

Анотація

Камінський А. Т. Ремонтні суміші з підвищеними експлуатаційними властивостями на основі лужного портландцементу. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 192. Будівництво та цивільна інженерія (19 – Архітектура та будівництво). – Національний університет «Львівська політехніка», Львів, 2021.

Дисертаційна робота присвячена вирішенню завдання одержання безусадочних і розширних сумішей на основі лужних портландцементів з підвищеними експлуатаційними властивостями для ремонту бетонних і кам'яних конструкцій, які відзначаються високою міцністю та надійністю. Для обґрунтування актуальності проблеми проведено аналіз особливостей вибору складу цементних сумішей для ремонту будівельних конструкцій та процесів їх руйнування з врахуванням дії комплексу факторів у різних умовах експлуатації. Розглянуто способи регулювання властивостей ремонтних сумішей за рахунок використання безусадочних та розширних цементів на основі гіпсоглиноземистого цементу. Висвітлено переваги і недоліки різних видів ремонтних сумішей та розглянуто фактори, які призводять до складності регулювання деформацій усадки-розширення при експлуатації в різних умовах, а також зниження довговічності відновлених будівельних конструкцій.

Показано, що ефективним способом для швидкого ремонту та зведення бетонних споруд є лужноактивовані цементуючі системи, які дозволяють отримати значну економію засобів, матеріалів і трудозатрат як на стадії реконструкції, так і в процесі експлуатації будівель та споруд. Проведено аналіз застосування лужних алюмінійвмісних прискорювачів тверднення, які забезпечують високу ранню міцність, проте можуть призводити до збільшення водопотреби, підвищення пористості і як наслідок зниження довговічності будівельних матеріалів. Показано, що оптимізація речовинного та гранулометричного складів основних компонентів сумішей забезпечує

необхідну мезо- та мікроструктуру розчинів та дозволяє покращити показники якості будівельних композитів. Обґрунтовано застосування суперпластифікаторів полікарбоксилатного типу з врахуванням фізичного підходу щодо зменшення водоцементного відношення в напрямку одержання довговічної цементуючої матриці безусадочних та розширних ремонтних сумішей.

Аналіз відомих закономірностей в області будівельного матеріалознавства дозволяє висунути наукову гіпотезу щодо можливості комплексного поєднання алюмінійвмісних мінеральних добавок, лужних активаторів на основі алюмінату натрію та полікарбоксилатних суперпластифікаторів для створення модифікованих лужних портландцементних систем з високою ранньою міцністю, які дозволяють одержати ремонтні безусадочні та розширні суміші, що забезпечують необхідну швидкість тверднення, міцність зчеплення з основою, тріщиностійкість, водонепроникність, тобто характеризуються покращеними експлуатаційними властивостями та довговічністю.

Наведено характеристики матеріалів для одержання ремонтних безусадочних та розширних сумішей, а саме портландцементів різних типів виробництва ПрАТ «Івано-Франківськцемент», мінеральних алюмінійвмісних добавок (зола винесення, метакаолін), лужного алюмінійвмісного активатора тверднення $\text{Na}[\text{Al}(\text{OH})_4]$ та суперпластифікаторів. Показано, що визначення фізико-механічних і будівельно-технічних властивостей лужних портландцементів та ремонтних безусадочних і розширних ремонтних сумішей проведено згідно з діючими нормативним документам і загальноприйнятими методикам. Для дослідження процесів структуроутворення ремонтних безусадочних та розширних сумішей використано сучасні методи фізико-хімічного аналізу, а саме, рентгенівську дифрактометрію, термогравіметрію, растрову електронну мікроскопію та ін. Наведено загальну блок-схему досліджень, яка показує послідовність виконання роботи та розкриває поетапно основні положення щодо фізико-хімічних особливостей процесів структуроутворення штучного каменю на

основі модифікованих лужних портландцементів, принципи створення алюмінатного нанокompозиту С-А-Н-Н-РСЕ як високоефективного прискорювача тверднення портландцементних систем, дослідження засобів регулювання властивостей ремонтних сумішей на основі лужного портландцементу, розроблення безусадочних та розширних ремонтних сумішей на основі модифікованих лужних портландцементів та дослідження їх будівельно-технічних властивостей.

В роботі теоретично обґрунтовано та експериментально підтверджено можливість отримання швидкотверднучих ремонтних безусадочних сумішей з покращеними експлуатаційними властивостями за рахунок розроблення лужних портландцементів з добавкою вапняку, застосування активної мінеральної добавки пуцоланічної дії (золи-винесення), лужного алюмінійвмісного активатора тверднення $\text{Na}[\text{Al}(\text{OH})_4]$ і суперпластифікатора полікарбоксилатного типу РСЕ, а також високоефективних ремонтних розширних сумішей, одержаних шляхом введення комплексної лужної розширної добавки $\text{Na}[\text{Al}(\text{OH})_4]\text{-CaO-CaSO}_4\text{x2H}_2\text{O-РСЕ}$ з врахуванням технічних і економічних переваг.

Експериментальними дослідженнями встановлено, що при введенні 1,5..3,0 мас.% лужного алюмінійвмісного активатора тверднення $\text{Na}[\text{Al}(\text{OH})_4]$ до портландцементу з вапняком СЕМ II/A-LL (В/Ц=0,5) рухливість цементно-піщаного розчину зменшується до 125-110 мм. За рахунок процесів прискореного утворення еtringіту забезпечується приріст ранньої міцності на стиск через 14 та 24 год до 7,5 та 10,0 МПа, тоді як через 2; 7 та 28 діб спостерігається зниження міцності в 1,8-3,0 рази порівняно зі складом без добавок, що обумовлено зростанням пористості каменю внаслідок збільшення водопотреби в'язучого. Показано, що при введенні суперпластифікатора полікарбоксилатного типу РСЕ за рахунок водоредукуючого ефекту ($\Delta\text{В/Ц}=28,0\%$) відбувається зростання особливо ранньої міцності - через 14 год до 9,6 МПа. В той же час, збільшення вмісту $\text{Na}[\text{Al}(\text{OH})_4]$ до 5,0 мас.% призводить до різкого зменшення рухливості цементно-піщаного розчину від 152 до 105 мм при В/Ц=0,50 та прискорення термінів початку тужавіння – до

45 хв, що обумовлено утворенням значної кількості плівкоподібних гідроалюмінатних фаз C_4AH_{19} , які формуються в умовах підвищеної лужності середовища (рН збільшується від 12,5 до 13,2).

Розроблено лужні портландцементи з високою ранньою міцністю різних типів з добавкою лужного алюмінійвмісного активатора тверднення $Na[Al(OH)_4]$. Встановлено, що при введенні 1,5 мас.% $Na[Al(OH)_4]$ та золинесення до складу портландцементу з добавкою вапняку при $V/C=0,50$ ($R_K=170$ мм) рання міцність через 12 та 24 год тверднення складає 6,3 та 15,6 МПа, стандартна – 54,6 МПа. Показано, що при введенні 1,0 мас.% РСЕ за рахунок водоредукуючого ефекту $\Delta V/C=30,0\%$ ($R_K = 170$ мм) забезпечується збільшення ранньої міцності через 12 та 24 год - в 4,5 рази (19,3 МПа) та в 2,3 рази (35,0 МПа). Через 2 доби міцність на стиск зростає в 1,8 рази (51,2 МПа), а через 28 діб - у 1,2 рази (73,7 МПа); при цьому $R_{ct1}/R_{ct28}=47,5\%$; $R_{ct2}/R_{ct28}=69,4\%$. Згідно ДСТУ Б EN 197-1 розроблений модифікований лужний портландцемент характеризується високою ранньою ($R_{ct2}= 38,2$ МПа) та стандартною ($R_{ct28} = 60,1$ МПа) міцностями та відноситься до класу 52,5 R. Методом математичного планування експерименту показано, що оптимальний вміст 1,5 мас.% $Na[Al(OH)_4]$ та 1,0% РСЕ забезпечує одержання модифікованого лужного композиційного портландцементу з високою ранньою міцністю ($R_{ct2}=32,0$ МПа, $R_{ct28}=55,6$ МПа). Направлене регулювання процесів раннього структуроутворення лужних портландцементів визначає їх покращені будівельно-технічні властивості.

Розкрито закономірності формування фазового складу та мікроструктури гідросульфалюмінатних цементуючих систем з використанням методів фізико-хімічного аналізу. Показано, що комплексне поєднання золинесення і вапняку в лужноактивованій цементуючій матриці забезпечує інтенсифікацію процесів раннього структуроутворення за рахунок утворення гідрокарбоалюмінатів та лужних цеолітоподібних гідроалюмосилікатів N-S-A-S-H. Обґрунтовано новий підхід до направленою регулювання процесів раннього структуроутворення в цементуючих системах за рахунок введення в якості ефективного активатора тверднення синтезованого за методом золь-

гель технології алюмінатного нанокompозиту C-A-N-H-PCE, який відноситься до класу інженерних матеріалів на основі шаруватих подвійних гідроксидів (CaAl LDH) та органічних добавок, що створює можливість отримання безусадочних швидкоотверднучих цементних ремонтних сумішей. Згідно даних електронної мікроскопії встановлено, що в модифікованій лужноактивованій цементуючій матриці за рахунок явища адсорбційного модифікування переважно утворюються дрібнодисперсні голчасті кристали еtringіту. Показано, що в процесі її тверднення спостерігається їх інтенсивне зрощення, що сприяє за рахунок явища «самоармування» значному збільшенню щільності та непроникності модифікованого цементного каменю. При цьому забезпечується зростання міцності на згин та тріщиностійкості ремонтної суміші. Введення алюмінійвмісного нанокompозиту C-A-N-H-PCE до цементуючої системи на основі на основі СЕМ II/A-LL 42,5 забезпечує високу ранню (через 12 год - 20,8 МПа) та стандартну (через 28 діб - 90,0 МПа) міцності при зменшенні його капілярної пористості до 11,9%.

Дослідженнями впливу зернового складу кварцового піску різних фракцій на формування мезоструктури та властивостей ремонтних сумішей встановлено, що найвищою густиною у насипному ($\rho_n=1533 \text{ кг/м}^3$) і ущільненому ($\rho_{щ}=1690 \text{ кг/м}^3$) станах та найнижчою пустотністю відповідно $P_n=42,2\%$ і $P_{щ}=36,2\%$ характеризується зерновий склад у співвідношенні $M_{k_{1,25}}:M_{k_{2,76}}=25:75$. Показано, що заміна кварцового піску $M_{k_{2,76}}$ на 25 мас.% золи-винесення у складі $M_{k_{1,25}}:M_{k_{2,76}}=25:75$ призводить до збільшення насипної густини (1683 кг/м^3) та зменшення пустотності до 35,3 %. На основі комплексного аналізу математичних моделей за критеріями термінів тужавіння, міцності та деформацій усадки-розширення запроектовані ремонтні склади безусадочних сумішей на основі лужних портландцементів, для яких введення оптимального складу добавок: 10-15 мас.% золи-винесення та 2,0-2,5 мас.% C-A-N-H-PCE забезпечує підвищені показники якості.

Розроблено швидкоотверднучі ремонтні безусадочні суміші на основі лужних портландцементів та піску оптимізованого зернового складу. Дослідженнями встановлено, що ремонтні суміші типу ШРБС АН-1

(консистенція – 24 мм) характеризуються початком тужавінням 80-100 хв, високою ранньою міцністю: через 14 год – $R_{тб}=3,4$ МПа, $R_c=9,8$ МПа, через 24 год – $R_c=22,08$ МПа і 28 діб – $R_c=70,9$ МПа; міцність зчеплення з основою складає 4,0 МПа, модуль пружності $E_{cm}=51,7$ ГПа, корозійна стійкість $K_{90}=1,2$, водонепроникність W16, морозостійкість F400. Швидкотверднучі ремонтні суміші характеризуються пониженими деформаціями усадки ($\Delta l/l=0,06$ мм/м), що дозволяє їх віднести до безусадочних.

Розроблено модифіковану комплексну розширну добавку (КРД) $Na[Al(OH)_4] - CaO - CaSO_4 \cdot 2H_2O - PCE$ для ремонтних розширних сумішей з регульованою кінетикою утворення еtringіту. Методом растрової електронної мікроскопії показано, що введення PCE в модельні системи « $Na[Al(OH)_4] - CaO - CaSO_4 \cdot 2H_2O$ » і « $CaO - Al_2(SO_4)_3$ » за рахунок явища адсорбційного модифікування забезпечує синтез голкоподібних, дрібних кристалів еtringіту та створює можливість для регулювання процесів розширення у цементуючій матриці ремонтних сумішей. Експериментальними дослідженнями встановлено, що введення 20–30 мас.% КРД забезпечує високу швидкість тверднення, при цьому початок тужавіння суміші скорочується до 120–50 хв, деформації розширення складають $\Delta l/l = 0,62 - 1,25$ мм/м, міцність на стиск досягається 40,0–34,0 МПа. Процеси розширення в обмеженому просторі призводять до самоущільнення суміші, міцність на стиск/згин через 28 діб тверднення зростає на 18–23 %. За рахунок додаткової гідрофобізації ремонтних сумішей зростає довговічність бетонних та кам'яних конструкцій.

ТзОВ «Теріос» здійснено апробацію швидкотверднучої ремонтної безусадочної суміші ШБРС АН-1 на основі лужного портландцементу в кількості 2,0 т та проведено замонолічування закладних анкерних деталей. На території агрокомплексу ТОВ «АГРІНГРУП» із використанням ремонтної суміші на основі лужного портландцементу ТзОВ «Теріос» проведено роботи із відновлення пошкодженого фундаменту під силосами елеватору (с. Барвінкове, Харківської обл.). ПП «Терміт» здійснено випуск дослідної партії ремонтної розширної суміші в кількості 1600 кг і проведено ремонтні роботи

з відновлення бетонних елементів конструкції. При виконанні герметизації швів між залізобетонними конструкціями та при введенні комунікацій в споруду застосовано ремонтну розширну суміш з КРД на основі лужного активатора $\text{Na}[\text{Al}(\text{OH})_4]$. Економічний ефект застосування ремонтної розширної суміші складає 204 грн/т. ТОВ «Рууф» впроваджено спеціальні безусадочні ремонтні суміші з гідрофобною добавкою для гідроізоляції підвального приміщення офісного центру.

Результати експериментальних досліджень і промислового впровадження використано в навчальному процесі Національного університету «Львівська політехніка» при викладанні дисциплін «Виробнича база будівництва», «Сучасні будівельні матеріали і методи досліджень», «Наукові дослідження в будівництві» для студентів спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія».

Ключові слова: ремонтна суміш, лужний алюмінійвмісний активатор, зола-винесення, лужний портландцемент, наноккомпозит, дрібнокристалічний еtringіт, деформації усадки та розширення, міцність зчеплення з основою, експлуатаційні властивості.

Список публікацій здобувача:

Статті у наукових фахових виданнях України:

1. Кропивницька Т., Саницький М., Семенів М., Камінський А. Підвищення експлуатаційних властивостей цегляної кладки зовнішніх стін огорожувальних конструкцій // *Науковий вісник будівництва. 2018. Т.91, №1. С. 146–151.*

2. Камінський А. Використання лужного прискорювача на основі алюмінату натрію в технології бетону // *Вісник НУ «Львівська політехніка». Теорія і практика будівництва. 2019. № 912. С. 57–62.*

Статті у науковому періодичному виданні, що включене до міжнародних наукометричних баз:

3. Kropyvnytska T., Semeniv R., Kotiv R., Kaminskyu A., Gots V. Studying the effect of nano-liquids on the operational properties of brick building structures

// *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2018. Vol. 5/6(95). P. 27–32. ISSN 1729-3774. SCOPUS. (DOI: 10.15587/1729-4061.2018.145246).

4. Кropyvnytska T., Semeniv R., Chekaylo M., Kaminskyu A. Impact of modifiers on the properties of brick masonry construction // *The international journal Sustainable development*. 2018. Vol. 2. P. 77–82.

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

5. Кропивницька Т., Семенів Р., Камінський А. Вплив нанорідин на стійкість зовнішніх цегляних стін будівель і споруд щодо висолоутворення // *Збірник тез доповідей II міжнародної науково-практичної конференції «Інноваційні технології в архітектурі і дизайні»*. Харків, 2018. С.127-128.

6. Кропивницька Т., Семенів Р., Камінський А., Гоц В. Ефективність використання модифікуючих речовин для захисту цегляних конструкцій // *Тези доповідей 7-ої міжнародної науково-технічної конференції*. Харків, 2018. С. 195–197.

7. Semeniv R., Kaminskyu A. Efficiency of the Modifiers Use for Protection of Brick Structures // *LEA`2018 «GAC»*. 2018. P. 111-112.

8. Камінський А., Кропивницька Т., Семенів Р. Модифіковані бетони для ремонту конструкцій та споруд // *Тези доповідей 8-ої міжнародної науково-технічної конференції*. Харків: УкрДУЗТ, 2019. С. 153–154.

9. Kropyvnytska T., Kaminskyu A., Semeniv R., Chekaylo M. The effect of sodium aluminate on the properties of the composite cements // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering (TRANSBUD-2019)*, 708 012091.

10. Semeniv R., Kropyvnytska T., Kaminskyu A. Studying the effect of nano-liquids on the operational properties of brick building structures // *International Seminar on Circular Economy and Sustainability in Civil Engineering ISCESCE 2020 (Львів, 2020)*.

11. Камінський А. Система гідроізоляційних матеріалів «Мегатрон» // *Будексперт, Львів, 2020. № 02. С. 4*

Патент:

12. Спосіб визначення міцності зчеплення у кам'яній кладці в лабораторних умовах: пат. 102599 Україна. u 201808833;. опубл. 10.11.2019, Бюл. № 21. – 4 с. (Т. П. Кропивницька, Р. М. Семенів, А. Т. Камінський).

Annotation

Kaminskyi A. T. Repair mixes with the increased operational properties on the basis of alkaline Portland cement. – On rights of the manuscript.

The thesis for Doctor of Philosophy (PhD) in specialty 192. Construction and Civil Engineering (19 – Architecture and Construction). – Lviv Polytechnic National University, Lviv, 2021.

The dissertation is devoted to solving a task to obtain the operation-enhanced shrink-resistant and expansible alkaline Portland cement-based mixtures for the repair of the concrete and masonry structures distinguished by their high durability and reliability. In order to justify the relevance of the problem, it fulfilled the analysis of the cement mixtures composition for the repair of the construction structures and their demolishing processes against a background of factors under the different operating conditions. It considered the ways to manage the particularities of the repair mixtures using the shrink-resistant and expansible gypsum-alumina-based cement. It reflected the pros and cons of the various types of the repair mixtures and addressed the factors causing difficulty in expanding shrinkage deformation management under the different operating conditions as well as a longevity reduction for the renovated building structures.

It showed that the effective method for the swift repair and construction of the concrete facilities was the alkaline-activated cementing systems, which allowed gaining significant savings of tools, materials, and work-months both at the renovation stage and during the operation of buildings and facilities. It performed the analysis on applying the alkaline aluminum-contained accelerating agents which provided high early durability, but they could lead to increasing water consumption, voids content, and, as a result, reducing the longevity of the construction materials. It showed that optimization of the material and fractional compositions of the major mixture components provided necessary meso- and microstructure of solutions and allowed boosting the quality indicators for the construction composites. It justified applying the superplasticizing polycarboxylate agents against the background of a physical approach to reduce the water-cement ratio in order to obtain a durable cementing pattern of the shrink-resistant and expansible repair mixtures.

Analysis of known patterns in the field of building materials science allows us to put forward a scientific hypothesis about the possibility of a complex combination of aluminum-containing mineral additives, alkaline activators based on sodium aluminate and polycarboxylate superplasticizers for creating modified alkaline Portland cement systems with high early strength which allow to obtain repair non-shrinking and expanding mixtures that provide the required curing speed, adhesion strength to the substrate, crack resistance, water resistance, i.e. are characterized by improved performance and durability.

It was considered the characteristics of materials for repair non-shrinkage and expansion mixtures, namely Portland cements of different types of production of PJSC "Ivano-Frankivskcement", mineral aluminum-containing additives (fly ash, metakaolin), alkaline aluminum-containing curing activator $\text{Na}[\text{Al}(\text{OH})_4]$ and superplasticizers. It was shown that the determination of physical-mechanical and construction-technical properties of alkaline Portland cements and repair non-shrink and expanded repair mixtures was carried out in accordance with current regulations and generally accepted methods. Modern methods of physicochemical analysis, namely, X-ray diffractometry, thermogravimetry, scanning electron microscopy, etc. were used to study the processes of structure formation of repair non-shrinking and expanding mixtures. It was shown the general block diagram of researches which shows sequence of performance of work and reveals step by step the basic provisions concerning physicochemical features of processes of structure formation of an artificial stone on the basis of modified alkaline Portland cements, principles of creation of alkaline-aluminate nanocomposite C-A-N-H-PCE as the highly effective accelerator regulation of properties of repair mixes on the basis of alkaline Portland cement, development of non-shrink and wide repair mixes on the basis of modified alkaline Portland cements and research of their construction and technical properties.

The paper theoretically substantiates and experimentally confirms the possibility of obtaining fast-curing repair non-shrink mixtures with improved performance properties due to the development of alkaline Portland cements with the addition of limestone, the use of active mineral additive pozzolanic action (fly

ash), alkaline aluminum-containing activator $\text{Na}[\text{Al}(\text{OH})_4]$ and superplasticizer polycarboxylate type PCE, as well as highly effective repair expansion mixtures obtained by introducing a complex alkaline expansion additive $\text{Na}[\text{Al}(\text{OH})_4]$ -CaO-CaSO₄·2H₂O-PCE, taking into account technical and economic advantages.

The experimental investigations indicated if 1.5..3.0 wt. % of the hardening alkaline aluminum-contained activator $\text{Na}[\text{Al}(\text{OH})_4]$ was put into the Portland cement with limestone CEM II/A-LL (W/C=0.5) a cement and sand composition mobility ratio decreased to 125-110 mm. Due to the ettringite - accelerated processes, the initial compression capacity increased to 7.5 and 10.0 MPa was evaluated in 14 and 24 hours, and, meanwhile, the strength reduction in 1.8 to 3.0 times compared with the composition was observed in 2; 7 and 28 days, which was caused by increasing of the stone voids content because of the enhanced binder water demand. It showed that extremely initial strength was enhanced to 9.6 MPa in 14 hours due to water reducing effect ($\Delta\text{W}/\text{C}=28.0\%$) after the polycarboxylate superplasticizing agent PCE inputted. However, enhancing $\text{Na}[\text{Al}(\text{OH})_4]$ content up to 5.0 % wt made the cement and sand composition mobility ratio to be sharply reduced from 152 to 105 mm in the case of W/C=0.50 and the hardening target time was boosted to 45 min which was caused by a significant amount of the film-shaped hydro-aluminate phases of C_4AH_{19} formed under the increased pH (pH was increased from 12.5 to 13.2).

It exploited the various types of the high initial durable alkaline Portland cement supplemented with the hardening alkaline aluminum-containing activator $\text{Na}[\text{Al}(\text{OH})_4]$. It defined if 1.5 wt. % of $\text{Na}[\text{Al}(\text{OH})_4]$ and the fly ash were put into the Portland cement composition supplemented with limestone in the case of W/C=0.50 (workability 170 mm) the hardening initial strength was constituted to 6.3 and 15.6 MPa in 12 and 24 hours, and the standard one – 54.6 MPa. It showed that in case of 1.0 wt. % of PCE input and due to water-reducing effect with $\Delta\text{W}/\text{C}=30.0\%$ (workability 170 mm) the strength was increased in 4.5 times (19.3 MPa) and in 2.3 times (35.0 MPa) in 12 and 24 hours. The compressive strength was increased in 1.8 times (51.2 MPa) in 2 days, and in 1.2 times (73.7 MPa) in 28 days; meanwhile, $R_{c1}/R_{c28}=47.5\%$; $R_{c2}/R_{c28}=69.4\%$. According to DSTU B EN 197-1 the

modified alkaline Portland cement exploited was treated as high initially ($R_{c2} = 38.2$ MPa) and normally ($R_{c28} = 60.1$ MPa) durable and dealt with as class 52.5 R. The mathematic experimental design techniques showed that the optimized content of 1.5 wt. % of $\text{Na}[\text{Al}(\text{OH})_4]$ and 1.0 % of PCE ensured to obtain the modified alkaline composition Portland cement with the high initial strength ($R_{c2} = 32.0$ MPa, $R_{c28} = 55.6$ MPa). The targeted process management for the initial structure formation of the alkaline Portland cement determined their improved construction and technical properties.

It discovered the mechanisms of the phased composition formation and the microstructure of the hydrosulfoaluminate cementing systems using the physical-chemical analysis methods. It showed the compressive combination of fly ash and limestone in the alkaline-accelerated cementing pattern made the initial structure formation processes to be enhanced due to the formation of hydrocarboaluminates and alkaline zeolite-shaped hydro-aluminosilicates N-C-A-S-H. It justified a new approach for the targeted management processes of the cementing systems initial structure formation due to the input of the quality-efficient hardening accelerating agent synthesized by zol-gel aluminate nanocomposite technique C-A-N-H-PCE and classified as the engineering materials based on layered double hydroxides (CaAl LDH) and organic supplements which enabled to obtain shrink-resistant and rapidly hardening cement repair mixtures. According to the electron microscopy fact-findings, it defined that the finely dispersed and acicular crystals of the ettringite were mostly generated in the modified alkaline-accelerated cementing pattern due to the absorptive modification effect. It showed that during its hardening process their intensive binding was observed that facilitated to significantly increase the modified cement stone solidness and integrity due to a self-cementing effect. In this case, the repair mixture compression strength and crack resistance were enhanced. The aluminum-contained nanocomposite C-A-N-H-PCE put into the cementing system using CEM II/A-LL 42.5 provided a high initial (22.0 MPa in 12 hours) and standard (90.0 MPa in 28 days) strength if its capillary porosity was reduced to 11.9%.

Investigating the impact of the different graded size silica sand on the repair mixtures mesostructure formation and particularities found out that the graded size at the ratio of $M_{K1,25}:M_{K2,76}=25:75$ was treated as one having the highest solidness in bulk ($\rho_H=1533 \text{ kg/m}^3$) and compacted ($\rho_m=1690 \text{ kg/m}^3$) states and the lowest void coefficients as $V_f=42.2\%$ and $V_r=36.2\%$ respectively. It showed that silica sand $M_{K2,76}$ substituted with 25 wt. % of fly ash composed of $M_{K1,25}:M_{K2,76}=25:75$ led to increase the bulk solidness (1683 kg/m^3) and reduce the void coefficient to 35.3%. Based on a coherent analysis of the mathematical models classified by shrink and expansion hardening periods, capacity, and deformation, the shrink-resistant repair mixture compositions were designed on a basis of the alkaline Portland cement, for which the input of the optimal composition of supplements, namely 10 to 15 wt. % of flue ash and 2.0 to 2.5 wt. % of C-A-N-H-PCE, provided the increased quality indicators.

It exploited the rapidly hardening shrink-resistant repair mixtures using the alkaline Portland cement and the optimized graded size sand. The investigations determined that the repair mixtures (with 24 mm in consistence) was specified with 80 to 100 min in hardening start, and with $R_{tb}=3.4 \text{ MPa}$ and $R_c=9.8 \text{ MPa}$ in 14 hours, $R_c=22.08 \text{ MPa}$ in 24 hours and $R_c=70.9 \text{ MPa}$ in 28 hours in a highly initiated durability; the adhesive strength to the base was constituted to 4.0 MPa, elasticity coefficient - $E_{cm}=51.7 \text{ GPa}$, corrosive resistance - $K_{90}=1.2$, water-resistance - W16, and freezing resistance - F400. The rapidly hardening repair mixtures were treated by the reduced shrink deformations ($\Delta l/l=0.06 \text{ mm/m}$) which allowed classifying them as shrink-resistant ones.

It exploited the comprehensive expansible supplement $\text{Na}[\text{Al}(\text{OH})_4] - \text{CaO} - \text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} - \text{PCE}$ for the expansible repair mixtures with the ettringite regulated kinetics. The scanning electron microscope investigation method showed that PCE put into the model system “ $\text{Na}[\text{Al}(\text{OH})_4] - \text{CaO} - \text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ” and “ $\text{CaO} - \text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ ” due to the absorptive modification effect provided a synthesis of the acicular and finely dispersed ettringite crystals and enabled to manage the expanding processes for the cementing pattern of the repair mixtures. The experimental investigations determined that the input of 20–30 wt.% of KRD provided a high

Dhardening speed rate, meanwhile the mixture hardening initiation reduced to 120 to 50 min, the expansion deformations were constituted to $\Delta l/l = 0.62$ to 1.25 mm/m, and the compression strength achieved 40.0 to 34.0 MPa. The expanding processes in the restricted space led to the mixture self-compaction, and after 28-day hardening, the compression / deflection strength increased in 18 to 23 %. Due to the additional hydrophobization for the repair mixtures, the longevity of the concrete and masonry structures was enhanced.

“Terios” LLC performed the approbation of the rapidly hardening shrink-resistant repair mixture using the alkaline Portland cement with 2.0 t in total and carried out the grouting of the embedded anchor items. At the territory of the agricultural complex “AHRINHRUP” LLC “Terios” LLC performed the works to rehabilitate the damaged foundation under the elevator bins (Barvinkove village, Kharkiv region) using the alkaline Portlandcement-based repair mixtures. PE “Termit” made a pilot lot production of the expansible repair mixture with 1600 kg in total and performed the repair works to rehabilitate the concrete structure units. While encapsulating the joints between the reinforced concrete structures and embedding the utility systems into the building, the expansible КРД repair mixture based on the alkaline accelerating agent $\text{Na}[\text{Al}(\text{OH})_4]$ was used. The economic impact of the expansible repair mixture applied was constituted to 204 UAH per t. “Ruuf” LLC introduced the special shrink-resistant repair mixtures with the hydrophobic agent “Mehatron” TM in order to perform the water isolation for the office centre basement.

The outcomes of the experimental investigations and the industrial implementation were used by Lviv Polytechnic National University in the educational process while studying the subjects “Production basis for construction”, “Modern building materials and research methods”, “Construction scientific investigations” for the students of the specialty 192 “Construction and Civil Engineering”.

Key words: repair mixture, alkaline aluminum-containing activator, fly ash, alkaline Portland cement, nanocomposite, finely crystalline ettringite, shrink and expansion deformations, adhesive strength to the base, operational properties.