

Висновки

1. На основі дослідження технологічної схеми заповнення башти водою, визначення регульованого об'єма башти, подачі насосного агрегата визначається рівняння теплового балансу занурювального насоса за цикл роботи, отримано формулу підрахунку для допустимого числа включень за годину при номінальному завантаженні двигуна.

2. З досліджень випливає, що припустима частота включень за годину тим більше, чим вище номінальні втрати ΔP_n (двигуни з більш теплостійкою ізоляцією) і чим менше пускові втрати ΔA_n .

Список літератури

1. Гідравліка, сільськогосподарське водопостачання та гідропневмопривід / В.А. Дідур, О.Д. Савченко, С.І. Пастушенко, С.І. Мовчан. – Запоріжжя: Вид-во „Прем'єр”, 2005. – 461 с.

2. Мельников С.В. Механизация и автоматизация животноводческих ферм. – М.: Колос, 1979. – 560 с.

Приведены исследования по определению теплового баланса погружного электронасосного агрегата.

Температура, допустимая частота включений, расход воды, погружной насос, объем башни.

Presented studies to determine the heat balance of submersible electric pump.

Temperature, permissible switching frequency, water flow, submersible pump, the volume of the tower.

УДК 620.92

ВИЗНАЧЕННЯ ГОРЮЧИХ ХАРАКТЕРИСТИК СОЛОМИ ТА АНАЛІЗ ПРОЦЕСІВ ЇЇ ГОРІННЯ І ГАЗИФІКАЦІЇ

***О.В. Шеліманова, кандидат технічних наук
В.А. Колієнко, асистент***

Проаналізовано характеристики процесу горіння біомаси залежно від її вологості. Показано, що у разі збільшення вологості біомаси характеристики процесу горіння суттєво погіршуються.

Біомаса, солома, температура горіння, теплота згорання, вологість палива.

Нині накопичено достатній досвід використання рослинної продукції сільськогосподарського виробництва (біомаси) і в першу чергу соломи як палива для опалювальних котелень. Деякі автори вважають, що солома – це відходи сільськогосподарського виробництва, проте її активне використання як органічного добрива (при застосуванні як потокової, так і розсівної технології збирання та оброблення соломи), на потреби тваринництва (як підстилки та грубого корму для худоби), для вирощування грибів у закритому ґрунті тощо дає можливість стверджувати, що солома скоріше належить до продукції, ніж до відходів сільського господарства.

З огляду на широке застосування соломи в самому агровиробництві виникає питання про те, яку її частку доцільно використати як паливо. Аналіз світового досвіду використання біомаси показує, що така частка коливається від 1 до 27 % від її збору. За оцінкою БАУ [3] станом на 2012 р. в Україні вихід соломи зернових культур (пшениці) становив близько 30,6 млн. т, а частка соломи, що була використана для отримання енергії та твердих біопалив склала 0,6 %.

Питання про можливість збільшення обсягів соломи для вироблення енергії потребує індивідуального вирішення для кожного господарства.

З деяких регіонів надходить інформація про повну відсутність соломи, доступної для вироблення енергії, у зв'язку з використанням її на власні потреби. Інші експерти прогнозують річну можливість використання соломи в обсягах, еквівалентних 4,0 – 4,5 млн т у.п., що становить третину загального потенціалу біомаси в Україні.

Як паливо солома може використовуватись у подрібненому вигляді, у вигляді туків різних розмірів, гранул і брикетів. Планується довести вироблення гранул із соломи в Україні до 2,5 – 3,0 млн т за рік.

Все це обумовлює актуальність цієї тематики.

Мета досліджень – визначення основних горючих характеристик соломи як палива.

Матеріали та методика досліджень. До горючих характеристик належать:

- склад горючих, баластних та інших компонентів соломи;
- теплота згоряння;
- об'єм повітря на горіння та об'єм продуктів згоряння;
- температура горіння;
- температура розм'якшення золи.

У табл. 1 наведено деякі характеристики соломи, які отримані різними авторами. Біогранули із соломи мають аналогічний склад, але меншу вологість: до 10 – 11 %, а тому їх теплота згоряння буде дещо більшою – до 15,42 МДж/кг (3683 ккал/кг).

Як видно з табл.1 основними горючими компонентами соломи є карбон С, у значно меншій кількості – водень Н.

Спалювання соломи пов'язано з розв'язанням низки проблем, які спричинені: неоднорідністю складу соломи; високим виходом летких речовин при її горінні; низькою теплотою згоряння (особливо за умови висо-

кої вологості палива); наявністю хлору, який призводить до корозії трубної частини котла, а також високою зольністю соломи і низькою температурою розм'якшення золи, що призводить до шлакування колосникової решітки і забруднення трубної поверхні нагрівання.

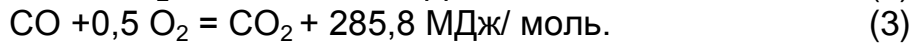
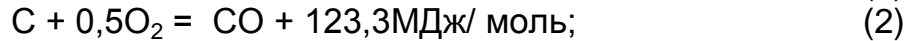
1. Основні характеристики біомаси

Показник	Свіжа со- лома (жо- вта)	Злежана соло- ма	Солома пшениці1	Солома пшениці2	Деревина(для порівняння)
Елементарний склад, % мас.:					
карбон	42	43	43,1	45,64	48 – 50
окисген	37	38	39,8	41,36	38 --42
гідроген	5	5,2	5,3	5,97	6,0 – 6,5
хлор	0,75	0,2	0,8	0,392	0,01
калій	1,18	0,22	6,1мг/кг	–	–
азот	0,35	0,41	0,6	0,37	0,5 – 2,3
сірка	0,16	0,13	0,2	0,08	0,05
Нижча температура згоряння Q_n^p , МДж/ кг	14,4	13,5	15	15,01	–
Вміст летких речо- вин,% мас.	>70	>70	72	80,2	–
Зольність,%	4,5	5,9	6,6	6,59	–
Температура початку деформа- ції золи, °С	735 – 840	–	–	730	1150 – 1450
Температура пла- влення золи, °С	800 – 1000	950 – 1100	1040– 1250	1150	1250 – 1650
Вологість,%мас	10 – 20	10 – 20	–	11,2	10 – 20

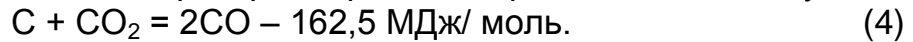
Процеси гетерогенного горіння, до яких належать процеси горіння біомаси, вивчалися багатьма дослідниками [4– 7]. Одним із висновків цих досліджень є те, що для подрібненого палива, до якого належить біомаса, за умови значної швидкості потоку процес горіння зміщується у зону кінетичного горіння. У цій зоні процес горіння обмежується лише швидкістю самої хімічної реакції, не залежить від умов підведення кисню і швидкості повітряного потоку. Згідно із законом Арреніуса збільшення температури процесу спричиняє різке збільшення швидкості горіння.

Основними продуктами реагування карбону палива з окиснювачем (киснем повітря) є складні киснево-карбонові комплекси C_xO_y , які розпадаються з прикінцевим утворенням CO_2 і CO . Рівень теоретичних досліджень з кінетики хімічного реагування не дає можливості вивести залежність для швидкості горіння карбону, Але з експериментальних досліджень відомо, що збільшення температури процесу спричиняє збільшення співвідношення CO/CO_2 .

Утворення зазначених компонентів продуктів горіння відбувається як у процесі окислювальних гетеро – і гомогенних реакцій:



так і відновлення CO_2 на поверхні розжареного карбонового залишку:



Швидкість хімічного реагування вуглецю визначається інтенсивністю витрачання ним кисню та інтенсивністю утворення продуктів реакції, Тому дослідження закономірностей хімічного реагування карбону можна вести у напрямку дослідження витрачання кисню O_2 та утворення оксидів вуглецю в реакціях (1 і 2), зменшення кількості CO_2 і збільшення частки CO для реакції (4), а також зростання CO_2 і зменшення O_2 і CO для реакції (3).

Леткі речовини і CO , що утворюються із твердої частинки біомаси згорають у газовій фазі. При цьому частинки знаходяться у складній взаємодії конвекцією з газовим середовищем топки і взаємодії випромінюванням з газами та огорожувальними поверхнями агрегату. Відтворити і промоделювати таке середовище досить важко. Тому дані про швидкість виділення летких речовин, а також швидкість горіння і вплив різних факторів на вигоряння частинки відрізняються.

У процесі горіння і газифікації частинка біомаси проходить ряд стадій – по мірі нагрівання і підсушування починається процес сублімації і вихід летких речовин; вони дифундують у простір навколо частинки і окислюються (згідно із [2] на це витрачається до 10 % часу від загального часу процесу). Після цього залежно від наявності окислювача в зоні горіння відбувається складний комплекс паралельно-послідовних багатостадійних фізико-хімічних процесів, які призводять або до горіння коксу, або протікання вторинних реакцій відновлення CO_2 і H_2O на поверхні розжареного вуглецевого залишку.

Методика оперативного визначення технічних характеристик біомаси, як палива за результатами його комплексного термічного аналізу оснований на аналізі кривих зменшення маси навіски палива залежно від температури і атмосфери печі [1]. Реакційна здатність палива при цьому визначається за величиною швидкості процесу випаровування вологи і виходу летких речовин в окислювальному середовищі.

Результати досліджень. При експериментальних дослідженнях виходу летких речовин окислювальне середовище створювалося шляхом подачі в реакційну зону повітря з постійними витратами 100 мл/хв. Досліджувалися такі види палива, як пелети із деревини і нафтовий кокс. Температура в реакційній зоні змінювалася від 80 до 1100 °С. Результати досліджень наведено на рис.1.

Динаміка термохімічного перетворення пелет показує втрату вологи на 10-тій хв нагрівання, інтенсивний вихід летких речовин на 20-тих, 30-тих хв, завершення газифікації вуглецю на 85-тій хв процесу і стабілізацію зольного залишку на завершальній стадії процесу. Вихід летких речовин становив до 70 %. Як видно із графіка термохімічного перетворення нафтового коксу проходили дещо інакше, що пояснюється іншою природою карбону у складі нафтового коксу.

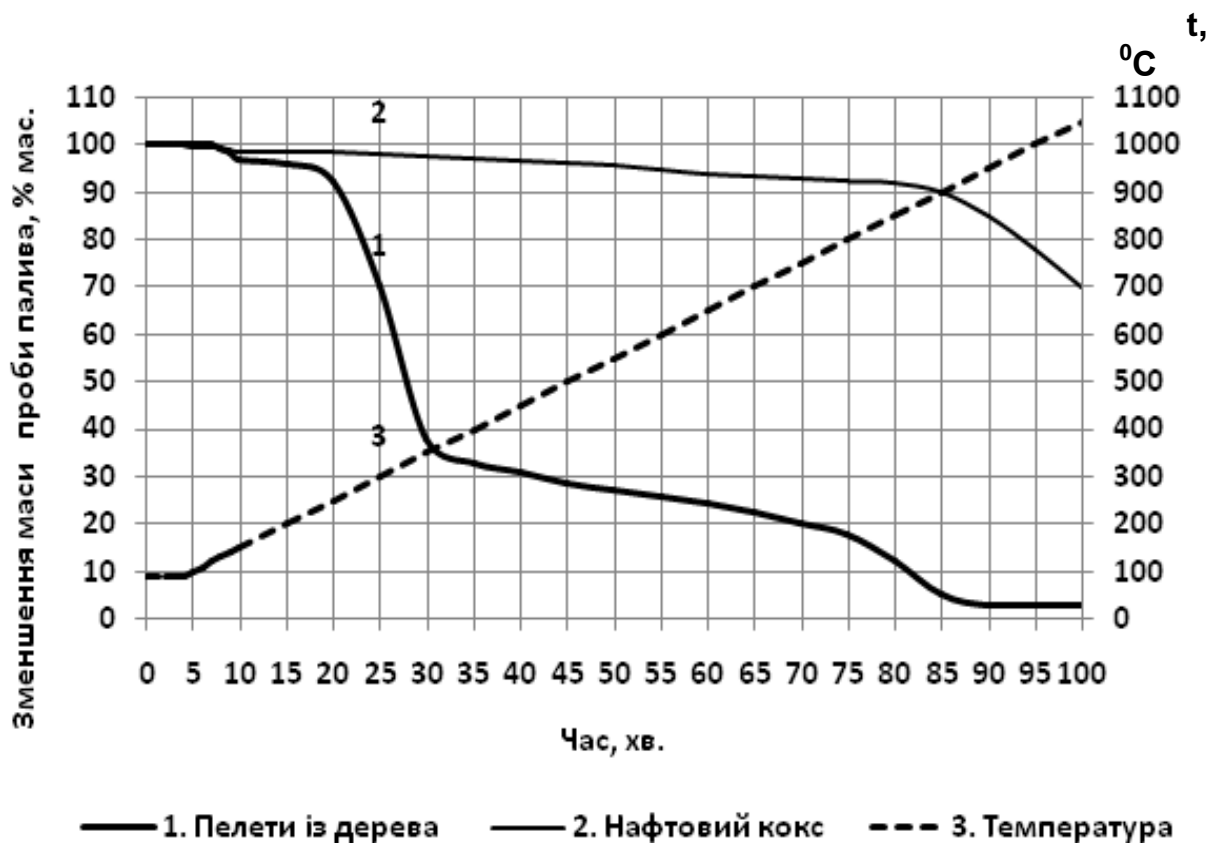


Рис. 1. Результати експериментальних досліджень реакційної здатності палива

У результаті виконання експериментальних досліджень визначено моменти (періоди) фази переходу від режиму сушіння біомаси до режиму виходу летких речовин і далі – до стадії горіння і газифікації вуглецевого залишку.

Показано, що температура, при якій починається вихід летких речовин, залежить від виду палива. З літературних джерел відомо, що вихід летких речовин залежить від віку палива і збільшується із зростанням його віку. Так, для бурого вугілля цей процес починається при температурі близько 170, а для антрациту – близько 320 °C. Дослідженнями встановлено, що вихід летких речовин для пелет із деревини починається при температурі близько 220 °C.

Особливо важливим в оцінюванні горючих властивостей біомаси є питання її вологості, оскільки для більшості котлів допустима вологість біомаси перед подачею до котла не повинна перевищувати 15 – 20 %. У ході ж збирання, перероблення і складування біомаси можливе її зволоження внаслідок контакту з атмосферною вологою. Щойно зрублена деревина має вологість до 50 % і більше, повітряно-суха деревина після річної витримки в лісі має вологість близько 20 – 30 %. Дані ж щодо вологості соломи відсутні.

Для визначення діапазону зміни вологості соломи було проведено експериментальне дослідження з визначення її вологості за різних умов зберігання і зволоження. Дослідження виконувалися згідно з методикою [1], яка

передбачає визначення вологості соломи за різницею маси до і після висушування зразка у сушильній шафі при температурі близько 105 °С.

Моделювання різних умов зберігання соломи і зволоження повітря, в якому вона знаходилась, здійснювалося внесенням до повітря розпиленої води із наступною витримкою соломи у зволоженому стані від 2 до 3 діб. На момент проведення досліджень з визначення вологості скраплена водяна пара по поверхні соломи і у чашці для визначення маси соломи була відсутня. Таким чином визначалася кількість вологи, яка була поглинута соломною. Кількість води, яку вносили до повітря та соломи поступово збільшували. Основні результати досліджень наведено в табл. 2. Кожен результат отримано на основі 4 – 5- разових повторень досліджень.

2. Результати експериментальних досліджень вологості соломи

№ з/п	Кількість внесеної води, г	Маса соломи, нетто г		Вологість, % мас. до маси вологої соломи	
		вологої	після висушування	згідно з розрахунком внесеної води	згідно з експериментальними даними
1	0	13,95	12,72	–	8,8
2	3	12,09	10,70	24,8	11,5
3	10	17,95	10,63	55,7	40,7
4	20	25,07	6,92	79,7	72,3
5	30	24,20	6,04	100	75,0
6	40	24,11	5,62	100	76,6
7	50	28,16	6,47	100	77,0

Як видно із табл. 2 абсорбційна здатність соломи відносно водяної пари обмежує величину максимальної вологості на рівні близько 77 %. Після досягнення зазначеної величини вологості настає насичення, і вологість соломи практично не збільшується. Зміну вологості соломи залежно від кількості внесеної на неї води показано на графіку (рис. 2).

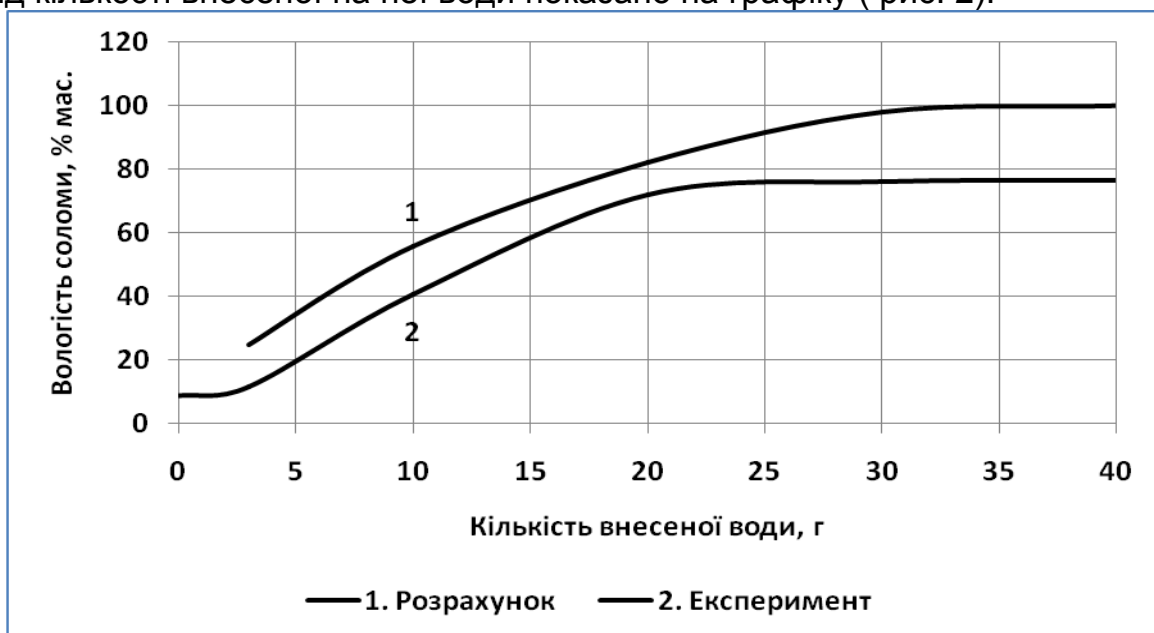


Рис. 2. Зміна масової вологості соломи залежно від кількості водяної пари у середовищі зберігання соломи

Отримані дані показують, що за умови зволоження соломи атмосферною вологою її максимальна масова вологість може досягати високих значень (до 77 % мас.), що суттєво погіршує горючі властивості біомаси як палива (зменшення теплоти згорання, збільшення витрат теплоти на висушування, погіршення якості горіння, зменшення температури продуктів згорання).

На рис. 3–5 показано динаміку зміни основних характеристик процесу горіння залежно від вологості соломи, елементарний склад якої наведено в табл. 1. Теплота згорання соломи із збільшенням її вологості суттєво зменшується – з 15,2 МДж/кг за вологості 10 % мас. до 3,9 МДж/кг - за вологості 77 % мас.

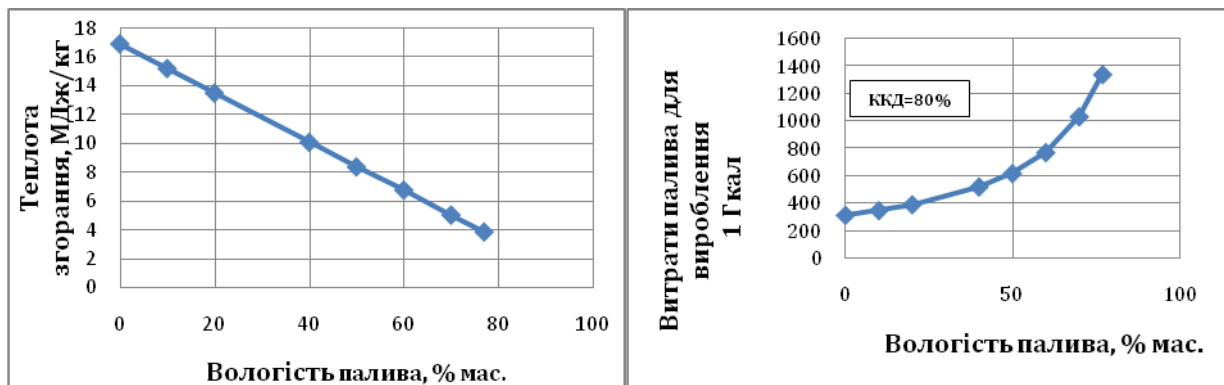


Рис. 3. Графік залежності питомої теплоти згорання і витрат соломи для вироблення 1 Гкал теплоти залежно від вологості

Уже при збільшенні вологості до 30 – 40 % мас. використання соломи як палива стає недоцільним. Разом із зменшенням теплоти згорання збільшуються витрати соломи для отримання одиниці теплоти. Так, за умови 10 % -ної вологості витрати соломи для котла потужністю 1 Гкал/год становлять близько 350 кг за год., а за максимально можливої вологості такі витрати зростають до 1350 кг за год., що суттєво збільшує логістичну складову вартості палива

Разом із зменшенням теплоти згорання вологого палива зростає та частина теплоти палива, яка буде витрачатися на випаровування вологи, що міститься у паливі після потрапляння його до топки котла. Графік залежності таких витрат теплоти від вологості палива наведено на рис. 4.

Процес горіння вологої соломи супроводжується зниженням температури горіння і збільшенням втрат теплоти з відхідними газами. Збільшення вологості продуктів згорання за присутності сірчистого ангідриду призводить до необхідності підтримувати на виході із котла більшу температуру продуктів згорання, що спричинене властивістю сірчистого ангідриду збільшувати точку роси продуктів згорання. Це також збільшує втрати теплоти з відхідними газами.

На рис. 5 показано зміну величини втрат теплоти з відхідними газами і зменшення дійсної температури горіння при збільшенні вологості соломи.



Рис.4. Витрати теплоти палива на випаровування вологи

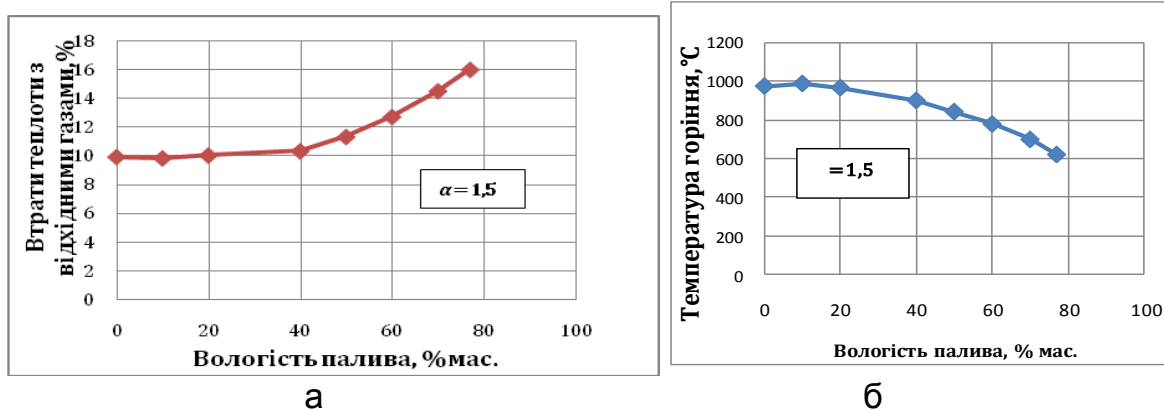


Рис.5. Зміна втрат теплоти з відхідними газами (а) і дійсної температури горіння у котлі (б) при спалюванні соломи різної вологості

Збільшення вологості біомаси спричинює також зростання парникового газу CO_2 при спалюванні палива, що пояснюється збільшенням об'єму продуктів згоряння за рахунок зростання вмісту в них водяної пари.

Висновки

Аналіз характеристик процесу горіння біомаси залежно від її вологості показує, що у разі збільшення вологості біомаси характеристики процесу горіння суттєво погіршуються. Таким чином, можна зробити висновок, що внаслідок значної гігроскопічності соломи у логістичних схемах забезпечення об'єктів теплоенергетики біомасою необхідно обов'язково зберігати і транспортувати солому у закритому і захищеному від атмосферної вологи просторі з метою запобігання збільшенню вологості біомаси.

Список літератури

1. Биотопливо твердое. Определение содержания влаги высушиванием. Часть 1. Общая влага. Стандартный метод: ГОСТ Р 54186–2010 (ЕН 14774-1:2009). – [Введен 2012-07-01]. – М.: Стандартинформ, 2012. – 8 с.
2. Бойко Е.А. Комплексное исследование и учет реакционной способности энергетических углей в практике моделирования и совершенствования тепло-

технологических процессов и оборудования: Автореф. дис. на соискание уч. степени доктора техн. наук / Е.А. Бойко. – Красноярск, 2008. – 44 с.

3. Гелетуха Г.Г. Перспективи використання відходів сільського господарства для виробництва енергії в Україні / Г.Г. Гелетуха, Т.А. Железна. // Аналітична записка БАУ №7. – К, 2014. – 31 с. [Електронне видання]. – Режим доступу: <http://www.uabio.org/img/files/docs/Position-paper-uabio-7-ru.pdf>

4. Канторович Б.В. Основы теории горения и газификации твердого топлива / Б.В. Канторович. – М.: Metallurgizdat, 1960. – 355 с.

5. Льюис Б. Горение, пламя и взрывы в газах / Б. Льюис., Г. Эльбе. . – М.: Мир, 1968. – 592 с.

6. Математическая теория горения и взрыва / [Зельдович Я.Б., Баренблатт Г.И., Либрович В.Б., Махвиладзе Г.М]. – М.: Наука, 1980. – 478 с.

7. Хзмалян Д..М. Теория горения и топочные устройства / Д..М. Хзмалян, Я.А. Каган. – М.: Энергия, 1976. – 486 с.

Проанализированы характеристики процесса горения соломы в зависимости от ее влажности. Показано, что при увеличении влажности биомассы характеристики процесса горения существенно ухудшаются.

Биомасса, солома, температура горения, теплота сгорания, влажность топлива.

The characteristics of the combustion process of straw depending on its moisture content are analyzed. It is shown that in the case of increasing the fuel moisture characteristics of biomass combustion process become significantly worse.

Biomass, straw, combustion temperature, combustion heat, fuel moisture.

УДК 621.314

ПЛАНУВАННЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТЕХНІКИ ЗАПАСНИМИ ЧАСТИНАМИ

О.І. Щепотьєв, кандидат технічних наук

А.В. Жильцов, доктор технічних наук

В.В. Васюк, аспірант*

Розроблено методику планування і забезпечення запасними частинами при експлуатації технічних об'єктів.

Надійність, планування, експлуатація, показники ефективності, резервування.

Успішне вирішення задач щодо забезпечення своєчасного відновлення техніки можливе лише за умову своєчасної заміни агрегатів, які відмовили або виробили ресурс у процесі експлуатації.

* Науковий керівник – доктор технічних наук А.В. Жильцов.

© О.І. Щепотьєв, А.В. Жильцов, В.В. Васюк, 2014