

**КАБІНЕТ МІНІСТРІВ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ**

ЦИВЕНКОВА НАТАЛІЯ МИХАЙЛІВНА

УДК 631.2:658.264
631.172

**ОБГРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ КАМЕРИ ГАЗОУТВОРЕННЯ
ГАЗОГЕНЕРАТОРА, АДАПТОВАНОГО ДО СИРОВИНИ РОСЛИННОГО
ПОХОДЖЕННЯ**

05.05.11 – машини і засоби механізації сільськогосподарського виробництва

Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Київ – 2013

Дисертацією є рукопис

Робота виконана у Житомирському національному агроекологічному університеті
Міністерства аграрної політики і продовольства України

Науковий керівник

кандидат технічних наук, доцент
Кухарець Савелій Миколайович,
Житомирський національний
агроекологічний університет,
доцент кафедри електрифікації, автоматизації
виробництва та інженерної екології

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, професор
Мироненко Валентин Григорович,
Національний науковий центр
«Інститут механізації та електрифікації
сільського господарства» НААН,
заступник директора з наукової роботи

кандидат технічних наук, професор
Ратушняк Георгій Сергійович,
Вінницький національний технічний
Університет «Інститут будівництва,
теплоенергетики та газопостачання»,
директор

Захист відбудеться «28» січня 2014 року о 12⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої
вченої ради Д26.004.06 у Національному університеті біоресурсів і
природокористування України за адресою: 03041, м. Київ–041,
вул. Генерала Родімцева, 19, навчальний корпус № 1, кімната 97

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Національного університету
біоресурсів і природокористування України за адресою: 03041, м. Київ–041,
вул. Героїв Оборони, 13, навчальний корпус № 4, кімната 41^а

Автореферат розісланий «26» грудня 2013 року

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради

О. А. Марус

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. При вирощуванні та збиранні зернових значна частина зерна потребує післязбиральної доробки, а саме сушіння. Проте сушіння є енергозатратним процесом, що значно впливає на кінцеву вартість отриманої сільськогосподарської продукції. А зважаючи на те, що використання в процесі сушіння зернових генераторного газу, отриманого із відходів рослинництва, наприклад соломи, є одним із перспективних методів зниження енергетичних витрат, то необхідні дослідження з встановлення конструктивно-технологічних параметрів газогенераторних установок, адаптованих до сільськогосподарської рослинної сировини загалом, та соломи зернових зокрема. На наукові дослідження і розробки за вищезазначеним напрямком було призначено Грант Президента України для обдарованої молоді на 2010 р (свідоцтво № 36 згідно Розпорядження Президента України від 16 грудня 2009 року №263/2009-рп).

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дослідження за темою дисертаційної роботи виконувалися згідно з науково-дослідною тематикою кафедри вищої математики і прикладної механіки Житомирського національного агроекологічного університету при виконанні наукових тем: «Підвищення ефективності газифікації твердих біопалив конструктивною оптимізацією обладнання газогенераторних установок транспортного типу» (номер державної реєстрації 0109U003308); «Обґрунтування енергетичної автономності післязбиральної обробки зернових з використанням відновлювальних джерел енергії» (номер державної реєстрації 0113U000752); «Розробка та впровадження газогенераторного модуля для сумісного виробництва теплової та електричної енергії» (номер державної реєстрації 0113U000753).

Дисертаційна робота виконана згідно «Плану заходів до Регіональної програми підвищення енергоефективності на 2010 – 2014 роки» (рішення Житомирської обласної ради від 08. 09. 2010 р., № 1157), затвердженим рішенням Житомирської обласної ради від 16. 08. 2012 р., № 628.

Мета і задачі дослідження. Метою дисертаційної роботи є підвищення ефективності процесу отримання енергії із соломи зернових шляхом встановлення раціональних конструктивно-технологічних параметрів і режимів роботи камери газоутворення прямопотокового газогенератора, що використовується в технологічному процесі сушіння зернових.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішувати такі *задачі*:

- проаналізувати існуючі способи штучного сушіння зернових за енергоємністю і встановити можливість зниження енергоємності шляхом використання генераторного газу, отриманого з сільськогосподарської рослинної сировини; здійснити огляд досліджень процесу газоутворення та режимів роботи газогенераторів на рослинній сировині, конструктивно-технологічних параметрів камери газоутворення з оглядом на особливості використання соломи зернових;

- виконати аналітичне техніко-технологічне обґрунтування параметрів роботи комплексу зерносушарка – газогенератор із мінімальними енерговитратами;

- теоретично обґрунтувати вплив конструктивно-технологічних параметрів камери газоутворення і фізико-механічних властивостей сільськогосподарської

рослинної сировини на теплопродуктивність газогенератора і на енергоємність процесу сушіння зернових;

- експериментально визначити умови, за яких теплопродуктивність газогенератора найвища (дослідити вплив на теплопродуктивність газогенератора відносної вологості сировини, діаметра кола встановлення фурм і режиму газоповітряного дуття);

- розробити інженерну методику визначення параметрів камери газоутворення і газогенератора на рослинній сировині, адаптованого до енергоживлення зернової сушарки;

- провести виробничу перевірку та дати техніко-економічну оцінку одержаних науково-технічних результатів.

Об'єкт дослідження – технологічний процес отримання енергії із соломи зернових з допомогою камери газоутворення газогенератора, адаптованого до енергозабезпечення зернової сушарки.

Предмет дослідження – залежності впливу конструктивно-технологічних параметрів та режимів роботи камери газоутворення газогенератора на ефективність отримання енергії із соломи зернових та продуктивність роботи зернової сушарки.

Методи дослідження. Теоретичні дослідження проводилися з використанням основних положень інтегрального та диференціального числення, газодинаміки, теплотехніки, хімії. Експериментальні дослідження проводились з використанням газогенераторної установки Житомирського національного агроекологічного університету (ЖНАЕУ) та у виробничих умовах при сушінні зернових шляхом спалювання в топці сушарки генераторного газу відповідно до прийнятої методики і галузевих стандартів із застосуванням вимірювального обладнання лабораторій ЖНАЕУ та Інституту Газу НАН України. Обробка результатів експериментальних досліджень виконана із застосуванням положень теорії ймовірності та математичної статистики, при цьому використано прикладні програми Statistica 6.1, Maple 16 та Wolfram Mathematica 9.0.

Наукова новизна одержаних результатів. Основні положення дисертаційної роботи, які визначають наукову новизну одержаних результатів:

уперше:

- виконано теоретичні дослідження впливу фізико-механічних властивостей сільськогосподарської рослинної сировини на конструктивні параметри камери газоутворення з метою забезпечення максимального показника теплопродуктивності газогенератора в 445 МДж/год; в результаті дослідження визначено діапазон зміни діаметра кола встановлення фурм, що складає 272–340 мм при зміні відносної вологості соломи зернових в межах 8–30 %; зазначено, що при сталій відносній вологості соломи зернових збільшення діаметру кола встановлення фурм призводить до підвищення продуктивності газогенератора;

- проведено теоретичні дослідження залежності довжини шляху, пройденого струменями газів дуття крізь зону основних хімічних реакцій камери газоутворення від конструктивно-технологічних параметрів камери газоутворення; в результаті дослідження визначено розміри основних конструктивних елементів камери газоутворення (загальної висоти камери газоутворення, висоти прямого і зворотного конусів камери, діаметру фурменого поясу, діаметру горловини) і підтверджено

діапазон зміни діаметра кола встановлення фурм для забезпечення повноти протікання процесу газоутворення і перекриття газових струменів в горловині, виходячи з обсягу повітря, необхідного для процесу газоутворення, розрахованого для соломи-січки в діапазоні вологості 8–30 %.

– експериментально обґрунтовано конструктивні параметри і режими роботи камери газоутворення, що забезпечують підвищення теплопродуктивності газогенератора на 18–22 %, зниження питомих витрат рослинної сировини на процес газоутворення на 24 % в порівнянні з газогенератором до внесення змін в конструкцію камери газоутворення; зниження вологості соломи зернових до 8 % і збільшення діаметру кола встановлення фурм до 340 мм призводить до підвищення теплопродуктивності газогенератора до 370 МДж/год при сталому об'ємі газів дуття, необхідних на процес газоутворення, в діапазоні 39–42 м³/год;

удосконалено:

– аналітичні залежності, які встановлюють вплив зміни діаметра кола встановлення фурм камери газоутворення в діапазоні 272–340 мм і опору, що створюється шаром соломи-січки в камері газоутворення на забезпечення продуктивності газогенератора за газом в межах 60–68 м³/год з вищою теплотворною здатністю сухого генераторного газу 5–6,6 МДж/м³;

– інженерні методи проектування геометричних параметрів камери газоутворення і газогенератора;

– технологічні схеми роботи газогенераторної установки на сільськогосподарській рослинній сировині для енергозабезпечення зерносушильного комплексу;

набуло подальшого розвитку:

– механіко-технологічне обґрунтування процесів отримання енергії із соломи зернових для забезпечення ефективної роботи зернової сушарки.

Наукову новизну одержаних результатів досліджень підтверджено патентом України на корисну модель «Газогенератор» № 80582, Україна МПК (2013.01) u 2012 12030, C10J 3/00.

Практичне значення одержаних результатів полягає у зниженні енерговитрат процесу сушіння зернових, поліпшення ефективності технологічного процесу отримання енергії шляхом хіміко-термічної конверсії сільськогосподарської рослинної сировини в прямопоточних газогенераторах завдяки встановленню раціональних параметрів і режимів роботи камери газоутворення.

Розроблено методики інженерних розрахунків технологічних і конструктивних параметрів камери газоутворення і газогенератора, що дає змогу визначити режими процесу газоутворення та значення параметрів, що забезпечують підвищення теплопродуктивності газогенератора і енергозабезпечення процесу сушіння зерна.

В ході дослідження встановлено, що використання конструкції камери газоутворення, адаптованої до фізико-механічних властивостей сировини, та узгодженого режиму газоповітряного дуття дозволяє підвищити теплопродуктивність газогенератора порівняно з аналогами на 18–22 %. Результати досліджень прийняті до впровадження у СТОВ «Юрківщина» (с. Ярунь, Новоград-Волинського району, Житомирської обл.), ТОВ «Бердичівзернопродукт» (м. Бердичів, Житомирської обл.).

Особистий внесок здобувача. Основні теоретичні та експериментальні дослідження за темою дисертаційної роботи виконані здобувачем особисто, зокрема: встановлено доступність сільськогосподарської рослинної сировини, здійснено її класифікацію з метою виробництва біопалив на її основі і подальшого застосування в процесі газоутворення; формалізовано взаємозв'язки технологічних параметрів процесу газоутворення із технічними параметрами отриманого генераторного газу в прямопотокових газогенераторах; обґрунтовано оптимальні режими газоповітряного дуття і конструктивно-технологічні параметри камери газоутворення прямопотокового газогенератора, що працює на рослинній сировині, досліджено вплив зазначених параметрів і режимів, узгоджених з фізико-механічними властивостями сировини, на продуктивність газогенератора; досліджено вплив фізико-механічних властивостей рослинної сировини на питому продуктивність зерносушарки на газогенераторному живленні та на питомі витрати даної сировини для енергозабезпечення процесу сушіння зернових; обґрунтовано технологічні схеми роботи газогенераторної установки на рослинній сировині для енергозабезпечення зерносушильного комплексу; обґрунтовано еколого-економічні показники використання газогенераторних технологій в сільському господарстві; узагальнено результати виробничої перевірки дослідної камери газоутворення як предмета експлуатаційних та економічних досліджень; здійснено техніко-економічну оцінку одержаних науково-технічних результатів. У наукових публікаціях за темою дисертації, що написані в співавторстві, особистий внесок здобувача становить від 40 до 75 %.

Апробація результатів дисертації. Основні положення наукових досліджень, що включені до дисертації, доповідались і отримали позитивну оцінку на: V Науково-практичній конференції студентів, аспірантів і молодих вчених «Наука. Молодь. Екологія-2009» (м. Житомир, 2009 р.); Міжнародній науково-практичній конференції аспірантів, магістрів та студентів «Інновації для сільського господарства» (м. Житомир, 2009 р.); V Міжнародній науково-практичній конференції «Нетрадиційні і поновлювальні джерела енергії як альтернативні первинним джерелам енергії в регіоні» (м. Львів, 2009 р.); Міжнародній науково-практичній конференції «Інноваційні агротехнології в умовах глобального потепління» (м. Мелітополь-Кирилівка, 2009 р.); VII Міжнародній конференції «Сотрудничество для решения проблем отходов» (м. Харків, 2010 р.); Міжвузівській науково-технічній конференції, присвяченій 90-річчю Житомирського національного агроекологічного університету «Передові технології сільськогосподарської продукції, енергозбереження та забезпечення тепловою і електричною енергіями. Перспективи та проблеми впровадження в сільське господарство Полісся» (м. Житомир, 2012 р.); VII Міжнародній науково-практичній конференції «Нетрадиційні і поновлювальні джерела енергії як альтернативні первинним джерелам енергії в регіоні» (м. Львів, 2013 р.); II Науково-технічній конференції науково-педагогічних працівників Житомирського національного агроекологічного університету «Передові технології виробництва та переробки сільськогосподарської продукції, енергозбереження та забезпечення тепловою і електричною енергією. Перспективи та проблеми впровадження в сільське господарство Полісся» (м. Житомир, 2013 р.).

Публікації. Основні матеріали та положення дисертації опубліковано у 21 науковій роботі, якими є: стаття у міжнародному виданні, 9 статей у фахових наукових виданнях, 2 патенти України на корисні моделі, 9 тез доповідей.

Структура та обсяг роботи. Дисертація складається із вступу, п'яти розділів, висновків, додатків та списку використаних джерел. Робота викладена на 195 сторінках друкованого тексту, містить 31 таблицю, 68 рисунків та 227 літературних джерел, в тому числі – 12 іноземних.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У першому розділі «Аналіз технологій і технічних засобів для виробництва генераторного газу із сільськогосподарської рослинної сировини» здійснено оглядовий пошук, проаналізовано наукові роботи та інші інформаційні джерела щодо процесу сушіння зернового матеріалу. Встановлено, що техніко-технологічне забезпечення сучасних сушильних виробництв залишається енергоємним. Впродовж ряду років проводяться дослідження зниження складових витрат енергії на процес конвективного сушіння зернових і підвищення ефективності даного процесу. Аналіз наукових праць свідчить, що одним з перспективних напрямків зниження енергоємності є використання в технологічному процесі сушіння енергоносіїв з відновлювальних джерел енергії.

Питаннями використання місцевих видів палива для виробництва енергії в Україні займаються такі вчені: В. О. Дубровін, В. Г. Мироненко, Г. С. Ратушняк, Г. Г. Гелетуша, Г. А. Голуб, Т. А. Железна, М. М. Жовнір, Г. М. Калетнік, В. М. Карплюк, Л. В. Лось, Ю. Ф. Мельник, М. Д. Мельничук. В їхніх наукових працях оцінено потенціал сільськогосподарської рослинної сировини в Україні, з яких найбільшу частку 43 % (10,3 млн. т.у.п. в рік) складає солома зернових, представлено комплексні енергоощадні системи виробництва твердих біопалив в умовах АПК, обґрунтовано найбільш раціональні технологічні схеми отримання енергії з твердих біопалив для енергозабезпечення аграрних виробництв.

Встановлено, що ефективним шляхом комплексного вирішення проблем енергетики і екології, при термічній обробці зерна, є використання в якості енергоносія - генераторного газу, отриманого з соломи. З метою реалізації вищезазначеного здійснено аналіз конструкцій газогенераторів залежно від способу отримання і призначення генераторного газу, а також за типом газогенераторних установок і за ступенем механізації і автоматизації робіт. Для зниження енергоємності процесу сушіння зерносушильні комплекси доцільно оснащувати прямопотокowymi газогенераторами, що забезпечують стійкість процесу газоутворення, високий ступінь розкладання смол, високу продуктивність.

Питаннями теорії та практики інтенсифікації процесу газоутворення і створення на базі цього конструкцій основних вузлів газогенератора займалися В. С. Альштуцер, В. Я. Бохман, А. А. Бронштейн, М. П. Вознесенський, Д. Б. Гінзбург, М. М. Доброхотов, В. А. Лямін, І. С. Мезін, В. В. Померанцев, Г. Г. Токарев, М. Г. Юдушкін, Т. Рид та ін. Вони розглянули наукові основи кінетики, термодинаміки, газодинаміки та тепломасообміну процесу при газоутворенні. Аналітичний опис процесу газоутворення в шарі сировини

здійснюється завдяки використанню моделі ідеальної структури шару згідно теорії фільтрації. Чимале розмаїття рослинної сировини та властивостей, які проявляють себе за різних умов роботи, нерівномірність розподілу потоків газу в зв'язку з цим, а також прагнення до адекватного опису породжують безліч різноманітних математичних моделей. Газодинамічні процеси при газоутворенні згідно теорії турбулентного джерела Г. Н. Абрамовича висвітлені в наукових працях І. С. Мезіна.

Однак, питання узгодження конструкції камери газоутворення з режимом газоповітряного дуття методом визначення довжини шляху, що пройшли гази дуття в зоні хімічних реакцій, і аналітичний опис фурменої зони, виходячи з динамічних характеристик окремого газового струменю, детально не досліджувались.

Залежністю теплотворної здатності генераторного газу від вологості палива займалися такі науковці: М. П. Вознесенський, Л. К. Коллеров, Б. М. Черноморднік, Г. Імберт, Н. Э. Рамбуш, Г. Р. Тренклер та ін. Разом з тим, встановлення впливу фізико-механічних властивостей рослинної сировини на конструктивні параметри камери газоутворення, узгоджені з режимом газоповітряного дуття, не повною мірою відбилися у попередніх дослідженнях. Це спонукає до необхідності проведення досліджень з обґрунтування раціональних конструктивних параметрів і режимів роботи камери газоутворення, що забезпечують підвищення ефективності процесу отримання енергії із соломи, зниження енерговитрат на процес газоутворення і підвищення теплопродуктивності газогенератора, що використовується в технологічному процесі сушіння зернових.

У другому розділі «Обґрунтування конструктивно-технологічних параметрів камери газоутворення» викладено методику оптимізації режимів роботи камери газоутворення на основі редуційної теорії виходячи з фізико-механічних властивостей рослинної сировини і обсягу газів дуття, необхідних для процесу газоутворення згідно теорії фільтрації.

Енергозабезпечення процесу сушіння зернових в сушарках конвективного типу шляхом спалювання генераторного газу і витрати даного газу визначені з рівняння енергетичного балансу:

$$Q_n = Q_v, \quad (1)$$

де Q_n і Q_v – відповідно енергія, що надходить в топку сушарки з генераторним газом, повітрям і утворюється при згорянні генераторного газу, та енергія, що відбирається на процес сушіння зерна, [кДж]:

$$Q_v = 1,07 \frac{\Delta W \cdot q \cdot m_{\text{зерна}} \cdot \psi}{100 \cdot \eta_{\text{суш}}}, \quad (2)$$

де ΔW – зміна вологості зерна за період сушіння, [%]; q – кількість енергії, що необхідна для випаровування вологи з зерна, [кДж/кг]; $m_{\text{зерна}}$ – маса зернового матеріалу, [кг]; ψ – коефіцієнт, що враховує нерівномірність використання теплового потоку протягом циклу роботи сушарки; $\eta_{\text{суш}}$ – сумарний к.к.д. сушарки.

Продуктивна частина енергії становить:

$$Q_n = V_{2.2} \cdot [c_{2.2} \cdot t_{2.2} + Q_B^{2.2} \cdot \eta_T] + [T_{нов} \cdot c_{нов} + (r_n + c_n \cdot T_{нов}) d_0] V_{нов} \cdot \rho_{нов}, \quad (3)$$

де $V_{2.2}$ – витрати генераторного газу на процес сушіння зерна, $[m^3]$; $c_{2.2}$ – теплоємність генераторного газу, $[kJ/m^3 \cdot ^\circ C]$; $t_{2.2}$ – температура генераторного газу, $[^\circ C]$; $Q_B^{2.2}$ – вища теплотвора здатність генераторного газу, $[kJ/m^3]$; η_T – ккд топки сушарки; $c_{нов}$ – питома теплоємність сухої частини повітря, $[kJ/kg \cdot ^\circ C]$; $T_{нов}$ – температура повітря, $[^\circ C]$; d_0 – вологовміст повітря, $[kg/kg]$; r_n – питома енергія пароутворення $[kJ/kg]$; c_n – питома теплоємність пару при сталому тиску, $[kJ/kg \cdot ^\circ C]$; $V_{нов}$ – об'єм повітря, що витрачається на горіння генераторного газу, $[m^3]$; $\rho_{нов}$ – питома вага повітря, $[kg/m^3]$.

Для встановлення аналітичних залежностей між продуктивністю камери газоутворення і її конструктивно-технологічними параметрами розроблено геометричну модель камери газоутворення (рис. 1).

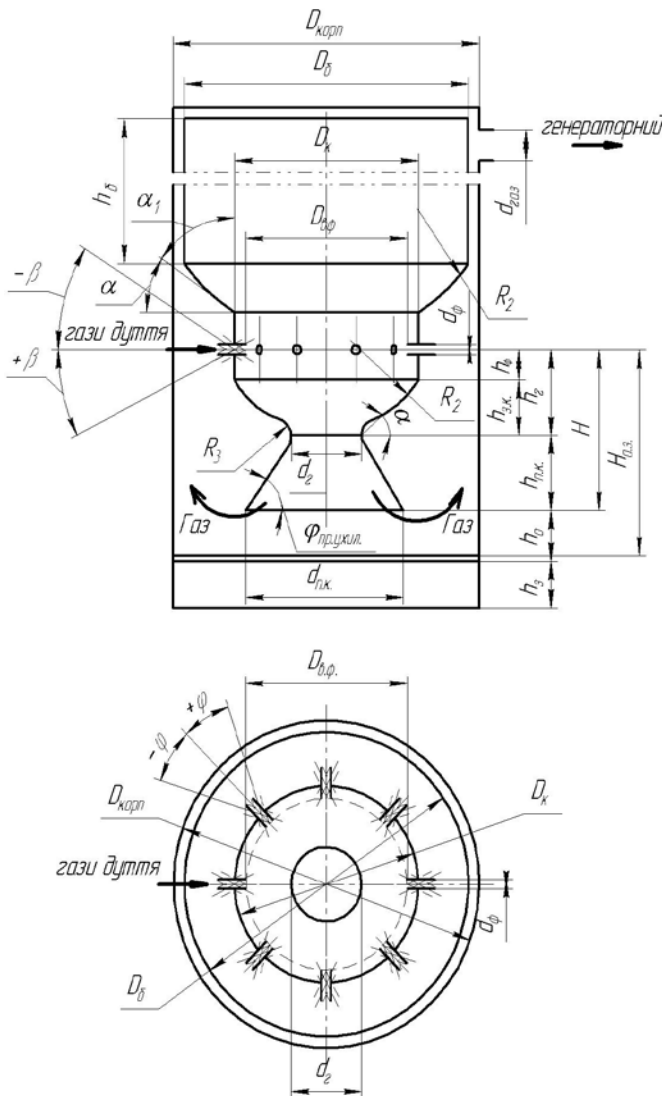


Рис. 1. Геометрична модель камери газоутворення газогенератора:

$D_{корп}$, D_b – діаметр корпусу і бункера газогенератора, м; D_k – діаметр фурменого пояса камери, м; $D_{в.ф.}$ – діаметр кола встановлення фурм в камері, м; $d_{пк}$ – діаметр прямого конуса, м; $d_ф$ – діаметр фурми, м; d_2 – діаметр горловини, м; $d_{газ}$ – діаметр патрубку відбирання газу, м; h_2 – відстань від фурменого поясу до горловини, м; $h_{пк}$, $h_{зк}$ – висота прямого і зворотного конусів камери, м; h_0 – відстань від колосникової решітки до основи прямого конуса, м; $h_ф$ – відстань від вісі фурменого поясу до основи зворотного конуса, м; h_b , $h_з$ – висота бункера і зольника газогенератора, м; $H_{акт}$ – висота активної зони камери, м; H – відстань від фурменого поясу камери до основи прямого конуса, м; R_1 , R_2 , R_3 – радіуси, м; α – кут тертя матеріалу металевою поверхнею камери; α_1 – кут сходження матеріалу в зону окислення; $\varphi_{пр.ухил}$ – кут природного ухилу золи соломи-січки; φ , β – граничні кути регулювання положення фурм в горизонтальному і вертикальному напрямках відповідно.

Дана модель узагальнює широкий спектр параметрів існуючих типів камер для встановлення тих, зміною яких можна змінювати продуктивність газогенератора.

Однією з гіпотез, що лежить в основі моделювання, є можливість регулювання продуктивності газогенератора шляхом зміни конструктивно-технологічних параметрів і режимів роботи камери газоутворення. З цією метою введено поняття діаметра кола встановлення фурм $D_{\text{эф}}$ і встановлено залежність між цим параметром і відносною вологістю W^p рослинної сировини:

$$D_{\text{эф}} = 1,128 \cdot \sqrt{\frac{K_1 \cdot K_3}{K_2} \cdot (16,261 - 0,1876 \cdot W)} \quad , \quad (4)$$

де $D_{\text{эф}}$ – діаметр кола встановлення фурм, [м]; K_1 – коефіцієнт, що виражає вміст CO , CO_2 , CH_4 в генераторному газі, [%/м³]; K_2 – коефіцієнт, що виражає кількість вуглецю, з його загального вмісту в паливі, що переходить в генераторний газ, [%/кг]; K_3 – коефіцієнт питомої напруженості горіння, [м⁵/кДж]; W^p – відносна вологість рослинної сировини, [%].

Дослідження рівняння (4) здійснено для поліфракційної суміші з соломи-січки пшениці середньою довжиною 30 мм такого складу: циліндричні стебла довжиною близько 35 мм з потовщеннями із товщиною стінок 0,5 - 1,1 мм; циліндричні гладкі стебла довжиною 25 - 35 мм, з товщиною стінок 0,2 - 0,3 мм і зовнішнім діаметром 2 – 4 мм; сплющені стебла довжиною 25 - 40 мм, з товщиною стінок 0,3 - 0,5 мм; більш крупні розщеплені стебла довжиною 10 - 30 мм, з товщиною стінок 0,15 - 0,25 мм; дрібні розщеплені стебла довжиною близько 8 мм і товщиною стінок 0,15 мм; вміст інших фракцій в суміші менше 3 %.

Експериментальним шляхом встановлено оптимальний діапазон зміни відносної вологості W^p суміші з соломи-січки, що складає: 8 – 30%. Виходячи з умови забезпечення стійкості і повноти процесу газоутворення за рівнянням (4) встановлено межі варіювання діаметра кола встановлення фурм $D_{\text{эф}}$ в зазначеному діапазоні вологості сировини, що склали 272 – 340 мм (рис. 2).

Знаючи показник $\Pi_{V_{22}}$, виходячи з рівняння енергетичного балансу, за методикою Г. Г. Токарева встановлено залежність зміни діаметра кола встановлення фурм $D_{\text{эф}}$ від напруженості горіння b_q камери газоутворення (рис. 3):

$$D_{\text{эф}} = 1,13 \cdot \sqrt{\frac{\Pi_{V_{22}} \cdot K_1}{K_2 \cdot b_q}} \quad , \quad (5)$$

де b_q – напруженість горіння, [кг/м²·год].

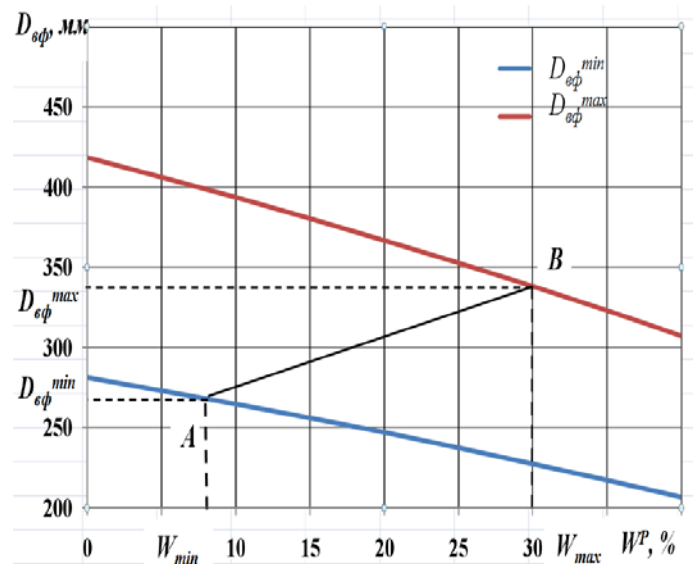


Рис. 2. Обґрунтування діапазону зміни діаметра кола встановлення фурм $D_{\text{эф}}$ при зміні відносної вологості W^p соломи-січки пшениці

Дослідження виконано для поліфракційної суміші з соломи-січки пшениці і для пелет з соломи. Напруженість горіння b_q для соломи-січки змінюється в межах 400 – 600 [кг/м²·год], а для пелет з соломи: 500 – 900 [кг/м²·год].

Забезпечення заданої продуктивності газогенератора $\Pi_{V_{2,2}}$ є можливим в спільній для пелет і соломи-січки області ADCB зміни значень параметру $D_{\text{вф}}$, що обмежена кривими 2 і 3 (рис. 3).

Вищезазначене свідчить про можливість створення багатопаливної камери газоутворення з можливістю регулювання продуктивності газогенератора $\Pi_{V_{2,2}}$ шляхом зміни параметру $D_{\text{вф}}$ під певний вид сировини з різними фізико-механічними властивостями.

Виходячи з теорії фільтрації проаналізовано основні закономірності протікання процесів розвитку газових струменів в зоні основних хімічних реакцій камери газоутворення (рис. 4).

Встановлено, що повнота процесу газоутворення забезпечується при умові, що весь кисень газів дуття прореагує з вуглецем палива, що, в свою чергу, залежить від довжини шляху, яку проходить струмінь газів дуття в паливі камери газоутворення.

Отже, довжина шляху S_x , пройдена газами дуття вздовж вісі x становитиме, [м]:

$$S_x = \frac{\sqrt{0,0053 d_{\text{ф}}^3 \cdot \alpha \cdot n + 0,77 \cdot a \cdot N_2^c \cdot \Pi_{V_{2,2}} \cdot \tau}}{a^2 \cdot \alpha \cdot n \cdot d_{\text{ф}}} - \frac{0,073 \cdot d_{\text{ф}}}{a}, \quad (6)$$

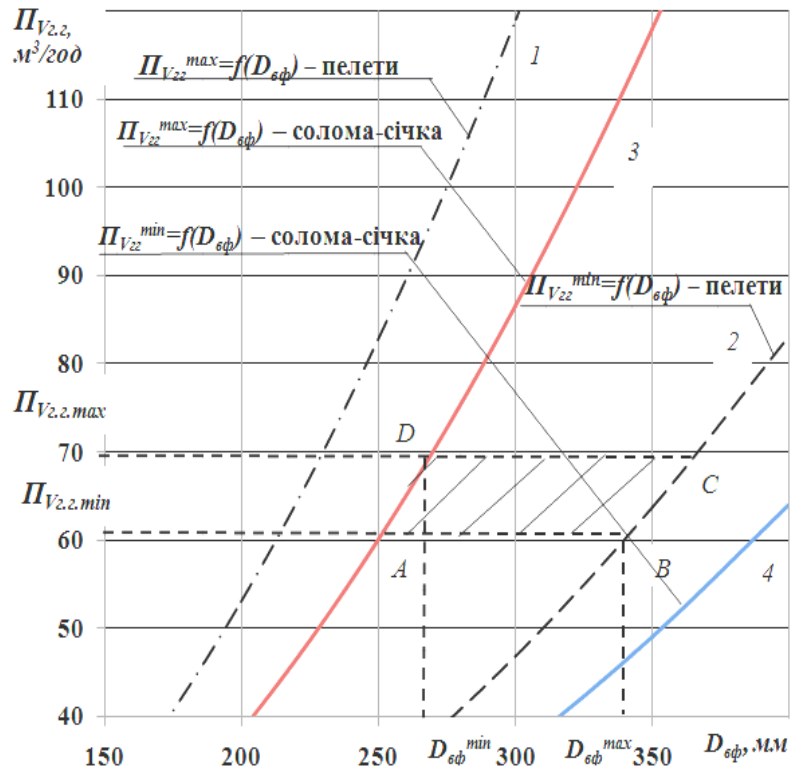


Рис. 3. Обґрунтування діапазону зміни діаметра кола встановлення фурм $D_{\text{вф}}$ при зміні продуктивності газогенератора $\Pi_{V_{2,2}}$.

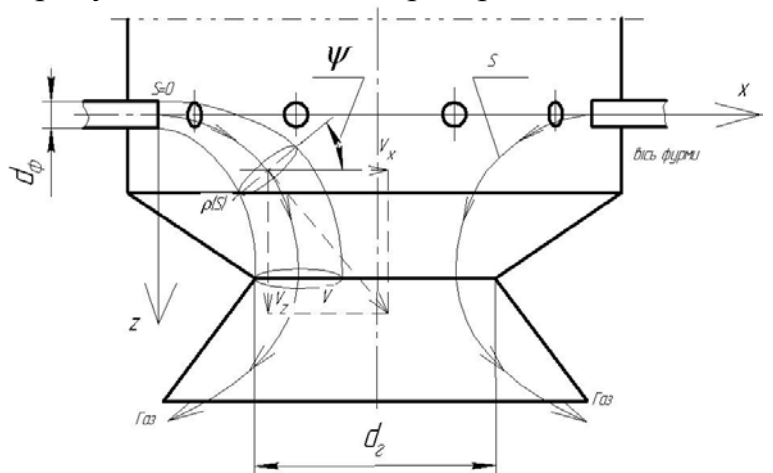


Рис. 4. Схема кінематичних характеристик струменю газів дуття:

V_x – швидкість газів дуття фурменої зони вздовж вісі x ; V_z – швидкість газів дуття фурменої зони вздовж вісі z ; \bar{V} – сумарний вектор швидкості.

де d_{ϕ} – діаметр фурми, [м]; α – коефіцієнт стискання струменю, ($\alpha = 0,7 - 1,3$); n – кількість фурм, [шт]; a – експериментальний коефіцієнт, що залежить від структури потоку в початковому перерізі струменя ($a = 0,07 - 0,08$); $N_2^{газ}$ – вміст азоту в генераторному газі ($N_2^{газ} = 0,38 - 0,53$); $P_{V_{2.2}}$ – продуктивність газогенератора за газом, [м³/год]; τ – час, необхідний для відновлення CO_2 до CO , [год].

Шлях S_x вздовж вісі x змінюється в межах: $[0; 0,5 \cdot D_{вф} - \rho_{max}]$, де ρ_{max} – радіус розкриття фурменої зони в площині горловини, [м].

З метою визначення довжини шляху вздовж вісі z введено поняття елементарного об'єму, виділеного в камері газоутворення, з висотою Δh_i . Однією з гіпотез, яка лежить в основі даного моделювання є стаціонарний характер руху газів у струмені дуття і енергія газів струменю залишається незмінною протягом усього шляху $E_{cmp} = const$. Виходячи з умови рівності об'ємів елементарних перерізів висоти камери газоутворення $V_i = V_{i+1} = V_{i+2} = \dots = V_n$ шлях, пройдений газами дуття вздовж вісі z , визначається як алгебраїчна сума висот елементарних об'ємів:

$$S_z = \sum_{i=1}^k \Delta h_i = k \cdot \Delta h_1 + \sum_{m=0}^{k-1} (k - m) \cdot \delta_m, \quad (7)$$

де S_x – шлях, пройдений газами дуття вздовж вісі z , [м]; Δh_i – висота елементарного об'єму, м; k – номер інтервалу; δ_m – приріст кроку за висотою елементарного об'єму для m -го перерізу, [м].

Оскільки $S = f(D_{вф}, V_{нов})$, залежність довжини шляху, що пройшов струмінь газів дуття через шар сировини камери, від зміни діаметра кола встановлення фурм $D_{вф}$ при куті нахилу твірної зворотного конуса $\alpha_I = 55^\circ$ становить, [м]:

$$S = 0,0017 D_{вф}^2 - 0,85 D_{вф} + 114. \quad (8)$$

Залежність (8) є базовою для здійснення подальших розрахунків геометричних параметрів камери газоутворення (рис. 1), встановлює можливість зміни просторової орієнтації фурменої зони в камері в процесі роботи газогенератора, забезпечуючи відсутність локалізації зон вигорання і зависання палива.

Загальний обсяг газів дуття $V_{нов}$, необхідних для забезпечення процесу газоутворення:

$$V_{нов} = n \cdot V_{cmp} = \pi \cdot n \cdot S_{max} \left[d_{\phi}^2 + \frac{2}{3} d_{\phi} \cdot (\rho_{max} - d_{\phi}) + \frac{(\rho_{max} - d_{\phi})^2}{5} \right], \quad (9)$$

де V_{cmp} – об'єм струменю газів дуття, [м³]; S_{max} – максимальна довжина шляху, що пройдена струменем газів дуття через шар сировини камери, [м]; ρ_{max} – максимальний радіус розкриття фурменого струменю в перерізі горловини, [м].

Отже, виходячи з геометрії камери газоутворення та режиму газоповітряного дуття, продуктивність газогенератора за газом становить:

$$\Pi_{V_{22}} = \frac{\pi \cdot n}{\tau} (k_{\phi 1} \cdot D_{\phi}^2 - k_{\phi 2} \cdot D_{\phi} + k_{\phi 3}) \left[d_{\phi}^2 + \frac{2}{3} d_{\phi} (\rho_{\max} - d_{\phi}) + \frac{(\rho_{\max} - d_{\phi})^2}{5} \right], \quad (10)$$

де $k_{\phi 1}$, $k_{\phi 2}$, $k_{\phi 3}$ – емпіричні коефіцієнти, що залежать від геометрії камери газоутворення. При $\alpha_1 = 55^\circ$ $k_{\phi 1} = 0,011$ [м⁻¹]; $k_{\phi 2} = 4,56$; $k_{\phi 3} = 584,4$ [м].

З метою забезпечення стійкості процесу газоутворення і отримання генераторного газу із сталим хімічним складом і теплотворною здатністю за сухим газом встановлено залежність для визначення опору, що створюється шаром палива в камері газоутворення, при зміні геометричних параметрів камери газоутворення:

$$p = \rho \cdot g \cdot \beta \cdot \Pi_{V_{22}} \left(\frac{h_{\phi}}{D_{\phi}^2} + \frac{h_{нк}}{d_{нк} \cdot d_z} + \frac{h_{зк}}{D_{\phi} \cdot d_z} \right), \quad (11)$$

де p – опір шару з соломи-січки в зоні хімічних реакцій камери газоутворення, [Па]; g – прискорення вільного падіння, [м/с²]; ρ – густина води, [кг/м³]; β – коефіцієнт опору соломи-січки, визначений експериментально за допомогою трубки Піто-Прандтля з U-подібним водяним манометром [(м/год)⁻¹].

Встановлено аналітичні залежності для визначення показників питомих витрат сировини на сушіння зерна $G_{кз/м\%}$ і питомої продуктивності зерносушарки $\Pi_{м\%/кз}$:

$$G_{кз/м\%} = \frac{10,7 \cdot K_1 \cdot q \cdot \psi}{K_2 \cdot \eta_{суш} [c_{zz} \cdot t_{zz} + Q_B^{zz} \cdot \eta_T + (k_1 + k_2) \cdot \rho_{нов} \cdot [T_{нов} \cdot c_{нов} + (r_n + c_n \cdot T_{нов}) d_0]]}, \quad (12)$$

де $G_{кз/м\%}$ – питомий показник витрат сировини на зниження вологості тони зерна на 1%, [кг/т·%]; k_1 – коефіцієнт, що враховує кількість газів дуття, необхідну для спалювання генераторного газу: $k_1 = 1,57 - 1,74$; k_2 – коефіцієнт, що враховує кількість газів дуття, необхідну для формування агенту сушіння: $k_2 = 10,28 - 10,96$.

$$\Pi_{м\%/кз} = \frac{1}{G_{м\%}} = \frac{K_2 \cdot \eta_{суш} [c_{zz} \cdot t_{zz} + Q_B^{zz} \cdot \eta_T + (k_1 + k_2) \cdot \rho_{нов} \cdot [T_{нов} \cdot c_{нов} + (r_n + c_n \cdot T_{нов}) d_0]]}{10,7 \cdot K_1 \cdot q \cdot \psi}, \quad (13)$$

де $\Pi_{м\%/кз}$ – показник питомої продуктивності зерносушарки на один кілограм соломи-січки, яка задіяна в процесі газоутворення, [т·%/кг].

Питомі витрати соломи-січки $G_{кз/м\%}$ на процес сушіння зерна суттєво зростають при підвищенні її вологості W^p (рис. 5), що обумовлює її використання в економічно доцільному для застосування газогенераторних технологій діапазоні вологості $W^p = 8 - 30$ % (на відміну від технології сушіння зерна прямим спалюванням соломи з обґрунтованим діапазоном вологості $W^p = 8 - 19$ %). При $W^p > 30$ % використання газогенераторного обладнання не є ефективним, через падіння питомої продуктивності нижче технологічних вимог до зерносушарок.

За встановленими математичними залежностями визначено раціональні межі варіювання геометричних параметрів камери газоутворення і режиму газоповітряного дуття при використанні сільськогосподарської рослинної сировини

з різними фізико-механічними властивостями, що забезпечують продуктивність газогенератора у відповідності до енергопотреб процесу сушіння зерна.

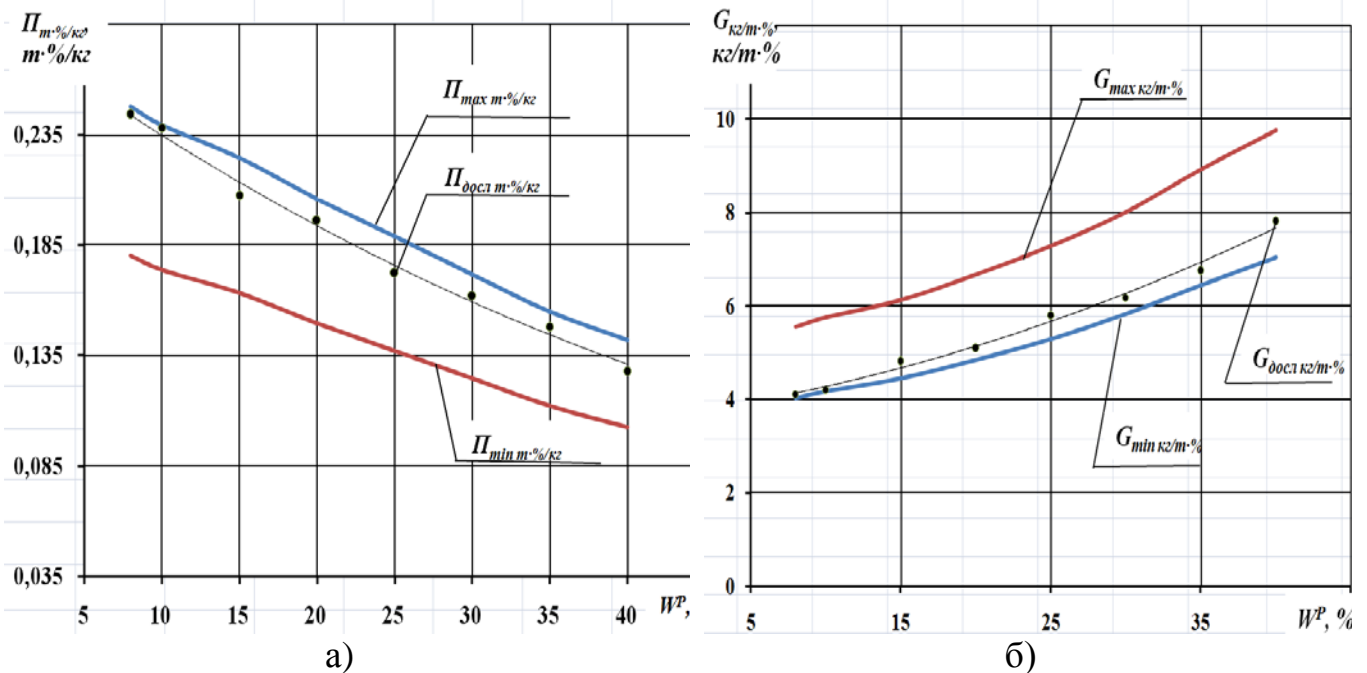


Рис. 5. Залежність питомої продуктивності $\Pi_{m^{\circ}/kg}$ сушарки (а) і питомої витрати палива $G_{kg/m^{\circ}}$ (б) на процес сушіння зерна при змінній вологості соломи-січки W^p

У третьому розділі «Програма, методики експериментальних досліджень» викладено програму та методику експериментальних досліджень режимів роботи камери газотворення.

Мета проведення експериментальних досліджень – підтвердження або спростування визначених у роботі теоретичних положень, раціональних параметрів і режимів роботи камери газотворення.

Програма досліджень містить комплекс необхідних робіт з підтвердження висунутої гіпотези підвищення продуктивності камери газотворення газогенератора шляхом узгодження геометричних параметрів камери газотворення з режимом газоповітряного дуття і фізико-механічними властивостями сировини.

Задача дослідження – виявлення впливу діаметра кола встановлення фурм камери газотворення, вологості соломи-січки пшениці і обсягу повітря, необхідного для процесу газотворення, на продуктивність газогенератора.

Програма експериментальних досліджень передбачала:

1. Визначення фізико-механічних властивостей соломи-січки пшениці: еквівалентного діаметру частинок; зольності; насипної щільності; уявної щільності; кута природного ухилу; коефіцієнта тертя по сталі; порозності; найбільшої ширини щілини, що утворює склепіння; відносної вологості.

2. Експериментальне дослідження впливу вологості соломи-січки пшениці, фракційного складу суміші з соломи-січки пшениці і коефіцієнту ущільнення на насипну щільність сировини.

3. Визначення режимних параметрів роботи газогенератора: температур в характерних зонах газогенератора і температури генераторного газу на виході з

газогенератора; годинних витрат генераторного газу зерносушаркою; об'єму повітря $V_{нов}$, що подається в камеру газоутворення; витрат соломи-січки G_T прямопотокним газогенератором; хімічного складу і теплотворної здатності $Q_n^{2.2}$ генераторного газу.

4. Експериментальне дослідження впливу вологості соломи-січки пшениці, діаметру кола встановлення фурм і об'єму повітря, що подається в камеру газоутворення, на продуктивність газогенератора.

Для проведення експериментальних досліджень використано експериментальну газогенераторну установку (рис. 3.5) виготовлену в ЖНАЕУ (м. Житомир), яка складається з газогенератора 1, вентилятора нагнітання повітря в зону газоутворення 2, в контурі з яким встановлено регулятор витрат 24, терезів 3 для безперервної реєстрації витрат палива протягом циклу роботи, термодатчиків 4, 5, 8 і 10 для вимірювання температури палива в активній зоні, газу на виході з газогенератора, газу на виході з циклону 7 і газу на виході з охолоджувача 11 відповідно, блоку відбирання газових проб 16, блоку тонкого очищення 12 з патрубком для зливання конденсату 23, вологовідокремлювача 15 для виокремлення водної пари з газу. Оскільки система має суттєвий аеродинамічний опір, а також з метою імітації споживача газу на лінії відбирання газу встановлено вакуумний насос 14. Для вирівнювання складу генераторного газу до подачі в топку зерносушарки застосовано ресивер 22. Калориметр 13 з самописцем забезпечують безперервне вимірювання і реєстрацію калорійності генераторного газу. З метою регулювання подачі генераторного газу встановлено дросельну шайбу 17, а для перекриття газового трубопроводу встановлено заслінку 18.

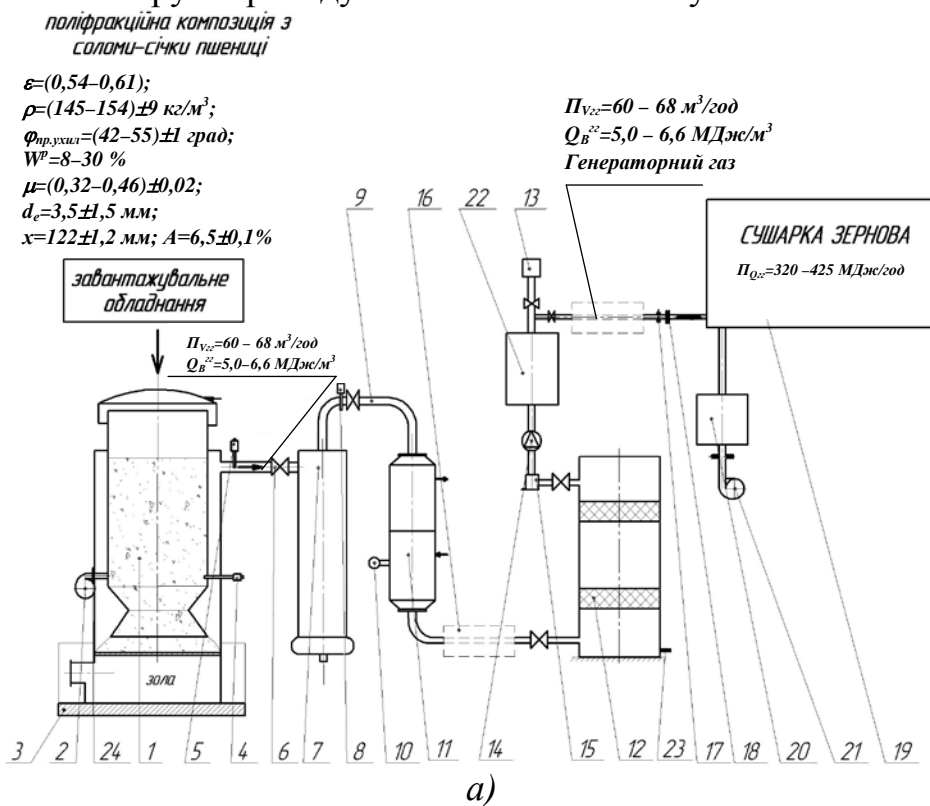


Рис. 6. Принципова схема (а) та загальний вигляд (б) експериментальної установки для проведення досліджень

Дослідження проводилися з метою планування багатофакторного експерименту. Змінними чинниками були вологість соломи-січки, діаметр кола

встановлення фурм, об'єм повітря, що подається в камеру газоутворення, а вихідним параметром – теплопродуктивність газогенератора. Витрати повітря $V_{нов}$ змінювалися в діапазоні: 34 – 46 м³/год; відносна вологість W^P сировини: 8 – 30 %; діаметр кола встановлення фурм $D_{эф}$: 272 – 340 мм.

Дослідження режимів роботи газогенератора в лабораторних умовах складалися з таких етапів: завантаження соломи-січки з зазначеною згідно плану експерименту вологістю в бункер газогенератора; налагодження вентилятора 2 і встановлення фурм камери газоутворення в початкове положення, коли діаметр кола встановлення фурм $D_{эф}$ дорівнює діаметру фурменого пояса D_k (рис. 1.); налаштування калориметра 13 і встановлення блоку відбирання газових проб 16; виконання самих дослідів; обробка отриманих результатів.

Продуктивність вентилятора 2 і діаметр кола встановлення фурм камери газоутворення змінювалися впродовж експерименту; контрольні заміри теплотворності реєструвалися калориметром 13. Блок відбирання газових проб складався з скляної колби двома одноходовими кранами на 500 мл. Відбирання проб генераторного газу здійснювалося безнапірним методом. Хімічний склад генераторного газу визначався за допомогою лабораторної установки, що складалася з двоканального хроматографа моделі Agilent 6890 N, балона з газом-носієм аргоном, манометра і персонального комп'ютера для фіксування сигналів. Теплотворні властивості генераторного газу визначалися розрахунковим методом за компонентним складом газу відповідно до вимог ГОСТ 22667-83, а компонентний склад газу – хроматографічним методом відповідно до вимог ДСТУ ISO 6974-1:2007

Досліди проводилися для поліфракційних композицій з соломи-січки вологістю 10, 20 і 30 %.

Виробничі випробовування розробленої камери газоутворення прямопоточного газогенератора проводилися в умовах СТОВ «Юрківщина» (с. Ярунь, Новоград-Волинського району, Житомирської обл.) і ТОВ «Бердичівзернопродукт» (м. Бердичів, Житомирської обл.). Генераторний газ, отриманий з соломи-січки пшениці в прямопоточному газогенераторі, надходив в топку сушарки. Агент сушіння формувався з суміші топкових газів і повітря, температурні режими зерносушарки і газогенератора узгоджувалися на всіх категоріях випробувань. Теплотворна здатність генераторного газу на виході з газогенератора і агенту сушіння визначалась калориметром. Досліди проводилися при сушінні зерна кукурудзи і пшениці на продовольчому режимі і зерна кукурудзи на фуражному режимі. Повторюваність дослідів – п'ятикратна.

У четвертому розділі «Аналіз та узагальнення результатів експериментальних досліджень» подано результати визначення фізико-механічних властивостей соломи-січки пшениці і режимів роботи камери газоутворення прямопоточного газогенератора.

Відповідно до плану експериментальних досліджень проводилося вимірювання продуктивності газогенератора при трьох різних значеннях вологості соломи-січки – 10, 20 і 30 %. Для масивів експериментальних даних теплопродуктивності газогенератора побудовано регресійну функцію:

$$P_{Q_{г.г}} = 384,16 + 35,99 \cdot D_{эф} - 18,35 \cdot W^P + 19,63 \cdot V_{нов} - 9,386 \cdot (W^P)^2 - 78,94 \cdot V_{нов}^2 \quad (14)$$

Адекватність розрахованої моделі перевірено за критерієм Фішера.

Дослідження з виробництва генераторного газу з соломи-січки пшениці свідчать, що значення вологості сировини і її межі мають значний вплив на стійкість і ефективність газогенераторного процесу. Підтверджено аналітично встановлений раціональний діапазон вологості соломи-січки, що складає $W^p = 8 - 30\%$. Найвищі значення показника теплопродуктивності досягаються при $W^p = 8 - 14\%$ (рис. 7, 9).

Досягненню даного діапазону вологості W^p сировини повинен відповідати весь технологічний процес її попередньої підготовки до використання в газогенераторі.

Найбільш вагомий вплив на продуктивність газогенератора $P_{Q_{22}}$ має об'єм газоповітряного дуття (рис. 7, 8). Необхідна для процесу газоутворення в соломі-січки кількість повітря складає 34 - 46 м³/год. Максимальна теплопродуктивність газогенератора 340 - 425 МДж/год спостерігається в діапазоні обсягу повітря $V_{нов} = 39 - 42$ м³/год. При обсягах повітря $V_{нов} < 39$ м³/год низькі значення теплопродуктивності газогенератора пояснюються явищем неповного окислення вуглецю палива через брак кисню. При об'ємі дуття $V_{нов} > 42$ м³/год теплопродуктивність газогенератора $P_{Q_{22}}$ зменшується, оскільки надлишкове повітря охолоджує паливо в активній зоні, збільшується об'ємний вміст CO₂ в генераторному газі за рахунок зменшення вмісту CO, спостерігається активне винесення вуглецю палива з генераторним газом, що відбирається.

Проведено порівняння теоретичних та експериментальних результатів дослідження впливу зміни діаметру кола встановлення фурм на теплову продуктивність газогенератора (рис. 8, 9).

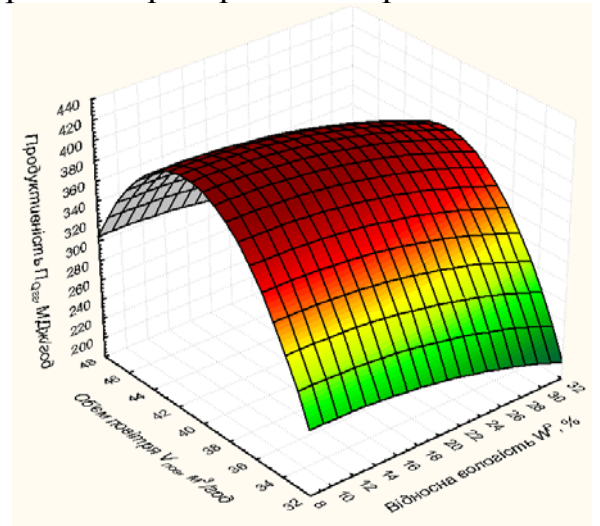


Рис. 7. Залежність продуктивності $P_{Q_{22}}$ від W^p і $V_{нов}$ при $D_{в.ф} = 340$ мм

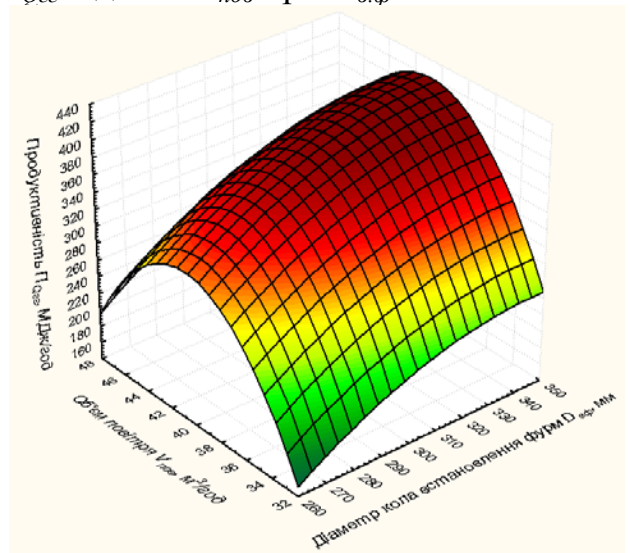


Рис. 8. Залежність продуктивності $P_{Q_{22}}$ від $D_{в.ф}$ і $V_{нов}$ при $W^p = 10\%$

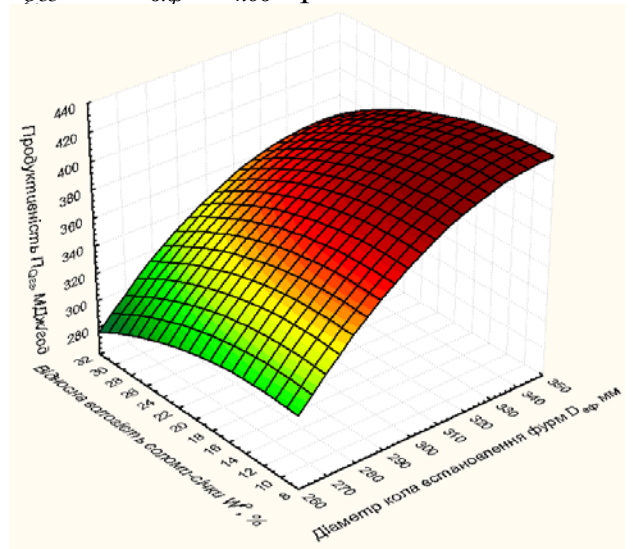


Рис. 9. Залежність продуктивності $P_{Q_{22}}$ від $D_{в.ф}$ і W^p при $V_{нов} = 40$ м³/год

Збільшення величини діаметру кола встановлення фурм $D_{в.ф.}$ забезпечує кращі умови для протікання аеродинамічних процесів в камері газоутворення. Результат аналізу залежностей (рис. 8, 9) свідчить, що при збільшенні $D_{в.ф.}$ з 272 мм до 340 мм при сталій вологості сировини і $V_{нов}=39-42$ м³/год теплопродуктивність газогенератора зростає на 18 – 22 %.

Отже, в діапазоні вологості соломи-січки 8 – 30 %, об'ємі повітря 39 – 42 м³/год з можливістю змінювати діаметр кола встановлення фурм, в залежності від вологості, в межах 272 – 340 мм отримано високі показники вищої теплотворної здатності сухого генераторного газу 5,0 – 6,6 МДж/м³, забезпечено стабільність і рівномірність процесу сушіння зерна пшениці зерносушаркою ЗШ-1000 з можливістю регулювання надходження потрібної кількості теплоти на даний процес протягом циклу сушіння, оскільки енерговитрати цього процесу нерівномірні.

Ефективність використання соломи-січки в діапазоні відносної вологості $W^p=8-30$ % підтверджено експериментальними дослідженнями залежності питомої витрати палива $G_{к2/м. \%}$ на сушіння зерна при змінній вологості W^p (рис. 5, б), відповідно значне зниження питомої продуктивності $П_{м. \% / к2}$ (рис. 5, а) спостерігається вже при перевищенні значення вологості соломи-січки $W^p=20$ %. Отже, вологість сировини є основною вимогою ведення безшлакового процесу газоутворення і забезпечення стабільності і рівномірності процесу сушіння зерна.

У п'ятому розділі «Методи проектування та техніко-економічна ефективність застосування газогенератора в процесі сушіння зернових» запропоновано інженерну методику розрахунку геометричних параметрів камери газоутворення і газогенератора, що дозволяє спроектувати газогенератор під будь-яку рослинну сировину залежно від вихідних фізико-механічних властивостей сировини, для задоволення потреб зернової сушарки. Застосування вдосконаленої конструкції камери газоутворення прямопотокового газогенератора, адаптованого до соломи-січки, знизило собівартість сушіння зерна в зерносушарці ЗШ-1000 на 16 % в порівнянні з сушінням природним газом. Зменшення витрат на паливо при сушінні зерна генераторним газом склало 60,3 %, в порівнянні з природним газом. Річний економічний ефект від впровадження газогенератора, адаптованого до соломи-січки, у складі зерносушарки ЗШ-1000 склав 32990 грн. при програмі сушіння зерна 1,9 тис. т./рік.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі наведено теоретичне узагальнення і нове вирішення задачі підвищення ефективності процесу отримання енергії із соломи зернових та зменшення енерговитрат на процес сушіння зерна шляхом узгодження конструктивно-технологічних параметрів камери газоутворення газогенератора і фізико-механічних властивостей сировини, з якої отримують генераторний газ.

1. Згідно рівняння енергетичного балансу зерносушарка – газогенератор встановлено необхідну для забезпечення процесу сушіння зерна продуктивність газогенератора за газом, отриманим з соломи-січки пшениці вологістю 8–30 %. Зокрема, при сушінні зерна пшениці для зменшення його вологості з 19 до 13,5 % в сушарці ЗШ-1000 продуктивність газогенератора за газом з вищою теплотворною здатністю сухого генераторного газу 5,0 – 6,6 МДж/м³ становить 60 – 68 м³/год.

2. Отримано аналітичні залежності продуктивності газогенератора від діаметру кола встановлення фурм і вологості рослинної сировини. Зокрема встановлено, що збільшення діаметру кола встановлення фурм з 272 мм до 340 мм відповідно збільшує шлях проходження газів дуття крізь зону основних реакцій і при вищих значеннях вологості сировини забезпечує необхідні умови протікання процесу газоутворення та призводить до зростання теплопродуктивності газогенератора на 18 – 22 %. Використання камери газоутворення із можливістю зміни діаметру кола встановлення фурм дозволяє використовувати соломку з вологістю більше 20 % без попереднього підсушування, на відміну від технологій її прямого спалювання.

3. Дотримання режиму газоповітряного дуття в межах 39 – 42 м³/год, що забезпечується конструктивно-технологічними параметрами камери газоутворення (десять фурм діаметром 12 мм), розрахованого з врахуваннями фізико-механічних властивостей сировини (хімічний склад, відносна вологість 8 – 30 %.), забезпечує зменшення питомих витрат палива до 4 – 6 кг/т-%, залежно від його вологості, на процес сушіння зернових в сушарках з періодичною дією та підвищує показник їх питомої продуктивності на 20 %. Експериментально встановлено, що максимальна продуктивність газогенератора 425 МДж/год забезпечується при об'ємі дуття 40 м³/год, діаметрі кола встановлення фурм 340 мм і вологості соломи-січки 8 %.

4. Центральний кут перехідного конуса 110⁰ і кут нахилу твірної зворотного конуса 55⁰ задовольняють умові природного сходження поліфракційної композиції з соломи-січки пшениці (склад композиції: циліндричні стебла довжиною близько 35 мм з потовщеннями із товщиною стінок 0,5 – 1,1 мм; циліндричні гладкі стебла довжиною 25 – 35 мм, з товщиною стінок 0,2 – 0,3 мм і зовнішнім діаметром близько 2 – 4 мм; сплющені стебла довжиною 25 – 40 мм, з товщиною стінок 0,3 – 0,5 мм; більш крупні розщеплені стебла довжиною 10 – 30 мм, з товщиною стінок 0,15 – 0,25 мм; дрібні розщеплені стебла довжиною близько 8 мм і товщиною стінок 0,15 мм; вміст інших фракцій в суміші менше 3 %.) з порозністю 0,54 – 0,61 в зону газоутворення. Об'єм бункера газогенератора 0,42 м³ забезпечує кількість газу необхідну для циклу сушіння зерна.

5. Експериментально встановлено що при опорі шару соломи-січки 6 – 8 Па, що забезпечується порозністю сировини 0,54 – 0,61 при продуктивності газогенератора 60 – 68 м³/год встановлюється стабільність газогенераторного процесу і отримано сталий хімічний склад газу.

6. Запропоновано геометричну модель камери газоутворення і алгоритм обґрунтування її конструкційно-технологічних параметрів, на основі яких розроблено інженерну методику проектування камери газоутворення і газогенератора за вихідними фізико-механічними властивостями сировини, що варіюють в широких межах, з керованим процесом газоутворення.

7. Здійснено механіко-технологічне обґрунтування процесів отримання енергії з соломи зернових для енергозабезпечення зерносушильного комплексу. Розрахунковий річний економічний ефект від застосування прямопотокового газогенератора в складі з зерносушаркою ЗШ-1000 (в порівнянні з прямим спалюванням соломи і роботою на природному газі) відповідно становить 32990 грн при програмі сушіння 1,9 тис. т/рік, термін окупності додаткових капітальних вкладень у розмірі 29800 грн становить 0,9 років.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Статті у наукових фахових виданнях:

1. Лось Л. В. Проблема енергоносіїв та її вирішення в сільському господарстві України біоенергетичними газогенераторами / Л. В. Лось, Н. М. Цивенкова // Вісник Державного агроекологічного університету. – 2004. – № 2 (13). – С. 3–21. *(Здобувач запропонувала методика розрахунку складу генераторного газу при різних температурах, тиску і повітряному дутті).*
2. Цивенкова Н. М. Перспективи конструктивного розвитку автомобільних газогенераторних установок в історичному аспекті їх створення / Н. М. Цивенкова, О. О. Самилін // Вісник Державного агроекологічного університету. – 2005. – № 2 (15). – С. 307–326. *(Здобувач здійснила аналіз історичного розвитку технологічних процесів і конструкцій газогенераторних установок, адаптованих до рослинної сировини).*
3. Самилін О. О. Визначення та математичне моделювання показників стійкості піролізних смол на основі теорії молекулярних графів / О. О. Самилін, Н. М. Цивенкова // Вісник Житомирського державного технологічного університету. – 2007. – № 2 (41). – С. 119–130. *(Здобувач розробила методика розрахунку граничних умов деструкції генераторних смол).*
4. Самилін О. О. Перспективи використання біомаси як палива / О. О. Самилін, Н. М. Цивенкова, А. А. Голубенко // Вісник Державного агроекологічного університету. – 2007. – № 1 (18). – С. 171–177. *(Здобувач запропонувала класифікацію сільськогосподарських рослинних відходів з метою вивчення їх газифікаційних характеристик).*
5. Самилін О. О. Сучасні енергоефективні технології використання відходів біомаси в сільському, лісовому та комунальному господарствах / О. О. Самилін, Н. М. Цивенкова, А. А. Голубенко // Вісник Житомирського національного агроекологічного університету. – 2009. – № 1 (24). – С. 269–278. *(Здобувач виконала аналіз існуючих конструкцій газогенераторних станцій, розробила пакет конструкторської документації камери газоутворення газогенераторного модуля, представленого в статті).*
6. Голубенко А. А. Газогенераторні установки транспортного типу в АПК України – осучаснена екологічно безпечна технологія / А. А. Голубенко, Н. М. Цивенкова // Вісник Львівського національного аграрного університету. – 2009. – № 13, Т. 2. С. 411–416. *(Здобувач здійснила аналіз раціональності використання газогенераторних установок транспортного типу в сільськогосподарському виробництві України).*
7. Голубенко А. А. Стандартизація – основа становлення біомаси як топлива / А. А. Голубенко, А. А. Самылін, Н. М. Цивенкова // Вісник інженерної академії України. – 2009. – Вип. 1. – С. 217–223. *(Здобувач запропонувала методика розрахунку коефіцієнту робочої теплотворної здатності палива як оціночного показника при визначенні доцільності його використання з метою отримання теплової і силової енергії в газогенераторних установках).*
8. Цивенкова Н. М. Еколого-економічні аспекти використання енергетичних установок в сільському господарстві / Н. М. Цивенкова, А. А. Голубенко // Науковий Вісник Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій ім. С. З. Гжицького. – 2009. – № 1 (40), Т. 1. – С. 65–69. *(Здобувач виконала порівняльний аналіз генераторного газу з існуючими традиційними видами палива за показниками екологічності).*

9. Лось Л. В. Перспективи розширення використання обладнання для газифікації біомаси в умовах сільських господарств Полісся / Л. В. Лось, О. Ю. Романишин, А. А. Голубенко, Н. М. Цивенкова // Збірник наукових праць Вінницького національного аграрного університету. – 2012. – Вип. 10, Т. 1 (58). – С. 66–68. *(Здобувач здійснила аналіз типів процесів газоутворення в залежності від виду сільськогосподарської рослинної сировини і розглянула основні конструкції газогенераторів, адаптованих до даної рослинної сировини).*

Стаття в міжнародному виданні

10. Романишин О. Ю. Підвищення ефективності процесів газифікації конструктивним удосконаленням камер газифікації / О. Ю. Романишин, О. Д. Муляр, Н. М. Цивенкова, А. А. Голубенко, О. О. Самилін // MOTROL. International journal on operation of farm and agri-food industry machinery. – Lublin. – 2009. – Т. 11А. – С. 42–45. *(Здобувач обґрунтувала використання генераторного газу замість традиційних видів палива і виконала порівняльний аналіз генераторного газу з традиційними видами палива за показником екологічності).*

Тези доповідей на науково-практичних конференціях:

11. Голубенко А. А. Поліпшення екологічної ситуації в Україні шляхом державної підтримки створення енергоефективних екологічно безпечних технологій / А. А. Голубенко, Н. М. Цивенкова // Наука. Молодь. Екологія-2009 : V наук.-практ. конф. студен., аспірант. і молод. вчених, 27–29 травн. 2009 р. : збір. матер. – Житомир, 2009. – С. 171–174. *(Здобувачем обґрунтовано використання генераторного газу замість традиційних видів палива і наведено порівняльний аналіз екологічних показників генераторного газу і традиційних видів палива).*

12. Голубенко А. А. Оптимізація конструкції камер газифікації в залежності від типу процесу газифікації / А. А. Голубенко, Н. М. Цивенкова, Л. В. Лось // Інновації для сільського господарства : міжнар. наук.-практ. конф. аспірант., магістр. та студент., 26 берез. 2009 р. : тези доп. – Житомир, 2009. – С. 109–111. *(Здобувачем розглянуто існуючі типи камер газифікації і запропоновано шляхи оптимізації їх основних параметрів).*

13. Голубенко А. А. Енергія біомаси: шляхи подолання енергетичної кризи в Україні / А. А. Голубенко, Н. М. Цивенкова // Нетрадиційні і поновлювальні джерела енергії як альтернативні первинним джерелам енергії в регіоні : V міжнар. наук.-практ. конф., 2–3 квітн. 2009 р. : збір. наук. статей. – Л., 2009. – С. 97–101. *(Здобувачем обґрунтовано шляхи зниження енергомісткості і підвищення екологічності технологічних процесів шляхом використання генераторного газу з біомаси).*

14. Гринь Т. О. Охорона праці та екологічні аспекти при експлуатації газогенераторних установок транспортного типу / Т. О. Гринь, А. А. Голубенко, Н. М. Цивенкова // Інноваційні агротехнології в умовах глобального потепління : міжнар. наук.-практ. конф., 4–6 чер. 2009 р. : тези доп. – Мелітополь-Кирилівка, 2009. – С. 340–342. *(Здобувачем представлено основні вимоги з техніки безпеки при експлуатації газогенераторних установок і вимоги до робочої зони операторів даного обладнання).*

15. Самылин А. А. Газогенераторные установки для использования в лесопромышленном комплексе и сельском хозяйстве / А. А. Самылин, Н. М. Цивенкова, А. А. Голубенко // Сотрудничество для решения проблем отходов : VII междунар. конф., 7–8 апр. 2010 г. : тезисы докл. – Харьков, 2010. – С. 93–95.

(Здобувачем представлено технологічні схеми газогенераторних установок для використання в лісопромисловому комплексі і сільському господарстві).

16. Цивенкова Н. М. Шляхи оптимізації камер газифікації газогенераторів оберненого процесу газифікації та способів формування зони горіння / Н. М. Цивенкова // Передові технології виробництва та переробки сільськогосподарської продукції, енергозбереження та забезпечення тепловою і електричною енергіями. Перспективи та проблеми впровадження в сільське господарство Полісся : міжвуз. наук.-техн. конф., присвяч. 90-річчю Житомирського національного агроекологічного університету, 24 вересн. 2012 р. : зб. доп. – Житомир, 2012 – С. 94–102.

17. Лось Л. В. Особливості підбору обладнання для очищення генераторного газу / Л. В. Лось, О. Д. Муляр, А. А. Голубенко, Н. М. Цивенкова // Передові технології виробництва та переробки сільськогосподарської продукції, енергозбереження та забезпечення тепловою і електричною енергіями. Перспективи та проблеми впровадження в сільське господарство Полісся : міжвуз. наук.-техн. конф., присвяч. 90-річчю Житомирського національного агроекологічного університету, 24 вересн. 2012 р. : зб. доп. – Житомир, 2012 – С. 102–108. *(Здобувачем наведено порівняльні характеристики обладнання для очищення газів з точки зору можливості та раціональності їх використання в газогенераторних установках).*

18. Голубенко А. А. Обґрунтування технологічного процесу сушіння зернових із використанням сировини рослинного походження / А. А. Голубенко, Н. М. Цивенкова, С. М. Кухарець, В. О. Шубенко // Нетрадиційні і поновлювальні джерела енергії як альтернативні первинним джерелам енергії в регіоні : VII міжнар. наук.-практ. конф., 10-11 квітн. 2013 р. : збір. наук. статей. – Л., 2013. – С. 166–171. *(Здобувачем розроблено і обґрунтовано схему технологічного процесу сушіння зернових з енергетичним використанням власної сировини рослинного походження).*

19. Муляр О. Д. Обґрунтування газогенераторного живлення зернових сушарок / О. Д. Муляр, Л. В. Лось, А. А. Голубенко, Н. М. Цивенкова, П. С. Калениченко, А. Н. Прилуцький // Передові технології виробництва та переробки сільськогосподарської продукції, енергозбереження та забезпечення тепловою і електричною енергіями. Перспективи та проблеми впровадження в сільське господарство Полісся : II наук.-техн. конф. наук.-пед. праців. Житомирського національного агроекологічного університету, 15 берез. 2013 р. : збір. доп. – Житомир, 2013. – С. 63–67. *(Здобувачем розглянуто основні типи зерносушарок і можливість їх адаптації до газогенераторного живлення).*

Патенти:

20. Пат. на корисну модель №31608 Україна, МПК (2006) U 2007 14962, C10F 7/00. Пристрій для пресування паливних гранул / Лось Л. В., Рогаль О. К., Самилін О. О., Цивенкова Н. М.; заявник і патентовласник ТОВ «Технополіс». – заявл. 28.12.2007; опубл. 10.04.2008, Бюл. № 7.

21. Пат. на корисну модель № 80582 Україна, МПК (2013.01) U 2012 12030, C10J 3/00. Газогенератор / Цивенкова Н. М., Голубенко А. А.; заявник і патентовласник Н. М. Цивенкова, А. А. Голубенко. – заявл. 19.10.2012; опубл. 10.06.2013, Бюл. № 11.

АНОТАЦІЯ

Цивенкова Н. М. Обґрунтування параметрів камери газоутворення газогенератора, адаптованого до сировини рослинного походження. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.05.11 – машини і засоби механізації сільськогосподарського виробництва. Національний університет біоресурсів і природокористування України, Київ, 2013.

Дисертація присвячена проблемі підвищення ефективності процесу отримання енергії із соломи зернових шляхом встановлення раціональних конструктивно-технологічних параметрів і режимів роботи камери газоутворення прямопотокового газогенератора, що використовується в технологічному процесі сушіння зернових.

Розроблено математичну модель, що узгоджує конструктивно-технологічні параметри камери газоутворення з режимом газоповітряного дуття і фізико-механічними властивостями рослинної сировини, аналіз якої дав можливість регулювати теплопродуктивність газогенератора. Теоретичними і експериментальними дослідженнями обґрунтовані основні конструктивні параметри і режими роботи камери газоутворення прямопотокового газогенератора. Визначено умови, при яких теплопродуктивність газогенератора найвища. Досліджено вплив на теплопродуктивність газогенератора вологості соломи зернових, обсягу повітря, необхідного для процесу газоутворення, і діаметру кола встановлення фурм, зміна якого забезпечується переміщенням рухомих фурм в осьовому напрямку.

За результатами дослідження на основі системного аналізу представлено рекомендації щодо розробки конструкції камери газоутворення і газогенератора, адаптованого до рослинної сировини, які дозволяють підвищити його продуктивність і зменшити енергоємність процесу сушіння зерна. Запропоновано технологічну схему підготування генераторного газу до використання в теплотехнічному обладнанні. Обґрунтовано технологію та апарати для очищення генераторного газу. Виконано техніко-економічне обґрунтування роботи зернової сушарки на генераторному газі, отриманому з соломи зернових.

Ключові слова: сушарка зернова, камера газоутворення, прямопотоковий газогенератор, солома-січка, конструктивно-технологічні параметри, режим газоповітряного дуття.

АННОТАЦИЯ

Цивенкова Н. М. Обоснование параметров камеры газообразования газогенератора, адаптированного к сырью растительного происхождения. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.05.11 – машины и средства механизации сельскохозяйственного производства. Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины, Киев, 2013.

Диссертация посвящена проблеме повышения эффективности процесса получения энергии из соломы зерновых путем установления рациональных конструктивно-технологических параметров и режимов работы камеры

газообразования прямоточного газогенератора, который используется в технологическом процессе сушки зерновых.

В процессе выполнения диссертационной работы проведен патентно-информационный поиск, проанализированы научные работы, касающиеся процесса получения генераторного газа из растительного сырья путем химико-термической конверсии, с целью обеспечения энергетических потребностей процесса сушки зерна.

Разработаны аналитические зависимости влияния физико-механических свойств сельскохозяйственного растительного сырья на конструктивные параметры камеры газообразования с целью обеспечения максимального показателя тепловой производительности газогенератора, анализ которых позволил определить диапазоны изменения диаметра окружности установки подвижных, в осевом направлении, фурм в зависимости от изменения относительной влажности соломы зерновых.

Описаны физико-механические свойства полифракционной смеси на основе соломы-сечки, влияющие на процесс газообразования и параметры элементов конструкции газогенератора. Получены теоретические зависимости для определения диаметра окружности установки фурм и производительности зерносушилки по зерну в зависимости от влажности соломы-сечки.

Используя основные положения теории фильтрации и теории турбулентного источника выполнены аналитические исследования по влиянию конструктивно-технологических параметров камеры газообразования на длину пути, пройденную струями газов дутья через зону химических реакций камеры газообразования, что позволяет определить диапазоны изменения диаметра окружности установки фурм и режим газ-воздушного дутья с целью повышения тепловой производительности газогенератора.

Получены теоретические зависимости между сопротивлением слоя топлива в камере газообразования и ее геометрическими параметрами, анализ которых позволяет обеспечить стабильность газогенераторного процесса и получать однородный по химическому составу генераторный газ.

Обоснована конструктивно-технологическая схема, основные конструктивные параметры и режимы работы камеры газообразования и прямоточного газогенератора.

Разработана программа и методика проведения экспериментальных исследований режимов работы камеры газообразования прямоточного газогенератора.

Экспериментальными исследованиями определены условия, при которых часовая тепловая производительность газогенератора будет максимальной при использовании равных объемов соломы-сечки с однородными свойствами и фракционным составом. Исследовано влияние на тепловую производительность влажности сырья, диаметра окружности установки фурм и режимов газ-воздушного дутья. Проведена оценка теплотехнических показателей работы газогенератора и зерновой сушилки на генераторном газу.

Выполнен сравнительный анализ теоретических и экспериментальных результатов исследования влияния физико-механических свойств растительного сырья, конструктивно-технологических параметров камеры газообразования и режимов газ-воздушного дутья на тепловую производительность газогенератора, который показал достаточное сходство полученных характеристик.

В результате исследований установлено, что использование конструкции камеры газообразования, адаптированной к физико-механическим свойствам сырья и согласованной с режимом газо-воздушного дутья позволяет повысить тепловую производительность газогенератора, по сравнению с аналогами, на 18–22 %.

По результатам исследования на основе системного анализа представлены: методика инженерного проектирования геометрических параметров камеры газообразования и газогенератора, адаптированного к растительному сырью; технологические схемы работы газогенераторной установки на сельскохозяйственном растительном сырье для энергообеспечения зерносушильного комплекса.

Научная новизна полученных результатов исследований конструкции камеры газообразования и газогенератора, адаптированного к растительному сырью, подтверждена патентом Украины на полезную модель «Газогенератор» № 80582, Украина МПК (2013.01) и 2012 12030, С10J 3/00.

Эффективность работы газогенераторной установки на соломе-сечке пшеницы в составе зерносушильного комплекса подтверждена при внедрении в СТО «Юрківщина» (с. Ярунь, Новоград-Волынского района, Житомирской области) и в ТОО «Бердичевзернопродукт» (г. Бердичев, Житомирской области).

В результате производственных исследований установлено, что при использовании в качестве сырья соломы-сечки пшеницы с влажностью 20 % удельный расход ее на процесс сушки зерна составляет около 4–5,2 кг/т·%, а удельная производительность сушилки по зерну составляет 0,2–0,24 т·%/кг. Использование разработанной камеры газообразования прямоточного генератора, адаптированного к соломе-сечке пшеницы, с целью энергообеспечения зерносушилки ЗШ-1000 позволило снизить расход сырья на технологический процесс сушки зерна в пределах 15 % по сравнению с технологией прямого сжигания тюков соломы в топках зерносушилок.

Рассчитанный годовой экономический эффект от использования спроектированной камеры газообразования в составе зерносушилки шахтного типа ЗШ-1000, по сравнению с использованием в качестве энергоносителя природного газа, составляет 32990 грн/год при программе сушки зерна 1,9 тыс. т/год.

Ключевые слова: сушилка зерновая, камера газообразования, прямоточный газогенератор, солома-сечка, конструктивно-технологические параметры, режим газо-воздушного дутья.

ANNOTATION

Tsyvenkova N. The improvement of gas producer gasification chamber parameters, that is adapted for vegetal raw material – Manuscript.

Thesis for the Candidate degree in Technical Sciences in the Specialty 05.05.11 – Machines and Means of Agricultural Production. – National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Kyiv, 2013.

The thesis focused on the problem of increasing the efficiency of process of receiving energy from straw by mean of finding out the rational constructive and technological parameters and operating modes of downdraft gas producer gasification chamber, which is used in grain drying technological process.

It was developed a mathematical model, which intercoordinates gasification chamber constructive and technological parameters with gas blowing mode and vegetal raw material physical and mechanical parameters. The analysis of this model gave an

opportunity to manage the gas producer heat productivity. The main downdraft gas producer gasification chamber constructive parameters and operating modes were grounded by theoretical and experimental research. There was defined a condition under which gas producer heat productivity is maximized. There were investigated the influence of straw humidity, air amount, which is necessary for gasification process, and diameter of tuyeres positioning, which is regulated by moving the tuyere along its axis, on gas producer heat productivity.

A recommendation for designing the construction of gasification chamber and gas-producer, adapted for vegetal raw material, which increases productivity and decreases energy consumption of grain drying process, was made based on research results and system analysis. It was proposed a flow sheet of generator gas preparing for using in thermo technical equipment. A technology and equipment for generator gas purifying was justified. It was developed an economical background of grain dryer working on generator gas, received from straw.

Key words: grain-dryer, gasification chamber, downdraft gas producer, chopped straw, constructive and technological parameters, gas blowing mode.