

АНАЛІЗ РИНКУ ТЕПЛОГЕНЕРУЮЧОГО ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ СУШІННЯ ЗЕРНА В УКРАЇНІ

Халін С., канд. екон. наук, доц.

<https://orcid.org/0000-0002-7510-5056>,

Занько М., канд. техн. наук, ст. наук. співроб.

<https://orcid.org/0000-0001-8964-0706>,

Гайдай Т., канд. техн. наук,

<https://orcid.org/0000-0001-9141-4820>,

Лень О. <https://orcid.org/0000-0003-0454-119X>

ДНУ «УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого»

Анотація

Мета роботи – аналіз поточного стану та тенденцій розвитку ринку теплогенеруючого обладнання, що використовується в агропромисловому комплексі України для сушіння зерна.

Методи – маркетингові дослідження, аналіз, експлуатаційне оцінювання, експертне оцінювання, експериментальні дослідження, стандартизовані методи.

Результати. За результатами маркетингового дослідження (станом на травень 2025 р.) встановлено, що український ринок теплогенеруючого обладнання формується переважно вітчизняними виробниками (близько 40 підприємств) за відсутності значної участі зарубіжних компаній. Визначено провідних «гравців ринку», серед яких – ПП «НВТ-Технологія», ТОВ «Новий Елеватор», ТОВ «ТЕФФ», ТОВ «GRECO GROUP», компанія «Gaz Dream», ВПВКМП «ЛОТІРОН», ТДВ «Бриг» та ТОВ КК «Дунаєвецький ЛМЗ».

Сукупна теплова потужність теплогенеруючого обладнання в Україні оцінюється в 5,6 ГВт, що є достатнім для сушіння щорічного врожаю кукурудзи в осінній період. При цьому 93% загальної потужності (5200 МВт) забезпечується продукцією кількох лідерів ринку. Проведено класифікацію теплогенеруючого обладнання за тепловою потужністю: низький (до 2 МВт), середній (3-9 МВт), високий (10-15 МВт) та надвисокий (16-20 МВт). Домінуючим в експлуатації є обладнання середнього класу. Основним фактором, що визначає затребуваність та ефективність теплогенераторів, визначена їхня здатність забезпечувати заявлену паспортну теплову потужність (середню або високу).

Висновки. Установлено, що повномасштабна війна спричинила фактичну зупинку виробництва та реалізацію нового обладнання, а оновлення парку відбувається переважно за рахунок заміни обладнання, що вичерпало свій ресурс. Прогнозується, що теплова потужність парку теплогенераторів залишиться на рівні 5,6-6,0 ГВт протягом найближчих п'яти років. Не очікується значного технологічного прориву у створенні надпотужних комплексів через кадровий дефіцит і виробничі проблеми, спричинені військовими діями. Натомість попит зберігатиметься на теплогенератори гібридного типу (до 10 МВт) та теплогенераторні комплекси (8-12 МВт), що вже представлені вітчизняними виробниками. Особливу увагу приділено технічним характеристикам теплогенераторів, які впливають на їхню експлуатаційну ефективність. Підкреслено важливість використання термічно стійких матеріалів для забезпечення довговічності обладнання при високих температурах у топці (до 1500°C), а також необхідність кваліфікованого обслуговуючого персоналу та зручності експлуатації.

Ключові слова: ринок, теплогенеруюче обладнання, теплогенератор, підприємства-виробники, теплова потужність, фактори впливу.

Вступ. Сучасне сільське господарство неможливе без ефективного післязбирального обробітку врожаю, серед якого сушіння зерна посідає одне з ключових місць [Barrozo et al., 2014; Jimoh et al., 2023]. Якість та енергоефективність процесу сушіння значною мірою визначають кінцеву ціну продукції, її збереження, а також загальну економічну ефективність виробництва. В умовах глобального зростання попиту на продовольство з одного боку та необхідності скорочення викидів парникових газів і переходу до відновлюваних джерел енергії з іншого питання вибору та впровадження сучасного теплогенеруючого обладнання для сушіння зерна набуває стратегічного значення [Chojnacka et al., 2021].

У світовій практиці ринок теплогенеруючого обладнання для аграрного сектору демонструє сталу тенденцію до зростання. Це зумовлено як зростанням обсягів виробництва зернових культур, так і розвитком технологій термообробки, що забезпечують точне керування процесами сушіння з мінімальними енергетичними витратами. Серед ключових викликів — висока енергоємність сушарок, залежність від викопного палива, нестабільність енергетичних ринків і кліматичні ризики, які ускладнюють прогнозування сезонного завантаження обладнання.

Останніми роками спостерігається активне впровадження альтернативних джерел теплової енергії — біомаси, агровідходів, теплових насосів, що потребує адаптації конструкцій сушарок до нових умов [Omer et al., 2020; Chojnacka et al., 2021; Grossmann et al., 2022; Panigrahi et al., 2023]. Окрім того, ринок обладнання значною мірою залежить від регіональних особливостей: у Європі пріоритетом є енергоефективність і декарбонізація, у Північній Америці — висока продуктивність і автоматизація, а в країнах, що розвиваються, — доступність і ремонтпридатність.

У сучасному агропромисловому комплексі (АПК) України технологічна комплектація зерносушильних комплексів

твердопаливними теплогенераторами є актуальним і багатофакторним процесом. За останнє десятиліття теплогенератори набули широкого застосування, що дає змогу значно покращити фінансові показники агровиробництва та підвищити його стійкість до сучасних викликів, зокрема в умовах повномасштабної війни [Занько, 2023]. З метою зниження витрат на післязбиральну доробку зерна вітчизняні агрокомпанії активно впроваджують теплогенератори на альтернативних видах палива [Гайдай та ін., 2024].

Незважаючи на зростаючий попит, не всі українські виробники теплогенераторів гарантують високу якість продукції. Вибір оптимального обладнання є складним завданням через значну кількість пропозицій на ринку, не всі з яких відповідають заявленим характеристикам. [Халін та ін., 2024]. Це зумовлює потребу у ретельному аналізі оптимального співвідношення ціни та якості, оскільки придбане обладнання часто не виправдовує очікувань через недостатню інформованість про його експлуатаційні особливості.

У світовій промисловості значна частина енергії споживається у вигляді тепла, що обумовлює важливість рекуперації відхідного тепла для зниження енерговитрат і зменшення екологічного впливу [Ononogbo et al., 2023]. Прогнозується, що значна частка біоенергії буде отримана з біомаси АПК, що стимулює відновлюваність ресурсів, зниженням собівартості енергії та екологічні перевагами. Досліджено класифікацію біомаси для твердого біопалива, визначено основні види зернових відходів, а також фізико-механічні властивості соєвої соломи та рисового лушпиння [Халін, Занько, 2024].

Розробка перспективних конструкцій теплогенераторів вимагає пошуку оптимальних конструкційних та експлуатаційно-технологічних рішень, де математичне моделювання дає змогу значно скоротити витрати [Esarte et al., 2021]. Промислове сушіння зерна є енергоємним процесом, що генерує значні викиди CO_2 , тому актуальним є дослідження ефективності вико-

ристання різних видів палива.

Загалом попри різноманіття рішень для вироблення теплової енергії, в Україні для сушіння зерна домінують теплогенератори на твердому біопаливі. Однак інформація для об'єктивної оцінки біотеплогенераторів в інформаційному просторі є недостатньою, що ускладнює вибір для суб'єктів господарювання.

Метою дослідження є встановлення кількісного та якісного стану ринку теплогенеруючого обладнання для сушіння зерна в АПК України, а також факторів його формування. Для цього необхідно дослідити наявність і характеристики обладнання, визначити внесок підприємств-виробників, встановити фактори впливу на ринок і виконати прогноз забезпечення АПК біоенергетикою. Дослідження базуватимуться на маркетинговому, аналітичному та кількісному аналізі, експертному оцінюванні, експериментальних вимірюваннях і прогнозуванні.

Постановка завдань. Теплогенеруюче обладнання достатньо широко представлене на ринку України для використання у технологіях сушіння зерна. Для оцінки такого стану даного обладнання необхідно:

- виконати дослідження наявності обладнання (марки, моделі, кількість, теплова потужність);
- встановити підприємств-виробників теплоенергетичного обладнання та їхній внесок у формування ринку;
- визначити фактори впливу на формування ринку;
- виконати оціночний прогноз забезпечення біоенергетикою АПК України на сучасному етапі зерновиробництва.

Методи досліджень: маркетингові дослідження, аналітичний і кількісний аналіз, експертне оцінювання, експериментальні вимірювання, стандартизовані методи, прогноз.

Виклад основного матеріалу досліджень. Проведено маркетингові дослідження ринку теплогенераторів і комплексів на їхній базі в Україні (табл. 1).

Результати досліджень свідчать, що теплогенеруюче обладнання виробляють і

постачають майже 40 українських підприємств. Більшість із них комплексно підходять до виробництва цього обладнання і постачають його в комплекті разом із зерносушильним обладнанням — зерносушарками, норіями. Таке обладнання має достатній рівень технічної узгодженості. Провідні виробники-постачальники — українські: приватне підприємство «НВТ-Технологія» (м. Чернігів), ТОВ «Новий Елеватор» (с. Люберці, Київська область), ТОВ «ТЕФФ» (м. Одеса), ТОВ «GRECO GROUP» (м. Вінниця), компанія «Gaz Dream» (Київ), ВПВКМП «ЛО-ПРОН» (м. Вінниця), ТДВ «Бриг» (м. Миколаїв), ТОВ КК «Дунаєвецький ЛМЗ». Вони постачають теплогенератори гібридного типу та теплогенераторні комплекси, конструкція і технічні параметри яких дають змогу при спалюванні твердого біопалива досягти теплової потужності 10 МВт. Сумарна теплова потужність теплогенеруючого обладнання всіх типів знаходиться на рівні 5600 МВт ($5600 \text{ МВт} = 5600000 \text{ кВт} = 5,6 \text{ ГВт}$).

У процесі формування ринку теплогенераторного обладнання України зарубіжні компанії фактично не беруть участі.

З початком війни в Україні (2022 р.) виробництво та реалізація обладнання (станом на перше півріччя 2025 р.) зменшилися та фактично призупинилися. Причини цього є такі:

- достатнє наповнення ринку наявним обладнанням. Об'єктивно слід зазначити, що не все наявне обладнання за своєю тепловою потужністю та повнотою доставки до сушарок (ККД теплогенераторів) повністю відповідає запитам споживачів;
- теплогенеруюче обладнання невеликої кількості підприємств (табл. 1) більш-менш відповідає задекларованим показникам теплової потужності, таке обладнання виготовляється декількома підприємствами-лідерами ринку. Сумарна теплова потужність цього теплогенеруючого обладнання становить 5200 МВт (93 % сумарної потужності);
- теплогенеруюче обладнання ще не достатньо задовольняє технологічну по-

Таблиця 1 – Провідні виробники та теплогенеруюче обладнання на ринку України

Підприємство-виробник	Теплогенератори та їхня теплова потужність/ реалізовано: кількість, шт. x теплова потужність, МВт	Сумарна потужність, МВт
ПП «НВТ-ТЕХНОЛОГІЯ» (м. Чернігів)	Теплообмінники повітряні вертикальні серії «КПП»; повітряні вертикальні теплообмінники серії «КДП», теплогенераторний комплекс типу «ТПГ» (0,25 - 6,0 МВт) / (102,5 МВт + 67,5 МВт + 1430 МВт)	1600
ТОВ «GRECO GROUP» (м. Вінниця)	Теплогенератори твердопаливні (орієнтовно до 10 МВт) / (480 шт. x 3 МВт)	1440
Компанія «Gaz Dream» (Київ)	Теплогенератори універсальні твердопаливні типу «ПУТ-ПТ» (1,0- 6,0 МВт) / (8 шт. x 1 МВт; 24 шт. x 3 МВт; 8 шт. x 4 МВт; 76 шт. x 6 МВт)	568
ВПКМП «ЛОТІРОН» (м. Вінниця)	Теплогенератори типу «ТГБ» – «ТГБ-0,35», «ТГБ-0,75», «ТГБ-1,5», «ТГБ-1,85» і «ТГБ-3» (0,35 - 3,0 МВт) / (280 шт. x 2 МВт)	560
ТОВ «ТЕФФ»	Пальник вихровий автоматизований «ПВ (а)-3500» (1,0-15,0 МВт); теплогенератор «ТГГВТ-6.0-1» (6,0 МВт), теплогенератор твердопаливний із м'яким футеруванням «ТГТ-16» (16 МВт) / (20 шт x 4 МВт, 15 шт. x 9 МВт, 9 шт x 15 МВт, 7 шт x 18 МВт)	500
ТДВ «Бриг» (м. Миколаїв)	Теплогенератори «ТГС-500» і «ТГС-650» (0,2 і 0,5 МВт) / (450 шт. x 0,5 МВт)	225
ТОВ «Новий Елеватор» (с. Люберці, Київська область)	Теплогенеруючий комплекс із пальником типу «NET» (до 2,2 МВт) / (75 шт. x 2 МВт)	150
ТОВ КК «Дунаєвецький ЛМЗ»	Біотеплогенератори: типу «ЗТД», гібридного типу «ТГД» (до 3 МВт), теплогенератори типу «ОТД» (3,0 МВт), типу «ТДД» (0,2 -2,7 МВт), типу «ТГД» (0,3 - 3,0 МВт); ТГ-1000 «Енергія-Еко» (1,0 МВт) / (50 шт x 2 МВт)	100
ТОВ «Агроспец-монтаж ЛТД» (м. Умань)	Теплогенераторний твердопаливний комплекс типу «ТГТП «AGROSM» (1,5 - 5 МВт) / (19 шт. x 2,5 МВт)	46

требу зерносушарок у теплоагенті з тепловою потужністю більше 10 МВт;

- значна кількість підприємств-виробників своєю малопотужною продукцією за результатами її експлуатації ставить під сумнів ефективність використання теплогенеруючого обладнання зі спалюванням твердого біопалива як енергоносія в технологіях високопродуктивного сушіння зерна;

- більшість вітчизняних підприємств, які заявили своїм малопотужним обладнанням про свою присутність на ринку,

нездатна освоювати таке складне й громіздке обладнання, яким є теплогенераторні комплекси з тепловою потужністю 15-20 МВт;

- для досягнення проектно високої теплової потужності теплогенераторному комплексу необхідна велика кількість твердого біопалива. Наприклад, проектне споживання теплогенератором твердопаливним «ТГТ-16» (виробництво ТОВ «ТЕФФ») твердого біопалива – соняшникове лушпиння – становить 3300 кг/год. Робота такого теплогенератора повин-

на бути «пов'язана» з потужним олійним комбінатом, що в реальному житті не завжди узгоджується з реаліями господарювання окремого підприємства;

- на ринку сушильного обладнання домінують сушарки шахтного типу. Вони, як правило, мають високу продуктивність сушіння і потребують теплоагента в кількості, що значно поступається продуктивності наявних теплогенераторів. Унаслідок цього зерносушарки переважно працюють із продуктивністю, фактично вдвічі нижчою за паспортну, і це робить їхнє використання разом із теплогенераторами менш затребуваним;

- розробка потужного теплогенеруючого обладнання зараз не має достатнього наукового аналітичного підґрунтя та супроводження на рівні науково-конструкторських бюро та організацій і переважно проектується підсвідомо, інтуїтивно на рівні конструктора, тому не завжди досягається високий результат при його розробці;

- використання теплогенератора в складі технологічного тандему із зерновою сушаркою, як правило, не супроводжується ретельним моніторингом технологічних можливостей та узгодженістю обох складових технологічного тандему; це негативно впливає на їхнє подальше використання і не сприяє позитивній оцінці та сприйняттю споживачами цього виду обладнання.

Теплогенератори кожної компанії-виробника мають свої конструкційні та технологічні особливості, які в процесі експлуатації реалізуються й обумовлюють не тільки своєрідний споживчий статус, але й кількість на ринку та в підприємствах-споживачах. Окрім того, є великий перелік вагомих і, на перший погляд, незначних факторів, які значно розширюють і

конкретизують вимоги й особливості для успішного просунення кожного теплогенератора до споживача. Конкретна модель теплогенератора повинна бути постійно затребувана. Щоб цей процес був стабільним, біоенергетичне обладнання повинно мати певні властивості та характеристики, закладені в конструкцію, і відповідати певним запитам і вимогам. Однозначно можна стверджувати, що ринок *біотеплогенеруючого обладнання формується під впливом багатьох факторів.*

Затребуваний тип теплогенеруючого обладнання, як правило, у використанні орієнтований на обсяги споживання теплоагента зерносушаркою і її продуктивність.

Тип теплогенеруючого обладнання визначається конструкційним виконанням:

- *моноблочний тип.* У складі такого теплогенератора є низькопродуктивні топка та теплообмінник (рис. 1). Теплова потужність такого джерела досягає 1 МВт; часто такий теплогенератор подає до сушарки теплоагент із продуктами горіння;

- *гібридний тип.* Теплогенератор у складі своєї монолітної конструкції поєднує продуктивні топку та теплообмінник (рис. 2); його тепла потужність досягає 8 МВт. Забезпечується виробництво те-



Рисунок 1 – Теплогенератор моноблочного типу
(теплова потужність – 0,65 МВт; загальний вигляд у складі зерносушильного комплексу)



Рисунок 2 – Теплогенератор гібридного типу в складі своєї конструкції має продуктивні топку та теплообмінник



Рисунок 3 – Теплогенераторний комплекс (ліва частина фото: бункер-дозатор палива; в центрі – теплогенератор; праворуч – теплообмінник)

плоагенту, чистого від домішок продуктів горіння та диму.

- *роздільно-блочний тип*. Він представлений високопродуктивними блоками (рис. 3) – топкою для спалювання твердого біопалива і теплообмінником, призначеним для очищення горючих газів і вироблення чистого теплоагента. Такий тип теплогенеруючого обладнання доцільно визначити як теплогенераторний комплекс. Його теплова потужність становить 8-20 МВт.

Клас теплогенеруючого обладнання визначається тепловою потужністю, яку здатний забезпечити теплогенератор: низький – теплова потужність до 2 МВт, середній – (3-9) МВт, високий – (10-15) МВт, надвисокий – (16-20) МВт.

Цільове призначення теплогенератора згідно з тепловою потужністю. Розвинена структура зерновиробництва в державі передбачає значні обсяги сушіння зерна і наявність зерносушарок відповідної продуктивності: мобільних, модульних

або шахтних. Кожна з них має свої умови агрегування з теплогенератором, до його теплової потужності та технологічної комплектації іншими допоміжними системами, зокрема топками для спалювання твердого біопалива та вентиляторами для доставки теплоагента до сушарки.

При придбанні теплогенератора *необхідно визначитися, наскільки цей теплогенератор за теплопродуктивністю узгоджується з продуктивністю сушарки, якій він буде постачати теплоагент*.

Середньодобова *продуктивність мобільної сушарки* при сушінні зерна кукурудзи з 25 до 14% в режимі «нагрів без охолодження» досягає 60 тон /добу (2,5 т/год $\times$ 10% = 25 т%). Для сушіння до 14% необхідно задіяти теплогенератор із тепловою потужністю 0,375 МВт. З урахуванням теплових втрат самим теплогенератором і через нагріте зерно достатньо, щоб теплогенератор забезпечував теплову потужність 0,5 МВт, тобто мобільні сушарки з невеликою продуктивністю сушіння по-

требують теплогенераторів малої теплової потужності. Значимим плюсом такого теплогенеруючого обладнання є його розміщення поряд із мобільною сушаркою, а теплова логістика — відстань доставки теплоагента від теплогенератора до зони процесів сушіння сушарки — мінімальна і зведена фактично до нуля (рис. 4). Вартість такого малопотужного теплогенератора знаходиться на рівні 10000-20000\$. Важливий елемент теплогенератора — вентилятор, необхідний для доставки теплоагента до сушарки і пронизання ним шару зерна в сушарці зерна — має електродвигун із потужністю 15 кВт.

Інша група зерносушарок, які забезпечують середню продуктивність сушіння зерна і найчастіше використовуються з теплогенераторами, — модульні сушарки (рис. 5). Їхня продуктивність при цьому залежно від кількості зблокованих двох, трьох і більше модулів у складі конструкції, починається від 5 т/год і може досягати 250 т/год.

Витрати енергоносія при використанні більш потужних сушарок і теплогенераторів дещо збільшені порівняно з мобільними сушарками й продиктовані зменшенням коефіцієнта корисної дії (ККД) внаслідок збільшення теплових втрат теплогенеруючого обладнання та самої сушарки. Як наслідок, потреба в теплозабезпеченні зростає до 3 МВт і більше. На передній план ефективної роботи теплогенератора виступає технологічна потреба продуктивної подачі теплоагента в зернову сушарку, яка повинна становити порядку 43000 м³/год. Для забезпечення подачі такої кількості теплового агента в сушарку зі статичним тиском 2700 Па використано вентилятор, електродвигун якого вже має потужність на рівні 30 кВт. Для продуктивного вироблення теплоагенту окремо застосовано теплообмінник (рис. 5). Мінімальна вартість такого теплогенеруючого комплексу середнього класу вже досягає 26000 \$. При тестуванні зерносушильного тандему «теплогенератор (пальник + теплообмінник) + модульна зерносушарка» (рис. 5) питомі витрати бі-



Рисунок 4 – Теплогенератор розміщено безпосередньо біля мобільної сушарки (загальний вигляд із сушаркою)



Рисунок 5 – Теплозабезпечення зерносушарки модульного типу (на передньому плані фото, справа, теплообмінник комплексу)

опалива (лушпиння насіння соняшника) становили 38,9 кг/т. Затрати біопалива на 1 т · % — 3,9 кг.

Третій тип зерносушарок, теплозабезпечення яких можливе з використанням теплогенераторів — шахтні та баштові. Технологічні особливості цих сушарок такі: 1) сушильні секції розміщені на зна-



Рисунок 6 – Тріски твердих порід дерев, готові до спалювання в теплогенераторі (загальний вигляд)

чній висоті — до 25 метрів, 2) вентилятори, що транспортують теплоагент до її секцій, повинні бути дуже потужними, щоб забезпечити необхідний тиск потоку теплоагента і продуктивність його доставки. Тому при комплектуванні шахтної сушарки теплогенератором необхідно звернути особливу увагу на узгодженість її високої продуктивності з тепловою потужністю теплогенератора і продуктивністю доставки теплоагента до сушарки.

Адаптованість теплогенератора до спалювання різних видів твердого біопалива. При виборі теплогенератора для господарства одним із критеріїв його оцінки може бути універсальність спалювання наявних видів біопалива з різними енергетичними характеристиками.

І це не просто вимога до палива, а цілий комплекс конструкційно-функціональних можливостей теплогенератора, які дають змогу спалювати в топці наявне тверде біопаливо. Теплогенератор повинен бути здатним виробляти теплоагент із таких видів твердого біопалива в широкому діапазоні температур за високої продуктивності й за відносно низьких енерговитрат.

Здатність до забезпечення необхідних температурних режимів. Споживач теплоагента — зернова сушарка — повинна мати згідно з видом зерна / насіння відповідний температурний режим сушіння: на-

приклад, жорсткий для зняття до 20% вологи (наприклад, із кукурудзи вологістю 35%) або м'який — для зняття (4-7%) з насіння соняшнику. Однак у процесі зняття такої великої кількості вологи сушаркою теплогенератор повинен забезпечити подачу теплоагента з високою температурою — 110-115 °С, а при сушінні в м'якому режимі — теплоагент із температурою на рівні 70-80 °С.

Ефективність теплоутворення полягає у здатності теплогенератора забезпечити встановлену теплову потужність і в першу чергу визначається ефективністю спалювання палива. Тому до теплогенератора ставляться обґрунтовані вимоги задовільно й ефективно спалювати нормоване біопаливо, одночасно забезпечуючи при цьому високу рівномірність теплоутворення. У цьому процесі першість за ефективністю утворення тепла належить джерелам вироблення теплоносія — топці (рис. 7) та системі автоматики, яка керує пальниками, оскільки саме вони забезпечують повне та продуктивне спалювання палива та формування теплоносія з регламентованими температурними показниками і в підсумку — економію палива.

Теплообмінник у складі теплогенераторного комплексу має роздільне виконання. Важливо, щоб продуктивність утворення



Рисунок 7 – Мала топка теплогенератора (на фото – зліва, в нижній частині) за технічними параметрами і теплопродуктивністю явно не узгоджується з продуктивністю шахтної сушарки (на фото – справа)

в ньому теплоагента була технологічно узгоджена з продуктивністю спалювання біопалива в топці пальника. На фінальному етапі роботи з тепловими газами і в процесі теплообміну теплообмінник повинен забезпечити регламентовану температуру теплоагента, що надходить у сушарку. Важливо, щоб він формував теплоагент — чистий від домішок і складових горючих газів.

Паливна автоматика. Важливо забезпечити технологічний режим подачі теплоагента з теплогенератора в сушарку — постійну встановлену температуру теплоагента сушіння, щоб забезпечити максимальну продуктивність сушарки. Перевищення встановленої температури нагрівання агента сушіння призводить до псування зерна: викликає коагуляцію білка, втрату життєвих функцій насінини та її здатність до проростання, різко погіршує розтяжність білків (ендосперму) і знижує кількість клейковини. Зазвичай суворі температурні режими пов'язані з автоматизованою системою керування, яка:

- визначає інтенсивність спалювання біопалива і підтримку температури теплоносія на встановленому рівні;
- здатна працювати в автоматичному режимі і не залежить від вірогідного негативного впливу сторонніх факторів і помилок обслуговуючого персоналу;
- виключає неприпустиме перевищення температури агента сушіння.

Технічна надійність. Стосовно теплогенераторів два важливі терміни «термін використання (служби)» і «технічна надійність» — взаємопов'язані і свідчать про технічно надійну та довготривалу службу теплогенератора. Робота теплогенератора пов'язана з процесами горіння висококалорійного палива, при спалюванні якого температура в топці досягає 1500 °С. Висока температура в першу чергу діє нищівно на всю топку. Тому всі фірми-виробники мають свої технологічні секрети термічного захисту конструкції теплогенератора, застосовуючи не просто вуглеводисті, а термічно стійкі нержавіючі сталі.

Технологічна надійність теплогенератора пов'язана з процесами горіння палива в топці і теплоутворення в теплообміннику. Це поняття навіть не повинно виникати у власника теплогенератора.

Питання екології. У процесі використання теплогенераторів виникає більше питань, пов'язаних із екологією, зокрема з викидами газів горіння, продуктів недопалу та їхнього шкідливого впливу на навколишнє середовище. Для їхнього усунення та зменшення шкідливого впливу на оточуюче середовище теплогенератор повинен мати в своєму складі систему аспірації.

На затребуваність теплогенератора часто впливає наявність енергоефективних рішень, які дають змогу зменшити втрати тепла з усієї металевої конструкції. Для їхнього зменшення зазвичай використовується система теплоізоляції. Її наявність та ефективність забезпечує економію біопалива в процесі експлуатації, а в холодну пору року не знижує теплову потужність теплогенератора.

Безпечність у роботі та при виконанні технічного обслуговування завжди була першочерговою при експлуатації теплогенератора, оскільки вона пов'язана з безпекою людей, які виконують обслуговування. Тому конструкція та його технологічне устаткування з метою надання теплогенератору безпечності при його експлуатації повинні бути максимально адаптовані та відповідати цим вимогам.

Не слід забувати і про ще один важливий фактор — персонал, який працюватиме з таким складним і дорогим обладнанням, як теплогенератор. Для персоналу важливе значення має зручність і простота в експлуатації теплогенератора: якщо обслуговування буде незручним, працівники уникатимуть цього або робитимуть це рідше, ніж потрібно. Теплогенератор повинен забезпечувати вільний доступ до зон обслуговування, які часто знаходяться на висоті.

Теплогенератор може забезпечити номінальну і наднормову теплову потужність, однак такий «запас», як правило,

пов'язаний із використанням більшої конструкції, а це — конструкційні матеріали (метал), більшої потужності електродвигуни та, як правило, вища ціна теплогенератора. У процесі роботи з недовантаженням це обумовлює суттєве збільшення вартості вироблення 1 Гкал тепла.

Вагомим критерієм присутності на ринку може бути *лідерство теплогенератора певної марки/серії/фірми-виробника за об'ємами продаж*. Споживачі віддають перевагу перевіреним в умовах експлуатації моделям, а на їхній основі — конструкційному виконанню. Конструкційне різноманіття теплогенераторів на ринку — значне, і його вплив на експлуатаційні показники також значний. Отримати відповіді на всі питання про різноманітність конструкцій, їхні позитивні переваги та недоліки доцільно за результатами тестувань — дослідницьких, експлуатаційних, а також за оцінками теплогенератора покупцями, які встигли всебічно його оцінити в процесі експлуатації та сервісного обслуговування.

Обговорення. Наразі більшість технологій рекуперації відпрацьованого тепла не можуть безпосередньо перетворювати відпрацьоване тепло на енергію, необхідну для промислового виробництва, тому є проблема низької ефективності перетворення енергії [Zhuang et al., 2023].

Дослідження енергоефективних процесів теплогенерації у вихрових системах горіння дали змогу розробити модель системи генерації теплової енергії і досліджувати параметри теплогенератора при використанні різних видів подрібненого палива [Fedoreiko et al., 2022].

Виробництво паливних брикетів можливе з рисового лушпиння та соєвої соломи. Установлено, що на якість паливних гранул суттєво впливають вологість, рівень подрібнення та фізико-хімічні властивості сировини. Теплота згоряння отриманих твердих брикетів перевищує нормативні значення європейських стандартів [Makarynska et al., 2020].

Теплообмінники значно підвищують ефективність теплообміну відпрацьовани-

ми газами, що призводить до покращення продуктивності та теплової ефективності системи [Cheng-You Chen et al., 2023].

Установлено позитивний вплив надійних джерел енергії на зміну клімату, пов'язану з процесами сушіння зерна. Розглянуто підходи до сушіння та оцінено використання різних варіантів палива в зерносушарках місткістю 500 тон для забезпечення чистішого довкілля [Shubham et al., 2021].

Сушіння змінює властивості твердої біомаси та впливає на процес її подрібнення. Визначено, що температура сушіння, система подрібнення та тип біомаси впливають на її подрібнюваність [Jewiarz et al., 2020].

Метод рекуперації відхідного тепла достатньо широко й ефективно використовується в зерносушарках із біотеплогенераторами. Це обумовлює економію тепла та біопалива [Song et al., 2023].

Дослідження вихрового теплогенератора, проведені методом математичного моделювання, дають змогу визначити діапазон його роботи, оцінити технологічні та конструкційні параметри, що впливають на ефективність роботи та відповідають вимогам енергоефективності [Yaris et al., 2021].

Використання інтелектуальної системи керування забезпечує обґрунтоване раціональне дозування несертифікованого палива — відходи елеваторного виробництва, відходи зерноочищення, подрібнені відходи — та оптимізацію енергоефективних процесів теплогенерації, зменшення шкідливих викидів в атмосферу [Fedoreiko et al., 2022].

Маркетингові дослідження (станом на травень 2025 р.) засвідчили, що реалізація теплогенераторного обладнання в умовах України фактично призупинилася. Відносно оновлення ринку здійснюється тільки на тих підприємствах, де наявне в експлуатації обладнання відпрацьовало свої терміни експлуатації. У цьому процесі фактично беруть участь тільки вітчизняні підприємства-виробники ПП «НВТ-Технологія», ТОВ «Новий Елеватор», Ві-

ницьке приватне виробничо-комерційне мале підприємство «ЛОТІРОН», ТОВ «Греко Груп», ТОВ «ТЕФФ». Тому можна з впевненістю стверджувати, що теплова потужність теплогенеруючого парку в найближчі 5 років залишиться на рівні 5 600-6000 МВт, причому, зважаючи на значний кадровий «голод» підприємств-виробників — науковий і виробничий, обумовлений війною в Україні, — технологічного прориву у створенні потужних і надпотужних комплексів не буде. У подальшому попитом будуть користуватися теплогенератори гібридного типу (потужність — до 10 МВт) та теплогенераторні комплекси потужністю 8-12 МВт, наявні у виробничому арсеналі вітчизняних підприємств

Висновки. Ринок теплогенеруючого обладнання України, призначеного для використання у технологіях сушіння зерна, сформовано майже сорока вітчизняними підприємствами-виробниками. Сумарна тепла потужність теплогенеруючого обладнання, що використовується в Україні, знаходиться на рівні 5,6 ГВт. Його достатньо, щоб сушити весь щорічний український урожай кукурудзи зі зйомом вологи з 24 до 14% в осінній період протягом 1 календарного місяця. Лідерами ринку та у використанні є теплогенеруюче обладнання фактично кількох підприємств-лідерів. Його тепла потужність становить 5200 МВт (93% від сумарної потужності). Теплогенеруюче обладнання ринку, згідно з тепловою потужністю, диференційоване на класи: низький — тепла потужність до 2 МВт, середній — 3-9 МВт, високий — 10-15 МВт, надвисокий — 16-20 МВт. В експлуатації домінує теплогенеруюче обладнання середнього (3-9 МВт) класу теплової потужності.

Визначено фактори, що обумовлюють затребуваність і використання теплогенератора в Україні. Основний із них — здатність теплогенератора / теплогенераторного комплексу забезпечувати задекларовану підприємством-виробником середню або високу паспортну теплову

потужність. Парк теплогенеруючого обладнання в найближчі 5 років залишиться на рівні 5,6-6,0 ГВт. Технологічного прориву у створенні потужних і надпотужних комплексів не буде. У подальшому запиті будуть користуватися попитом теплогенератори гібридного типу та теплогенераторні комплекси потужністю 8-12 МВт, наявні у виробничому арсеналі вітчизняних підприємств-виробників.

Список літератури

- Гайдай, Т., Халін, С., Занько, М. (2024). Державні приймальні випробування теплогенератора «ТБ-2»: достовірність та об'єктивність оцінки. *AgroTestMachinery*. № 4 (1). С. 19-27.
- Занько, М. (2023). Генератор чи теплогенераторний комплекс: ефективність функціонування. *Пропозиція*, №1. С. 90-94.
- Халін, С., Занько, М., Гайдай, Т. (2024). Повітряні теплообмінники серії «КДП»: спалювання дров і вироблення теплоагента для зернової сушарки у процесі сушіння зерна кукурудзи. *Техніка і технології АПК*. № 3. С. 29-35.
- Халін, С., Занько, М. (2024). Оптимальне компонування. *Зерно*. №7. С. 106-110.
- Barrozo, M. A. S., Mujumdar, A., & Freire, J. T. (2014). Air-Drying of Seeds: A Review. *Drying Technology*, 32(10), 1127–1141. <https://doi.org/10.1080/07373937.2014.915220>
- Chen, C. Y., Du, K. W., Chung, Y. C., & Wu, C. I. (2024). Advancements in Thermoelectric Generator Design: Exploring Heat Exchanger Efficiency and Material Properties. *Energies*, 17(2), 453. <https://doi.org/10.3390/en17020453>
- Chojnacka, K., Mikula, K., Izydorczyk, G., Skrzypczak, D., Witek-Krowiak, A., Moustakas, K., ... & Kułczyński, M. (2021). Improvements in drying technologies-Efficient solutions for cleaner production with higher energy efficiency and reduced emission. *Journal of Cleaner Production*, 320, 128706.
- Esarte, J., Min, G., & Rowe, D. M. (2001). Modelling heat exchangers for thermoelectric

generators. *Journal of Power Sources*, 93(1-2), 72-76. [https://doi.org/10.1016/S0378-7753\(00\)00566-8](https://doi.org/10.1016/S0378-7753(00)00566-8)

Fedoreiko, V. S., Rutylo, M. I., Iserskyi, I. S., & Zahorodnii, R. I. (2020). Optimization of heat production processes in the biofuel vortex combustion systems. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*. 2020, (6): 083 - 088. <https://doi.org/10.33271/nvmii/2020-6/083>

Grossmann, L., Hinrichs, J., & Weiss, J. (2022). Technologies for sustainable heat generation in food processing. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 21(6), 4971-5003.

Jewiarz, M., Wrybel, M., Mudryk, K., & Szufa, S. (2020). Impact of the drying temperature and grinding technique on biomass grindability. *Energies*, 13(13), 3392. <https://doi.org/10.3390/en13133392>

Jimoh, K. A., Hashim, N., Shamsudin, R., Man, H. C., Jahari, M., & Onwude, D. I. (2023). Recent advances in the drying process of grains. *Food Engineering Reviews*, 15(3), 548-576.

Makarynska, A., & Turpurova, T. (2020). Production of solid biofuels from Grain Processing wastes. *Grain Products and Mixed Fodder's*, 20(1), 48-54 <https://doi.org/10.15673/gpmf.v20i1.1694>

Miao, Z., Meng, X., & Li, X. (2023). Design a high-performance thermoelectric generator by analyzing industrial heat transfer. *Applied Energy*, 347, 121403. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2023.121403>

Ononogbo, C., Nwosu, E. C., Nwakuba, N. R., Nwaji, G. N., Nwufo, O. C., Chukwuezie, O. C., ... & Anyanwu, E. E. (2023). Opportunities of waste heat recovery from various sources: Review of technologies and implementation. *Heliyon*, 9(2).

Omer, G., Yavuz, A. H., Ahiska, R., & Calisal, K. E. (2020). Smart thermoelectric waste heat generator: Design, simulation and cost analysis. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 37, 100623. <https://doi.org/10.1016/j.seta.2019.100623>

Panigrahi, S. S., Luthra, K., Singh, C. B., Atungulu, G., & Corscadden, K. (2023). On-farm grain drying system sustainability:

Current energy and carbon footprint assessment with potential reform measures. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 60, 103430. <https://doi.org/10.1016/j.seta.2023.103430>

Song, W., Chen, X., Huang, Y., Jiang, R., & Zhou, J. (2023). Thermal analysis technology to utilize waste biomass and waste heat to produce high-quality combustible gas through simulations and experiments. *Science of The Total Environment*, 892, 163970. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.163970>

Yaris, V., Kuzyayev, I., Nikolsky, V., Ved, V., Peter, C., Palagnyuk, A., ... & Reshetnyak, I. (2021). Research and development of the structure of a vortex heat generator by the method of mathematical modeling. *Technology audit and production reserves*, 1(1 (57)), 39-43. <https://doi.org/10.15587/2706-5448.2021.225289>

References

Barrozo, M. A. S., Mujumdar, A., & Freire, J. T. (2014). Air-Drying of Seeds: A Review. *Drying Technology*, 32(10), 1127–1141. <https://doi.org/10.1080/07373937.2014.915220>

Chen, C. Y., Du, K. W., Chung, Y. C., & Wu, C. I. (2024). Advancements in Thermoelectric Generator Design: Exploring Heat Exchanger Efficiency and Material Properties. *Energies*, 17(2), 453. <https://doi.org/10.3390/en17020453>

Chojnacka, K., Mikula, K., Izydorczyk, G., Skrzypczak, D., Witek-Krowiak, A., Moustakas, K., ... & Kułczyński, M. (2021). Improvements in drying technologies-Efficient solutions for cleaner production with higher energy efficiency and reduced emission. *Journal of Cleaner Production*, 320, 128706.

Esarte, J., Min, G., & Rowe, D. M. (2001). Modelling heat exchangers for thermoelectric generators. *Journal of Power Sources*, 93(1-2), 72-76. [https://doi.org/10.1016/S0378-7753\(00\)00566-8](https://doi.org/10.1016/S0378-7753(00)00566-8)

Fedoreiko, V. S., Rutylo, M. I., Iserskyi, I. S., & Zahorodnii, R. I. (2020). Opti-

mization of heat production processes in the biofuel vortex combustion systems. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*. 2020, (6): 083 - 088. <https://doi.org/10.33271/nvmii/2020-6/083>

Grossmann, L., Hinrichs, J., & Weiss, J. (2022). Technologies for sustainable heat generation in food processing. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 21(6), 4971-5003.

Haidai, T., Khalin, S., Zanko, M. (2024). State acceptance tests heat generator «TB-2»: reliability and objectivity of the assessment. *AgroTestMachinery*. No. 4 (1). P. 19-27.

Jewiarz, M., Wrybel, M., Mudryk, K., & Szufa, S. (2020). Impact of the drying temperature and grinding technique on biomass grindability. *Energies*, 13(13), 3392. <https://doi.org/10.3390/en13133392>

Jimoh, K. A., Hashim, N., Shamsudin, R., Man, H. C., Jahari, M., & Onwude, D. I. (2023). Recent advances in the drying process of grains. *Food Engineering Reviews*, 15(3), 548-576.

Khalin, S., Zanko, M. (2024). Optimal layout. *Zerno*. No. 7. P. 106-110.

Khalin, S., Zanko, M., Haidai, T. (2024) Air heat exchangers of the “KDP” series: burning firewood and producing a heat agent for a grain dryer in the process of drying corn grain. *Technique and Technologies for Agriculture*. No. 3. pp. 29-35.

Makarynska, A., & Turpurova, T. (2020). Production of solid biofuels from Grain Processing wastes. *Grain Products and Mixed Fodder's*, 20(1), 48-54 <https://doi.org/10.15673/gpmf.v20i1.1694>.

Miao, Z., Meng, X., & Li, X. (2023). Design a high-performance thermoelectric generator by analyzing industrial heat transfer. *Applied Energy*, 347, 121403. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2023.121403>

Omer, G., Yavuz, A. H., Ahiska, R., & Calisal, K. E. (2020). Smart thermoelectric waste heat generator: Design, simulation and cost analysis. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 37, 100623. <https://doi.org/10.1016/j.seta.2019.100623>

Ononogbo, C., Nwosu, E. C., Nwakuba, N. R., Nwaji, G. N., Nwifo, O. C., Chuk-

wuezie, O. C., ... & Anyanwu, E. E. (2023). Opportunities of waste heat recovery from various sources: Review of technologies and implementation. *Heliyon*, 9(2).

Panigrahi, S. S., Luthra, K., Singh, C. B., Atungulu, G., & Corscadden, K. (2023). On-farm grain drying system sustainability: Current energy and carbon footprint assessment with potential reform measures. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 60, 103430. <https://doi.org/10.1016/j.seta.2023.103430>

Song, W., Chen, X., Huang, Y., Jiang, R., & Zhou, J. (2023). Thermal analysis technology to utilize waste biomass and waste heat to produce high-quality combustible gas through simulations and experiments. *Science of The Total Environment*, 892, 163970. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.163970>

Yaris, V., Kuzyayev, I., Nikolsky, V., Ved, V., Peter, C., Palagnyuk, A., ... & Reshetnyak, I. (2021). Research and development of the structure of a vortex heat generator by the method of mathematical modeling. *Technology audit and production reserves*, 1(1 (57)), 39-43. <https://doi.org/10.15587/2706-5448.2021.225289>

Zanko, M. (2023). Generator or heat-generating complex: operating efficiency. *Proposal*, No. 1. pp. 90-94.

UDC 631.354.2.026.001.5

ANALYSIS OF THE MARKET FOR HEAT-GENERATING EQUIPMENT FOR GRAIN DRYING IN UKRAINE

Khalin S., PhD in Econ. Sc., Associate Professor,

<https://orcid.org/0000-0002-7510-5056>,

Zanko M., PhD in Tech. Sc., Senior Researcher,

<https://orcid.org/0000-0001-8964-0706>

Haidai T., PhD in Tech. Sc.,

<https://orcid.org/0000-0001-9141-4820>

Len O.

<https://orcid.org/0000-0003-0454-119X>

L. Pogorilyy UkrNDIPVT

Summary

Purpose of the study: to analyse the current state and development trends of the market for heat-generating equipment used in Ukraine's agro-industrial sector for grain drying.

Methods: marketing research, analysis, operational evaluation, expert assessment, experimental research, and standardized methods.

Results. According to marketing research data (as of May 2025), the Ukrainian market for heat-generating equipment is mainly shaped by domestic manufacturers (approximately forty enterprises), with minimal involvement of foreign companies. The leading market players have been identified, including NVT-Tekhnolohiia LLC, Novyi Elevator LLC, TEFF LLC, GRECO GROUP LLC, Gaz Dream, LOTIRON PEI-UE, Bryh PJSC, and Dunaevetskyi LMZ LLC. The total thermal capacity of heat-generating equipment in Ukraine is estimated at 5.6 GW, which is sufficient for drying the annual corn harvest during the autumn period. At the same time, 93% of the total capacity (5200 MW) is provided by several market leaders.

The classification of heat-generating equipment by thermal capacity was carried out as follows: low (up to 2 MW), medium (3-9 MW), high (10-15 MW), ultra-high (16-20 MW). Medium-capacity equipment dominates in operation. The primary factor determining the demand and efficiency of heat generators is their ability to deliver the declared nominal thermal capacity (medium or high).

Conclusions. It was established that the full-scale war has led to a virtual halt in the production and sale of new equipment. Fleet renewal is occurring mainly through the replacement of equipment that has exhausted its operational life. It is projected that the thermal capacity of the fleet of heat generators will remain at the level of 5.6-6.0 GW over the next five years. A significant technological breakthrough in the development of ultra-powerful systems is not expected due to personnel shortages and manufacturing difficulties caused by the war. Instead, demand will persist for hybrid-type heat generators (up to 10 MW) and heat-generating complexes (8-12 MW), which are already offered by domestic manufacturers.

Particular attention is given to the technical characteristics of heat generators that affect their operational efficiency. The importance of using thermally resistant materials to ensure durability under high combustion chamber temperatures (up to 1500°C) is emphasized, as well as the necessity of qualified maintenance personnel and operational convenience.

Keywords: market, heat-generating equipment, heat generator, manufacturing enterprises, thermal capacity, influencing factors.