



2014

НАУКОВІ ПРАЦІ

НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Том 20 № 6

*Журнал «Наукові праці НУХТ»
засновано в 1993 році*

КИЇВ ✧ НУХТ ✧ 2014

Articles with the results of fundamental theoretical developments and applied research in the field of technical and economic sciences are published in this journal. The scripts of articles are reviewed beforehand by leading specialists of corresponding branch.

The journal was designed for professors, tutors, scientists, post-graduates, students of higher education establishments and executives of the food industry.

Journal "Scientific works of NUFT" is included into the list of professional editions of Ukraine of technical and economic sciences (Ballot-paper of Higher Attestation Commission of Ukraine #1, 2010), where the results of dissertations for scientific degrees of PhD and candidate of science can be published.

The Journal "Scientific Works of NUFT" is indexed by the following scientometric databases:

- Index Copernicus
- EBSCOhost
- CABI Full Text
- Universal Impact Factor
- Google Scholar
- The Journal is recommended for publication of research results by the Ministry of Science and Higher Education of Poland.

Editorial office address:

National University
of Food Technologies
Volodymyrska str., 68
Ukraine, Kyiv 01601

Recommended for publication by the Academic Council of the National University of Food Technologies. *Minutes of meeting #4 of November 13, 2014*

© NUFT, 2014

У журналі опубліковано статті за результатами фундаментальних теоретичних розробок і прикладних досліджень у галузі технічних та економічних наук. Рукописи статей попередньо рецензуються провідними спеціалістами відповідної галузі.

Для викладачів, наукових працівників, аспірантів, докторантів і студентів вищих навчальних закладів, керівників підприємств харчової промисловості.

Журнал «Наукові праці НУХТ» включено в перелік наукових фахових видань України з технічних та економічних наук (Бюлетень ВАК України № 1, 2010), в яких можуть публікуватися результати дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів доктора і кандидата наук.

Журнал «Наукові праці НУХТ» індексується наукометричними базами:

- Index Copernicus
- EBSCOhost
- CABI Full Text
- Universal Impact Factor
- Google Scholar
- Журнал рекомендовано Міністерством науки та вищої освіти Польщі для публікації результатів наукових досліджень.

Адреса редакції:

Національний університет
харчових технологій
вул. Володимирська, 68
Київ 01601

Рекомендовано вченою радою Національного університету харчових технологій. Протокол № 4 від 13 листопада 2014 року

© НУХТ, 2014

- Гладка М.В., Бобрівник К.С., Левун А.В. Перспективи використання хмарних технологій у Національному університеті харчових технологій
- Кіктев М.О. Програмна реалізація алгоритму розрахунку основних параметрів конвеєра при визначенні його тягової здатності
- Процеси і апарати харчових виробництв**
- Балюта С.М., Куєвда В.П., Юхно М.І., Данилюк В.О., Куєвда Ю.В., Литвин І.Ю., Мащенко О.А. Електромагнітний сепаратор барабанного типу для очищення цукру-піску від феромагнітних домішок
- Морару В.Н., Снігур О.В., Копиленко А.В., Сидоренко С.В., Тимонін О.М. До питання теплообміну при кипінні нанорідин з алюмосилікатів
- Киричук І.І., Змієвський Ю.Г., Мирончук В.Г. Доочищення зворотним осмосом нанофільтраційного пермеату молочної сироватки
- Штангеев К.О., Шутюк В.В., Василенко С.М. Дослідження процесу спалювання жому цукрових буряків
- Тепло- і енергопостачання**
- Чагайда А.О., Костюк В.С. Особливості трансформацій матеріально-енергетичних потоків
- Прядко М.О., Глоба О.В., Форсюк А.В., Глоба В.З. Термічний опір у пристінному шарі низхідних плівок високов'язких рідин
- Поржезінський Ю.Г., Науменко О.П. Дослідження впливу зміни режимних параметрів на роботу водогрійного жаротрубного котла
- Харчова хімія**
- Костенко Є.Є., Бутенко О.М. Визначення мікроелементного складу грибів
- Сімурова Н.В., Зінченко Н.Ю., Кушнір А.І., Бальон Я.Г. Високоінтенсивні підсолоджувачі і перспективи їх використання в дієтичному харчуванні
- Харчові технології**
- Шульга О.С., Грибович Л., Шульга С.І. Оптимізація технології виробництва екструзійних картоплепродуктів з використанням додаткової сировини
- Гойко І.Ю., Сімахіна І.О. Перспективи використання дикорослої сировини для одержання безалкогольних напоїв антиоксидантної дії
- Іванов С.В., Пасічний В.М., Страшинський І.М., Маринін А.І., Фурсік О.П., Степаненко І.О. Регулювання структурно-механічних показників низькокалорійних м'ясних січених напівфабрикатів з використанням наноконкомпозитів
- 131 Gladka M., Bobrivnyk K., Levun A. Cloud computing and its use in the National University of Food Technologies
- 136 Kiktev N. Software implementation of an algorithm of calculation of main parameters of assembly line when determining its towing capacity
- Processes and Equipment for Food Industries**
- 142 Balyuta S., Kuevda V., Yuhno M., Danilyuk V., Kuevda Yu., Lytvyn I., Maschenko O. Electromagnetic drum separator for removing the ferromagnetic impurities from sugar
- 148 Moraru V., Snigur A., Kopylenko A., Sydorenko S., Timonin O. On the problem of heat transfer during aluminosilicate nanofluid boiling
- 154 Kyrychuk I., Zmiyevskiy Yu., Myronchuk V. Treatment of nanofiltration whey permeate by reverse osmosis
- 161 Shtangeev K., Shutjuk V., Vasylenko S. Research of sugar beet pulp burning process
- Heat and Electricity**
- 169 Chahayda A., Kostyuk V. Features of transformation of material and energy flows
- 177 Pryadko M., Globa O., Forsiuk A., Globa V. Thermal resistance in boundary layer of downstream films in high-viscosity fluids
- 186 Porzhezinskiy Yu., Naumenko O. Dependence of hot-water shell type boiler operation from its operating conditions
- Food Chemistry**
- 194 Kostenko E., Butenko E. Determining the microelement composition of mushrooms
- 204 Simurova N., Zinchenko N., Kushnir A., Bal'on Ya. High intensity sweeteners and prospects for their use in diets
- Food Technology**
- 212 Shulga O., Grybovych L., Shulga S. Optimization of extrusion technology for potato products with additional raw materials
- 219 Goyko I., Simakhina G. Perspectives of using wild plant raw materials to obtain soft drinks with antioxidant action
- 227 Ivanov S., Pasichniy V., Strashynskiy I., Marynin A., Fursik O., Stepanenko I. Adjusting structural and mechanical properties of low-calorie chopped semifinished products using nanocomposites

RESEARCH OF SUGAR BEET PULP BURNING PROCESS

K. Shtangeev, V. Shutyuk, S. Vasylenko
National University of Food Technologies

Key words:

*Sugar industry
Non-conventional fuel
Pulp
Energy sources*

Article history:

Received 26.09.2014
Received in revised form
14.10.2014
Accepted 03.11.2014

Corresponding author:

K. Shtangeev
E-mail:
npnuht@ukr.net

ABSTRACT

The paper considers the conditions of direct burning of pressed pulp, which ensures high-temperature pyrolysis along with fuel gasifying and potential synthesis of synthetic gas. Analytical estimation aimed for defining conditions and modes of pressed pulp burning made it possible to single out the most effective modes of pulp burning. On the grounds of this estimation, the basic design requirements for the furnace units used for the pressed pulp burning were formulated.

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ СПАЛЮВАННЯ ЖОМУ ЦУКРОВИХ БУРЯКІВ

К.О. Штангеев, В.В. Шутюк, С.М. Василенко
Національний університет харчових технологій

У статті розглянуто умови безпосереднього спалювання віджатого жому із забезпеченням проведення процесу високотемпературного піролізу з газифікацією палива та можливістю отримання синтез-газу. Аналітичні розрахунки для встановлення умов і режимів спалювання віджатого жому дали змогу визначити найефективніші режими проведення процесу спалювання жому, на основі яких визначено основні вимоги до конструкції топків для спалювання віджатого жому.

Ключові слова: цукрова промисловість, альтернативне паливо, жом, енергоносії.

Цукрові буряки в Україні — єдина вітчизняна сировина для виробництва цукру, що є стратегічно важливим для держави продуктом харчування. Водночас цукрова промисловість — найбільший споживач паливно-енергетичних ресурсів (ПЕР) серед переробних галузей агропромислового комплексу України. Річне споживання ПЕР цукровими заводами, обчислене в еквіваленті умовного палива, досягає 800...900 тис. т за рік, тому в умовах постійного зростання цін на енергоносії одним із найважливіших способів підвищення ефективності галузі є зменшення витрат ПЕР на виробництво цукру із цукрових буряків [1].

Реалізація запропонованого способу передбачає два напрями: зменшення питомих витрат ПЕР на технологічні потреби та використання альтернативних енергоносіїв. Як альтернативні види палива найбільш раціонально використовувати відходи цукрового виробництва, що одночасно сприятиме зменшенню забруднення навколишнього середовища та використанню напівпродуктів цукрового виробництва [3].

Серед відходів цукрового виробництва найбільшим за масою є буряковий жом. Раніше його повністю використовували як цінний корм, проте нині через зменшення поголів'я великої рогатої худоби значна частина жому залишається на цукрових заводах, що створює проблеми з його утилізації. Водночас жом, як і інші органічні відходи, можна використовувати як сировину для отримання вторинного палива, альтернативного природному газу [2, 4].

Матеріали і методи. У 100 кг сухих речовин свіжого жому міститься близько 20 кг клітковини, 30...35 кг геміцелюлози, приблизно така сама кількість пектину, 8...10 кг білків, 2...3 кг цукру і до 2 кг мінеральних речовин.

На експериментальній базі Інституту вугільних енерготехнологій НАН України для проведення досліджень процесу спалювання органічних відходів буряко-цукрового виробництва (на основі попередньо підсушеного бурякового жому) розроблено методику проведення досліджень.

На експериментальній базі Інституту вугільних енерготехнологій для спалювання сухого жому підготовлено модифіковану установку ЦКШ-0.02 (рис. 1).

Установка має циліндричний реактор заввишки 3,0 м, два вертикальних циклони, встановлені послідовно, два тракти рециркуляції КЗЗ (коксозольний залишок) після циклонів, рукавний фільтр на виході пилогазового потоку з установки та два тракти виведення донної золи. Як сепаратор I ступеня застосовують також жалюзійний пиловідокремлювач системи «Бабкок Вілкокс». Для розігрівання установки призначені дві камери розпалювання, які працюють на природному газі. Одну з них встановлено під перфорованою решіткою, а іншу — на висоті 1,2 м від неї. Тракти КЗЗ обладнано пристроями для заміру. На установці ЦКШ-0.02 планується моделювати технології спалювання сухого жому та визначати оптимальні режими його спалювання.

Для проведення досліджень розроблено програму-методику [5].

Результати і обговорення. Основна горюча частина жому — клітковина (целюлоза, геміцелюлоза), також наявна інша горюча органіка, у тому числі цукор. Теоретична теплотворна здатність целюлози становить 3465 ккал/кг сухої речовини. Для сухої речовини цукру теплотворна здатність досягає 3607 ккал/кг. Отже, в цілому для сухого жому теплотворна здатність має становити 3300...3500 ккал/кг, тобто бути на рівні сухого торфу або бурого вугілля.

Основною особливістю і вадою жому як альтернативного палива є високий вміст вологи, що може значно зменшити його фактичну теплотворну здатність або й зовсім унеможливити спалювання жому. Проведені теоретичні розрахунки спалювання віджатою до 25 % СР свіжого жому показують, що в зоні горіння теоретично можна отримати температуру на рівні 500...900 °С, що принципово достатньо для забезпечення безперервного процесу горіння.

При цьому отримують гарячі димові гази, теплота яких має використовуватися для попереднього сушіння жому, та певну кількість псевдококсу як

твердого палива, яке можна застосовувати як штучне тверде паливо. Для спалювання такого палива парогенератори мають бути оснащені спеціальними топками, тому більш перспективною є реалізація процесу газифікації палива, що надає можливість використовувати отриманий генераторний газ у наявних на цукрових заводах топках.

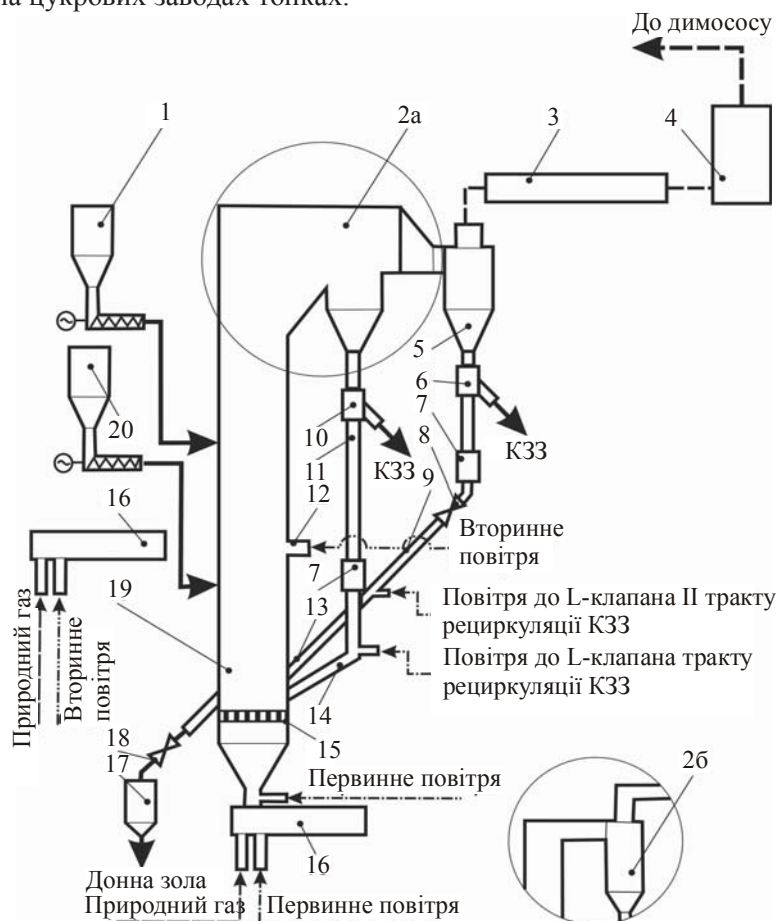


Рис. 1. Схема модифікованої установки ЦКШ-0.02: 1 — бункер інертний; 2а — жалюзійний сепаратор (1-й варіант); 2б — вертикальний циклон; 3 — камера охолодження продуктів спалювання; 4 — рукавний фільтр; 5 — вертикальний мультициклон; 6, 10 — пристрої вимірювання витрат рециркулюючого КЗЗ; 7 — водяні охолоджувачі КЗЗ; 8 — регулювальний клапан; 9 — II тракт рециркуляції КЗЗ; 11 — I тракт рециркуляції КЗЗ; 12 — патрубок подачі вторинного повітря; 13 — L-клапан II тракту рециркуляції КЗЗ; 14 — L-клапан I тракту рециркуляції КЗЗ; 15 — перфорована ґратка; 16 — камери розпалювання; 17 — бункер донної золи; 18 — система виведення донної золи; 19 — реактор киплячого шару; 20 — бункер вихідного палива (сухого жому)

Проведено додаткові розрахунки для визначення найдоцільніших схем підготовки та спалювання віджатоного жому. Аналіз існуючих даних показує, що в одному агрегаті досить складно об'єднати процеси попереднього підсушування жому та його спалювання через значне зменшення маси продукту при

ПРОЦЕСИ І АПАРАТИ ХАРЧОВИХ ВИРОБНИЦТВ

випаровуванні значної кількості вологи. Для практичної реалізації процесу доцільно розділити етапи попереднього підсушування жому та його спалювання. При цьому для попереднього підсушування жому варто використовувати частину отриманої теплової енергії в процесі його спалювання. Результати варіантних розрахунків такого процесу наведено в табл. 1.

Таблиця 1. Результати варіантних розрахунків використання підсушеного жому при спалюванні (СР віджатого жому 25 %)

Розрахункові показники	СР попередньо підсушеного жому, %			
	40	50	60	70
Витрати умовного палива на підсушування, кг/т	71,1	106,5	148,6	190,8
Теплотворна здатність підсушеного жому, ккал/кг	1160	1600	2040	2480
Виділено теплоти при спалюванні в еквіваленті умовного палива, кг у. п.	165,7	228,6	291,4	354,3
Отримано теплоти для потреб заводу в еквіваленті умовного палива, кг у. п.	94,6	122,1	142,8	163,5
Додатково отримано палива для цукрового заводу 3,0 тис. т/день, т. у. п.	33,71	34,79	33,92	33,28

Результати проведених розрахунків показують, що зі збільшенням величини попереднього підсушування зростає теплотворна здатність. При цьому зростають витрати палива на підсушування, проте вихід корисної теплоти із тонни підсушеного жому збільшується. Однак через зменшення кількості попереднього підсушеного жому кількість отриманої додаткової теплоти мало змінюється. При попередньому підсушуванні жому до 50 % СР спостерігається незначний максимум. Кількість теплоти, яку може отримати завод під час спалювання жому, становить 1,1...1,16 % умовного палива до маси буряку, або до 20 % від нинішнього значення середніх питомих витрат палива на цукрових заводах галузі.

Проведено дослідження зі спалювання сушеного жому окремо та в суміші з кам'яним вугіллям. Дослідження проводили відповідно до розробленої програми-методики випробовувань за різних співвідношень горючих сумішей: сушеного жому, вугілля (або без його подачі) з частковою подачею природного газу.

Природний газ застосовувався для початкового прогрівання установки та виходу на робочі режимні характеристики, початкового підігрівання повітря і компенсації тепловтрат. Витрати компонентів змінювалися від 0 до 22 кг/год. Передбачалося забезпечити режими спалювання із газифікацією, тому коефіцієнт надлишку повітря підтримувався в межах від 0,45 до 0,78, а температура в робочій зоні — від 898 до 1417 °С. При цьому виконаний аналіз димових газів показує, що під час спалювання сушеного жому на певних робочих режимах можна досягти практично повного вигорання кисню. Тобто досягається висока інтенсивність і повнота горіння сушеного жому.

Отримано основні енергетичні характеристики спалювання сумішей твердих видів палива та проведено загальний аналіз результатів досліджень. Так, підтверджено, що добавка дози вугілля до 40 % дає змогу практично на таку саму кількість збільшити сумарну енергетичну потужність. Завдяки забезпе-

ПРОЦЕСИ І АПАРАТИ ХАРЧОВИХ ВИРОБНИЦТВ

ченню високих температур у робочій зоні за коефіцієнтів надлишку повітря, менших за одиницю, можна здійснити процес газифікації твердого палива. Технологія спалювання отриманого при цьому генераторного газу принципово подібна до спалювання природного газу (з відповідним коригуванням режимних характеристик процесу).

Узагальнені результати на основі серій дослідів у разі виходу дослідної установки на сталий режим роботи подано в табл. 2 і 3.

Таблиця 2. Основні енергетичні характеристики спалювання суміші газу, вугілля і жому цукрових буряків при сталому режимі дослідної роботи установки

Витрати, % т.у.п.			Витрати з урахуванням підігрівання повітря, % т.у.п.			КНПЗ	Сумарна потужність, кВт	Орієнтовний час перебування часточок, с
Газ	Жом	Вугілля	Газ	Жом	Вугілля			
Режим 1: вугілля — 18,9 кг/год, жом — 18,7 кг/год, газ — 3,15 нм ³ /год								
12,8	33,2	52,0	8,0	37,2	54,8	0,49	242,6	0,76
Режим 2: вугілля — 17,6 кг/год, жом — 22,1 кг/год, газ — 3,11 нм ³ /год								
12,4	40,6	47,0	7,9	42,6	49,5	0,45	248,8	0,82
Режим 3: жом — 30,5 кг/год, газ — 1,5 нм ³ /год								
9,6	90,4	—	1,9	98,1	—	1,9	98,1	0,78

Примітка: КНПЗ — загальний коефіцієнт надлишку повітря

Таблиця 3. Залежність складу димових газів від спалюваної суміші газу, вугілля і жому цукрових буряків при сталому режимі роботи дослідної установки

Режим спалювання			Склад димових газів, %			
Вугілля, кг/год	Жом, кг/год	Газ, нм ³ /год	CO	O ₂	CO ₂	N ₂
18,9	18,7	3,15	2,36	1,34	16,04	79,37
17,6	22,1	3,11	2,91	5,50	11,60	79,10
—	30,5	1,5	2,26	1,88	15,74	79,22

Отримані експериментальні дані передбачається використати під час розроблення модельних установок зі спалювання жому з метою отримання додаткового (вторинного) палива для ТЕЦ цукрових заводів або для заміни природного газу в процесі сушіння жому в стандартних жомосушільних агрегатах.

Варіант можливої реалізації сушіння та спалювання жому з отриманням генераторного газу наведено на рис. 2. Передбачається, що віджятий до не менш як 25 % СР буряковий жом подається в сушільний барабан. Частина висушеного жому (до 50 %) спрямовується у газифікатор, в якому за температури до 1000 °С і з подачею водяної пари (використовується частина викиду відпрацьованої парогазової суміші при сушінні жому) утворюється генераторний газ (газова суміш, яка містить СО та молекулярний водень Н₂). Генераторний газ використовується як паливо в топці сушарки. Природний газ потрібний лише для пускового періоду жомосушарки.

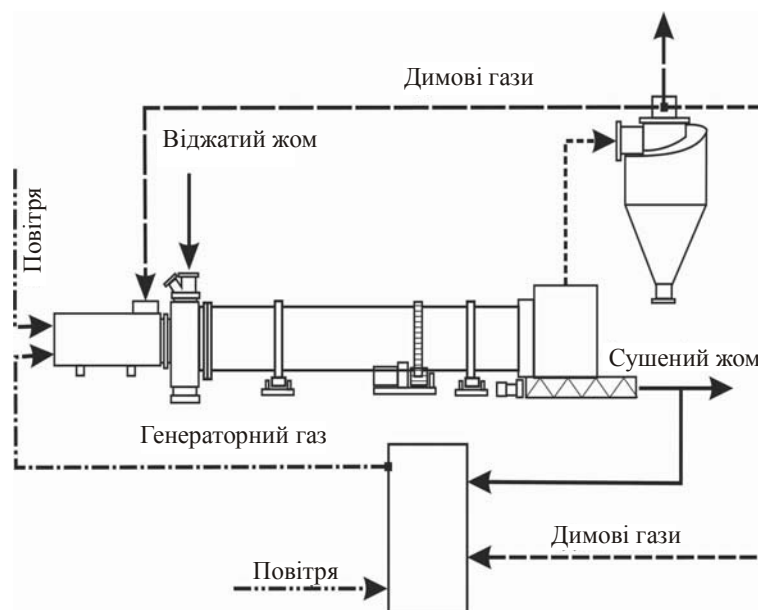


Рис. 2. Принципова схема сушіння і спалювання жому з отриманням генераторного газу

У разі спалювання всього сушеного жому надлишкова частина отриманого генераторного газу використовується в парогенераторах ТЕЦ, зменшуючи споживання природного газу.

Вторинне тверде паливо цукрового виробництва найбільш раціонально використовувати через газифікацію такого палива. При цьому отриманий генераторний газ із горючими компонентами (CO , H_2 , CH_4) може спалюватися в топках парогенераторів ТЕЦ цукрового заводу або жомосушарок без їхньої реконструкції. Слід лише скоригувати технологічний процес спалювання з урахуванням того, спалюватиметься тільки генераторний газ чи він буде спалюватися у суміші з природним газом.

Для отримання генераторного газу потрібно встановити передтопок-газогенератор (рис. 3). У верхню частину передтопка-генератора завантажують сушений жом з домішками подрібненого відсіву вугілля. У IV зоні маса підсушується і нагрівається. У III зоні починається виділення летких речовин, частина яких є горючими піролізного розкладу органіки, що міститься в жомі. У I зоні передтопка-газогенератора відбувається часткове згоряння вуглецю, який міститься в жомі та подрібнених відходах вугілля. Повітря в кількості 30...35 % від необхідної кількості для повного спалювання подається через фурми. Через них подається також водяна пара (доцільно використовувати відпрацьовані димові гази після жомосушарок).

Оскільки в зонах горіння I та відновлення II підтримується температура на рівні 900...1100 °С, ця частина передтопка-газогенератора футерована шамотним вогнетривом. У зоні відновлення відбувається генерація із вуглекислого газу CO_2 та оксиду вуглецю CO , а також із суміші водяної пари й оксиду вуглецю

ПРОЦЕСИ І АПАРАТИ ХАРЧОВИХ ВИРОБНИЦТВ

генерується водень H_2 і побіжно — метан CH_4 . Ці горючі компоненти генераторного газу надалі подаються в топку парогенераторів або жомосушарок.

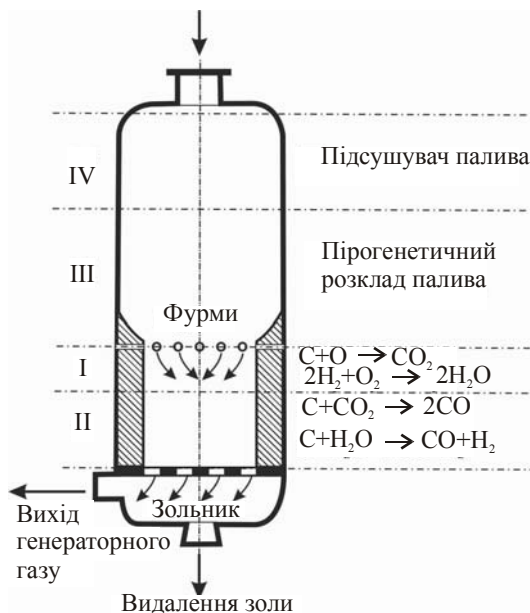


Рис. 3. Передтопок-генератор

Температура в зоні горіння регулюється кількістю подачі повітря. Зі збільшенням подачі повітря підвищується температура в зоні горіння й інтенсифікуються термохімічні процеси, але при цьому зменшується вміст горючих компонентів у генераторному газі, тому температуру процесу горіння вибирають залежно від необхідної продуктивності передтопка-газогенератора з перероблення вторинного палива і температури для отримання горючих компонентів.

Висновки

У результаті проведених досліджень та аналітичних розрахунків встановлено режими спалювання віджатою жому для схеми з попереднім підсушуванням віджатою жому з використанням теплоти спаленого жому. Визначено, що найбільш ефективні (найбільш оптимальні) теплотехнічні показники можливі за умови попереднього підсушування жому до 50 % СР.

Спалювання жому сприятиме отриманню теплової енергії в кількості, еквівалентній 20 % витрат палива, на технологічні потреби (у разі спалювання всього жому).

Література

1. *Засць О.С.*. Безвідхідна переробка цукрових буряків / О.С. Засць, В.О. Штангеев, Ю.О. Засць та ін. — К.: Урожай, 1992. — 184 с.
2. *Біопалива (технології, машини і обладнання)* / [В.О. Дубровін, М.О. Корчемний, І.П. Масло та ін.]. — К.: ЦПІ «Енергетика і електрифікація», 2004. — 256 с.

3. Бугаенко И.Ф., Штерман С.В., Грачев О.С. Альтернативные виды топлива из сахарной свеклы и продуктов ее переработки // Обз. статья: <http://ikar.ru/articles/48.html>, 17.09. 2007.

4. Григорьев К.А. Технология сжигания органических топлив / Ю.А. Рундыгин, А.А. Тринченко— СПб.: Изд-во политехн. ун-та, 2006. — 92 с.

5. Методики по визначенню нормативних показників питомих витрат паливно-енергетичних ресурсів в цукровій промисловості. — К.: Цукор України, 2006. — 150 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА СЖИГАНИЯ ЖОМА САХАРНОЙ СВЕКЛЫ

К.О. Штангеев, В.В. Шутюк, С.М. Василенко

Национальный университет пищевых технологий

В статье рассматриваются условия непосредственного сжигания отжатого жома с обеспечением проведения процесса высокотемпературного пиролиза с газификацией топлива и возможностью получения синтез-газа. Проведенные аналитические расчеты для установления условий и режимов сжигания отжатого жома определили эффективные режимы проведения процесса сжигания жома, на основании которых определены основные требования к конструкциям топок для сжигания отжатого жома.

Ключевые слова: сахарная промышленность, альтернативное топливо, жом, энергоносители.