

ПИТАННЯ СТРУКТУРОУТВОРЕННЯ ЦЕМЕНТНОГО КЛІНКЕРУ ПРИ ВИКОРИСТАННІ ВІДХОДІВ ПРОМИСЛОВОСТІ

QUESTIONS OF STRUCTURAL FORMATION OF CEMENT CLINKER WHEN USING INDUSTRIAL WASTE

Дорогань Н.О., к.т.н., доцент, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-4304-1297>,
Черняк Л.П., д.т.н., професор, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8479-0545>,
Шнирук О.М., асистент, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7840-6201>
(Національний технічний університет України «КПІ імені Ігоря Сікорського»)

Dorogan N.O., PhD, Associate Professor, **Chernyak L.P.**, Dr., Professor,
Shnyruk O.M., assistant (National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»)

Розглянуто особливості структуроутворення сировинних сумішей з використанням золи виносу ТЕС в технологічному процесі виготовлення цементного клінкеру. Із застосуванням комп'ютерної програми «Клінкер» дана кількісна оцінка можливих об'ємів використання відходів, показано особливості коагуляційного структуроутворення шламу, формування фазового складу при випалі з максимальною температурою 1400 °С та властивостей цементу.

The use of waste from other industries as a component of raw material mixtures for producing cement clinker requires taking into account their complex impact on the processes of structure formation in the technological production cycle.

This work examines the features of the structure formation of raw material mixtures using high-tonnage waste from the thermal power industry in the technological process of cement clinker production. The object of the study was three-component raw material mixtures based on silicate systems of limestone with various alumino-silica-containing components and fly ash from the Burshtyn TPP. The work used a combination of modern physicochemical analysis methods with standardized testing of raw material and binder properties. Structural, mechanical and rheological properties of cement slurry samples were determined using Weiler-Rebinder and Rheotest-2 devices. X-ray phase analysis of clinker samples was performed using a DRON-3M diffractometer. Using the computer program "Clinker", a quantitative assessment of the possible volumes of waste utilization was given and the composition of mixtures with a content of 8.5 to 15.5 wt. % of fly ash was

determined. The influence of fly ash on the structural, mechanical and rheological characteristics of sludge is shown, which determines the possibility of regulating its stability in working tanks and fluidity during transportation through pipelines. The increased content of iron oxides and the glass phase of fly ash contribute to the intensification of sintering of the mixture during firing with changes in the phase composition of clinker. It has been determined that the development of the physicochemical principles of the structure formation of silicate systems in the processes of clinker production using technogenic raw materials is an important aspect of further modernization of technology and equipment of modern cement production.

Ключові слова: цемент, сировина, склад, структура, фази кристалічні, властивості
cement, raw material, composition, structure, crystalline phases, properties.

Вступ

Технологія виготовлення цементу розвивається в напрямках розширення асортименту та напрямків використання, вдосконалення обладнання, зменшення питомих енерговитрат при випалі та помелі [1,2]. Подальше підвищення ефективності виробництва потребує комплексного вирішення питань технології, ресурсозбереження та екології як факторів стабільного розвитку. Ці питання мають вирішуватися на інноваційній основі – шляхом розвитку фізико-хімічних засад методології отримання в'язучих речовин, виходячи з концепції сучасного матеріалознавства про зв'язок "склад – структура – властивості" [3,4].

Клінкер є основною частиною кінцевого продукту та головним чином визначає властивості та якість цементу [5]. При цьому хімічна технологія виготовлення клінкеру характеризується високою ресурсоемністю: великими питомими витратами природної сировини (1,6-1,8 т/т клінкера) і теплової енергії при випалі на температуру ≥ 1400 °С.

Вичерпність і невідновність запасів природної мінеральної сировини, зростаючі витрати на видобуток та вартість обумовлюють доцільність її заміни на відходи інших галузей промисловості як техногенну сировину [6-8]. При цьому привертають увагу багатотоннажні відходи теплоенергетики – зола виносу [9], аспектам застосування якої в технології цементу присвячена дана робота.

Структуроутворення в технології виробництва цементу

Згідно положень фізико-хімічної механіки технологічний процес виробництва силікатних матеріалів є за своєю суттю процесом формування та послідовних перетворень їх структури [10-12]. При цьому виділяють три основних типи структури: коагуляційну, конденсаційну та кристалізаційну.

В сучасному виробництві цементу застосовуються мокрий, комбінований та сухий способи, які при певних відмінностях параметрів процесів технології та структуроутворення мають забезпечити однаково високі задані властивості продукції. Властивості цементу тісно пов'язані з вихідною сировиною, параметрами виробництва, складом клінкера, ступенем його диспергування та добавками при помелі.

Загальним для всіх способів виробництва цементу є утворення дисперсної системи сировинної суміші на стадії подрібнення, помелу, змішування і гомогенізації вихідних матеріалів.

Незалежно від хімічної природи, фізичних властивостей та цільового призначення дисперсні системи з участю твердих фаз поділяють на три основні групи [13]. При мокрому та комбінованому способах внаслідок подрібнення, змішування, гомогенізації суміші сировинних матеріалів з водою виготовляється цементний шлам – водна дисперсна система, що відноситься до 2-ї групи: двофазні системи типу тверда дисперсна фаза – рідинне дисперсійне середовище. При сухому способі внаслідок подрібнення, змішування, сушки суміші вихідних матеріалів утворюється дисперсна система, що відноситься до 3-ї групи: трьохфазні системи типу тверда дисперсна фаза – воднорідинне та повітряногазове дисперсійне середовище.

Коагуляційна структура сировинних сумішей визначається властивостями поверхні та гідрофільністю, хіміко - мінералогічним складом, дисперсністю та концентрацією частинок дисперсної фази. Остання значно зростає в сумішах при переході від мокрого до комбінованого і сухого способів виробництва.

Особливості формування коагуляційної структури цементного шламу в технологічному процесі визначаються стадійністю: взаємодія поверхні частинок компонентів дисперсної фази з водним дисперсійним середовищем, зміна хіміко - мінералогічного та гранулометричного складів при спільному помелі карбонатних і глинистих компонентів та мінеральних добавок часткове руйнування та зміна реологічних характеристик під зовнішнім тиском при транспортуванні збільшення концентрації дисперсної фази при частковому (за комбінованим способом) або інтенсивному (за мокрим способом) зневодненні в обертовій печі.

Процес утворення коагуляційно-конденсаційної та конденсаційної структур в сучасній технології портландцементу має місце на етапах виготовлення сировинної суміші при комбінованому і сухому способах виробництва. При мокрому способі виробництва стадія конденсаційного структуроутворення мінімізована за часом і фактично поступається місцем процесам фазових перетворень і формування кристалізаційної структури клінкеру при випалі.

Кристалізаційна структура портландцементного клінкеру характеризується видом, кількістю, ступенем морфологічної досконалості

кристалічних утворень, складом склофаз, кількісним співвідношенням кристалічної та склофаз. Утворення кристалізаційної структури клінкеру проходить при термічній обробці сировинної суміші на стадіях декарбонізації та руйнування кристалічних ґраток породотворюючих мінералів дисперсних частинок, твердофазних реакцій фізико-хімічної взаємодії продуктів руйнування, утворення рідкої фази, спікання в присутності рідкої фази, кристалізації новоутворень з рідкої фази та охолодження [14-16]. Вочевидь, в такому процесі спікання силікатна система може визначатись наявністю коагуляційної структури другого роду і також бути віднесена до 2-ї групи: двофазні системи типу тверда дисперсна фаза – рідинне дисперсійне середовище (розтоп). При цьому хіміко-мінералогічний склад суміші, спосіб її підготовки та параметри високотемпературної обробки – випалу є визначальними факторами досягнення заданого мінералогічного складу клінкеру.

Кінцеві показники властивостей цементу досягаються на стадії тонкого спільного помелу клінкеру з мінеральними добавками, внаслідок чого різко зростають ступінь дефектності, ефективна питома поверхня і реакційна здатність в'язучого матеріалу. При цьому дисперсна система відноситься до 1-ї групи: двофазні системи типу тверда дисперсна фаза – газоповітряне дисперсійне середовище.

Для ефективного регулювання властивостей силікатних матеріалів, у тому числі цементу, слід комплексно розглядати процеси структуроутворення та технології виробництва.

Експериментальна частина

Методи та об'єкти дослідження

Об'єктом дослідження стали трикомпонентні сировинні суміші на основі силікатних систем вапна з різновидами алюмо-кремнеземвмісних компонентів та золою виносу Бурштинської ТЕС для виготовлення цементного клінкеру.

В роботі використовували сполучення сучасних фізико-хімічних методів аналізу із стандартизованими тестуваннями властивостей сировини та в'язучих речовин [17-19].

Структурно-механічні та реологічні властивості проб цементного шламу визначали на приладах Вейлера-Ребіндера та Реотест-2.

Рентгенофазовий аналіз зразків клінкеру (порошкові препарати) проводили за допомогою дифрактометру ДРОН-3М (випромінювання $\text{Cu K}\alpha$ 1-2, напруга 40 kV, струм 20 mA, швидкість 2 град/хв.).

Відповідно до сучасної технології цементу сировинні суміші визначеного складу готували шляхом дозування компонентів по масі, змішування та гомогенізації при помелі у кульовому млині, випалу і тонкому помелу кінцевого продукту.

Всі проби дослідних сумішей, показники яких порівнювали, готували з однакою вологістю, сушили та випалювали разом, аби виключити можливість різниці в ступеню термічної обробки.

Як карбонатний компонент застосовували вапняк Дубовецького родовища Івано-Франківської обл., як алюмо-кремнеземвіні компоненти – золу виносу Бурштинської ТЕС, глину Кривинського родовища, незбагачений каолін глуховецький КССК, і пілокварц Новоселівського ГЗК

Розрахунки та аналіз складу сировинних сумішей для виготовлення цементного клінкеру проводили з використанням створеної комп'ютерної програми «Клінкер» [20]. Це дозволило оперативно визначити раціональні співвідношення компонентів у вихідній сировинній суміші за заданими значеннями коефіцієнту насичення КН та кремнеземного n модулю.

Так, встановлено, що у сумішах на основі системи вапняк –глина – зола виносу в інтервалі значень коефіцієнта насичення $КН = 0,80-0,95$ можливий вміст золи виносу становить від 2,8 до 10,4 мас. % (рис. 2). При цьому очевидно, що можливий вміст досліджуваних відходів зменшується із збільшенням заданих значень $КН$ і n .

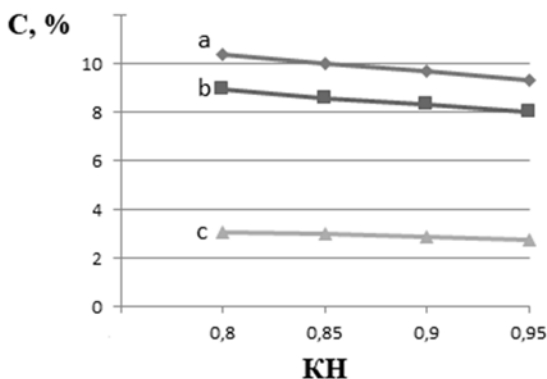


Рис. 1. Залежність вмісту золи виносу (C_1) в суміші на основі системи вапняк – глина від коефіцієнту насичення $КН$ клінкеру при кремнеземному модулі $n=1,9$ (a), $n=2,0$ (b) і $n=2,5$ (c)

Відповідні аналогічні залежності були встановлені для систем вапняк – КССК – зола виносу та вапняк –пілокварц – зола виносу.

На основі комп'ютерних розрахунків для подальшого дослідження було обрано сировинні суміші із вмістом золи виносу від 8,5 до 15,5 мас. % (табл. 1).

Таблиця 1

Склад сировинних сумішей

Код суміші	Вміст компонентів, мас. %				
	вапняк	глина	каолін КССК	пилокварц.	зола виносу
10Т	79,0	12,5	-	-	8,5
11Т	80,0	-	9,5	-	10,5
12Т	79,5	-	-	5,0	15,5

За хімічним складом досліджувані суміші мають певні відмінності (табл. 2). Так, суміш 11Т з застосуванням каоліну КССК характеризується відносно більшим вмістом Al_2O_3 (4,0 проти 3,5-3,7 мас. %) і меншим вмістом Fe_2O_3 (3,3 проти 3,60-4,61 мас.%), а суміш 12Т з найбільшою кількістю золи-виносу відзначається відносно більшим вмістом SiO_2 і Fe_2O_3 та меншим вмістом Al_2O_3 . При цьому суміш 11Т відзначається меншим кількісним співвідношенням оксидів SiO_2 : Al_2O_3 (3,6 проти 3,9-5,0), що вказує на відносно більшу тугоплавкість. Суміш 12Т відрізняється більшим кількісним співвідношенням оксидів CaO : Al_2O_3 (14,0 проти 10,6-11,3), що вказує на можливі відмінності щодо утворення при випалі кристалічних фаз алюмініатів і алюмосилікатів кальцію.

Таблиця 2

Хімічний склад сировинних сумішей

	Вміст оксидів, мас. %							
	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	SO_3	В.п.п	Сума
10Т	14,70	3,75	3,60	42,42	0,81	0,12	34,60	100,0
11Т	14,67	4,01	3,33	42,70	0,65	0,12	34,52	100,0
12Т	15,14	3,05	4,51	42,65	0,65	0,11	33,89	100,0

Мінералогічний склад досліджуваних сумішей характеризується привалуючим вмістом кальциту та кварцу. При цьому застосування в пробі 10Т кривинської глини обумовлює наявність в суміші домішок гідрослюди, каолініту і польових шпатів. Проба 11Т із застосуванням каолініту відзначається значним вмістом каолініту.

Структурування водних систем сировинних сумішей

Проведені дослідження дозволили виявити особливості коагуляційного структурування цементного шламу при диференціації вмісту золи-виносу та інших алюмо-кремнеземвмісних компонентів сировинної суміші для отримання клінкеру.

Аналіз деформаційних процесів водних дисперсних систем показало (табл. 3-5), що при однаковій вологості (32 %) за характером розвитку деформацій – швидкої еластичної ϵ_0' , повільної еластичної ϵ_2' і пластичної $\epsilon_1'\tau$ проби шламу належать до IV-го структурно – механічного типу, коли $\epsilon_1'\tau > \epsilon_0' > \epsilon_2'$. При цьому відзначаються відмінності в кількісних значеннях і співвідношенні вказаних різновидів деформації.

Таблиця 3

Структурно-механічні характеристики проб цементного шламу

Код проби (вологість, мас.%)	Модуль швидкої еластичної деформації $E_1 \cdot 10^{-4}$, Па	Модуль повільної еластичної деформації $E_2 \cdot 10^{-4}$, Па	Умовна статична межа плинності R_{kl} , Па	Найбільша пластична в'язкість $\eta_1 \cdot 10^{-2}$, Па·с	Еластичність λ	Статична пластичність $\frac{P_{kl}}{\eta_1} \cdot 10^2 \text{ c}^{-1}$	Період істинної релаксації θ_1 , с	Умовний модуль деформації $E_c \cdot 10^{-10}$, дж/см ³
10Т	5,69	18,12	2,4	7,27	0,24	0,33	168	0,62
11Т	4,57	6,48	2,1	11,97	0,41	0,17	447	0,83
12Т	4,83	5,54	0,8	8,37	0,47	0,096	324	0,84

Таблиця 4

Розвиток деформацій в пробах цементного шламу

Код суміші	Характер деформації			Коефіцієнт стійкості ϵ_0'/C	Структурно-механічний тип
	швидка еластична $\epsilon_0' \cdot 10^8$	повільна еластична $\epsilon_2' \cdot 10^8$	пластична $\epsilon_1'\tau \cdot 10^8$		
10Т	3,51	1,10	27,51	0,16	IV
11Т	4,38	3,09	16,71	0,26	IV
12Т	4,14	3,61	23,89	0,19	IV

Так, при застосуванні каоліну КССК замість глини проба 11Т відрізняється від 10Т більшим розвитком швидкої еластичної ϵ_0' ($4,38 \cdot 10^8$ проти $3,51 \cdot 10^8$) і повільної еластичної ϵ_2' ($3,09 \cdot 10^8$ проти $1,10 \cdot 10^8$), значним зменшенням пластичної $\epsilon_1'\tau$ ($16,71 \cdot 10^8$ проти $27,51 \cdot 10^8$).

Згідно з уявленнями фізико – хімічної механіки дисперсних структур, більша кількість ϵ_0' обумовлює підвищення стійкості суспензій і вказує на зростання у водній системі проби 11Т числа контактів частинок за типом кут-кут, кут-ребро, ребро-ребро, більше число ϵ_2' – на зростання контактів за типом площа-кут, площа-ребро, площа-площина., зменшення $\epsilon_1'\tau$ вказує на погіршення плинності.

Таблиця 5

Реологічні показники проб цементного шламу

Код проби	Умовна динамічна межа плинності $\mathbf{P_{K2}}$, Па	Найменша пластична в'язкість $\mathbf{\eta_m^X \cdot 10^{-2}}$, Па·с	Динамічна пластичність $\mathbf{\Psi \cdot 10^4}$, с ⁻¹
10Т	5,00	1,19	4,42
11Т	7,50	1,22	6,15
12Т	2,80	1,41	1,99

Збільшення показників шведівської в'язкості η_1 та межі плинності $\mathbf{P_{K2}}$ проби 11Т корелюється із підвищенням умовного модуля деформації $\mathbf{E_e}$ ($0,83 \cdot 10^{-3}$ проти $0,62 \cdot 10^{-10}$ Дж/см³) або, відповідно, із певним зростанням сил молекулярної взаємодії та енергії зв'язку частинок дисперсної фази в системі вапняк-зола-каолін у порівнянні з системою вапняк-зола-глина.

При застосуванні новоселівського пілокварцу і збільшенні вмісту золи-виносу проба 12Т також відрізняється від 10Т більшим розвитком швидкої еластичної ϵ_0' ($4,14 \cdot 10^8$ проти $3,51 \cdot 10^8$) і повільної еластичної ϵ_2' ($3,61 \cdot 10^8$ проти $1,10 \cdot 10^8$), зменшенням пластичної $\epsilon_1' \tau$ ($23,89 \cdot 10^8$ проти $27,51 \cdot 10^8$), збільшення шведівської в'язкості η_1 і умовного модуля деформації $\mathbf{E_e}$ ($0,84 \cdot 10^{-3}$ проти $0,62 \cdot 10^{-10}$ Дж/см³).

Фазоутворення при випалі клінкеру та властивості цементу

Хімічний склад клінкеру, отриманого з досліджених сумішей також залежить від різновиду застосованого алюмо- кремнеземвмісного компоненту та концентрації золи-виносу (табл. 6).

При приблизно однаковому рівні концентрації SiO_2 (22,4-22,9 мас.%) і CaO (64,5-65,2 мас.%), проба 11Т, що містить каолін КССК відзначається відносно більшим вмістом Al_2O_3 (6,13 проти 4,6-5,7 мас.%) і найменшим вмістом Fe_2O_3 (5,1 проти 5,5-6,8 мас.%).

Таблиця 6

Розрахунковий склад цементного клінкеру

Код проби	Вміст оксидів, мас. %						Фазовий склад, %			
	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	SO_3	C_3S	C_2S	C_3A	C_4AF
10Т	22,48	5,73	5,51	64,86	1,24	0,18	46,9	28,9	5,84	16,75
11Т	22,40	6,13	5,08	65,21	1,00	0,18	46,82	28,9	7,63	15,44
12Т	22,90	4,61	6,83	64,51	0,98	0,17	47,86	29,5	0,63	20,80

Відповідно до вказаного хімічного складу клінкер з трикомпонентних сумішей характеризується прогностичним розвитком кристалічних фаз. Проби

10Т-12Т мають приблизно однаковий можливий розвиток C_3S (46,8-47,9%) і C_2S (28,9-29,5%). Проба 12Т із застосуванням кварцового піску відрізняється найменшим можливим розвитком C_3A (0,63%) і найбільшим C_4AF (20,8%).

Отримані нами експериментальні дані рентгенофазового аналізу свідчать, що проби клінкеру 10Т-12Т після випалу на максимальній температурі 1400 °С характеризується переважним розвитком C_2S при суттєво меншому C_3S , певним розвитком алюмо- і залізовмісних фаз, при цьому клінкер проби 10Т із застосуванням глини за характерними рефlekсами 4,88, 2,05 Å відрізняється найбільшим розвитком C_2F (рис. 2-4).

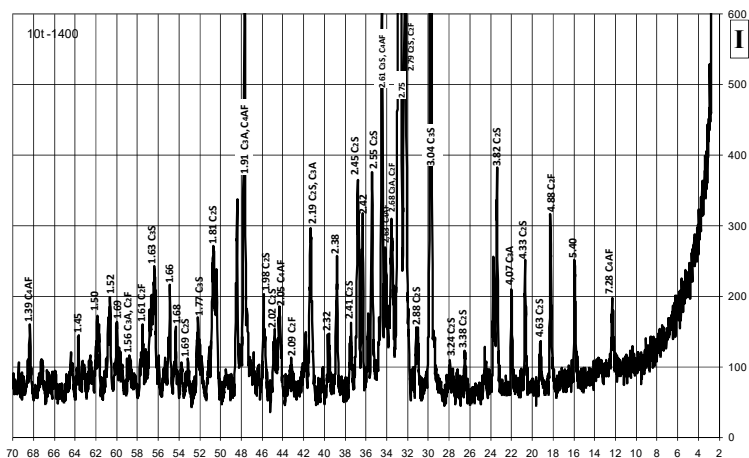


Рис. 2. Дифрактограма проби клінкеру 10Т (1400 °С)

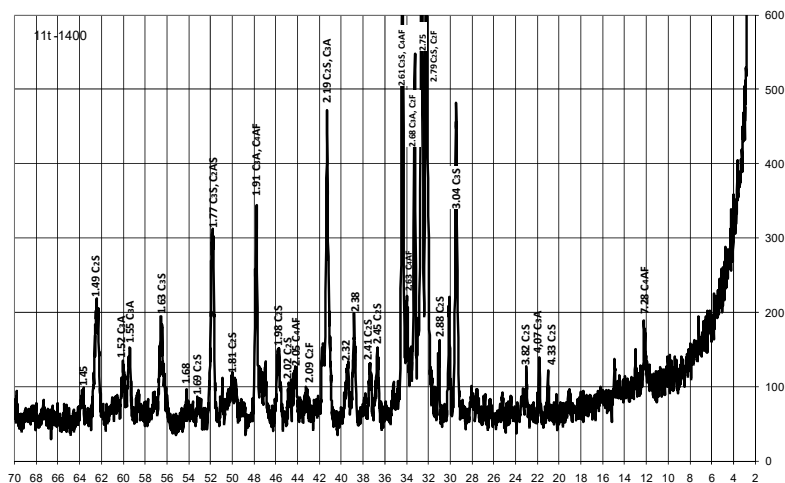


Рис. 3. Дифрактограма проби клінкеру 11Т (1400 °С)

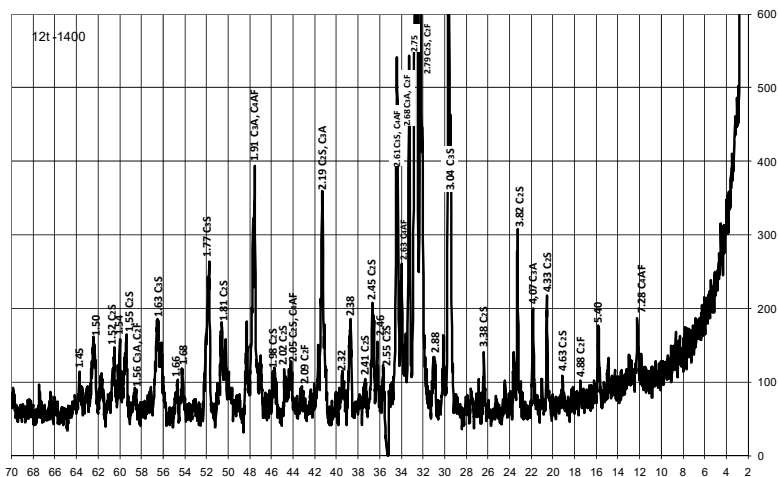


Рис. 4. Дифрактограма проби клінкеру 12Т (1400 °С)

За результатами технологічних тестувань (табл. 7) після випалу на максимальну температуру 1400 °С згідно класифікації ДСТУ Б В.27-91-99 [21] отриманий в'язучий матеріал відноситься до групи середньої міцності (30-50 МПа). За швидкістю тужавлення проби 11Т, 12Т відносяться до групи нормальноутужавіючих (термін початку від 45 хв. до 2 год), характерними представниками якої вважаються портландцемент, пуцолановий цемент і шлакопортладцемент.

Таблиця 7
Властивості цементу з досліджуваних сумішей

Код проби	Температура випалу, °С	Терміни тужавлення		Міцність, МПа	
		початок, хв.	кінець, год.	2 доби	28 діб
10Т	1400	30	11,5	9	34,0
11Т	1400	50	11,0	9	35,5
12Т	1400	50	12,5	7	29,4

Проба 10Т належить до групи швидкоутужавіючих (термін початку не раніше 15 хв. і не пізніше 45 хв.), характерними представниками якої вважаються ангідритовий та глиноземний цемент.

Висновки

1. Розвиток фізико-хімічних засад структуроутворення силікатних систем в процесах виготовлення сировинних сумішей та отримання клінкеру є важливим аспектом подальшої модернізації технології та обладнання сучасного виробництва цементу.

2. Хіміко-мінералогічний склад сировинної суміші є загальним фактором структуроутворення на стадіях технологічного процесу виробництва цементу, визначаючим характеристики коагуляційної структури при мокрому і комбінованому способах, інтенсивність спікання і характер фазових перетворень при випалі та формуванні кристалізаційної структури і властивостей в'язучого матеріалу.

3. Застосування відходів інших галузей промисловості як компоненту вихідних сировинних сумішей для отримання цементного клінкеру потребує урахування їх комплексного впливу на процеси структуроутворення в технологічному циклі виробництва. Цей вплив залежить від складу відходів та їх концентрації в сировинній суміші.

4. При застосуванні в складі сировинних сумішей золи виносу ТЕС показаний вплив на структурно-механічні та реологічні характеристики шламу визначає можливість регулювання його стабільності у робочих ємностях та текучості при транспортуванні по трубопроводах, а підвищений вміст оксидів заліза та слофаза сприяють інтенсифікації спікання при випалі із змінами фазового складу.

1. Ghosh S.N. *Advances in Cement Technology: Chemistry, Manufacture and Testing* / Taylor & Francis, 2003. – 828 p.

2. Winter Nicholas B. *Understanding Cement*. - WHD Microanalysis Consultants Ltd., 2012. - 206 p.

3. Дворкін Л.Й., Лаповська С.Д. Будівельне матеріалознавство. Підручник. – Київ: Кондор – Видавництво, 2017. – 472 с.

4. Michael F. Ashby, Hugh Shercliff, David Cebon. *Introduction to Materials Science and Engineering. A Design-Led Approach* // Elsevier, 2023. – 704 p.

5. Рунова Р.Ф. В'язучі речовини: Підручник [Текст]. / Р.Ф. Рунова, Ю.Л. Носовський, Л.Й. Дворкін, О.Л. Дворкін – К.: Основа, 2012. – 448 с.

6. Моссур П.М. Техногенне мінеральне сировинне і його використання в Україні / П.М. Моссур, С.В. Негода // ГИАБ. 2007. № 6. С.299-307.

7. Дворкін Л.И., Дворкін О.Л. *Строительные материалы из отходов промышленности: учебно-справочное пособие*. - Ростов н/Д: Феникс. - 2007. - 363 с.

8. Дворкін Л.Й., Мироненко А.В. Будівельні матеріали та вироби із застосуванням промислових відходів: навч. посіб. – Рівне : НУВГП, 2019. – 298 с.

9. Дворкін Л.Й. Ефективні золовмісні цементи, бетони та розчини: монографія. – Київ: Каравела, 2022. – 419 с.

10. Физико-химическая механика дисперсных минералов [Текст]. Под общ. ред. Ничипоренко С.П. / Ничипоренко С.П., Панасевич А.А., Хилько В.В.. – К.: Наукова думка, 1974. – 246 с.

11. Структурообразование в дисперсиях слоистых силикатов [Текст]. Под общ. ред. Ничипоренко С.П. / С.П. Ничипоренко, А.А. Панасевич, В.В. Минченко, Э.А. Костенко, М.А. Бедношея – К.: Наукова думка, 1978.–204с.
12. Сальник В.Г., Свідерський В.А., Черняк Л.П. Фізико-хімічна механіка дисперсних структур у технології будівельного фарфору - К.: Знання, 2012. – 158 с. – (Сучасна наука).
13. Урьев Н.Б. Высококонцентрированные дисперсные системы [Текст] – М.: Химия, 1980. – 320 с.
14. Taylor H. F. W. Cement Chemistry – London: Thomas Telford Publishing; 2 edition, 1997 – 459 p.
15. Bogye R. X. The Chemistry of Portland cement. – New York: 1995. – 326 p.
16. Hewlett Peter C. Lea's Chemistry of Cement and Concrete - London: Butterworth-Heinemann; 4 edition, 2004.- 1092 p.
17. Методи дослідження складу та структури композитів та сировинних матеріалів: навч. посіб. / В.А. Свідерський, Л.П. Черняк, Н.О. Дорогань, О.О. Сікорський.: – Київ : КПП ім. Ігоря Сікорського, 2024. – 165 с. –Електронний ресурс : <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/65010>
18. Хімічна технологія тугоплавких неметалевих і силікатних матеріалів у прикладах і задачах: навч. посібник у 2-х ч. Ч.1. Технологічні розрахунки в хімічних технологіях тугоплавких неметалевих і силікатних / [Брагіна Л.Л., Корогодська А.М., Пітак О.Я. та ін.]; за ред. М.І. Рищенка. – Х.: Підручник НТУ «ХПИ», 2012. – 332 с.
19. Taylor W. Purves. Practical Cement Testing / W. Purves Taylor // London: Forgotten Books, 2017. - 334 p.
20. Свідерський В.А., Черняк Л.П., Дорогань Н.О., Сорока А.С. Програмне забезпечення технології портландцементу // Строительные материалы и изделия. – 2014. - № 1 (84). – С. 16-17.
21. ДСТУ Б В.2.7-91-99. В'яжучі мінеральні. Класифікація. – Введ. 01.03.1999. – К.: Держбуд України, 1999. – 26 с.