



Свідерський В.А.



Черняк Л.П.



Дорогань Н.О.



Сорока А.С.

**Свідерський В.А., доктор технічних наук, професор;**  
**Черняк Л.П., доктор технічних наук, с.н.с.,**  
**Дорогань Н.О., аспірант, Національний технічний університет України «КПІ», м. Київ, Україна,**  
**Сорока А.С., провідний програміст, м. Торонто, Канада**

## ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ПОРТЛАНДЦЕМЕНТУ

Технологія виробництва портландцементу пов'язана з використанням значних обсягів карбонатної та глинистої сировини природного і техногенного походження [1–4]. Якість цементного клінкеру може бути характеризовано: хімічним складом; числами коефіцієнту насичення і модулів, що відображають кількісне співвідношення основних оксидів; структурою, вмістом і морфологією основних клінкерних мінералів [5–10]. Склад сировинної суміші для отримання клінкеру є одним з головних факторів, що визначають особливості його структуроутворення і властивості цементу. Методика визначення складу сировинної суміші тривалий час базується на розрахунках за хімічним складом обмеженого числа (2÷4) обраних компонентів. Значне розширення різновидів потенційної природної та техногенної сировини для отримання клінкеру визначає актуальність вдосконалення методики визначення та оптимізації складу сировинних сумішей з заданими характеристиками, в напрямку чого виконана подана робота.

### 1. Принцип рішення задачі

У хімічній технології цементу як основний компонент використовують сировину з високим вмістом СаО (вапняк, крейда, мергель), до якої додають другий компонент з підвищеним вмістом SiO<sub>2</sub> і Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (глину, каолін), а потім при необхідності коригування вводять третій і четвертий компоненти. Вихідні матеріали подрібнюють, змішують і випалюють при максимальній температурі  $\geq 1450^{\circ}\text{C}$ , внаслідок чого отримують портландцементний клінкер із заданими характеристиками.

Склад портландцементного клінкеру характеризується: вмістом оксидів; значеннями коефіцієнту насичення **КН**, кремнеземного (силікатно-го) **n** та глиноземного **p** модулів; вмістом кристалічних утворень і склофази. Найбільш розповсюдженим є спосіб розрахунку сировинної суміші за заданими значеннями  $\text{КН} = 0,88 \div 0,95$ ,  $n = 1,90 \div 3,0$ ,  $p = 0,90 \div 2,0$  [12, 13]. При цьому кількість сировинних компонентів суміші повинна бути на одиницю більшою, ніж кількість заданих характеристик.

Принцип оперативної оптимізації рішення задачі на комп'ютері на основі спеціального програмного забезпечення зводиться до наступного:

1. Вводиться таблиця з хімічним складом нелімітованого числа ймовірних сировинних компонентів ( $\geq 4$ ).
2. Задаються значення КН (для розрахунку двохкомпонентної суміші), КН і n (для розрахунку трикомпонентної суміші), КН, n і p (для розрахунку чотирикомпонентної суміші).
3. За прийнятими формулами розрахунку визначаються всі поєднання по два, три або чотири компоненти, які забезпечують задані характеристики клінкеру. Таким чином при будь-якій достатньо великій сировинній базі можна оперативно визначити раціональні співвідношення компонентів у вихідній сировинній суміші.

### 2. Опис комп'ютерної програми

Рішення поставленої задачі здійснюється із застосуванням спеціально створеною програми «КЛІНКЕР» [14]. Програма написана на мові програмування C#. Вона може виконуватися на будь-якому ПК під управлінням операційної системи Windows, версії NT і пізніших.

Хімічний склад будь-якого числа потенційної сировини як вихідні дані розміщуються у файлі Components.txt, формату CSV. Він

може бути сформований і відкоректований будь-яким текстовим редактором або із застосуванням Excel.

Програма виконує розрахунок в одному з варіантів: 2-х, 3-х або 4-х компонентної суміші. Вибір варіанту здійснюється користувачем після виклику програми в інтерактивному режимі через вікно на моніторі (рис. 1).

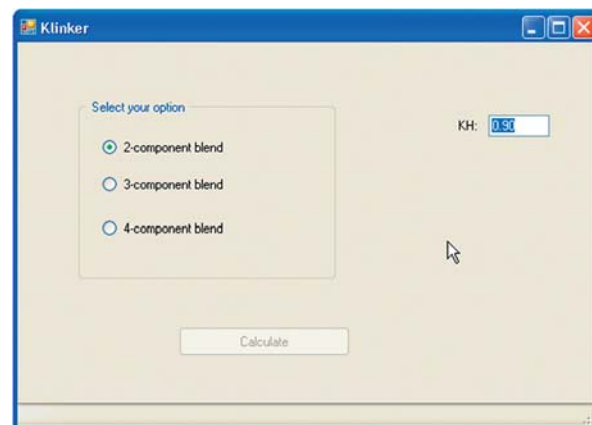


Рис. 1. Інтерактивне вікно на моніторі комп'ютеру

Після вибору варіанта розрахунку користувачеві надається можливість ввести параметри розрахунку в числові вікна:

- при розрахунку 2-х компонентної суміші – число КН;
- при розрахунку 3-х компонентної суміші – числа КН і n;
- при розрахунку 4-х компонентної суміші – числа КН, n і p;

Якщо всі числа введені правильно, то після введення останнього з них (залежить від варіанту розрахунку) кнопка **Calculate** стає доступною. Натискання кнопки **Calculate** ініціює розрахунок варіанту. Програма інформує користувача про завершення розрахунку, висвічуючи вікно з повідомленням **Done**.

У результаті розрахунку програма формує вихідний текстовий файл, що містить склад можливих сировинних

сумішей (мас. % компонентів), хімічний склад суміші та клінкеру з неї (мас. % оксидів), відповідні числа **КН, n, p**. Назва файлу саме по собі інформує про те, результати якого розрахунку він містить.

Встановлено, що за даною методикою за допомогою ПК вдається визначати 2-х, 3-х і 4-х компонентні варіанти сумішей для виготовлення клінкеру з рівними заданими характеристиками. При цьому час розрахунку практично не залежить від вихідного числа можливих сировинних матеріалів.

Точність одержуваних результатів залежить виключно від величини похибки вихідних даних, що вводяться в ПК, тобто від точності визначення хімічного складу можливих сировинних матеріалів.

### 3. Практичне використання програми «КЛІНКЕР»

Розроблена програма «КЛІНКЕР» пройшла налагодження і успішно використовується для кількісного визначення складу сировинних сумішей цементного клінкеру з заданими характеристиками з безлімітного числа можливих сировинних матеріалів. Крім того, операційна швидкість розрахунків дозволяє отримати значний обсяг аналітичної інформації.

Так, на основі результатів розрахунків трикомпонентних сумішей, для отримання білого портландцементного клінкеру з волчєярівської крейди, володимирського каоліну та авдіївського кварцового піску встановлено ряд залежностей. Із зміною співвідношення вказаних компонентів вихідної суміші при варіюванні числа коефіцієнту насичення та кремнеземного модулю суттєво змінюється концентрація барвних оксидів у клінкері та відповідно його білізна (рис. 2). Найменша концентрації барвних оксидів на рівні 0,46-0,51 мас. % досягається при значеннях  $КН = 0,90-0,95$  і  $n = 3,0-3,5$ .

Відзначається, що із збільшенням кремнеземного модуля зменшується глиноземний модуль  $p$  (рис.3). Для  $КН = 0,80$  при збільшенні  $n$  від 2,0 до 3,5 числа глиноземного модуля зменшується з 19,70 до 17,36 або на 11,9 %, для  $КН = 0,95$  при збільшенні  $n$  від 2,5 до 3,5 – з 18,70 до 16,54 або на 11,6 %.

За прогнозними розрахунками вмісту кристалічних фаз (згідно ДСТУ Б В.2.7 -46:2010) клінкер з мінімальною кількістю барвних оксидів  $Fe_2O_3 + TiO_2 = 0,46-0,50$  мас. % характеризується утворенням 1,12-1,19 мас. %  $C_4AF$ , при цьому із збільшенням числа коефіцієнту насичення вірогідна кількість  $C_3S$  зростає, а  $C_2S$  – зменшується.

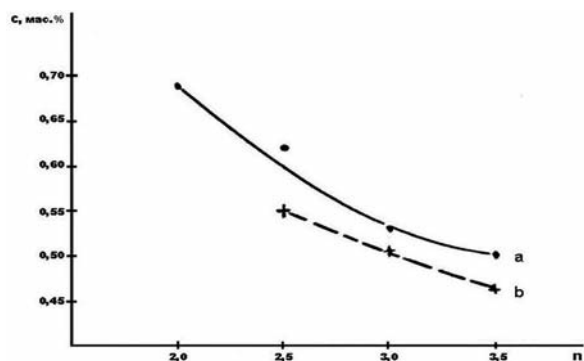


Рис. 2. Залежність вмісту барвних оксидів (С) від кремнеземного модулю (n) клінкеру ЄЦЗ при коефіцієнті насичення  $КН = 0,80$  (а) і  $КН = 0,95$  (б)

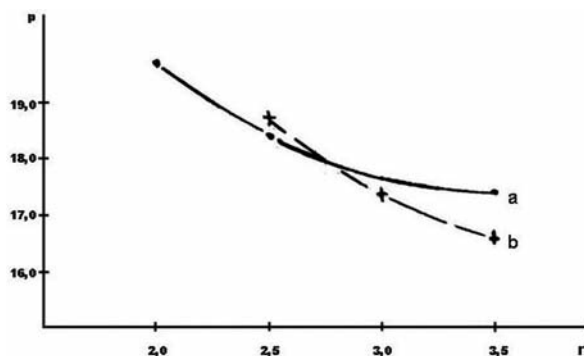


Рис. 3. Залежність глиноземного модулю (p) від коефіцієнту насичення (КН) клінкеру ЄЦЗ при коефіцієнті насичення  $КН = 0,80$  (а) і  $КН = 0,95$  (б)

### Висновки

1. Визначення складу сировинної суміші із застосуванням створеної комп'ютерної програми «КЛІНКЕР» необхідно для оптимізації технологічних параметрів і підвищеної техніко-економічної ефективності виробництва портландцементу з комплексним використанням природних і техногенних ресурсів.

2. Створена програма «КЛІНКЕР» має бути використана фахівцями цементної промисловості, виробничих, науково – дослідних і проектних організацій, що працюють в галузі хімічної технології силікатів, викладачами та студентами вищих навчальних закладів за спеціальністю «Хімічні технології тугоплавких неметалевих і силікатних матеріалів».

### Література:

1. Duda Walter H. Cement Data Book, Volume 3: Raw Material for Cement Production – French & European Pubns, 1988. – 188 p.
2. Комплексное развитие сырьевой базы промышленности строительных материалов / Удачкин И.Б., Пащенко А.А., Черняк Л.П., Захарченко П.В., Семидидько А.С., Мясникова Е.А. – К.: Будівельник, 1988. – 104 с.
3. Дворкин Л.И., Дворкин О.Л. Строительные материалы из отходов промышленности: учебно-справочное пособие. – Ростов н/Д: Феникс. – 2007. – 363 с.
4. Техногенные материалы в производстве цемента: монография/ В.К. Классен, И.Н. Борисов, В.Е. Мануйлов; под общ. ред. В.К. Классена. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2008. – 126 с.
5. Юнг В.Н. Введение в технологию цемента. – М.-Л.: Госстройиздат, 1938. – 404 с.
6. Технология вяжущих веществ. Под общ. ред. Юнга В.Н. / А.Н. Боков, Ю.М. Бутт, В.К. Дейнека, С.Д.Окороков, В.Н. Юнг– М.: Госстройиз-дат, 1947. – 327 с.
7. Бутт Ю.М., Сычев М.М., Тимашев В.В. Химическая технология вяжущих материалов. – М.: Высшая школа, 1980. – 460 с.
8. Taylor H. F. W. Cement Chemistry – London: Thomas Telford Publishing; 2 edition, 1997 – 459 p.
9. Kurdowski W. Chemia cement – Warszawa: PWN, 1991. – 478 s.
10. Hewlett Peter C. Lea's Chemistry of Cement and Concrete – London: Butterworth-Heinemann; 4 edition, 2004.- 1092 p.
11. Bogye R. X. The Chemistry of Portland cement. – New York: 1995. – 326 p.
12. Хімічна технологія тугоплавких неметалевих і силікатних матеріалів у прикладах і задачах : навч. посіб. У 2 ч. – Ч. 1: Технологічні розрахунки в хімічних технологіях тугоплавких неметалевих і силікатних матеріалів / Л.Л. Брагіна, А.М. Корогодська, О.Я. Пітак [та ін.]; за редакцією М.І. Рищенка. – Харків: Підручник : НТУ «ХП», 2012.– 332 с.
13. Зогуля П.В. Проектирование цементных заводов /П.В. Зогуля, Ю.А. Никифоров – С.-Петербург: Синтез. – 1994.- 444с.
14. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 49371 Україна. Комп'ютерна програма «КЛІНКЕР» /Свідерський В.А., Черняк Л.П., Дорогань Н.О.; заявник НТУ України «КП». – дата реєстрації 30.05.2013.