

МОЖЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ КВАРЦВІСНИХ ВІДХОДІВ В ЯКОСТІ В'ЯЖУЧИХ МАТЕРІАЛАХ

М. М. Орфанова

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу,
вул. Карпатська, 15, м. Івано-Франківськ, 76018, Україна. E-mail: orfanova@rambler.ru

Розглядається питання можливості використання кварцвмісних матеріалів для отримання цементних сумішей. Численні дослідження в галузі механохімічних ефектів показали можливість, доцільність і перспективу використання методів механічної активації речовин для удосконалення технології отримання в'язучих матеріалів. Надається коротка характеристика методу механоактивації з позиції впливу її на змінення властивостей твердих тіл. Показана перспективність використання методу механоактивації для вирішення проблеми утилізації кварцвмісних відходів як в'язучого компонента. Наводиться характеристика властивостей цементного каменю, отриманого з додаванням активованих заміників цементу. Представлена технологія отримання в'язучого наповнювача для виробництва будівельних матеріалів на прикладі приготування цементної суміші з додаванням механоактивованих кварцвмісних матеріалів (пісок, зола ТЕС). Для впровадження технології запропонована установка струминного помелу, яка дозволяє отримувати матеріал з розміром частинок 20-40мкм.

Ключові слова: утилізація, механоактивація, кварцвмісні відходи, в'язучі матеріали.

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МЕТОДОВ МЕХАНОАКТИВАЦИИ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМЫ УТИЛИЗАЦИИ ОТХОДОВ

М. М. Орфанова

Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа,
ул. Карпатская, 15, г. Ивано-Франковск, 76018, Украина. E-mail: orfanova@rambler.ru

Рассматривается возможность использования кварцсодержащих материалов с целью получения цементных смесей. Многочисленные исследования в области механохимических эффектов показали возможность, целесообразность и перспективность использования методов механической активации веществ для усовершенствования технологии получения вяжущих материалов. Предоставляется короткая характеристика метода механоактивации с позиции воздействия ее на изменение свойств твердых тел. Показана перспективность использования метода механоактивации для решения проблемы утилизации кварцсодержащих отходов в качестве вяжущего компонента. Приводится характеристика свойств цементного камня, полученного с добавлением активированных заменителей цемента. Представлена технология получения вяжущего наполнителя в производстве строительных материалов на примере приготовления цементной смеси с добавлением механоактивированных кварцсодержащих материалов (песок, зола ТЕС). Для внедрения технологии предложена установка струйного помела, которая позволяет производить высокоактивный материал с размером частиц 20-40мкм.

Ключевые слова: утилизация, механоактивация, кварцсодержащие отходы, вяжущие материалы.

АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ. На даний час в Україні залишається тенденція збільшення об'ємів утворення відходів. Так, за даними Міністерства екології та природних ресурсів, у 2010р. в Україні утворилося 431,6 млн. т відходів, з яких 419,2 млн. т у сфері виробничої діяльності підприємств та організацій, у 2011р. загальний обсяг утворення відходів збільшився до 447,6 млн. т відходів, а у 2012 р. від вже становив 450,7 млн. т, що на 0,7% більше порівняно з 2011 роком [1-3]. Одночасно за цей період збільшились обсяги накопичення відходів на 1,7 млрд. т, і в 2012 році цей показник досяг кількості 14,9 млрд. т відходів [3]. Основна кількість відходів представлена відходами мінерального походження (73 %).

В'язучий матеріал є основним компонентом цементних сумішей. До в'язучих матеріалів мінерального типу відносяться тонкоподрібнені цемент, гіпс, вапно. Проте заміна частини їх відходами виробництва у цементних сумішах значно може вплинути на собівартість готової продукції, а з другого боку вирішує проблему зменшення об'ємів нагромадження відходів.

Метою роботи є оцінка можливостей використання кварцвмісних матеріалів для отримання цементних сумішей.

МАТЕРІАЛ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ. Найбільш поширеним видом цементу є портландцемент, основним компонентом якого є силікат кальцію. Портландцемент отримують тонким подрібненням клінкеру з гіпсом (3-7%).

Склад цементних сумішей має забезпечити необхідні фізико-хімічні властивості цементного розчину та фізико-механічні властивості цементного каменю. З цієї метою до складу сумішей входять різні наповнювачі. При виготовленні цементних розчинів особлива увага приділяється часу схоплення та твердіння.

У виробництві цементів використовують в якості добавки-наповнювача пісок та різні відходи виробництва, які впливають на зміну фізико-механічних властивостей цементного каменю. Тому для регулювання даного показника до складу вводять різні хімічні добавки. Як наповнювач будівельних сумішей використовують кварцовий пісок. І для регулювання показників міцності змі-

Розробка екологічно безпечних технологій, процесів і устаткування

шують окремі його фракції. Також до складу цементних сумішей вводять також відходи різних виробництв.

Встановлено, що додавання кристалізаційних добавок на основі вуглевідходів та золи вуглезбагачування в кількості 1,3% по масі збільшує ранню міцність цементного каменю на 40,50%, а через 6 місяців – на 5,12% [1].

У Донецькому національному технічному університеті проводяться дослідження можливостей використання відходів вуглевидобувної промисловості у виробництві портландцементного клінкеру і використання їх в якості в'язучих матеріалів [2].

Відомий спосіб отримання цементу, одним з компонентів якого є золошлакові відходи ТЕЦ. Відходи, які містять 4 – 6 мас.% Fe_2O_3 , попередньо піддають магнітній або електричній сепарації. Даний спосіб дозволяє використовувати до 30 мас.% у сировинній суміші для виготовлення цементного клінкеру [3].

Існує спосіб отримання в'язучого матеріалу при виробництві будівельних матеріалів. Він полягає у подрібненні сировини, яка включає кальцієві та кремнієві компоненти, з наступним отриманням однорідного шламу і регулюванням суміші до заданого хімічного складу, і подрібненням в'язучого у тонкий порошок [4].

Для збільшення міцності цементного каменю використовують одночасно механохімічну активація золи, вапна та гіпсу [5].

Показники цементних розчинів мають відповідати вимогам ДСТУ Б В.2.7-23-95 (Розчини будівельні. Загальні технічні умови. – К: Держкоммістобудування України. – 1996), а цементних сумішей ДСТУ Б В.2.7-126:2011 (Суміші будівельні сухі модифіковані. Загальні технічні умови. – К.: Міністерство регіонального розвитку та будівництва України. – 2011).

Важливим показниками цементного розчину є час схоплювання і кінець після приготування розчину. До важливих фізико-механічних показників цементного каменю є міцність на стиск та на згин. Не менш важливим показником є тонина помелу, яка в значній мірі впливає на характеристики міцності цементного каменю та на час схоплювання цементного розчину.

Тонина подрібненої речовини залежить в технічних засобів подрібнення. Тонке подрібнення сприяє збільшенню реакційної здатності речовин і, відповідно, прискоренню хімічних реакцій як між твердими фазами, так і між твердими і рідкими.

Одним з сучасних напрямків механічного помелу речовини, який дозволяє одночасно збільшити її реакційну активність і тим самим впливати на протікання фізико-хімічних процесів при її взаємодії з іншими речовинами, є метод механічної активації речовин.

Дослідження в галузі механохімічних ефектів та механохімічних перетворень показали перспективність використання механічної активації речовин для підготовки цементних сумішей з можливістю регулювання фізико-механічних властивостей.

При цьому важливу роль відіграє вибір типу активуючих засобів.

Так, наприклад, для активованих цементів характерно прискорення процесу твердіння та більш висока ступінь гідратації. Активність цементів залежать від типів активуючих засобів. Наприклад, різниця в міцності взірців, що виготовлені з цементів, активованих у вібраційному та ексцентриковому млинах, складає 70% через добу, 35% через 28 діб [5]. Дослідженнями встановлено, що активність цементів збільшується з часом подрібнення, в той час, коли збільшення дисперсності припиняється. Важливий фактор, який впливає на активність цементу, це середовище подрібнення. Рентгеноструктурним і термографічним аналізами показано, що ступінь деструкції мінералів при однаковій дисперсності цементу значно нижча, якщо подрібнення проводилось з добавками ПАР [6]. Дослідженнями встановлено, що для механічно активованих цементів характерно значне зменшення пористості та проникності. Проникність знижується приблизно на два порядки, що є важливим з точки зору якості ізоляційних робіт.

Вивчення гідратаційної активності цементів різного мінералогічного складу показує [6], що при стременому помелі з використанням перегрітої водяної пари (до 230°C) реалізується можливість більш значного підвищення міцності цементу. Так, у цементів з клінкерів з високим вмістом C_2S ефект механоактивації проявився через 26 діб затвердіння і був максимальним для білітоалітового складу - 12 МПа. Для цементів алітового складу ефект активації спостерігався в початкові терміни твердіння (1, 3 та 7 доба), приріст же активності був меншим і склав 5 МПа. Необхідно відмітити, що цей ефект був характерний для цементів з дисперсністю 3000 cm^2/g .

Характерною особливістю цементів струминного помолу є підвищена водопотрібність в стандартних розчинах (ВЦ більше на 0,01 – 0,04), більший показник нормальної густини тіста (на 7-9%) і деяке сповільнення строків тужавлення в порівнянні з цементом шарового помелу.

Як показують численні дослідження, при механічній активації матеріалів (тампоажний цемент, шлаковий цемент, тощо) значно підвищується їх реакційна здатність, механічна міцність підвищується в 1,5-2 рази, поліпшуються реологічні властивості. Одночасне оброблення цементно-зольної та гіпсо-зольної суміші в активаторах дозволяє використовувати золошлаки як в'язучий матеріал [6].

Одночасний помел шлаку з кварцевим піском приводить до підвищення стабільності розчину, збільшення механічної міцності цементного каменю і впливає на час тужавіння. У зразків цементного каменю, одержаних з механічно активованих матеріалів, текстура гідратних новоутворень, які складаються здебільшого з гідросилікатів і заповнюють поровий простір між негідратованими частинками і кристалами новоутворень, є щільнішою, ніж у зразків звичайного цементного каменю, а

Розробка екологічно безпечних технологій, процесів і устаткування

пористість знижується на два порядки.

Метод механоактивації є перспективним у напрямках використання різних матеріалів як наповнювачів цементних сумішей. В сучасних умовах погіршення екологічного стану та необхідності вирішення питань утилізації різних відходів виробництва застосування методів механоактивації в цьому напрямку показує позитивні результати.

Зола характеризується в'язкими властивостями, але міцність цементного каменю з її використанням не висока. Дана проблема є актуальною проблемою сучасності і представляє інтерес у вирішенні екологічних проблем, пов'язаних із золошлаковідвалами. За даними [6], використання активації подрібненням в планетарному млині дозволило збільшити міцність цементного каменю із золи-уноса в 3,5-6 разів у порівнянні з міцністю взірців цементного каменю із матеріалу, що одержали подрібненням на шаровому млині.

Загалом, у напрямку вивчення впливу механічної активації на властивості цементних сумішей на даний час встановлено такі закономірності [6-9]:

- цементний камінь, одержаний з активованого цементу, відрізняється підвищеними фізико-механічними характеристиками;
- цементний камінь характеризується підвищенням термо- і корозійної стійкості;
- механоактивація сприяє підвищенню швидкості гідратації і, відповідно, більш високому темпу набору міцності цементного каменю;
- відновлюються властивості “злеглих” цементів і збільшується тривалість їх зберігання;
- механічна активація впливає на час тужавіння і твердіння цементного розчину;
- цементний камінь, одержаний з активованого цементу, характеризується більш щільною та більш однорідною структурою, меншою газо- і водопроникністю.

В лабораторії техноекологічних досліджень Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу був проведений комплекс з метою вивчення можливості використання різноманітних активованих добавок як наповнювачів цементної суміші та їх впливу на властивості цементного каменю [7-9].

Для проведення комплексу досліджень був використаний портландцемент ПЦТ-100 і пісок з вмістом SiO_2 - 86,3%, CaO - 1,3%, MgO - 3,2%, Fe_2O_3 - 5,6%, SO_3 - 2,2%, основну масу якого складають фракції 0,25 – 0,1 мм (96,7%).

Одержаний характер змінення розтічності цементно-пісчаних розчинів при різних співвідношеннях компонентів і різних водоцементних відношеннях свідчить про набуття піском під впливом механоактивації в'язких властивостей і змінення характеру його взаємодії з цементним розчином. Активація піску забезпечує рівномірне твердіння цементного розчину і, на наш погляд, сприяє більш швидкому заростанню відкритих капілярних пор в цементному камені гелеподібними гідратними формами, що зменшує час тужавіння цементного розчину, і вже на перших стадіях твер-

діння можна одержати цементний камінь з покращеними структурними характеристиками, що безпосередньо впливає на його корозійну стійкість, міцність, газо- і водопроникність. При оптимальному вмісті піску, 30%, механоактивація сприяє підвищенню міцності на стиск в 1,5 - 2,4 рази в залежності від умов формування. Як показали дослідження, пористість цементного каменю, одержаного при використанні активованого піску, зменшується на порядок, а текстура, відповідно, стає більш щільною. Це приводить до зменшення проникності цементного каменю по газу в 1,3 рази і в 2,2 рази при вмісті піску 20% і 30% відповідно. Вимірювання проводилися для 2-х добових зразків, одержаних в атмосферних умовах.

Проведені дослідження по вивченню корозійної стійкості цементного каменю в слабомінералізованому середовищі (Mg^{2+} - 0,2 г/л, $\text{K}^+ + \text{Na}^+$ - 4 г/л, Na^{2+} - 0,5 г/л, Cl^- - 5 г/л, SO_4^{2-} - 5 г/л) і в прісній воді. Корозійна стійкість зразків цементного каменю з чистого цементу вища, ніж у цементного каменю, одержаного з використанням піску, як в прісному, так і в мінералізованому середовищі. Проте, зразки з активованим піском характеризуються значно більшою корозійною стійкістю, ніж з неактивованим, і в мінералізованому середовищі цей ефект проявляється більш наочно.

Аналогічний комплекс досліджень був проведений з золою ТЕС, яка містить SiO_2 - 80,25%, CaO - 0,28%, MgO - 3,60%, Fe_2O_3 - 10,18%, SO_3 - 2,08%, K і Na - сліди. Використання золи в цементній суміші у всіх випадках знижує міцність цементного каменю, але активація золи дозволяє зменшити падіння міцності при вмісті золи до 30%. Активація золи також впливає на водо- і газопроникність зразків цементного каменю і однозначно зменшує ці показники по газу в 1,9 раз і по воді в 1,4 рази при вмісті золи в суміші 30%.

Одержані результати показують спектр можливих компонентів у відходах виробництва, які могли би знайти застосування як в'язучий компонент цементних сумішей.

Практичне впровадження технології здійснюється за допомогою механоактиватора струминного типу. Нами проведена конструктивна доробка струминного млина УСП - 500К, який дозволяє більш ефективно використовувати механоактиваційні процеси і виконувати подрібнення матеріалів до розміру частинок 20-40 мкм. Установка може працювати як в стаціонарному, так і в пересувному режимах. Продуктивність установки до 500 кг/год, потужність до 8 кВт.

ВИСНОВКИ.

Одержані нами результати з врахуванням результатів інших дослідників показують, що на тямонажні суміші механоактивація впливає таким чином:

- дозволяє відновлювати властивості лежалих цементів;
- дозволяє регулювати фізико-механічні властивості як самого в'язучого так і цементного каменю, одержаного на його основі;

Розробка екологічно безпечних технологій, процесів і устаткування

- сприяє підвищенню міцності цементного каменю;
 - сприяє підвищенню корозійної стійкості цементного каменю як в прісному, так і в мінералізованому середовищі;
 - сприяє зниженню газо- і водопроникності цементного каменю;
 - сприяє виникненню в'язучих властивостей у піска та золи ТЕС;
 - відкриває перспективи пошуку заміників і наповнювачів цементу з відходів виробництва;
 - дозволяє вирішувати екологічні проблеми за рахунок використання відходів.
- Впровадження в практику даної технології підготовки цементних сумішей сприятиме:
- покращенню якості цементування за рахунок зміцнення цементного каменю;
 - зниженню собівартості робіт за рахунок використання заміників цементу як в'язучих добавок, отриманих з відходів виробництва.
 - створенню спеціальних цементних розчинів за рахунок можливості регулювання їх фізико-хімічних властивостей.

ЛІТЕРАТУРА

1. Ходыкин Е.И. Использование отходов углеобогащения Коркинского разреза в производстве цемента [Текст] : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня д-ра техн. наук : спец. 02.00.04 "Физическая химия", спец. 05.17.11 "Технология керамических, силикатных и тугоплавких неметаллических материалов" / Ходыкин, Евгений Иванович ; Южно-Уральский государственный университет. – Челябинск, 1998. – 21 с.

2. Лапенко А.П. Получение цементных вяжущих материалов на основе отходов угледобывающей промышленности / А.П. Лапенко, В.В. Шаповалов // Экологические проблемы индустриальных мегаполисов. Материалы VII Международной научно-практической конференции – выставки. – Донецьк: ДонНТУ – 2010, С. 25-28.

3. Пат. 2138457 Российская Федерация, МПК С 04 В 7/38. Способ производства цемента и сырьевая смесь для изготовления цементного клинкера (варианты) [Текст] / Мачульский В.А., Лупин В.В.

заявитель ; патентообладатель Козлов Б.В. – № 2138457 ; опуб. 27.09.99.

4. Пат. 2431622 Российская Федерация, МПК С 04 В 7/38. Способ получения вяжущего [Текст] / Саркисов А.С., Саркисов Ю.С., Саркисов А.А., Саркисова В.А., Саркисов С.Ю., Саркисов Д.Ю., Саркисова А.Ю., Давыдова Н.Г. ; заявитель и патентообладатель Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Томский государственный архитектурно-строительный университет" (ГОУВПО "ТГАСУ"), Саркисов Ю.С. ; опуб. 20.10.11.

5. Заявка на изобретение №:2011140900, МПК: С04В Способ получения вяжущего [Текст] / Шоева Т.Е., Каминский Ю.Д., Баев В.С. Опуб. 20.04.13.

6. Молчанов В.И. Активация минералов при измельчении / В.И. Молчанов, О.Г. Селезнёва, Е.Н. Жирнов. – М.: Недра, 1988. – 208 с.

7. Орфанова М.Н. Получение вяжущих наполнителей цемента из отходов производств / М.Н. Орфанова, Р.Ю. Гложик, М.М. Орфанова // Экология и здоровье человека. Охрана водного и воздушного бассейнов. Утилизация отходов. Труды IX международной научно-технической конференции (11-15.06.01, м. Щолкіно, АР Крым.). У 3-х томах. – Харьков: ЧП "Сергеев", 2001. – Том 2. – С. 372-375.

8. Семчук Я.М. Використання відходів для виробництва будівельних матеріалів / Я.М. Семчук, М.М. Орфанова // Экологическая и техногенная безопасность. Охрана водного и воздушного бассейнов. Утилизация отходов. Сб. научн. трудов XXI (ежегодная) международной научно-технической конференции (10-14.06.2013, м. Бердянск) – Х., УкрВОДГЕО, 2013. – С.150-153.

9. Орфанова М.Мик. Перспективи використання методу механоактивації з метою утилізації зол ТЕС в наповнювачі будівельних матеріалів / М.Мик. Орфанова, М.Мих. Орфанова, В.И Пустогов // Энергетика. Энергозащита. Энергоаудит, №5 (111), 2013. – С.58-62.

THE SCOPE OF USE OF SILICA CONTAINING WASTE PRODUCTS AS BINDING MATERIALS

M. Orfanova

Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas,
vul. Karpatska, 15, Ivano-Frankivsk, 20, 76018, Ukraine. E-mail: orfanova@rambler.ru

The article considers the matter of possibility of use of silica containing materials for obtaining cement mixtures. Multiple investigations in the field of mechanical and chemical effects have shown the possibility, appropriateness and perspective of use of methods of mechanical activation of substances for improvement of technology for obtaining binding materials. We provide a short characteristic of the method of mechanical activation from a position of its influence to change the solids properties. Also, there was demonstrated the prospectivity of mechanical activation method for solution of the problem of disposal of silica containing waste products and use of thereof as binding component. We describe hardened cement paste received as a result of adding of activated cement substitutes. Also, we have presented technology of obtaining binding filler for production of construction materials on the example of preparation of cement mixture by adding mechanically activated silica containing materials (sand, thermal electric station ashes). The jet-grinding activator is proposed for the technology implementation. This unit enables to produce high-activity material with particles 20-40µm in size.

Key words: disposal, mechanical activation, silica containing waste products, binding materials.

REFERENCES

1. Hodykin E.I. Use of Waste of Coal Preparation of the Korkinsky Section in Production of Cement [Tekst] : avtoref. dis. na zdobuttja nauk. stu-penja d-ra tehn. nauk : spec. 02.00.04 "Fizicheskaja himija", spec. 05.17.11 "Tehnologija keramicheskikh, silikatnyh i tugoplavkih nemetallicheskih mate-rialov"/ Hodykin, Evgenij Ivanovich ; Juzhno-Ural'skij gosudarstvennyj universitet. –Cheljabinsk, 1998. – 21 p.
2. Lapenko A.P. Receiving Cement Binding Materials on the Basis of Waste of the Coal-Mining Industry / A.P. Lapenko, V.V. Shapovalov // Jekologicheskie problemy industrial'nyh mega-polisov. Materialy VII Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii – vystavki. – Donec'k: DonNTU – 2010, P. 25-28.
3. Pat. 2138457 Rossijskaja Federacija, MPK S 04 V 7/38. Way of Poduction of Cement and Raw Mix for Cement Clinker Production (options) [Tekst] / Machul'skij V.A., Lupin V.V. zajavitel' ; patentoobladatel' Kozlov B.V. – № 2138457 ; opub. 27.09.99.
4. Pat. 2431622 Rossijskaja Federacija, MPK S 04 V 7/38. Way of Binding Receiving [Tekst] / Sarkisov A.S., Sarkisov Ju.S., Sarki-sov A.A., Sarkisova V.A., Sarkisov S.Ju., Sarki-sov D.Ju., Sarkisova A.Ju., Davydova N.G. ; zajavi-tel' i patentoobladatel' Gosudarstvennoe obrazo-vatel'noe uchrezhdenie vysshego professional'nogo obrazovanija "Tomskij gosudarstvennyj arhitek-turno-stroitel'nyj universitet" (GOUVPO "TGASU"), Sarkisov Ju.S. ; opub. 20.10.11.
5. Zajavka na izobretenie №:2011140900, MPK: C04B Way of Binding Receiving [Tekst] / Shoeva T.E., Kaminskij Ju.D., Baev V.S. Opub. 20.04.13.
6. Molchanov, V.I., Seleznjova, O.G. and Zhirnov, E.N. (1988), Aktivacija mineralov pri izmel'chenii [Activation of minerals during crushing], Nedra, Moscow, Russia.
7. Orfanova M.N. Receiving Binding Cement Fillers from Productions Waste / M.N.Orfanova, R.Ju.Glozhik, M.M.Orfanova // Jekologija i zdorov'e cheloveka. Ohrana vodnogo i vozdushnogo bassejnov. Utilizacija othodov. Trudy IX mezhdunarodnoj nauchno-tehnicheskoy konferencii (11-15.06.01, m. Shholkino, AR Krym.). U 3-h to-mah. – Har'kov: ChP "Sergeev", 2001. – Tom 2. – S. 372-375.
8. Semchuk, Ja.M. and Orfanova, M.M. (2013), "Use of waste for production of construction materials", Jekologicheskaja i tehnogennaja bezopasnost'. Ohrana vodnogo i vozdushnogo bassejnov. Utilizacija othodov. Sbornik materialov XI (ezhegodnoj) Mezhdunarodnoj nauchno-tehnicheskoy konferencii [Ecological and technogenic safety. Protection of water and air pools. Recycling. Proceedings of the XIth (annual) International scientific and technical Conference], Berdyansk, June 10-14, 2012, pp. 150-153.
9. Orfanova M.Mik. Prospects of Use of The Mehanoaktivatsi Method for Tte Purpose of Utilization of The Evils Of Thermal Power Plants In Fillers Of Construction Materials / M.Mik. Orfanova, M.Mih. Orfanova, V.I Pusto-gov // Energektika. Enregozberezhennja. Enregoaudit, №5 (111), 2013. – S.58-62.