



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **143474** (13) **U**  
(51) МПК (2020.01)  
**C04B 28/00**

МІНІСТЕРСТВО РОЗВИТКУ  
ЕКОНОМІКИ, ТОРГІВЛІ ТА  
СІЛЬСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА  
УКРАЇНИ

**(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ**

|                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>(21)</b> Номер заявки: <b>u 2020 01834</b>                                     | <b>(72)</b> Винахідник(и):<br><b>Хоботова Еліна Борисівна (UA),</b><br><b>Ігнатенко Марина Іванівна (UA),</b><br><b>Калюжна Юлія Сергіївна (UA),</b><br><b>Ларін Василь Іванович (UA)</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| <b>(22)</b> Дата подання заявки: <b>16.03.2020</b>                                |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| <b>(24)</b> Дата, з якої є чинними права на корисну модель: <b>27.07.2020</b>     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| <b>(46)</b> Публікація відомостей про видачу патенту: <b>27.07.2020, Бюл.№ 14</b> | <b>(73)</b> Власник(и):<br><b>ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ</b><br><b>АВТОМОБІЛЬНО-ДОРОЖНІЙ</b><br><b>УНІВЕРСИТЕТ,</b><br>вул. Ярослава Мудрого, 25, м. Харків, 61002 (UA),<br><b>Хоботова Еліна Борисівна,</b><br>вул. Академіка Павлова, 311, кв. 148, м. Харків, 61168 (UA),<br><b>Ігнатенко Марина Іванівна,</b><br>вул. Ковтуна, 15, кв. 134, м. Харків, 61036 (UA),<br><b>Калюжна Юлія Сергіївна,</b><br>вул. Грозненська, 46, кв. 53, м. Харків, 61124 (UA),<br><b>Ларін Василь Іванович,</b><br>Гімназична наб., 22, кв. 74, м. Харків, 61010 (UA) |

**(54) ЦЕМЕНТНИЙ КЛІНКЕР З ВИКОРИСТАННЯМ НЕГОРІЛИХ ПОРІД ВУГЛЕВИДОБУТКУ ЯК ГЛИНИСТОГО КОМПОНЕНТА****(57) Реферат:**

Заявлений цементний клінкер як комплексне в'язуче, у сировинну суміш якого входять відвальні породи вуглевидобутку. Компонентами сировинної суміші виробництва цементного клінкеру є негорілі породи вугільних відвалів як глинистий компонент, вапняк, пісок і піритні недогарки.

**UA 143474 U**



Корисна модель належить до промисловості будівельних матеріалів і може бути використана при виготовленні в'язучого, призначеного для виробництва бетонних і залізобетонних виробів промислового і цивільного призначення.

Відомий спосіб виробництва сухого неорганічного в'язучого (даститу) із матеріалу горілих порід після видобутку вугілля [EP 2291248 B1. Method of producing inorganic hydraulic binders / Faltus M. Date of publication 09.03.2011; Bulletin 2011/10], що включає гомогенізацію горілих порід з відвалів після видобутку вугілля, їх подрібнення до розміру зерна близько 3 мм, змішування зі складом для збудження, фізичну обробку суміші в високошвидкісному дезінтеграторі з використанням рухів в протилежних напрямках за допомогою п'ятирядної збірки роторів з їх периферійної швидкістю не менше 130 м/с, вплив на суміш змінного магнітного поля з частотою 103 Гц і інтенсивністю 1 Тл. Недоліками даного способу є додаткове використання складу для активації породи, складність і багатоступеневість процесу, великі енергетичні витрати.

Відомий склад в'язучого з використанням відходів вуглевидобутку [UA 38952 А. В'язуче з використанням відходів вуглевидобутку (варіанти) і спосіб його одержання / Чернишов С.Л., Потапов Ю.О., Філіпов Б.Є., Самедов А.М., Кравець В.Г., Самедов Р.А. - Заявка 2000126945, 05.12.2000; Опубл. 15.05.2001, Бюл. № 4], що містить відходи здебільшого у вигляді горілих порід, вапно та гіпс, суперфосфат або амонізований суперфосфат, клінкерні мінерали, хлористий кальцій  $\text{CaCl}_2$ , кремнефтористий натрій  $\text{Na}_2\text{SiF}_6$  або кремнефтористий магній  $\text{MgSiF}_6$  та сульфат магнію  $\text{MgSO}_4$ , причому вапно є випаленим, гіпс - природний  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  або гіпсовий ангідрид  $\text{CaSO}_4$ , при наступному співвідношенні інгредієнтів, мас. %: горілі породи 30-40; вапно 3-5; гіпс 5-6; суперфосфат або амонізований суперфосфат 4-7; клінкерні мінерали 40-60; хлористий кальцій 1-3; кремнефтористий натрій або кремнефтористий магній 0,5-2; сульфат магнію 0,1-1.

Недоліками даного в'язучого є багатокomпонентність складу, що приводить до збільшення витрат на виробництво, та необґрунтоване введення збудників інертних матеріалів відходів на стадії подрібнення всіх складових.

Як найближчий аналог вибране комплексне в'язуче з використанням відходів вуглевидобутку [UA 56391. Комплексне в'язуче з використанням відходів вуглевидобутку / Хоботова Е.Б., Толмачов С.М., Уханьова М.І., Грек А.О. - Заявка U 2010 08552, 08.07.2010; Опубл. 10.01.2011, Бюл. № 1], що містить портландцементний клінкер, гіпс та гідравлічно активну добавку у вигляді горілої породи при співвідношенні компонентів, мас. %: горіла порода 10-30; гіпс 3-5; портландцементний клінкер - решта.

Недоліком складу в'язучого є використання тільки горілих порід вуглевидобутку, внаслідок чого багатотоннажні негорілі породи вугільних териконів залишаються не утилізованими, тобто, не вирішується проблема антропогенного навантаження на навколишнє середовище.

В основу корисної моделі поставлено задачу підвищення рівня утилізації відходів вуглевидобутку у вигляді негорілих порід вугільних териконів за рахунок їх використання для виробництва цементного клінкеру як глинистого компонента.

Поставлена задача вирішується тим, що сировинна суміш виробництва цементного клінкеру, що складається з вапняку, піску, піритних недогарків і негорілих порід вугільних відвалів як глинистого компонента, згідно до корисної моделі, характеризується наступним співвідношенням компонентів, % мас.: негорілі породи 5,8-10,2; вапняк 77,6-80,3; пісок 9,2-10,4; піритні недогарки 3,0-3,5.

Спосіб виготовлення цементного клінкеру з використанням відходів вуглевидобутку полягає у тому, що віддозована сировинна суміш надходить в піч випалу, де вона спікається протягом 2 годин при температурі 1400-1450 °С з подальшим швидким охолодженням.

Обґрунтування складу цементного клінкеру з використанням негорілих відходів вуглевидобутку потребує проведення спеціальних досліджень щодо визначення радіоактивності й хіміко-мінерального складу негорілих порід, хіміко-мінерального складу і фізико-механічних властивостей отриманого цементного клінкеру та ілюструється наступними прикладами.

Приклад 1. Стосується забезпечення радіаційної безпеки негорілих порід вугільних териконів. Гамма-спектрометричним методом визначалася величина ефективної питомої активності ( $C_{\text{еф}}$ ), яка дорівнює зваженій сумі питомої активності радію-226, торію-232 і калію-40 (НРБУ-97):

$$C_{\text{еф}} = C_{\text{Ra}} + 1,31 C_{\text{Tn}} + 0,085 C_{\text{K}}, \text{ Бк/кг,}$$

де 1,31 і 0,085 - зважені коефіцієнти відповідно для торію-232 і калію-40 відносно радію-226.

Згідно з величиною  $C_{\text{еф}}$ . (121-210 Бк/кг, таблиця 1) представницькі проби негорілих порід належать до I класу радіаційної небезпеки будівельних матеріалів, для яких  $C_{\text{еф}}$ . не повинна перевищувати величину 370 Бк/кг. Подібні матеріали можуть використовуватися в будівництві без обмеження.

Приклад 2. Стосується визначення мінерального складу негорілих териконних порід шахт "Хмельницька" та ім. Я.М. Свердлова (Луганська обл.). Мінералогічний склад горілої породи визначався за допомогою рентгенофазового аналізу. У кристалічній частині відвальних порід було знайдено кілька мінералів:  $\text{SiO}_2$ ; клінохлор  $(\text{Mg}, \text{Fe})_6(\text{Si}, \text{Al})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_8$  (хлорит); мусковіт  $\text{K}_{0,94}\text{Na}_{0,06}\text{Al}_{1,83}\text{Fe}_{0,17}\text{Mg}_{0,03}(\text{Al}_{0,91}\text{Si}_{3,09}\text{O}_{10})(\text{OH})_{1,65}\text{O}_{0,12} \text{F}_{0,23}$  (слюда) і гіпс  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ . Масовий вміст фаз наведено у табл. 2. У кристалічній складовій зразків по масі переважає мусковіт, потім - кварц, і найменше - клінохлор. Клінохлор і мусковіт можуть входити до складу глинистих порід, які використовуються у виробництві портландцементного клінкеру.

Приклад 3. Стосується оксидного складу отриманого портландцементного клінкеру. Правильний розрахунок сировинної суміші є одним з основних умов, що забезпечують нормальний перебіг і повне завершення процесів клінкероутворення при випалюванні, а також отримання клінкеру заданого мінерального складу.

За. Розрахунок складу цементного клінкеру за результатами хімічного аналізу сировинних матеріалів. Розрахунок проводили згідно з рекомендаціями [Справочник по производству цемента / под ред. Холина И.И. - М: Госстройиздат, 1963. - 851 с.] за результатами хімічного аналізу сировинних компонентів: вапняку, відвальних негорілих порід, піску, піритних недогарків (табл. 3). Склад № 1 сировинної суміші цементного клінкеру розраховували на підставі відходів вуглевидобутку шахти "Хмельницька", а склад № 2 шахти ім. Я.М. Свердлова. Кількісні співвідношення вихідних сировинних компонентів і розрахунковий хімічний склад цементного клінкеру з відходами вуглевидобутку наведені в табл. 4. Розрахунковий хімічний склад цементного клінкеру укладається у вказані інтервали змісту головних оксидів в портландцементного клінкеру, % мас:  $\text{CaO}$  62-67;  $\text{SiO}_2$  20-24;  $\text{Al}_2\text{O}_3$  4-7;  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  2-5;  $\text{MgO}$ ,  $\text{SO}_3$  та інш. 1,5-4,0 [Бутт Ю.М. Портландцементный клинкер / Ю.М. Бутт, В.В. Тимашев - М.: Стройиздат, 1967. - 303 а].

Зб. Розрахунок складу цементного клінкеру за результатами аналізу його елементного складу. Оксидний склад цементного клінкеру, що утворюється після спікання, розрахований на підставі елементного складу, визначеного методом електронно-зондового мікроаналізу. Спікання відпресованих з сировинних сумішей зразків проводилося в криптоловій печі при наступних умовах: зразок з відходами шахти "Хмельницька" (зразок № 1) спікали при  $1450^\circ\text{C}$ ; зразок з відходами шахти ім. Я.М. Свердлова (зразок № 2) - при  $1400^\circ\text{C}$  протягом 2 год. Після спікання проведено швидке охолодження. Зміст основних оксидів клінкеру, що беруть участь в подальшому мінералоутворенні, в обох зразках приблизно однаковий (табл. 5). У зразку клінкеру з відходами вуглевидобутку шахти ім. Я.М. Свердлова відсутня сірка, що є сприятливим фактором з позицій подальшого твердіння і стійкості бетону.

При порівнянні розрахункового оксидного складу клінкеру і результатів рентгенівського мікроаналізу, отриманих при спіканні зразків, відзначено, що останні характеризуються більш низьким вмістом  $\text{SiO}_2$  і  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (до 1,2 разу) і підвищеним вмістом  $\text{CaO}$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (1,3-1,8 рази) і  $\text{MgO}$  (11,4-14,8 разу).

Приклад 4. Стосується кількісної оцінки цементного клінкеру з відвальними породами за модульною класифікацією. Оксидний склад зразків цементного клінкеру дає можливість охарактеризувати їх з позицій використання у виробництві в'язучих матеріалів. У табл. 6 представлені результати розрахунків окремих модулів як кількісних показників оксидного складу. Зразки клінкеру є основними ( $M_c > 1$ ). КЯ відповідає активній групі матеріалів ( $KЯ > 1,6$ ). Величина  $M_c$  практично вкладається в інтервал значень для цементного клінкеру (норма 1,7-3,5). Нормовані значення наведено згідно з [Бутт Ю.М. Портландцементный клинкер / Ю.М. Бутт, В.В. Тимашев - М.: Стройиздат, 1967. - 303 с.].

Зразки цементного клінкеру з відвальними породами вуглевидобутку характеризуються високими гідралічними властивостями. Гідралічний модуль  $M_{\text{гдр}}$  досить високий для обох зразків (норма 1,7-2,4). Розраховані високі значення КН без урахування поправок на кількість  $\text{CaO}$ , пов'язане з сірчаним ангідридом  $\text{SO}_3$ , і на вміст вільної вапна і силікатної кислоти, що може бути встановлено лише в процесі виробництва (норма 0,85-0,95). Високі значення КН по Лі-Паркеру (норма 85-100) і Кінду-Джангу (норма 0,92-0,95).

Приклад 4. Стосується мінерального складу цементного клінкеру.

4а. Розрахунок мінерального складу цементного клінкеру за даними хімічного складу клінкеру. Розрахунок мінерального складу цементного клінкеру за умови повної рівноважної кристалізації під час охолодження клінкеру проведено за методом Рінду [Бутт Ю.М. Практикум по химической технологии вяжущих материалов: учеб. пособ. / Ю.М. Бутт, В.В. Тимашев. - М.: Высшая школа, 1973. - 499 с.]. Відповідно до даного методу, вміст головних мінералів клінкеру (аліту -  $\text{C}_3\text{S}$ , беліту -  $\text{C}_2\text{S}$ , трикальцієвого алюмінату -  $\text{C}_3\text{A}$ , і целіту -  $\text{C}_4\text{AF}$ ) можна розрахувати, виходячи з хімічного складу, вираженого в оксидах, за такими формулами:

$C_3S=4,07C-7,6S-6,72A-1,42F$ ; (1),  
 $C_2S=8,6S+5,07A+1,07F-3,07C$ ; (2),  
 $C_3A=2,65A-1,70F$ ; (3),  
 $C_4AF=3,04F$ ; (4),

де C, S, A і F - відповідно процентний вміст в клінкері  $CaO$ ,  $SiO_2$ ,  $Al_2O_3$  і  $Fe_2O_3$ .

Результати розрахунку мінерального складу клінкеру за даними розрахункового хімічного складу (табл. 4) наведені в табл. 7. Вміст основних клінкерних мінералів в цементному клінкері коливається в межах, % мас.:  $C_3S$  40-60;  $C_2S$  15-35;  $C_3A$  4-14;  $C_4AF$  10-18 [Бутт Ю.М. Портландцементный клинкер / Ю.М. Бутт, В.В. Тимашев - М.: Стройиздат, 1967. - 303 с.]. Таким чином, кількісний склад цементного клінкеру відповідає нормі.

4б. Експериментально визначений мінеральний склад цементного клінкеру. Експериментально мінеральний склад клінкеру визначений методом рентгенофазового аналізу. Знайдено наступні фази мінералів в зразку клінкеру з негорілими відвальними породами шахти "Хмельницька" (склад № 1)  $54CaO \cdot 16SiO_2 \cdot Al_2O_3 \cdot MgO$ ,  $Ca_2SiO_4$  ларніт,  $Ca_2(Al, Fe)_2O_5$  браунмілерит,  $Ca_3SiO_5$ ,  $Ca_{14}Mg_2(SiO_4)_8$  бредигіт,  $Ca_2Al(Al, Si)_2O_7$  геленіт,  $Ca_3Al_2O_6$ ; у зразку клінкеру з негорілими породами шахти ім. Я.М. Свердлова (склад № 2) -  $54CaO \cdot 16SiO_2 \cdot Al_2O_3 \cdot MgO$ ,  $Ca_3Al_2O_6$ ,  $Ca_2(Al, Fe)_2O_5$ ,  $Ca_3SiO_5$ ,  $Al_2O_3$ ,  $CaAl_2(Si_2Al_2)O_{10}(OH)_2$  Маргарит,  $Ca_2SiO_4$ . Фази вказані в порядку зменшення їх вмісту, тобто основною фазою в обох зразках є  $54CaO \cdot 16SiO_2 \cdot Al_2O_3 \cdot MgO$ .

Для технології виробництва цементного клінкеру важливими є кілька мінералів. Мінерали ларніт і бредигіт є  $\beta$ - і  $\alpha'$ -формами двокальцієвого силікату. Вони входять до складу беліту.

Сполука  $3CaOSiO_2$  ( $C_3S$ ), що утворилася в цементному клінкері, є алітом. Виявлений склад аліту  $54CaO \cdot 16SiO_2 \cdot Al_2O_3 \cdot MgO$  найбільш поширений. При звичайних умовах аліт знаходиться в переохолодженому стані і має високу гідралічну активність, яка збільшується з ростом кількості дефектів структури, що виникають внаслідок наявності домішок в матеріалі. Подібна ситуація спостерігається при використанні відходів виробництва.

Браунмілерит і трикальцієвий алюмінат - це мінерали цементного клінкеру, що мають в'язучі властивості. Гідралічні властивості не виявляють мінерали геленіт і Маргарит, однак вони складають меншу масову частину клінкеру.

Приклад 5. Стосується фізико-механічних властивостей цементного клінкеру. Результати досліджень лягли в основу випуску дослідно-промислової партії цементного клінкеру з використанням негорілих порід вуглевидобутку шахт "Хмельницька" та ім. Я.М. Свердлова (склади 1 і 2, табл. 4). При випуску дослідно-промислової партії використовувалася екологічно безпечна технологія з сухою підготовкою сировинної суміші. Результати проведених фізико-механічних випробувань цементного клінкеру за ДГСТ 310.2.-96-310.4.-96 наведені у табл. 8. Дослідження хімічного складу та фізико-механічних властивостей розробленого цементного клінкеру, проведені в дослідно-промислових умовах, підтвердили відповідність клінкеру вимогам ТУ У Б В.2.7-00030937.12-98 "Клинкер портландцементный (товарный)".

Таким чином, діапазон введення негорілої породи як глинистого компонента виробництва цементного клінкеру становить 5,8-10,2 % за умови відповідності цементного клінкеру вимогам до мінерального складу і фізико-механічних властивостей.

Розглянутий цементний клінкер має наступні переваги: при його виробництві забезпечується вирішення екологічної проблеми накопичення багатотоннажних відходів вуглевидобутку внаслідок їх використання для виробництва в'язучого; відповідність сировини вимогам радіаційної безпеки і хімічного складу; відповідність отриманого цементного клінкеру вимогам до хімічного оксидного, мінерального складу і фізико-механічних властивостей; розширення сировинної бази та зниження витрат на виробництво в'язучих матеріалів.

Таблица 1

Результати гамма-спектрометричного аналізу негорілих порід вуглевидобутку різних шахт

| С <sub>эф</sub> , Бк/кг  | С <sub>сум</sub> , Бк/кг | С <sub>і</sub> , Бк/кг (вносок, %) |                   |                   |
|--------------------------|--------------------------|------------------------------------|-------------------|-------------------|
|                          |                          | <sup>40</sup> K                    | <sup>226</sup> Ra | <sup>232</sup> Th |
| шахта "Хмельницька"      |                          |                                    |                   |                   |
| 172±20,6                 | 904,6                    | 815(90,1)                          | 45,9(5,1)         | 43,7 (4,8)        |
| шахта ім. Я.М. Свердлова |                          |                                    |                   |                   |
| 121±18,8                 | 541,4                    | 470 (86,8)                         | 40,8 (7,5)        | 30,6 (5,7)        |
| шахта "Водянська"        |                          |                                    |                   |                   |
| 193±23.6                 | 759.5                    | 640 (84.3)                         | 56.8 (7.5)        | 62.7 (8.2)        |

Продовження таблиці 1

|                       |       |            |             |             |
|-----------------------|-------|------------|-------------|-------------|
| шахта "Белицька"      |       |            |             |             |
| 210±25,7              | 873,8 | 746 (85,4) | 68,6 (7,8)  | 59,2 (6,8)  |
| шахта "Павлоградська" |       |            |             |             |
| 184±21,5              | 320,0 | 171(53,4)  | 82,3 (25,7) | 66,6 (20,8) |

Таблиця 2

Результати рентгенофазового аналізу негорілих порід шахт (масовий внесок, %)

| Фази      | шахта "Хмельницька" | шахта ім. Я. М. Свердлова |                |
|-----------|---------------------|---------------------------|----------------|
|           |                     | фракція <5 мм             | фракція >20 мм |
| Кварц     | 44,1                | 40,3                      | 7,7            |
| Клінохлор | 10,2                | 11,1                      | 17,4           |
| Мусковіт  | 45,7                | 48                        | 74,9           |
| Гіпс      | -                   | 0,7                       | -              |

Таблиця 3

Хімічний склад вихідних компонентів

| Компонент                  | Масова частка компонента, % |                                |                                |       |        |       |     |
|----------------------------|-----------------------------|--------------------------------|--------------------------------|-------|--------|-------|-----|
|                            | SiO <sub>2</sub>            | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | CaO   | пп. п. | інше  | Σ   |
| Вапняк                     | 0,95                        | 1,68                           | 0,24                           | 52,25 | 42,45  | 2,43  | 100 |
| Порода шахти "Хмельницька" | 35,28                       | 16,18                          | 2,77                           | -     | 37,78  | 7,99  | 100 |
| Порода шахти ім. Свердлова | 50,97                       | 22,08                          | 12,17                          | 1,62  | -      | 13,16 | 100 |
| Пісок                      | 97                          | -                              | -                              | -     | 0,41   | 2,59  | 100 |
| Піритні недогарки          | 13,621                      | 4,34                           | 61,67                          | 3,85  | 12,09  | 4,429 | 100 |

Таблиця 4

Склад сировинної суміші і розрахунковий хімічний склад клінкеру з використанням відходів вуглевидобутку

| Компонент                             | Масова частка компонента, % |           |
|---------------------------------------|-----------------------------|-----------|
|                                       | Склад № 1                   | Склад № 2 |
| Вапняк                                | 77,6                        | 80,3      |
| Відходи вуглевидобутку                | 10,2                        | 5,8       |
| Пісок                                 | 9,2                         | 10,4      |
| Піритні недогарки                     | 3,0                         | 3,61      |
| Розрахунковий хімічний склад клінкеру |                             |           |
| SiO <sub>2</sub>                      | 21,70                       | 21,67     |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>        | 4,91                        | 4,90      |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>        | 3,77                        | 3,77      |
| CaO                                   | 64,72                       | 64,61     |
| MgO                                   | 0,17                        | 0,17      |

Таблиця 5

Результати рентгенівського мікроаналізу зразків  
цементного клінкеру з використанням відходів вуглевидобутку

| Цементний клінкер з відходами вуглевидобутку шахти "Хмельницька" |                                          |                                |                         | Цементний клінкер з відходами вуглевидобутку шахти ім. Свердлова |                           |                                |                         |
|------------------------------------------------------------------|------------------------------------------|--------------------------------|-------------------------|------------------------------------------------------------------|---------------------------|--------------------------------|-------------------------|
| Елемент                                                          | Масова частка елемент. Я.М. Свердлова, % | Оксид                          | Масова частка оксиду, % | Елемент                                                          | Масова частка елемента, % | Оксид                          | Масова частка оксиду, % |
| Ca                                                               | 48,505                                   | CaO                            | 67,869                  | Ca                                                               | 49,603                    | CaO                            | 69,404                  |
| Si                                                               | 8,248                                    | SiO <sub>2</sub>               | 17,644                  | Si                                                               | 8,273                     | SiO <sub>2</sub>               | 17,698                  |
| Al                                                               | 2,329                                    | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 4,401                   | Al                                                               | 2,138                     | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 4,04                    |
| Mg                                                               | 1,163                                    | MgO                            | 1,929                   | Mg                                                               | 1,520                     | MgO                            | 2,521                   |
| Fe                                                               | 4,651                                    | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 6,650                   | Fe                                                               | 3,503                     | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 5,009                   |
| Cr                                                               | 0,323                                    | Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 0,472                   | Cr                                                               | 0,375                     | Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 0,548                   |
| Ti                                                               | 0,370                                    | TiO <sub>2</sub>               | 0,618                   | Ti                                                               | 0,468                     | TiO <sub>2</sub>               | 0,78                    |
| S                                                                | 0,167                                    | SO <sub>3</sub>                | 0,418                   | O                                                                | 34,120                    |                                |                         |
| O                                                                | 34,243                                   |                                |                         |                                                                  |                           |                                |                         |
| Усього                                                           | 100,0                                    |                                | 100,0                   |                                                                  | 100,0                     |                                | 100,0                   |

Таблиця 6

Оцінка цементного клінкеру з відвальними породами вуглевидобутку згідно з модульною класифікацією

| Модуль                                                                                                                                          | Значення модулів для клінкера з відвальними породами вуглевидобутку шахт |                    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|--------------------|
|                                                                                                                                                 | "Хмельницька"                                                            | ім. Я.М. Свердлова |
| Основний модуль $M_0 = \frac{\text{CaO} + \text{MgO}}{\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3}$                            | 2,43                                                                     | 2,69               |
| Силікатний модуль $M_c = \frac{\text{SiO}_2}{\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3}$                                                    | 1,59                                                                     | 1,96               |
| Гідравлічний модуль $M_{\text{гдр}} = \frac{\text{CaO}}{\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3}$                          | 2,37                                                                     | 2,59               |
| Коефіцієнт якості $\text{КЯ} = \frac{\text{CaO} + \text{MgO} + \text{Al}_2\text{O}_3}{\text{SiO}_2 + \text{MnO}}$                               | 4,21                                                                     | 4,29               |
| Коефіцієнт насичення $\text{КН} = \frac{\text{CaO} - (1,65\text{Al}_2\text{O}_3 + 0,35\text{Fe}_2\text{O}_3)}{2,8\text{SiO}_2}$                 | 1,18                                                                     | 1,23               |
| КН по Лі-Паркеру $\text{КН} = \frac{100\text{CaO}}{2,8\text{SiO}_2 + 1,18\text{Al}_2\text{O}_3 + 0,65\text{Fe}_2\text{O}_3}$                    | 115,2                                                                    | 120,5              |
| КН по Кінду-Джангу $\text{КН} = \frac{\text{CaO} - (1,65\text{Al}_2\text{O}_3 + 0,35\text{Fe}_2\text{O}_3 + 0,7\text{SiO}_2)}{2,8\text{SiO}_2}$ | 0,93                                                                     | 0,98               |

Таблиця 7

Розрахований мінеральний склад цементного клінкеру

| Мінерал           | Масова частка мінералу, % |           |
|-------------------|---------------------------|-----------|
|                   | Склад № 1                 | Склад № 2 |
| C <sub>3</sub> S  | 60,12                     | 60,02     |
| C <sub>2</sub> S  | 16,88                     | 16,85     |
| C <sub>3</sub> A  | 6,59                      | 6,58      |
| C <sub>4</sub> AF | 11,48                     | 11,45     |

Таблиця 8

Фізико-механічні властивості зразків цементного клінкеру (позначення складів відповідають табл. 4)

| Номер складу | Межа міцності при стисненні за термін, МПа |        | Класифікація клінкеру за активністю |
|--------------|--------------------------------------------|--------|-------------------------------------|
|              | 2 доби                                     | 28 діб |                                     |
| Склад № 1    | 17,5                                       | 43,1   | КТ2                                 |
| Склад № 2    | 16,0                                       | 41,2   | КТ2                                 |

#### ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

5

Цементний клінкер як комплексне в'язуче, у сировинну суміш якого входять відвальні породи вуглевидобутку, який **відрізняється** тим, що компонентами сировинної суміші виробництва цементного клінкеру є негорілі породи вугільних відвалів як глинистий компонент, вапняк, пісок і піритні недогарки, з наступним співвідношенням компонентів, мас. %: негорілі породи 5,8-10,2; вапняк 77,6-80,3; пісок 9,2-10,4; піритні недогарки 3,0-3,5.

10

Комп'ютерна верстка Г. Паяльніков

Міністерство розвитку економіки, торгівлі та сільського господарства України,  
вул. М. Грушевського, 12/2, м. Київ, 01008, Україна

ДП "Український інститут інтелектуальної власності", вул. Глазунова, 1, м. Київ – 42, 01601