

9. Лукин В. Д., Новосельский А. В. Циклические адсорбционные процессы: Теория и расчет. Л.:Химия, 1989. 256 с.
10. Structure and adsorption properties of the composites 'silica gel – sodium sulphate', obtained by sol – gel method / K. M. Sukhyy et.al. // Applied Thermal Engineering. 2014. Vol. 64. P. 408-412.
11. Павлов К. Ф. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии: учебное пособие для вузов / под ред. чл.-кор. АН СССР П.Г. Романкова. 10-е изд., перераб. и доп. Л: Химия, 1987. 576 с.
12. Математическое моделирование и управление процессом короткоциклового безнагревной адсорбции / Матвейкин В. Г. и др. – М.: «Издательство Машиностроение-1», 2007. 140 с.

References

1. Malyarenko, V. A., Nechmogolod, I. E. (2011). Neravnomernost grafika zagruzki energosystemy I sposoby eyo byravnivaniya. Svitlotechnika ta elektroenergetika. 4. 61 – 66.
2. Kchronusov. G. S. (1998). Formirovanie effektivnykh regomov electropotrebleniya promyshlennykh predriyatiy. P. 1. Ekatinburg, 340.
3. Bragin, A. A. (2013) Algorithm formirovaniya grafikov electriceskikh nagruzok s primeneniym accumulyatornykh batarey v kachestve poterbiteley-regulyatorov motshnosti. PhD thesis. SPb, 130
4. Edem, K., Tsoukpoe, N., Liu H., Le Pierres, N., Luo, L. (2009). A review on long-term sorption solar energy storage. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 13, 2385 – 2396.
5. Bertsch, F., Dagmar, J., Asenbeck, S., Kerskes, H., Druecka, H., Wagner, W., Weiss, W. (2014). Comparison of the thermal performance of a solar heating system with open and closed solid sorption storage. Energy Procedia, Vol. 48, 280 – 289.
6. Okada, K., Nakanome, M., Kameshima, Y. [et al.]. (2010). Water vapor adsorption of CaCl₂/impregnated activated carbon. Mater. Res. Bull, 45, 1549 – 1553.
7. Gordeeva, L. G. Glaznev, I. S., Savchenko, E. V. [et al.]. (2006). Impact of phase composition on water adsorption on inorganic hybrids – salt/silica. J. Colloid Interface Sci., 301, 685 – 691.
8. Xin, L., Huiling, L., Siqi, H. [et al.]. (2010). Dynamics and isotherms of water vapor sorption on mesoporous silica gels modified by different salts. Kin Catal., 51, 754 – 761.
9. Lukin, V. D., Nocelskiy A. V. (1989). Tsyklycheskiye adsorbtsionniye protsessy: Teoriya i raschet. L.: Khimia, 256.
10. Sukhyy, K. M., E.A. Belyanovskaya, E. A., Kozlov, Ya. N., E. V. Kolomiyets, E. V., Sukhyy, M. P. (2014). Applied Thermal Engineering, 64, 408 – 412.
11. Pavlov, K. F. (1987). Prymeri i zadachi po kursu processov i apparatov khimicheskoy tekhnologiyi. L: Khimia, 1987, 576.
12. Matveykin, V. G., Poginin, V. A., Putin, S. B. Skvortsov, S. A. (2007). Matematicheskoye modelirovaniye i upravleniye processom korotkotsyklovoy beznagrevnoy adsorbtsiyi. M.: Mashinostroyeniye-1, 140.

УДК 66.069.84; 66.084; 628.316; 628.32

ЗАСТОСУВАННЯ СПОСОБУ ДИСКРЕТНО-ІМПУЛЬСНОГО ВВЕДЕННЯ ЕНЕРГІЇ ДЛЯ НЕЙТРАЛІЗАЦІЇ КОНДЕНСАТУ ПРОДУКТІВ ЗГОРЯННЯ ПРИРОДНОГО ГАЗУ

Долінський А.А., д. т. н., Целень Б.Я., к. т. н., Іваницький Г.К., д. т. н., Коник А.В. к. т. н., Радченко Н.Л. к. т. н., Гартвіг А.П.

Інститут технічної теплофізики НАН України

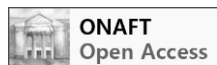
USING OF THE ENERGY DISCRETE-PULSE INPUT METHOD FOR THE CONDENSATE NATURAL GAS COMBUSTION PRODUCTS NEUTRALIZING
Dolinskiy A.A. Doctor of Technical Sciences, Tselen B.Ya. Ph.D., Ivanitskiy G.K. Doctor of Technical Sciences, Konyk A.V. Ph.D., Radchenko N.L. Ph.D., Hartviih A.P.

Institute of Engineering Thermophysics of the National Academy of Sciences of Ukraine

Copyright © 2017 by author and the journal "Scientific Works".

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Анотація. В даній роботі запропоновано новий спосіб нейтралізації конденсату продуктів згоряння природного газу без використання хімічних реагентів з метою його повторного використання для промислових потреб, а також як води для живлення водогрійних котлів промислових і комунальних котельних. Висунуто гіпотезу, що конденсат димових газів за своїм складом є знесоленою водою, що наближається до дистильованої води з присутніми в ньому діоксидом вуглецю в розчиненому стані і у вигляді стабільних нанорозмірних бульбашок (bubstones), вугільної кислоти і газової фази у вигляді мікробульбашок, що містять

суміш діоксиду вуглецю з азотом. Новизною даної роботи є виконане аналітичне дослідження процесу десорбції діоксиду вуглецю з конденсату способом дискретно-імпульсного введення енергії, розроблена робоча конструкторська документація на виготовлення дослідного зразка установки, виготовлений дослідний зразок установки для нейтралізації конденсату продуктів згоряння газу без використання реагентів. Створений дослідний зразок установки дозволить зменшити витрати на підготовку води для живлення котлів за рахунок використання нейтралізованого конденсату і скоротити кількість стічних вод. Використання дослідного зразка установки нейтралізації конденсату дозволить поліпшити стан довкілля шляхом зменшення кількості стоків (хімічно забрудненого нейтралізованого конденсату і відходів установок пом'якшення води), раціонально використовувати водні ресурси за рахунок зниження потреби у природній воді (у випадку повторного використання нейтралізованого конденсату).

Abstract. A new method of neutralizing the condensate of the combustion products of natural gas without using of chemicals with a view for its reuse for industrial purposes, as well as the water to power industrial boilers and utility boilers is proposed. A hypothesis that acidic condensate of flue gases is a demineralized water and similar to distilled water which contains carbon dioxide in dissolved form and in the form of stable nanosized bubbles (bubstones), carbonic acid and a gas phase in the form of microbubbles containing a mixture of carbon dioxide with nitrogen is proposed. Thus between carbon dioxide in the bubbles and carbon dioxide in solution there is equilibrium. The proposed method of neutralizing the acidic condensate is based on the mechanisms of discrete-pulse input of energy initiated by the rotary-pulsating apparatus of special design with partial use of thermovacuum technology. The novelty of the scientific and technical work is: analytical study of the process of desorption of carbon dioxide from acidic condensate by the method of discrete-pulse input of energy is carried out; a working design documentation for production of a prototype apparatus is developed; a prototype apparatus to neutralize the acidic condensate of gas combustion products without the use of chemicals is made. Developed prototype apparatus will reduce the cost of water treatment for power boilers by using neutralized condensate and reduce the amount of wastewater. Experimental study of changes in the pH value of condensate is performed on the prototype device. It is established that the increase in pH took place within 2 minutes of treatment. The maximum pH reached 6.2 while maintaining the samples between 3 and 24 hours. The potential productivity of existing prototype apparatus is about 450 l/h of neutralized condensate. Using installations for neutralization of acidic condensate will allow to improve the environment by reducing the amount of waste (chemically contaminated condensate after neutralization and waste water from installations a water softening) and rational use of natural water by reducing the amount of its use (in the case of re-use of acidic condensate).

Ключові слова: конденсат димових газів, нейтралізація, вугільна кислота, діоксид вуглецю.

Keywords: the condensate of flue gases, neutralization, carbonic acid, carbon dioxide.

Вступ. Протягом тривалого часу економайзери для котлів проектували для охолодження димових газів до температури 140÷150°C, що було зумовлено техніко-економічною недоцільністю більш глибокого їх охолодження через низьке співвідношення цін на паливо і метал та можливістю корозії теплообмінних поверхонь при контакті з конденсатом при охолодженні димових газів до температури нижче точки роси.

На сьогоднішній день внаслідок суттєвого зростання цін на паливо і теплову енергію стало доцільним глибоке охолодження продуктів згоряння природного газу. При цьому за рахунок отримання додаткової кількості теплоти (фізичної теплоти димових газів і теплоти конденсації водяної пари, що входить у склад димових газів) коефіцієнт корисної дії котлоагрегату можна підвищити на 8÷12% [1]. Однак, конденсат, що утворюється при охолодженні димових газів нижче точки роси, не знаходить подальшого застосування через кислотні властивості і, після хімічної нейтралізації, надходить в стічні води підприємства.

З огляду на те, що з 1 МВт теплової потужності котлоагрегату може утворюватися до 140 л/год конденсату доцільно розглянути можливість його повторного використання, що дозволить зменшити споживання природної води і викиди стічних вод.

Основна частина. Утворений конденсат за своїм фізико-хімічним складом, в основному, є розчином вугільної кислоти, що зумовлює низьке значення величини водневого показника (pH), що знаходиться в межах 3,8÷4,9. Вилучення з конденсату вугільної кислоти, уникаючи способу хімічної нейтралізації, дозволить отримувати воду, близьку до дистильованої. Така вода може бути використана для приготування води для живлення котлів, минаючи стадію пом'якшення води, а також для інших технологічних потреб.

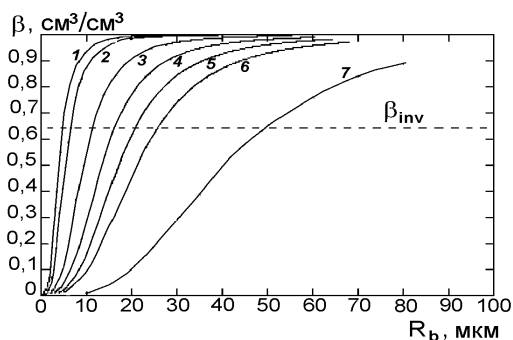
В Інституті технічної теплофізики НАН України запропоновано спосіб безреагентної нейтралізації кислотного конденсату [2], що ґрунтується на механізмах дискретно-імпульсного введення енергії (ДІВЕ) ініціювання на базі роторно-пульсаційного апарату (РПА) спеціальної конструкції з частковим використанням термовакуумної технології.

Враховуючи те, що кислотний конденсат містить до 70 мг/л діоксиду вуглецю в той час як його розчинність у воді становить 0,47 мг/л (при 20 °C і 0,1 МПа) нами висунуто гіпотезу про те, що діоксид вуглецю в конденсаті існує як у розчиненому стані так і у вигляді окремих або згрупованих у кластери бульбашок мікро- і наномасштабних розмірів (так званих bubstones [3, 4] розміром до 0,1 мкм і газових бульбашок розміром

0,1÷10 мкм [5]) причому між діоксидом вуглецю в бульбашках і діоксидом вуглецю в розчині існує певна рівновага. При цьому приблизно 1% розчиненого діоксиду вуглецю вступає в хімічну реакцію з водою утворюючи вугільну кислоту близько 5% якої дисоціює у воді на іони водню, гідрокарбонат-іони і карбонат-іони. Таким чином, в розчині встановлюється рівновага між діоксидом вуглецю в газовій фазі бульбашок, розчиненим діоксидом вуглецю в рідині, вугільною кислотою, гідрокарбонат-іонами і карбонат-іонами. Іони водню, що утворюються при цьому призводять до зниження рН розчину.

Нейтралізація конденсату запропонованим нами способом досягається за рахунок вилучення стабільно існуючих при нормальних умовах бульбашок діоксиду вуглецю внаслідок збільшення їх розмірів з можливістю реалізації явища інверсії структури потоку, тобто перетворення потоку з бульбашко-рідинної структури в крапельно-газову. При цьому на обробку надходить рідина, насичена мікроскопічними бульбашками діоксиду вуглецю під час якої утворюється суміш водяної пари з діоксидом вуглецю, в якій знаходиться велика кількість полідисперсних краплин рідини. Газова фаза при цьому відводиться з апарата. Одночасно при цьому відбувається розпад вугільної кислоти внаслідок порушення вуглекислотної рівноваги і вилучення інших газів з конденсату. Критичне значення газовмісту, при перевищенні якого відбувається безповоротна коагуляція бульбашок і наступна інверсія фаз становить 0,65 [6–7].

На базі створених в ІТТФ НАН України універсальних математичних моделях динаміки одиничних газопарових бульбашок і динаміки ансамблю бульбашок, які детально наведені в роботах [8, 9] проведено чисельне моделювання процесу зростання газопарових бульбашок в конденсаті. В рамках математичної моделі динаміки ансамблю бульбашок було проведено аналітичне дослідження еволюції сукупності парогазових бульбашок до моменту досягнення критичної величини газовмісту.



1 – 0,7 мкм; 2 – 1 мкм; 3 – 2 мкм; 4 – 3 мкм;
5 – 4 мкм; 6 – 5,0 мкм; 7 – 10,0 мкм.

Рис. 1. Залежність величини газовмісту монодисперсної сукупності бульбашок діоксиду вуглецю у воді від їх поточного радіусу при різних значеннях початкових радіусів.

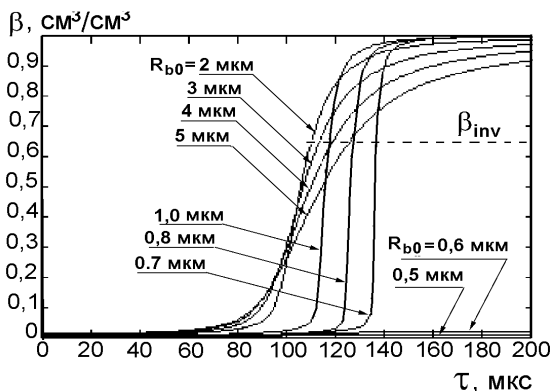


Рис. 2. Зміна з часом радіусу величини газовмісту монодисперсної сукупності бульбашок діоксиду вуглецю у воді при різних значеннях початкових радіусів.

з початковим радіусом до 1 мкм газовміст зростає майже миттєво. Наведені результати дають певну корисну інформацію для проведення подальших досліджень по цій проблемі.

На рис. 1 показано зміну величини газовмісту в залежності від радіусу зростаючих бульбашок в монодисперсному ансамблі. Розглянуто монодисперсні сукупності бульбашок з сімома значеннями початкових радіусів в інтервалі від 0,7 мкм до 10 мкм при початковій концентрації діоксиду вуглецю 70 мг/л і температурі рідини 25°C. Пунктирною лінією показано значення критичного газовмісту (відношення об'єму газової фази до об'єму рідини) $\beta_{inv} = 0,65$ при якому відбувається інверсія структури потоку (перехід від рідинно-бульбашкової структури до газо-крапельної).

З рисунка 1 видно, що для всіх значень початкових радіусів радіуси бульбашок при досягненні критичного газовмісту збільшуються приблизно в п'ять разів, тобто об'єм бульбашкової фази зростає більш ніж на два порядки. Ті ділянки кривих 1–7, що знаходяться вище пунктирної лінії не відповідають реальному стану, бо в цій області бульбашок вже не існує внаслідок інверсії фаз.

На рис. 2 наведені результати розрахунку залежності величини газовмісту від часу зростання бульбашок для дев'яти монодисперсних бульбашкових ансамблів з початковими радіусами в інтервалі від 0,5 мкм до 5 мкм при початковій концентрації діоксиду вуглецю 70 мг/л і температурі рідини 25°C. Як видно з рисунку, бульбашки малого розміру з початковим радіусом до 0,6 мкм загалом не зростають при даному режимі роботи установки. Характерним є те, що бульбашки всіх початкових розмірів від 0,7 до 5 мкм досягають критичного значення газовмісту практично за однаковий проміжок часу (115÷140 мкс) з моменту спадання зовнішнього тиску. Характерним також є те, що наростання газовмісту в сукупності бульбашок з відносно великими бульбашками з початковим радіусом понад 2 мкм відбувається повільно, тоді як для сукупності малих бульбашок

Як показали наведені вище результати дослідження, бульбашки малого розміру з початковим радіусом до 0,6 мкм загалом не можуть зростати навіть при великих перепадах тисків, що зніщуються при обробці конденсату запропонованим способом. Також даний спосіб обробки не може призводити до подальшого подрібнення мікробульбашок. Однак при проходженні рідинно-бульбашкового потоку через канали РПА всередині апарата ініціюється низка потужних механізмів, внаслідок яких відбувається сильна динамічна дія на потік рідини: дуже високі напруження і швидкості зсуву (порядку $2,5 \cdot 10^5 \text{ c}^{-1}$), періодичні високочастотні зміни тиску та аномально високі зміни прискорень як по напрямку так і по величині, короточасні мікровищороти тощо. Внаслідок сукупної дії цих факторів – високочастотних гальмувань і прискорень рідини, вихроутворення, інтенсивного перемішування тощо можливе зіткнення бульбашок, їх коагуляція і формування бульбашок більш великих розмірів або бульбашкових асоціацій [6, 10]. Тоді великі бульбашки формуються вже під час проходження конденсату через канали РПА.

Проведені розрахунки також показали, що швидкість десорбції діоксиду вуглецю з поверхні краплин конденсату за час перебування їх на стадії вилучення газу дуже мала у порівнянні зі швидкістю виділення з конденсату нерозчиненої вільної вуглекислоти. Саме в цьому полягає перевага і перспективність запропонованого методу нейтралізації.

Для підтвердження отриманих результатів чисельного моделювання процесу вилучення з рідини вуглекислоти проведені експериментальні дослідження зміни величини рН конденсату продуктів згоряння природного газу на виготовленому дослідному зразку установки принцип роботи якого базується на запропонованому способі нейтралізації.

Обробку конденсату здійснювали наступним чином. Конденсат об'ємом 33 л оброблювали в замкнутому контурі дослідного зразка установки в режимі рециркуляції протягом 16 хвилин при відсутності подачі і видачі обробленої рідини з установки. Проби конденсату відбирали через кожні 2 хвилини протягом обробки з метою визначення оптимального часу його обробки на основі отриманих результатів величини рН. Відібрані проби конденсату зберігали протягом двох діб в негерметично закритих поліпропіленових одноразових стаканах без доступу прямого сонячного світла. Вимірювання величини рН проводили багатофункціональним приладом СОНДО EZODO PCT-407 для аналізу параметрів води одразу після відбору проби, через 3 години, 1 добу і 2 доби після обробки.

На рис. 3 наведено зміну величини водневого показника конденсату продуктів згоряння природного газу від тривалості його обробки в контурі дослідного зразка установки нейтралізатора безреагентного. Отримані результати показують, що основна зміна величини рН відбувається приблизно протягом перших 2 хвилин обробки. Подальша обробка рідини також призводить до підвищення величини рН, проте швидкість його зростання значно нижча, хоча й стабільна протягом всього часу обробки. Це дозволяє припустити, що протягом перших двох хвилин обробки відбувається вилучення основної кількості вуглекислоти, розчиненої в конденсаті.

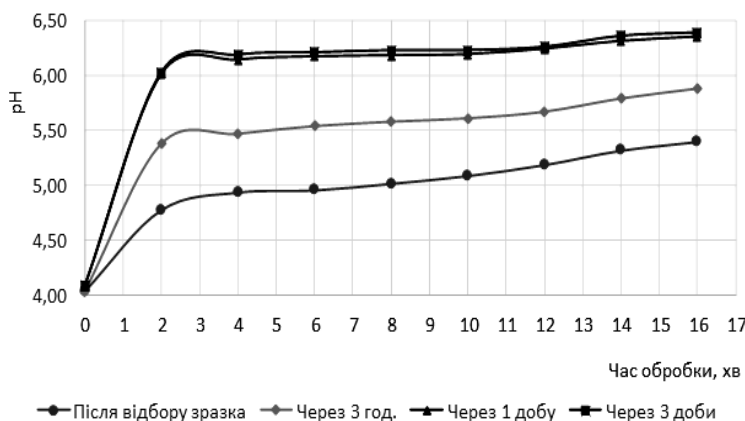


Рис. 3. Зміна величини рН конденсату продуктів згоряння природного газу від тривалості його обробки.

рН рідини протягом подальшого зберігання проб. Після витримки обробленого конденсату отримали значення величини рН вище 6,0 при тривалості обробки 2 хвилини. Аналізуючи закономірність зростання величини рН на цій діаграмі з високою достовірністю можна припустити, що отримати величину рН конденсату вище 6,0 можна протягом меншої тривалості обробки, що дозволить підвищити продуктивність обладнання (потенційна продуктивність дослідного зразка існуючої установки становить близько 450 л/год обробленого конденсату), проте для підтвердження цієї гіпотези слід провести повторний експеримент з меншим інтервалом відбору проб конденсату під час обробки.

Зміна температури конденсату під час його обробки внаслідок дисипативного виділення теплоти становила приблизно $1,8^\circ\text{C}/\text{хв}$ і для робочого циклу $1,5 \div 2$ хв несуттєва. Однак, підвищення температури повинно позитивно впливати на швидкість вилучення діоксиду вуглецю з рідини, тому конденсат на обробку бажано подавати одразу після економайзера системи глибокої утилізації теплоти димових газів котлоагрегату.



Продуктивність, т/годину – до 0,6
Споживання електроенергії, кВт · год – 3,75
Габарити, мм – 750x880x1420



Продуктивність, т/годину – до 1,2
Споживання електроенергії, кВт · год – 3,75
Габарити, мм – 750x800x1100

Рис. 4. Установка для нейтралізації кислого конденсату продуктів згоряння природного газу і технічні характеристики її модифікацій.

На сьогоднішній день в рамках досліджень в цьому напрямку розроблено і виготовлено дві модифікації дослідного зразка установки нейтралізації (рис. 4), що відрізняються продуктивністю нейтралізації і можуть знайти застосування при роботі з газовими водогрійними і паровими котлами сумарною тепловою потужністю до 5 або 10 МВт [5]. Дані установки характеризуються низьким питомим споживанням енергії, а також низькими габаритами, металосмістю і можуть працювати як в режимі ручного керування так і автоматичному режимі.

Висновки. Створений дослідний зразок установки дозволить зменшити витрати на підготовку води для живлення котлів за рахунок використання нейтралізованого конденсату і скоротити кількість стічних вод.

Основні техніко-економічні показники розробленого дослідного зразка установки: продуктивність – до 450 л/год; споживання електроенергії – 3,75 кВт·год; габаритні розміри – 650x800x1100 мм; величина водневого показника (рН) нейтралізованого конденсату – не нижче 6,0.

Запропонований спосіб обробки рідини базується на використанні низки фізичних явищ при ДІВЕ і при відповідному виборі параметрів обробки може знайти застосування не лише для нейтралізації кислого конденсату але й для обробки інших рідин з метою зміни їх фізико-хімічних параметрів (величини окисно-відновного потенціалу, електропровідності, вмісту розчинених газів тощо) у різних галузях промисловості.

Науково-технічна робота виконувалась в Інституті технічної теплофізики НАН України згідно договору №ДЗ/52-2015 з МОН України.

Література

1. Новгородский Е.Е., Бесчетный В.В. Проектирование энергосберегающих установок теплогенераторов при использовании рекуперативных конденсационных теплоутилизаторов: методические указания к практическим занятиям по курсу «Энергосбережение». Ростов н/Д: Рост. гос. строит. ун-т, 2010. 43 с.
2. Долінський А. А., Шурчкова Ю. О., Целень Б. Я. Безреагентна нейтралізація кислого конденсату продуктів згоряння природного газу та обладнання для її нейтралізації. Микро- и наноуровневые процессы в технологиях ДИВЭ: тематический сборник статей / под общей ред. А. А. Долинского; Институт технической теплофизики НАН Украины. Киев: Академперіодика, 2015. 464 с.
3. Bunkin N. F., Bunkin F. V. Bubston Structure of Water and Aqueous Solutions of Electrolytes. Physics of Wave Phenomena. 2013. Vol. 21, No. 2. P. 81-109.
4. A deliberation on nanobubbles at surfaces and in bulk / James R.T. Seddon et.al // Chemphyschem. 2012. 13(8). P. 2179-87.
5. Утворення кислого конденсату при глибокій утилізації теплоти продуктів згоряння природного газу і обладнання для його нейтралізації / Долінський А. А. та ін. // Наукові пр. / ОНАХТ.Одеса, 2016. Т. 80, Вип. 1. С. 4–8.
6. Peculiarities of superheated liquid discharging under strong and weak nonequilibrium conditions / Pavlenko A.N. et.al. // J. Eng. Thermophys. 2010. Vol. 19, No. 4. P. 289-305.
7. Ишматов А. Н. Эволюция мелкодисперсных капель при взрывном распылении жидкости : автореф. дисс. ... канд. ф.-м. наук : 01.02.05: защита 23.09.2011 / науч.рук. Ворожцов Б.И. Бийск: ГОУ ВПО «ТГУ», 2011. 48 с.
8. Долинский А.А., Иваницкий Г.К. Теоретическое обоснование принципа дискретно-импульсного ввода энергии. I. Модель динамики одиночного парового пузырька. // Пром. теплотехника. 1995. Т. 17, №5. С. 3-28.

9. Долинский А.А., Иванецкий Г.К. Теоретическое обоснование принципа дискретно-импульсного ввода энергии. II. Исследование поведения ансамбля паровых пузырьков. Пром. теплотехника. 1996. Т. 18, №1. С. 3–20.
10. Стебновский С. В. Импульсное диспергирование как предельный режим разрушения жидкого объема // Физика горения и взрыва. 2008. Т. 44, №2. С. 117–128.

References

1. Novgorodskiy, E. E., Beschetyiy, V. V. (2010). Proektirovanie energosberegayuschih ustanovok teplogenerato-rov pri ispolzovanii rekuperativnykh kondensatsionnykh teploutilizatorov: Metodicheskie ukazaniya k prakticheskim zanyatiyam po kursu "Energosberezhenie". Rostov n/D: Rost. gos. stroit. un-t, 43.
2. Dolinskiy, A. A., Shurchkova, Yu. O., Tselen, B. Ya. (2015). Bezreahentna nejtralizacija kysloho kondensatu produktiv zhorjannja pryrodnoho hazu ta obladnannja dlja jiji nejtralizaciji. Mikro- i nanourovnevyie protsessy v tehnologiyah DIVE: Tematicheskij sbornik statey / pod obschey red. A.A. Dolinskogo; Institut tehnikeskoy tep-lofiziki NAN Ukrainyi, Kyiv, Akademperiodika, 464.
3. Bunkin, N. F., Bunkin, F. V. (2013). Bubston Structure of Water and Aqueous Solutions of Electrolytes. Physics of Wave Phenomena, 21(2), 81–109.
4. Seddon, J., Lohse, D., Ducker, W., Craig, V. (2012). A deliberation on nanobubbles at surfaces and in bulk. Chemphyschem, 13(8), 2179–87.
5. Dolinskiy, A. A., Tselen, B. Ya., Hartvih, A. P., Konyk, A. V., Radchenko, N. L., Shchepkin, V. I. (2016). Ut-vorennja kysloho kondensatu pry hlybokij utylizaciji teploty produktiv zhorjannja pryrodnoho hazu i obladnannja dlja joho nejtralizaciji. Naukovi pratsi ONAKhT, 80(1), 4–8.
6. Pavlenko, A. N., Koverda, V. P., Reshetnikov, A. V., Mazheiko, N. A., Surtaev, A. S., Zhukov, V. E. (2010). Peculiarities of superheated liquid discharging under strong and weak nonequilibrium conditions. J. Eng. Thermo-phys., 19(4), 289–305.
7. Ishmatov, A. N. (2011). Evolyutsiya melkodispersnykh kapel pri vzryivnom raspylenii zhidkosti. Avtoref. diss. na soisk uch. step. kand. f.-m. nauk. po spets. 01.02.05, Biysk, 48.
8. Dolinskiy, A. A., Ivanitskiy, G. K. (1995). Teoreticheskoe obosnovanie printsipa diskretno-impulsnogo vvoda energii. I. Model dinamiki odinochnogo parovogo puzyirka. Prom. teplotehnika, 17(5), 3–28.
9. Dolinskiy, A. A., Ivanitskiy, G. K. (1996). Teoreticheskoe obosnovanie printsipa diskretno-impulsnogo vvoda energii. II. Issledovanie povedeniya ansamblya parovykh puzyirkov. Prom. teplotehnika, 18(1), 3–20.
10. Stebnovskiy, S. V. (2008). Impulsnoe dispergirovanie kak predelnyiy rezhim razrusheniya zhidkogo ob'ema. Fizika goreniya i vzryiva, 44(2), 117–128.

УДК 662.997

ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ УСТАНОВКА НА ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКАХ ЭНЕРГИИ

Селихов Ю. А., к. т. н., профессор, Коцаренко В. А., к. т. н., профессор, Давыдов В.А., аспирант
Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт»

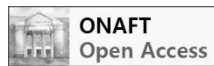
USING RENEWABLE ENERGY SOURCES IN THE HEAT-ENERGY INSTALLATION

Selikhov Yu. A., Cand. Tech. Sci., Professor, Kotsarenko V. A., Cand. Sc. Tech. Sci., Professor,
Davydov V. A., graduate student
National Technical University "Kharkov Polytechnic Institute"

Copyright © 2017 by author and the journal "Scientific Works".

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Аннотация. Предложена теплоэнергетическая система снабжения: электроэнергией, горячей водой и отоплением, в которой совместно с ветроэлектрогенератором, двухконтурной солнечной установкой, используется геотермальный грунтовый тепловой насос «грунт-вода», аккумуляторы электроэнергии и теплоты. Эта система позволяет: уменьшить себестоимость тепловой энергии за счет снижения материалоемкости и расходов на оборудование, которое используется; экономить органическое топливо; производить электроэнергию и излишек ее отдавать в государственную электросеть; уменьшить тепловую нагрузку и загрязнение окружающей среды. Система разработана, изготовлена и установлена на одном частном подворье в Харьковской области после реконструкции коттеджа. Работа теплоэнергетической системы управляется и контролируется в автоматическом режиме с автоматизированного рабочего места. Двухконтурная солнечная установка обеспечивает горячее водоснабжение коттеджа. Тепловой насос обеспечивает отопление в холодное время года и кондиционирование в теплое время года. Ветроэлектрогенератор вырабатывает электроэнергию для работы электрооборудования коттеджа, а излишки элект-