) господарства проводять часто самостійно для здешевлення цих процесів.

Але при тривалому зберіганні зерна в силосі або буртах спостерігається розмноження в ньому різних мікроорганізмів та пліснявих грибків. Внаслідок їх життєдіяльності в зерновій масі накопичуються токсини, які призводять до швидкого псування насінневого матеріалу. Для запобігання мікробіологічному

зараженню зерна потрібно здійснювати його знезараження. Як правило, для цього використовується метод хімічного знезараження за допомогою отрутохімікатів.

Проведені в останні десятиліття дослідження показали, що метод хімічного знезараження не завжди забезпечує необхідну ефективність дезінфекції зерна. Було виявлено, що у деяких типів мікроорганізмів, присутніх в зерні, спостерігається збільшення стійкості до дії отрутохімікатів, що використовуються в процесі його знезараження.

Тобто для досягнення необхідної ефективності знезараження необхідно застосовувати підвищені дози протруйників, або використовувати нові більш ефективні та дорогі хімічні препарати, які мають високу токсичність. Крім того, існує межа використання отрутохімікатів, після якого подальше їх використання стає небезпечним.

Результати аналізу технологічних і технічних рішень машин для нанесення рідких пестицидів на насіння сільськогосподарських культур та теоретичних досліджень передумов реалізації цього процесу свідчать, що підвищення якості обробки насіння досягається за рахунок змін в процесі за допомогою використання електрофізичних методів.

Постало питання пошуку такого методу знезараження, який би мав високу ефективність та крім того, його впровадження не викликало б великих капітальних витрат. Одним із таких методів є знезараження зерна за допомогою озонування.

При застосуванні озонування слід прийняти до уваги, що для здійснення знезараження зерна не потрібно застосування жодних додаткових реагентів – озон утворюється безпосередньо з атмосферного повітря та для його утворення необхідно лише підключити установку до електромережі.

Також слід врахувати, що озон відноситься до екологічно безпечних речовин. Він дуже швидко (протягом кількох десятків хвилин) перетворюється на звичайний кисень, не завдає жодної шкоди здоров'ю людини або навколишньому середовищу.

Озон взаємодіє з мембранною структурою клітини бактерій, грибів, структурною одиницею вірусів, що призводить до порушення її бар'єрної функції та їхньої загибелі.

Взаємодія озону з рослинним матеріалом викликає у ньому зниження енергетичного рівня зв'язків вологи, прискорює процес його підсушування та підвищує ефективність.

Так, сушіння зерна в озono - повітряному середовищі крім ефективного знезараження забезпечує та покращує якісні показники зерна, а також покращує показники схожості.

Як видно з Рис.1 при досягненні параметра озонування значення СТ 650...700 мгО₃·ч/м³, кількість мікроорганізмів, що перебувають у зерні, зменшується приблизно в 9...10 разів, у цвілевих грибів - у 6...7 разів. Стійкий ефект зберігається в протягом кількох тижнів, при цьому знижується

сприйнятливість зерна до різних видів інфекцій та захворювань, у тому числі і до сажкових хвороб.

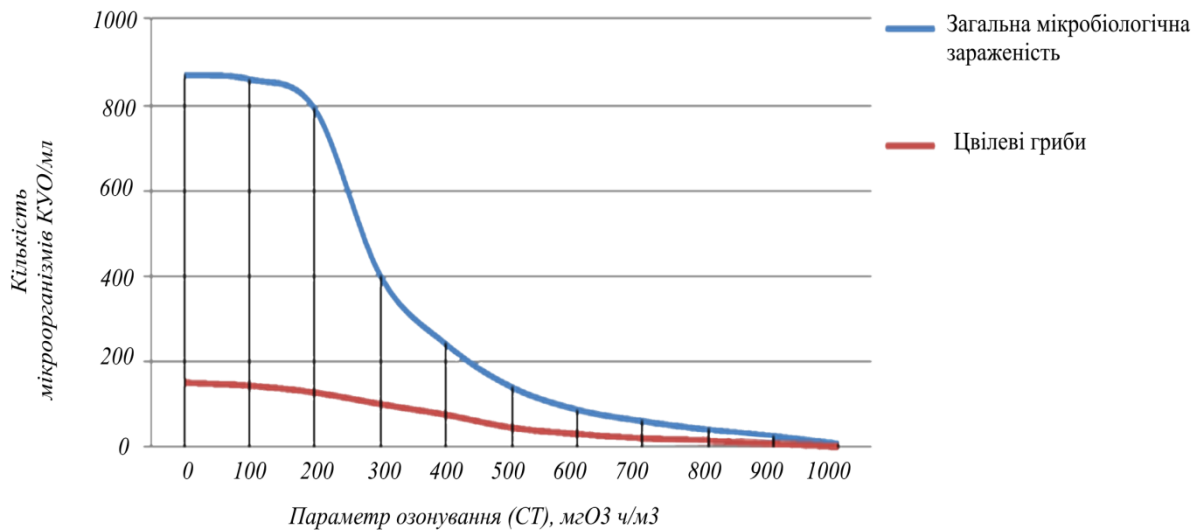


Рис.1. Ефективність знезараження зерна озonom.

У зв'язку з цим розроблена нова вдосконалена конструкція протруювача інерційно-фрикційного типу, яка має значно подовжену камеру протруювання з встановленим зовні потужним джерелом озону, яке забезпечує необхідну концентрацію озону за допомогою кільцевого потоку повітряно - озонної суміші знизу вгору камери для мінімального витіку назовні. При проходженні через насіння, яке рухається зверху вниз відбувається активний контакт з його поверхнею (продувка насіння).

Використання озону для обробки зерна в протруювачах, дозволяє забезпечити його більш якісний захист від різних шкідників та мікроорганізмів, а також забезпечити надійне його зберігання та збільшення схожості насіння без використання додаткових токсичних протруйників і таким чином підвищується загальна ефективність процесу протруювання. Також слід врахувати, що озон відноситься до екологічно безпечних речовин.

УДК 631.331.922

Вечера О.М.

Національний університет біоресурсів і природокористування України

Куянов В. В

Інститут післядипломної освіти Національного університету харчових технологій

**ПОКРАЩЕННЯ ЯКОСТІ ПРОТРУЮВАННЯ НАСІННЯ З
МОДИФІКОВАНИМ ВІБРАЦІЙНИМ ДОЗАТОРОМ БУНКЕРА**

В сільськогосподарських машинах, таких, як протруювачі насіння та в інших, потрібне дозування зернистих матеріалів з рівномірним неперервним дозуванням насіння сільськогосподарських культур і робочої рідини, оскільки вони є необхідною передумовою рівномірної обробки насіння препаратом, а отже і досягнення високої ефективності протруювання. Ця операція часто поєднується із одночасним формуванням потоку насіння певної форми та щільності за допомогою проточних дозаторів об'ємного типу, обладнаних пасивними чи активними розподільниками насіння. Продуктивність та рівномірність потоку насіння, що подається такими дозаторами на робочий орган, визначається умовами його витікання з бункера, пропускною здатністю дозуючого отвору, гальмівною дією розподільників та ін. Продуктивність дозаторів з активними розподільниками залежить від частоти обертання розподільника та його конструкції (диск або конус), а дозаторів протруювачів інерційно-фрикційного типу [1], у яких робочий орган одночасно є активним розподільником насіння - ще й від параметрів бокової поверхні робочого органа та вібраційними процесами протруювача. Згідно з результатами досліджень [2] вплив умов витікання насіння з бункера на рівномірність потоку визначається параметрами випускного отвору, місткості і висотою заповнення її насінням, а також його фізико-механічними властивостями, включаючи тертя.

До чинників, сприяючих зниженню сил сухого тертя, відноситься коливальний рух бункера і зернистого матеріалу, що знаходиться в ньому. Для мобільних машин – це можуть випадкові коливання бункера, обумовлені хитавицею машин або вібраційними коливаннями від працюючих електродвигунів та механічних передач, які передають обертовий момент тощо. Але з метою усунення можливості утворення зведень і здобуття стійкішого і рівносірнішого виділення матеріалу від бункера, спеціальний коливальний рух можна надати бункеру або сипкому матеріалу.

Два основні завдання динаміки зернистих матеріалів (закони виділення і закони розподілу тиску на дно і стінки силосів і бункерів) розглядаються в припущенні існування досить великих коефіцієнтів внутрішнього і зовнішнього тертя зерен.-Между тим, кути тертя в різних сипких матеріалів змінюються в широких межах і можуть бути малими. Можна уявити собі і такий зернистий матеріал, між зернами якого є рідина, наприклад, масляна або інша плівка. У статиці такий матеріал поводитиметься так, як ніби сили зовнішнього і внутрішнього тертя практично відсутні.

Ефект дії вібрацій на зернисте середовище зводиться як би до зниження коефіцієнтів тертя. В процесі коливань сили нормального тиску зерен одне до одного, на стінку труби і сили тертя між ними змінюються. В результаті цього сили, недостатні для взаємного відносного зсуву зерен при їх спокої, можуть виявитися достатніми для здійснення переміщень в окремі моменти часу при вібраціях, що негативно впливає на рівномірність процесу протруювання насіння. Загальний ефект від дії вібрацій зводиться, таким чином, до зменшення сил, необхідних для здійснення переміщень, тобто до зменшення коефіцієнта

тертя. Таке явище добре відоме в техніці і знаходить практичне вживання, наприклад, при вібраційному зануренні паль.

Метою досліджень є здобуття якісної оцінки впливу вібрацій дозатора бункера на динаміку зернистого матеріалу, тобто вивчення впливу вібрацій на закони виділення і розподілу тиску в бункері. У основу цієї оцінки покладений ефект зниження кутів тертя при вібраціях. Кількісне дослідження повинне враховувати всі характеристики коливального руху, що здійснюється дозатором (поступальні коливання в горизонтальному, вертикальному або похилому напрямках; поступальні коливання по кругових або еліптичних траєкторіях і т.п.).

Відповідно до викладеного, вважатимемо, що із зростанням інтенсивності (частоти і максимального прискорення) вібрацій ефективні кути тертя знижуються, і в граничному випадку можна уявити собі їх повне зникнення. Це приведе до відповідної зміни коефіцієнтів опору та нормального тиску, що впливає на рівномірність подачі насіння.

У випадку використання активних розподільників (як правило, обертових дисків, конусів тощо) гальмівний опір висипанню насіння з випускної горловини бункера, ці розподільники створюють внаслідок накопичення в зоні під випускною горловиною шару насіння, що не евакуюється з цієї зони активними розподільниками. В цьому випадку причиною зменшення потенційної продуктивності дозатора є неузгодженість конструктивних параметрів дозатора та режимів роботи активного розподільника і випускної горловини. З метою прискорення евакуації насіння із зони сходу його з розподільника в деяких протруювачах (наприклад ПНУ-4) пробували застосовувати додаткові конструктивні елементи – активатори.

В протруювачах інерційно-фрикційного типу, які поєднують дозування, розподілення і обробку насіння рідкими пестицидами одним робочим органом, продуктивність дозатора визначають ті ж фактори, що й в інших проточних дозаторів з активними розподільниками, та ще й параметри бокової конічної поверхні робочого органу [1]. Узгодження дії усіх цих факторів з обов'язковим врахуванням характеристик насіння, що дозується і обробляється, забезпечує надійну роботу протруювача в цілому, яка, очевидно, можлива у випадку, коли насіння з достатньою швидкістю буде рухатися вгору по твірній конічного робочого органа. Ця ж умова є і умовою не гальмування насінням, що знаходиться на робочому органі, насіння, яке надходить від дозатора.

В подальшому для більш якісного проектування та розрахунку продуктивності була поставлена задача розрахувати максимальну швидкість висипання, а отже й продуктивність конічного бункера з модифікованим конічним розподільником (вібраційним дозатором) всередині бункера, який використовується в модифікованих конструкціях протруювачів типу ПНУ-4, ПНУ-10 та розрахувати оптимальні параметри бункера відповідно продуктивності робочого органу - камери протруювання для отримання

максимальної продуктивності та мінімальної нерівномірності протруювання насіння з врахуванням вібраційних коливань протруювача.

Список літератури

4. Тимошенко С.П., Вечера О.М., Тимошенко С.І. Спосіб обробки насіння рідкими препаратами. П. № 96498 А01С 1/08, 2006/01, п.10/11/2011, бюл.№21.
5. Тимошенко С.П., Михайленко М.А. и др. “Разработать рабочие органы протравливателей семян и обосновать их оптимальные параметры”. Раздел №2 Отчета по теме №4 НИР УНИИМЭСХ, Глеваха, 1978, 77с.

УДК 621.798(088.8)

Кулібаба Н.І., асистент

Національний університет біоресурсів і природокористування України

ВИВЧЕННЯ КІНЕМАТИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ФРИКЦІЙНОГО МЕХАНІЗМУ ОБ'ЄМНОГО ДОЗАТОРА ВІБРАЦІЙНОГО ТИПУ

Анотація. Сконструйовано об'ємний дозатор вібраційного типу для дрібнодисперсних сипких матеріалів, що дозволяє дозувати продукцію із високою продуктивністю та точністю. Запропоновано використання коливань чаші дозатора для повороту відсікаючих дисків мірного стакану фрикційним механізмом із собачкою, досліджено кінематику фрикційного механізму.

Ключові слова: об'ємний дозатор вібраційного типу, диски, фрикційний механізм.

Актуальність дослідження. На сьогоднішній день питанню використання корисної дії вібрації у роботі фрикційних механізмів практично не приділено уваги. Також не встановлено вплив параметрів вібрації та рух фрикційної пари.

Метою роботи є дослідження кінематичних параметрів фрикційного механізму об'ємного дозатора вібраційного типу задля підвищення ефективності.

Результати дослідження. Для формування доз дрібнодисперсної продукції величиною до 1 кг об'ємним способом пропонується конструкція вібраційного бункерного дозатора (рис. 1), основними елементами якої є завантажувальний бункер 1, оснащений віброуючим конічним днищем 8, який з'єднаний із чашею дозатора 2 [1]. Чаша дозатора 2 виконана у вигляді циліндричної ємкості з кришкою 4, яка через гнучкий рукав 10 з'єднана з перехідною лункою 11 завантажувального бункера.

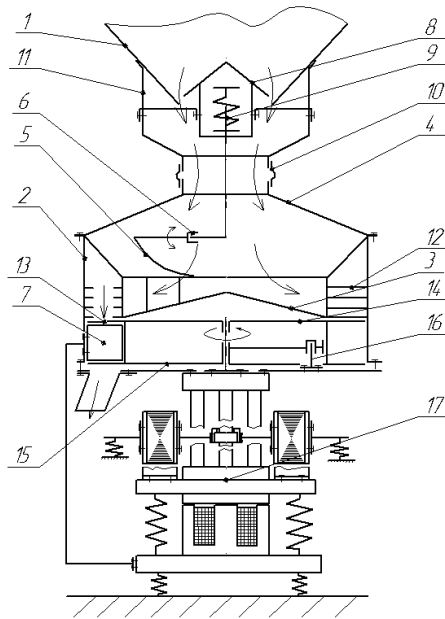


Рис. 1. Вібраційний бункерний дозатор для дрібнодисперсних СМ

Однією з умов забезпечення працездатності дозатора є гарантування рівномірності подачі матеріалу у чашу дозатора 2, що реалізується за допомогою віброуючого днища 8. Останній оснащений електромагнітом вертикальних коливань 9 і механізмом регулювання рівня продукту в чаші, який складається із прапорця 5 і шарнірного механізму 6.

Враховуючи фізико-механічні властивості СМ та використавши розроблену методику [2], оптимально підібрано геометрію та режими вібрації конічного днища з метою рівномірної подачі дрібнодисперсного продукту у чашу дозатора. Для рівномірного витікання сипкої продукції, наприклад, борошна завантажувальна лунка із радіусом випускного отвору $R_0 \approx 0,2$ м, висотою $h_k \approx 0,6$ м та кутом нахилу лунки до вертикалі $\Theta \approx \dots^\circ$ повинна реалізовувати коливання із частотою $\omega \approx 150$ рад/с та амплітудою $a \approx 2 \cdot 10^{-3}$ м.

В чаші дозатора 2 під дією коливань сипкий продукт плавно розтікається по поверхні конічного днища 3 та через завантажувальний отвір потрапляє на транспортні доріжки 12, де під дією вібраційного транспортування переміщується на позицію наповнення мірника 7. Мірник розташований між двома відсікаючими дисками, встановленими за допомогою підшипникового вузла на вертикальній осі. Диски здійснюють плавний обертний рух завдяки фрикційному механізму 16, який перетворює коливання чаші у обертний рух дисків. Отвори на верхньому 14 та нижньому 15 дисках розташовані у шаховому порядку. При співпаданні отворів верхнього диску 14 з мірником 7 відбувається його наповнення, при співпаданні отворів нижнього диску 15 з мірником 7 – випорожнення. Для запобігання зависанню сипкого матеріалу в мірнику 7 та гарантування його випорожнення, останній здійснює вертикальні

коливання, завдяки з'єднанню його з реактивною масою привода дозатора, що реалізує вертикальні коливання.

Приводом дозатора служать незалежні електромагнітні віброзбудники кутових та вертикальних коливань, а також пружні системи у вигляді гратчастого торсіона для кутових коливань та у вигляді плоских пружин – для вертикальних коливань. Це дозволяє забезпечити високі швидкості руху СМ у безвідривних режимах і, відповідно, високу продуктивність дозатора.

Фрикційний механізм із собачкою використано у конструкції дозатора завдяки ряду переваг, а саме: можливості використання корисної дії вібрації; простоті виготовлення тіл кочення; безшумності роботи; низькій інерційності, що дозволяє вмикати чи розмикати передачу у процесі руху; здатності до самозаклинювання в залежності від напрямку руху.

Однак поряд із тим фрикційні передачі мають деякі недоліки: можливість проковзування та необхідність забезпечення постійного притискання фрикційних поверхонь; передчасне зношування деталей, що призводить до зниження довговічності механізму в цілому. Тому при застосуванні фрикційних передач у різного роду пристроях важливо дослідити як кінематику руху окремих ланок, так і їх геометричні розміри з метою підвищення працездатності та довговічності механізму. Найбільш поширеними у промисловості є такі види фрикційних передач із собачкою (рис. 2).

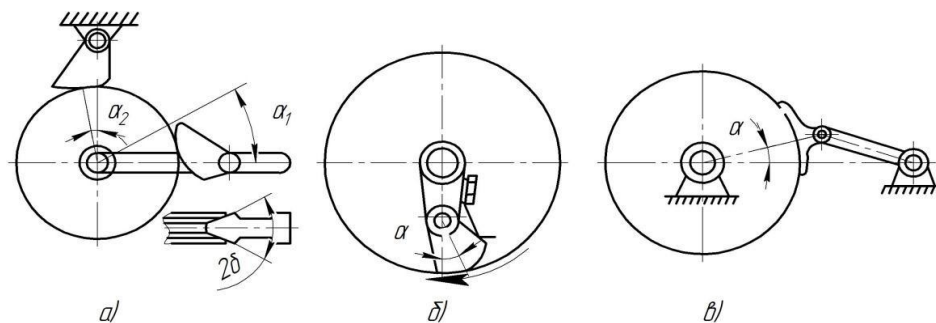


Рис. 2. Типові схеми фрикційних механізмів із собачками

Розрізняють собачки зовнішнього (рис. 2а, 2в) та внутрішнього тертя (рис. 2б). У фрикційних механізмах передача руху здійснюється завдяки силам тертя, тому робота цих передач є більш плавною і безшумною у порівнянні із іншими, у яких рух передається через зачеплення зубців. Умови роботи фрикційної передачі можна покращити різними способами, серед яких найефективнішими є: підбір оптимального кута заклинювання; використання матеріалів для фрикційної пари із високими коефіцієнтами тертя або проточуванням канавки трапецієвидної форми на шківі і надання такого ж профілю поверхні собачки.

Наприклад, якщо кут клина собачки 2α , то тертя у порівнянні із плоскою фрикційною собачкою зростає у співвідношенні $1/\sin \alpha$ [4]. Також для

підвищення стійкості та довговічності механізму можливе використання двох собачок.

Для дослідження руху ланок фрикційного механізму повороту відсікаючих дисків дозатора розглянемо його кінематичну схему (рис. 3), де точка А – відповідає осі обертання відсікаючих дисків, точка В – точці контакту фрикційної пари (відсікаючий диск – собачка), повзун 3 – основі чаші дозатора, що здійснює коливання.

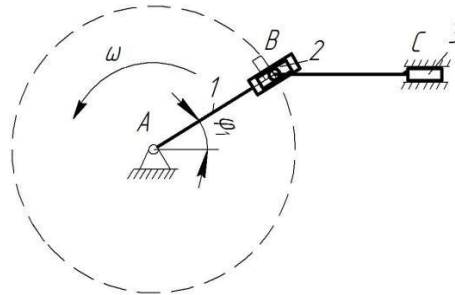


Рис. 3. Кінематична схема фрикційного механізму із собачкою

Існують три методи дослідження кінематики механізму: графічний, графоаналітичний та аналітичний. Перші два методи досліджень прості та наочні, однак не завжди забезпечують достатню точність розрахунків та не дозволяють здійснювати задачі оптимізації конструкції механізму. Тому для дослідження фрикційного механізму із собачкою було обрано один із аналітичних методів, а саме метод замкнутих контурів, згідно з яким будь-який механізм, що складається із замкнутого кінематичного ланцюга з нижчими парами, можна зобразити у вигляді замкнутого векторного контуру, замінивши умовно ланки механізму векторами (рис. 4). За початок векторного контуру приймається нерухома точка А. Модуль вектора може бути як постійним, так і змінним. Напрямок кожного вектора визначається кутом, що відраховується проти годинникової стрілки від лінії, яка паралельна осі X обраної системи координат і проведена через початок відповідного вектора. Знак вектора приймається плюс, якщо напрям вектора збігається з напрямом обходу контуру за годинниковою стрілкою.

$$\text{Умова замкненості векторних контурів: } \sum \vec{L}_m = 0, \quad (1)$$

де m – кількість ланок механізму.

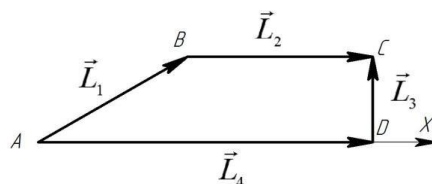


Рис. 4. План швидкостей фрикційного механізму із собачкою

Для фрикційного механізму (рис. 3) умова замкнутості матиме вигляд:

$$\vec{L}_1 + \vec{L}_2 - \vec{L}_3 - \vec{L}_4 = 0 \quad (2)$$

Із кінематичної схеми (рис. 3) встановлено, що вектори \vec{L}_1 та \vec{L}_2 – є незмінними по величині та визначаються геометричними розмірами чаші дозатора та відсікаючих дисків, а вектори \vec{L}_3 та \vec{L}_4 – визначають положення повзуна 3 відносно центру обертання точки А.

Для визначення закону переміщення повзуна 3 запишемо векторне рівняння (2) у проєкціях на вісь X:

$$L_4 = L_1 \cdot \cos(\varphi_1) + L_2 \quad (3)$$

де φ_1 – кут повороту кривошипа 1.

Диференціюючи рівняння за часом t отримаємо абсолютну швидкість ланки 3:

$$\frac{dL_4}{dt} = V_{C_3} = -L_1 \cdot \omega_1 \cdot \sin(\varphi_1) \quad (4)$$

де $\omega_1 = \frac{d\varphi_1}{dt}$ – кутова швидкість ланки 1.

Знак мінус в рівнянні (4) вказує на те, що вектор швидкості \vec{V}_{C_3} направлений протилежно вибраному напрямку осі X.

З іншої сторони швидкість руху ланки 3 відповідає швидкості руху стінки бункера, збудованої горизонтальними коливаннями пружної системи дозатора:

$$V_{C_3} = A_r \cdot \omega \cdot |\cos(\omega t)| \quad (5)$$

де A_r – горизонтальна складова амплітуди коливань чаші дозатора, ω – кутова частота коливань чаші.

Прирівнявши рівняння (4) та (5) отримаємо:

$$L_1 \cdot \omega_1 \cdot \sin(\varphi_1) = A_r \cdot \omega \cdot \cos(\omega t) \quad (6)$$

Загальний розв'язок рівняння (6) можна представити у вигляді:

$$\varphi_1(t) = \arccos\left(-\frac{A_r}{L_1} \cdot \sin(\omega t) + C\right) \quad (7)$$

де C – стала інтегрування.

Для знаходження часткового розв'язку із загального (6) використаємо початкову умову:

$$\varphi_1(0) = \alpha \quad (8)$$

де α – кут нахилу ланки 1 у початковий момент часу $t=0$.

Таким чином частинний розв'язок рівняння (6), що відповідає умовам руху фрикційного механізму (рис. 3), має вигляд:

$$\varphi_1(t) = \arccos\left(\cos(\alpha) - \frac{A_r}{L_1} \cdot \sin(\omega t)\right) \quad (9)$$

Як бачимо із виразу (10), на кут повороту відсікаючих дисків φ_1 істотно впливають такі параметри вібрації, як горизонтальна складова амплітуди коливань A_r та частота коливань ω . Також на переміщення впливає геометрія фрикційного механізму (довжина ланки L_1 , та її початкове положення – кут α).

Отже, фрикційна собачка передає крутний момент на відсікаючі диски за рахунок самозаклинювання поверхні тертя собачки під час її контакту із зовнішньою торцевою поверхнею відсікаючих дисків. Умова самозаклинювання забезпечується комплексною дією сил тертя в місцях контакту фрикційних поверхонь. Тому у подальшому планується провести динамічний аналіз фрикційного механізму для визначення сил, що діють у точках контакту. Таким чином це дозволить підібрати оптимальний кут заклинювання собачки та параметри пружини, що здійснюватиме функцію притискання собачки до торцевої поверхні дисків.

Висновок. Запропоновано використання коливань чаші дозатора для повороту відсікаючих дисків за допомогою фрикційного механізму. Досліджено кінематику фрикційного механізму та встановлено вплив на неї геометрії ланок та режимів вібрації чаші дозатора. Подані аналітичні залежності дозволяють визначити швидкість обертання відсікаючих дисків в залежності від амплітуди та частоти вібрації чаші дозатора. Дане дослідження дозволяє визначити оптимальні параметри конструкції та режими роботи вібраційного дозатора з метою здійснення об'ємного дозування дрібнодисперсних СМ з високою точністю та продуктивністю.

Список використаних джерел

1. Пат. 95081 Україна, МПК В65G 65/30 (2006/01). Вібраційний дозатор для сипких матеріалів / Ю.П. Шоловій, Н.І. Магерус. № u201407044; заявл. 23.06.2014; опубл. 10.12.2014, Бюл. №23. 4 с.
2. Моделювання поведінки дрібнодисперсного сипкого матеріалу під дією вібрації у конічній лунці дозатора за допомогою системи Лоренца / Ю.П. Шоловій, Н.М. Тимошенко, Н.І. Магерус. Технологічні комплекси. 2014. №1. С. 109-117.

УДК 332.3

Голубенко А.А., асистент

Поліський національний університет

Кулібаба Н.І., асистент

Національний університет біоресурсів і природокористування України

МЕТОДИ МОДЕЛЮВАННЯ КОНСТРУКТИВНИХ ПАРАМЕТРІВ ОБОРОТНОГО ПЛУГА

Анотація. Розглянуто кілька підходів до моделювання конструктивних параметрів оборотного плуга з метою вивчення взаємодії ґрунт-інструмент та оптимізації всіх параметрів, що впливають на енергоспоживання та якість обробітку ґрунту, а саме: умови експлуатації (швидкість, глибина), кути різання ґрунту, інструмент.

Ключові слова: глибина обробітку, кути різання ґрунту, ґрунтообробний інструмент.

Обробіток ґрунту передбачає процеси зрізання, руйнування, перевертання або переміщення ґрунту, як правило, за один прохід. Він спрямований на створення бажаного кінцевого стану шару ґрунту, відмінного від початкового, шляхом виконання механічних операцій. Згадані механічні операції потребують значної кількості енергії не тільки через значну кількість маси ґрунту, яку потрібно переміщати, але й через вибір інструменту для обробітку ґрунту та через фіксацію його глибини та швидкості роботи.

Також, незважаючи на те, що в останні роки в сільському господарстві було проведено багато досліджень, енергія, необхідна на процес ґрунтообробки (витрата палива), не знижувалася з 1970-х років і зараз все ще цікавить багатьох дослідників. Враховуючи сучасний стан доходів на підприємствах сільського господарства, існування жорсткої конкуренції і бажання досягти енергетичної безпеки, навіть незначне удосконалення енергетичного балансу процесу ґрунтообробки, мало б значну перевагу для фермерів. Тому, оптимізація енергетичних витрат є доведеною потребою для ґрунтообробних знарядь, які можна класифікувати як інструменти первинної обробки ґрунту (відвальний, оборотний, дисковий плуг тощо) та допоміжні робочі інструменти (борони, культиватори тощо).

Оборотний плуг є найбільш поширеним інструментом для ґрунтообробки у світі. Однак він характеризується тим, що має найбільше енергоспоживання в процесі роботи [1]. До його механічної функції відноситься процес розрізання ґрунту і перевертання його на бік. За допомогою цього плуга можна вносити і змішувати в ґрунті добрива та рослинні рештки. Використання даного плугу в вологу пору року дозволяє не лише обробити ґрунт, але й забезпечити його належну вентиляцію, утримувати вологу в ґрунті та створювати борозни, стійкі до ерозії.

Сьогодні в світі розроблено декілька підходів до моделювання з метою вивчення взаємодії ґрунт-інструмент та оптимізації всіх параметрів, що впливають на енергоспоживання та якість обробітку ґрунту, а саме: умови експлуатації (швидкість, глибина), кути різання ґрунту, інструмент. Щоб прогнозувати величину сили, необхідної для обробітку ґрунту, існує безліч аналітичних моделей, які побудовані на теорії пасивного руйнування ґрунту [1].

Як правило, відомі 2D і 3D моделі представлені із суттєвими спрощеннями, виходячи з припущення, що ґрунти є однорідними, ізотропними

та ідеально пластичними [2]. Ці дослідження обмежуються простою геометрією інструменту та спрощеними моделями руйнування ґрунту. Хоча аналітичні моделі, представлені в [2] передбачали більш складну геометрію інструментів, таких як дисковий і оборотний плуг, однак припущення про характер руйнування ґрунту все ще має певні обмеження.

Чисельні методи, такі як метод дискретних елементів (МДЕ), метод гідродинамічного моделювання (МГД) та метод кінцевих елементів (МКЕ) також були розроблені для моделювання взаємодії між ґрунтом і ґрунтообробними знаряддями складної форми [3]. Зазначено, що за допомогою вказаних чисельних методів можна не лише розрахувати зусилля, необхідне на обробіток ґрунту, але й моделювати процес самого обробітку ґрунту.

МКЕ багаторазово моделювали поведінку ґрунту в процесі обробітку. Ґрунт розглядався як пружно-ідеальний пластичний матеріал. У той час як інші дослідники розглядали ґрунт як матеріал з нелінійною пружністю та як пружно-пластичний матеріал із здатністю твердіти. Цим методом також досліджували взаємодію ґрунт-відвал. Вивчено розподіл напруг по поверхні корпусів, вплив робочих параметрів плуга (швидкість, глибину обробки) та досліджено кути піднімання та сили обробітку. Загалом, автори [3] свідчать про зростання тягової сили із зростанням швидкості, глибини, кута різання та піднімання.

Автори [4] встановили, що використання плуга з кутом піднімання (26°) і кутом різання ($28^\circ \dots 43^\circ$) із середньою швидкістю руху та достатньою глибиною занурення корпусів в ґрунт забезпечує гарну якість обробітку (інверсії ґрунту) та мінімальне споживання енергії.

Вказані дослідження передбачали порівняння впливу геометрії, умов експлуатації (швидкості руху, глибини обробки), кутів зрізання ґрунту реального оборотного плуга та його 3D моделі на зусилля обробітку та процес перевертання ґрунту. Однак вплив конструктивних параметрів оборотного плуга як на якість обробітку ґрунту, так і на енергоспоживання не було досліджено через складність створення його 3D поверхні і відповідної аналітичної моделі для опису створеної тривимірної фігури.

Висновок. Існує потреба дослідити вплив геометричних параметрів оборотного плуга, а саме кута різання, кута піднімання, параметрів споживання енергії на якість обробітку ґрунту. Це дослідження дозволить прогнозувати продуктивність обробітку ґрунту та витрати енергії на процес оранки.

3.

4. Список літератури

1. Luo, F., Zhu, L., Wei, M., Zhang, J.-W., Zhu, D.-Q., & Jen, T.-C. (2019). Tillage Condition Effects on Soil/Plow-breast Flow Interaction of a Horizontally Reversible Plow. *Procedia Manufacturing*, 35, 980–985.
2. Ibrahmi, A., Bentaher, H., Hamza, E., Maalej, A., & Mouazen, A. M. (2016). 3D finite element simulation of the effect of mouldboard plough's design on both the energy consumption and the tillage quality. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 90(1-4), 473–487.

3. Zhang, L., Cai, Z., Wang, L., Zhang, R., & Liu, H. (2018). Coupled Eulerian-Lagrangian finite element method for simulating soil-tool interaction. *Biosystems Engineering*, 175, 96–105.

4. Karmakar, S., Kushwaha, R. L., & Laguë, C. (2007). Numerical modelling of soil stress and pressure distribution on a flat tillage tool using computational fluid dynamics. *Biosystems Engineering*, 97(3), 407–414.

УДК 332.3

Голубенко А.А., асистент

Поліський національний університет

Кулібаба Н.І., асистент

Національний університет біоресурсів і природокористування України

МОДЕЛЮВАННЯ КОНСТРУКТИВНИХ ПАРАМЕТРІВ ПЛУГА

Анотація. Представлено результати моделювання конструктивних параметрів плуга.

Ключові слова: плуг, метод кінцевих елементів, полігональне моделювання, ідеально-пластичний матеріал.

Моделюючи ґрунт розглядатимемо його як суцільний матеріал без здатності твердіти з використанням лінійної форми математичної моделі автора [1]. Схематичне зображення плуга наведено на рис. 1

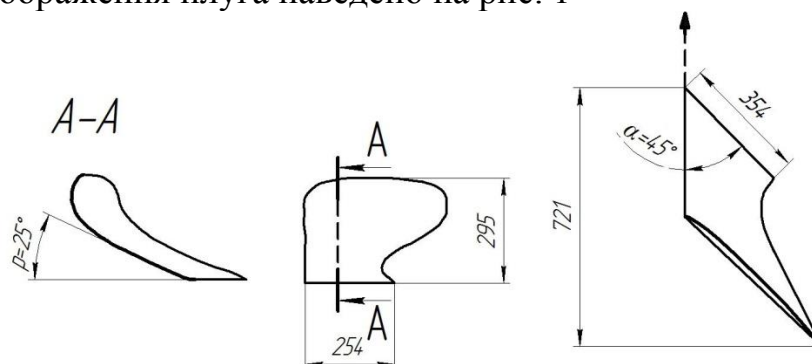


Рис. 1. Схема конструкції плуга: α – кут різання; β – кут підйому.

Модель [1] можна представити наступним чином:

$$P = f - \sigma \tan \lambda - t \quad (1)$$

де P – функція текучості ґрунту, (кПа); f – дівіаторна складова напруженого стану, (кПа); σ – нормальна складова напруженого стану, (кПа); λ – внутрішній кут тертя, (град); t – когезійні властивості матеріалу, (кПа).

$$\sigma = (\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3) / 3 \quad (2)$$

$\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ – напруги стискання за умови випробовування по трьом осям.

$$f = 0,5 \cdot q \left[1 + (1/y) - (1 - (1/y)) \cdot (m/q)^3 \right] \quad (3)$$

де y – відношення межі текучості на розтяг до межі текучості на стиск при тривісному випробовуванні ($1 \geq y \geq 0,778$) [28]. Якщо $y=1$, тоді $f=q$.

q – еквівалентна напруга Мізеса; m – третій інваріант девіаторного стресу.

$$m^3 = -(-\sigma_3 + \sigma_1)^3 = -q^3 \quad (4)$$

Базуючись на дослідженнях [2], ґрунт моделювався шляхом використання лінійної форми математичної моделі, представленої в роботі [1]. В зазначеному дослідженні невелике значення похибки (менша за 12%) між результатами експериментального дослідження та результатами моделювання методом кінцевих елементів (МКЕ) взаємодії «пенетрометр – ґрунт», пояснюється тим, що ґрунт прийнято пружно-ідеальним пластичним матеріалом. Величина похибки стала значно вищою, коли до математичної моделі ввели умови, які передбачали ущільнення ґрунту. Автори вважають, що здатність утримуватися шару ґрунту на поверхні інструменту під час його переміщення в описаному дослідженні відрізняється від результатів дослідження на обмежене стискання, яке часто застосовується для вивчення механічних властивостей ґрунту з низькою здатністю до твердіння.

Автори [2] свідчать, що в проведеному дослідженні за допомогою чисельної моделі (розв'язана з використанням Abaqus FEA) ґрунт розглядався як ідеально-пластичний матеріал без ущільнення. Границею текучості прийнято значення напруги попереднього стискання, отримане в результаті випробовування на одновісне стискання за методикою [3]. З метою імітації процесу руйнування шару ґрунту використано програму (Abaqus) загалом, та, зокрема – підпрограму Explicit для моделювання процесу руйнування шару ґрунту при досягненні ним границі текучості ($\sigma_T=0,145$ МПа) та для усунення з модельної сітки окремих елементів, коли їх деформація становила 100%.

Нами в процесі аналітичного дослідження виконано 3D модель взаємодії «шар ґрунту – відвал плуга» в програмі «Autocad», яка була імпортована в Abaqus. Шар ґрунту, який підлягав деформації, мав довжину і в ширину 2 м, а висоту – 1 м. Плуг заглиблювали в шар ґрунту на глибину h (мм), кут різання становив α (град.), а кут підйому становив β (град.). Прийнято, що поверхня корпусу плуга є жорсткою з опорною точкою на вершині. Величину сили дії жорсткої поверхні на окремі точки досліджуваного шару ґрунту визначали за коефіцієнтом тертя ($\mu=0,58$) методом штрафної функції.

3D-модель була поділена на кінцеві елементи. Для відвалу плуга для моделювання використано жорсткий елемент(R3D4), квадратичний, жорсткий білінійний елемент (4 точки і три ступені свободи на елемент). Для моделювання шару ґрунту було використано C3D8R елемент (лінійний прямокутний елемент загального призначення із зменшеною інтеграцією).

За дослідженнями [4] до шару ґрунту рекомендовано застосовувати полігональне моделювання, а техніку розгортки – лише до зони оранки знаряддя. Граничні умови такої моделі: нижні точки блоку ґрунту зафіксовані на рівні $Y=0$; точки, що лежать на бічній грані блоку ґрунту, який є паралельним $Y-Z$, є фіксованими на цій поверхні; плуг є зафіксованим в напрямку осей Y та X , щоб обмежити його переміщення в напрямку Z .

Контрольна точка поверхні плуга має постійну швидкість ($V_z=1$ м/с). Вплив кожного геометричного параметра плуга (α , β , q , m) як на бічні, вертикальні зусилля плуга, силу тяги, так і на зрушення ґрунту планується досліджувати МСЕ. Весь чисельний аналіз виконуватиметься при фіксованих умовах роботи: швидкість – 1 м/с; глибина – 150 мм; кут різання – α ; кут підйому – β .

Список літератури

1. Jiang, J.-F., & Wu, Y.-F. (2012). Identification of material parameters for Drucker–Prager plasticity model for FRP confined circular concrete columns. *International Journal of Solids and Structures*, 49(3-4), 445–456. doi:10.1016/j.ijsolstr.2011.10
2. Ibrahmi, A., Bentaher, H., Hamza, E., Maalej, A., & Mouazen, A. M. (2016). 3D finite element simulation of the effect of mouldboard plough's design on both the energy consumption and the tillage quality. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 90(1-4), 473–487.
3. Писаренко Г.С., Квітка О.Л., Уманський Е.С. Опір матеріалів: підруч. За ред. Г.С. Писаренка, 2-ге вид. К. : Вища школа, 2004. 655 с.
4. Zhang, L., Cai, Z., Wang, L., Zhang, R., & Liu, H. (2018). Coupled Eulerian-Lagrangian finite element method for simulating soil-tool interaction. *Biosystems Engineering*, 175, 96–105.

УДК 332.3

Голубенко А.А., асистент

Поліський національний університет

Кулібаба Н.І., асистент

Національний університет біоресурсів і природокористування України

МЕТОДИ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ВЗАЄМОДІЇ ҐРУНТ – ҐРУНТООБРОБНИЙ ІНСТРУМЕНТ

Представлено кілька методів чисельного моделювання процесу взаємодії ґрунт-ґрунтообробний інструмент.

Ключові слова: ґрунт, ґрунтообробний інструмент, метод чисельного моделювання.

Чисельне моделювання процесу взаємодії ґрунт↔ґрунтообробний інструмент (Г-ГІ) під час виконання ґрунтообробних робіт в сільському, лісовому, садово-парковому господарствах важливим інженерним завданням щодо проектування та оптимізації ґрунтообробних знарядь [1, 2]. Ретельно та вдало змодельований ґрунтообробний процес дозволяє суттєво зменшити витрати на трудомісткі та вартісні експериментальні роботи, пов'язані з розробкою та випробовуванням експериментального зразка.

Проте виконати точне моделювання взаємодії Г-ГІ є складним технічним завданням, яке пов'язане зі складністю врахування значних деформацій ґрунту, що мають місце на робочих поверхнях інструменту, складною деформацією

вільної поверхні ґрунту та високою поведінковою динамікою взаємодії Г-ГІ на межі їх розподілу.

За [1] для моделювання взаємодії Г-ГІ науковцями, переважно, застосовуються три методи чисельного моделювання а саме: метод дискретних елементів (МДЕ), метод обчислювальної гідродинаміки (МОГ) та метод скінченних елементів (МСЕ).

МСЕ Лагранжа найбільш широко використовується для дослідження процесу взаємодії Г-ГІ. Цей метод є відносно простим у формулюванні та реалізації та є найбільш природнім методом аналізу механіки твердого тіла [1]. За МСЕ Лагранжа точки фіксуються всередині матеріалу, а елементи деформуються залежно від ступеню деформації розглядуваного матеріалу. Вказаний метод має високу ефективність якщо розглядається питання безумовної деформації матеріалу, коли границі сітки співпадають з границями матеріалу. Проте, МСЕ Лагранжа є чутливим до якості сітки. Також, значні деформації матеріалу зазвичай призводять до суттєвих викривлень сітки, які чинять істотний вплив на точність розв'язку і, навіть, можуть бути причиною неможливості здійснювати подальші розрахунки даним методом.

Проблеми спотворення сітки до певної міри усуваються шляхом видалення елементів. Однак, видалення елементів впливає на точність імітаційної моделі, оскільки елементи поверхні контакту частково видаляються. Автори [2] показали нове застосування МСЕ для моделювання взаємодії Г-ГІ без видалення елементів, але роздільні поверхні ґрунту мають бути визначені.

Автори праці [3] для складання моделі взаємодії Г-ГІ застосовували МОГ. Для здійснення аналізу такого виду використано метод Ейлера, що дозволило нехтувати деформаціями сітки, оскільки область, яка підлягає обчисленню, фіксується у просторі, а процес різання моделюється як потік частинок ґрунту, які омивають нерухомий ґрунтообробний інструмент. Отже, це дозволило легко змодельовати значні деформації шарів оброблюваного ґрунту. Проте, використання МОГ не придатне для випадків, коли має місце деформація по границям досліджуваного шару матеріалу через накладену умову просторової фіксації цього шару. Тобто, МОГ складно адаптувати до моделювання безумовної деформації вільної поверхні ґрунту, яка виникає в процесі різання.

На відміну від континуальних чисельних методів, таких як МСЕ та МОГ, МДЕ є безсітковим чисельним методом моделювання процесів руйнування. Тривалий час даний метод широко використовувався в механіці гірських порід. В дослідженні [4] вперше цим методом змодельована взаємодія Г-ГІ. Основною складністю застосування МДЕ є калібрування мікропараметрів моделі, які наближені до реальних властивостей ґрунту і, в сукупності, представляють макровластивості оброблюваного матеріалу. Ці параметри суттєво впливають на точність результатів моделювання, оскільки їх точне калібрування все ще залишається невирішеною науковою проблемою. Оскільки стандартизовані методи калібрування і методики вимірювання відсутні, науковці, зазвичай, для встановлення потрібного значення параметра застосовують різні підходи.

В роботі [5] представлено інший прогресивний підхід – поєднання скінченних елементів Ейлера-Лагранжа (МСЕ-ЕЛ). Цей метод є більш зручним для здійснення тривимірного чисельного моделювання взаємодії Г-Пі. Застосуванням МСЕ-ЕЛ дозволяє моделювати достатньо значні деформації ґрунту без спотворення сітки, оскільки матеріал ґрунту описується методом Ейлера, а сітка Ейлера є просторово фіксованою. Необмежена деформація вільної поверхні ґрунту також може бути змодельована за допомогою алгоритмів методу Ейлера. Крім того, моделювання МСЕ-ЕЛ передбачає зручне калібрування параметрів, пов'язаних з властивостями матеріалу, оскільки застосування традиційних законів механіки ґрунту в деяких випадках може бути лише безпосереднім. Представлені переваги вказують на перспективність застосування МСЕ-ЕЛ для моделювання взаємодії Г-Пі.

Тому, в подальшому, актуальними будуть дослідження з встановлення доцільності та ефективності застосування МСЕ-ЕЛ для моделювання взаємодії Г-Пі та відкриття нових можливостей даного методу.

Список літератури

1. Ibrahim, A., Bentaher, H., Hamza, E., Maalej, A., & Mouazen, A. M. (2016). 3D finite element simulation of the effect of mouldboard plough's design on both the energy consumption and the tillage quality. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 90(1-4), 473–487.
2. Применение системы ANSYS к решению задач механики сплошной среды. Практическое руководство / под. ред. проф. А. К. Любимова. Н. Новгород : Изд-во Нижегородского госуниверситета, 2006. 227 с.
3. Karmakar, S., Kushwaha, R. L., & Laguë, C. (2007). Numerical modelling of soil stress and pressure distribution on a flat tillage tool using computational fluid dynamics. *Biosystems Engineering*, 97(3), 407–414.
4. Coetzee C.J. (2014). Discrete and continuum modelling of soil cutting. *Computational Particle Mechanics*, Vol. 1, 409–423.
5. Zhang, L. B., Cai, Z. X., & Liu, H. F. (2018). A novel approach for simulation of soil-tool interaction based on an arbitrary Lagrangian–Eulerian description. *Soil and Tillage Research*, 178, 41–49. doi:10.1016/j.still.2017.12.01

ЗМІСТ

1. Енергозабезпечення та електротехнології в аграрній сфері.....	3
Трегуб М.І., Козирський В. В. Обґрунтування інтегральних когенераційних систем на відновлюваних енергоджерелах для розосереджених енергоспоживачів.....	3
Голуб Г.А., Цивенкова Н.М., Чуба В.В., Омаров І.С. Тепловий баланс процесу пароповітряної газифікації біомаси	5
Червінський Л.С., Макода О.А. До питання управління дією оптичного випромінювання на рослини.....	8
Голодний І.М., Санченко О.В., Лютий Б.В. Спектр вихідної напруги широтно-імпульсного перетворювача з активним навантаженням.....	10
Керко О.І., Керко Ya.О. Optimization of the choice of energy carrier for a private household.....	12
Музиченко В.А. Високовольтні електротехнологічні установки в аграрному виробництві.....	15
Цаценко Є. Ю., науковий керівник: Єрмоленко В.О. Прилад для іонізації повітря.....	18
Котляр Т.М., науковий керівник: Червінський Л.С. Світло і тепло – основні джерела енергії для життєдіяльності рослин.....	21
Івченко О.М., науковий керівник: Лобода В.Б. Загальна концепція комбінованої системи електропостачання.....	22
Івченко С.М., науковий керівник Лобода В.Б. Особливості впровадження теплового насосу повітря – повітря в м. Суми.....	24
Максименко О.М., науковий керівник: Чепіжний А.В. Аналіз методів моделювання електроспоживання багатоквартирним житловим будинком.....	26
Гаюк Н.В., Селезньова О.О., Сокольський Г.В. Електрохімічний синтез діоксиду ангану.....	29
Снігур Т.М. Автоматизація та роботизація в аграрному виробництві...34	
Брижицький А.І., науковий керівник: Чуба В.В. Розумні розетки в побутовому використанні.....	36
2. Електропривод обладнання аграрних підприємств.....	38
Мірний В. Ю., науковий керівник: Погорілий С. П., Методика для виконання експериментальних досліджень із визначення впливу параметрів технологічних модулів на параметри мобільного енергетичного засобу типу «автотрактор».....	38
Градко В.В., науковий керівник: Чепіжний А.В. Особливості надійності обмоток асинхронних двигунів.....	40
Єфімов С.Б., науковий керівник: Чепіжний А.В. Аналіз основних причин виходу зі строю асинхронних електродвигунів.....	42

Rubets A. , Kinematischer aspekt der klassifizierung von schraubverbindungen beweglicher technischer einrichtungen.....	44
Голодний І.М., Санченко О.В. Техніко-економічні показники регульованого електропривода з вентиляторним навантаженням.....	48
3. Сонячна, та вітрова електроенергетика.....	50
Rubets A. Investigation of the influence of geometric parameters on the efficiency of a wind turbine with a vertical axis of rotation in solid works flow simulations.....	50
Синявський М.А. , науковий керівник: Єрмоленко В.О. Дослідження роботи сонячних батарей.....	57
Підковка М.І. , науковий керівник: Чепіжний А.В. Вплив відновлювальних джерел енергії на електричні мережі.....	61
Литвин Ю.С.¹ , науковий керівник: Червінський Л.С. Особливості використання сонячної енергетики.....	63
Богданова П.В. , науковий керівник: Шашков С.В. Аналіз особливостей використання трекерних систем.....	65
Ковальчук В.Є. , науковий керівник: Калініченко З. Д. Стан енергетичної інфраструктури України після руйнівних обстрілів. потенціал вітрової і сонячної генерації електроенергії.....	67
4. Енергоресурси органічного походження.....	70
Сенчук М.М., Хахула В.С. Оптимізація продуктивності підприємств для виробництва біодизельного палива.....	70
Царенко Б.О. , науковий керівник: Сенчук М.М. Розробка модульних біогазових установок.	76
Омаров І.С., Цивенкова Н.М. Система живлення двигуна внутрішнього згоряння, що працює на біопаливі.....	79
Цивенкова Н. М., Омаров І.С., Демещук В.А. Ефективність роботи протипотокового газогенератора на кукурудзинні.....	82
Жабський Д. О. , науковий керівник: Єрмоленко В.О. Дослідження біотехнічних систем в агробіотехнологіях.....	85
Мельнічук Д.О. науковий керівник: Єрмоленко В.О. Розробка методики біоенергетичної оцінки біогазових установок	89
Кулібаба Н.І., Голубенко А.А. Сучасні тенденції роботи дизельних двигунів на сумішах дизельного.....	93
Клюс В.П., Омаров І.С. Цивенкова Н.М. Газифікація соломи в протипотоковому газогенераторі.....	96
Калініченко З. Д. Розвиток відновлюваної енергетики в Україні та наслідки для раціонального природокористування.....	98
Клюс В.П., Омаров І.С. Цивенкова Н.М., Матеріальний та	

тепловий баланс процесу виробництва синтез-газу.....	100
Омаров І.С., Цивенкова Н.М. Практичні результати сушіння зернових генераторним газом.....	104
Ганженко О.М., Кравчук В.І. Концепція сталого виробництва і використання твердого біопалива в Україні.....	110
Клюс В.П., Омаров І.С., Цивенкова Н.М. Дослідження процесу фільтраційного горіння біомаси.....	113
Кулібаба Н.І. Метод анаеробного зброджування органічної сировини в біогазових установках.....	115
Цивенкова Н.М., Голубенко А.А. Дослідження впливу параметрів реактора на рівномірність змішування компонентів субстрат.....	118
Кулібаба Н.І. Переваги і недоліки використання аеробної твердофазної ферментації органічної сировини.....	121
Цивенкова Н.М., Омаров І.С., Результати експериментальних досліджень роботи зерносушарки на генераторному газі.....	124
Голубенко А.А., Кулібаба Н.І. Функція продуктивності камери ферментації органічної сировини.....	129
Цивенкова Н.М., Голубенко А.А., Терещук М.Б. Моделювання теплового балансу закритої камери ферментації з виробництва компосту.....	131
Цивенкова Н.М., Омаров І.С. Перспективи розвитку енергетичного сектору України.....	134
5. Технологічні аспекти сільськогосподарського виробництва.....	135
Вечера О.М., Куянов В. В. Вдосконалення інерційно-фрикційного протруювача насіння.	135
Вечера О.М., Куянов В. В. Використання технології озонування в протруюванні насіння	138
Вечера О.М., Куянов В. В. Покращення якості протруювання насіння з модифікованим вібраційним дозатором бункера.....	140
Кулібаба Н.І. Вивчення кінематичних параметрів фрикційного механізму об'ємного дозатора вібраційного типу.....	143
Голубенко А.А., Кулібаба Н.І. Методи моделювання конструктивних параметрів оборотного плуга	148
Голубенко А.А., Кулібаба Н.І. Моделювання конструктивних параметрів плуга.....	151
Голубенко А.А., Кулібаба Н.І. Методи моделювання процесу взаємодії ґрунт – ґрунтообробний інструмент.....	153