

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ОДЕСЬКА ДЕРЖАВНА АКАДЕМІЯ  
БУДІВНИЦТВА ТА АРХІТЕКТУРИ

Кваліфікаційна наукова  
праця на правах рукопису

Ліннік Дмитро Сергійович

УДК 691.12:691.3

**ДИСЕРТАЦІЯ**  
**АРБОЛІТОБЕТОН НА КОМПЛЕКСНО МОДИФІКОВАНОМУ**  
**КОМПОЗИЦІЙНОМУ ГПСОВОМУ В'ЯЖУЧОМУ**

**Спеціальність 05.23.05 - будівельні матеріали і вироби**

**Галузь знань - 19, Архітектура та будівництво**

**Подається на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук**

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

 Ліннік Д.С.

Науковий керівник:

Шинкевич Олена Святославівна, доктор технічних наук, професор

Одеса - 2021

## АНОТАЦІЯ

*Ліннік Д.С.* Арболітобетон на комплексно модифікованому композиційному гіпсовому в'язучому. - На правах рукопису.

Дисертація на здобуття вченого ступеня кандидата технічних наук за фахом 05.23.05 - Будівельні матеріали і вироби. - Одеська державна академія будівництва і архітектури, Одеса, 2021.

Дисертаційна робота присвячена розробці теплоізоляційних арболітобетонів середньої густини 300-500 кг/м<sup>3</sup> підвищеної міцності на розтяг при згині, тріщиностійкості при необхідних показниках міцності при стиску, водостійкості на органічному заповнювачі у вигляді костриці технічної коноплі і на композиційному гіпсовому в'язучому, модифікованим мінеральною комбінованою двокомпонентною мікропуцолановою добавкою підвищеної гідравлічної активності, мікроармуючою добавкою, органо-мінеральним комплексом який включає суперпластифікатор, гідрофобізатор нового покоління та суміш лужних компонентів.

Метою роботи є підбір оптимальних складів арболітобетонів на органічному заповнювачі у вигляді костриці технічної коноплі та комплексно модифікованому композиційному гіпсовому в'язучому.

У вступі обґрунтовано вибір теми, сформульовано мету і завдання відповідно до об'єкта та предмета дослідження, визначено наукову новизну та практичне значення роботи, представлено її загальну характеристику і зв'язок з науковими планами та програмами академії, вказано практичне значення отриманих результатів і особистий внесок здобувача, наведені результати апробації дисертаційної роботи та данні про публікації, структуру і обсяг дисертації.

Наукова новизна отриманих результатів полягає в тому, що вперше розроблено склад арболітобетона на основі комплексно модифікованого композиційного гіпсового в'язучого і органічного заповнювача у вигляді костриці технічної коноплі, яка виробляється в Україні в значних об'ємах.

Обґрунтован склад мінеральної комбінованої двокомпонентної мікропуцоланової добавки підвищеної гідравлічної активності яка забезпечує підвищену водостійкість композиційного гіпсового в'язучого 0,85-0,92 при  $f_{cm}=11,5-12,5$  МПа для комплексної модифікації композиційного гіпсового в'язучого.

Проаналізовано вплив різного виду об'ємних і поверхневих гідрофобізаторів на змочуваність, водостійкість та біостійкість композиційного модифікованого гіпсового в'язучого. Показано можливість отримання, за рахунок гідрофобізації композиційного гіпсового в'язучого, водостійкості  $K_p \geq 0,9-0,94$  при максимальній міцності при стиску 14,5-15 МПа, міцністю на розтяг при згині 5,5-6,5 МПа при необхідній міцності при стиску М15 та водопотребі 0,55-0,65.

Рекомендовано оптимальний склад екологічно-безпечного теплоізоляційного арболітобетону підвищеної біостійкості, модифікованого запропонованим органо-мінеральним комплексом для КГВ та мінералізації органічного заповнювача у вигляді костриці технічної коноплі.

**У першому розділі** проведено аналіз літературних джерел про особливості будови, хімічної і мінералогічної складів дерево-цементних композиційних матеріалів, їх властивості, напряму розвитку малоповерхового будівництва із застосуванням стінних бетонних блоків, технічні характеристики будівельних матеріалів на основі арболітобетона. Дослідження, проведені з питань підвищення міцності і водостійкості арболітових будівельних матеріалів на основі костриці коноплі, досі не систематизовані, розрізнені і загального рішення за технологією підвищення міцності та водостійкості не мають. Вітчизняні технології зведення будівель з місцевого відходу костриці коноплі знаходяться на рівні позаминулого століття, а зарубіжний передовий досвід будівництва доки, на жаль, на території України не знайшов широкого застосування. Тому існує гостра необхідність шляхом використання місцевих сировинних компонентів

отримати арболитовий будівельний матеріал з високими фізико-механічними показниками, а також розробити технологію його виробництва.

**У другому розділі** розроблена блок-схема досліджень. Викладені застосовувані методи математичного планування експериментів.

Приведені характеристики використаних сировинних матеріалів. Показано, що з портландцементу з гіпсом і активних мінеральних добавок можна отримати ефективну в'язучу суміш для застосування у виробництві арболітобетонів з органічним заповнювачем - костриці технічної коноплі. Розглянуто особливості застосовуваного в дослідженнях органічного заповнювача костриці технічної коноплі.

Описані методики та методи досліджень. Розглянуто методи тонкого аналізу для визначення структури композиційного гіпсового в'язучого і арболітобетона.

**У третьому розділі** обґрунтован підбір основних компонентів в'язучого та модифікуючих добавок, проведений підбір складу водостійкого композиційного гіпсового в'язучого (КГВ) для арболітобетона на органічному заповнювачі у вигляді костриці технічної коноплі. Проведено порівняльний аналіз впливу мікропуцоланових добавок високоактивного метаксаоліну (ВМК) та мікрокремнезему (МКК) на властивості КГВ. Експериментально встановлено, що добавка високоактивного метаксаоліна робить ефективніший вплив на фізико-механічні властивості КГВ в порівнянні з мікрокремнеземом: міцнєві показники збільшуються на 18-20%. Середня густина нижче на 18-25%, водостійкість підвищується на 8-10%, що в 2,2-2,3 рази вище чим водостійкість гіпсу. Експериментально встановлено що застосування добавки ВМК дозволяє підвищити водостійкість КГВ до 0,9-0,92 що вище за значення водостійкості КГВ на мікрокремнеземі (0,81-0,85).

На підставі результатів натурних експериментів розраховані ЕС 6-факторні моделі властивостей, та проведено аналіз взаємовпливу і ступінь сумісності вибраних компонентів складу КГВ. В результаті рекомендовано застосування мінеральної комбінованої двокомпонентної мікропуцоланової

добавки підвищеної гідравлічної активності. Дана оцінка впливу армуючої добавки мікроволастоніта на властивості. Показано, що добавка мікроволастоніта робить позитивний вплив не тільки на тріщиностійкість, а й міцність на розтяг при згині, а так само сприяє підвищенню міцності при стиску, середньої густині, знижує водопоглинання і відкрити пористість.

Проведена багатокритеріальна оптимізація складу композиційного гіпсового в'язучого модифікованого комбінованою мікропуцолановою добавкою, мікроармуючою добавкою та суперпластифікатором шляхом накладення один на одного побудованих по ЕС моделям діаграм, які представлені у вигляді трикутниках на квадратах. Підтверджено взаємовплив та сумісність вибраних для складу КГВ компонентів.

Показана ефективність спільного впливу ВМК, МКК і мікроволастоніта на властивості КГВ. Показано, що взаємовплив добавок супроводжується їх синергетичною взаємодією та загальним поліпшенням властивостей.

**У четвертому розділі** показано, що органічні заповнювачі, які застосовані для арболітобетонів, істотно відрізняються структурою, будовою і основними властивостями, а також змістом шкідливих компонентів. Тому при підборі і оптимізації складів арболітобетонів на органічному заповнювачі у вигляді костриці технічної коноплі необхідно враховувати особливості його структури та будови.

Встановлено, що склади КГВ, які забезпечують максимальні значення по міцності при стиску, або максимальні значення водостійкості, не співпадають із складами, які забезпечують максимум адгезійної міцності між КГВ та кострою технічної коноплі. Слід так само відмітити позитивний вплив мікроволастоніту на міцність зчеплення КГВ з кострою. За рахунок введення мікроволастоніту необхідної фракції можна збільшити адгезійної міцність на 15%.

Проаналізована можливість подальшого підвищення водостійкості за рахунок об'ємних та поверхневих гідрофобізаторів. Проведена оцінка водневого показника рН гідрофобізаторів.

Встановлено, що найкращі значення міцності отримані на вітчизняному гідрофобізаторі White нового покоління. Гідрофобізатор White дозволяє має потужні водовідштовхувальні властивості за рахунок присутності у складі наноконпонентів, в результаті підвищується водостійкість, наявність срібла в складі забезпечує захист і підвищення біостійкості арболітобетонів. Гідрофобізатор White дозволяє досягти «ефекту лотоса». Найбільше значення міцності при стиску отримані при вмісті гідрофобізатора White у кількості 2%, що враховано в подальших дослідженнях. Водневий показник рН композиційного гіпсового в'язучого модифікованого гідрофобізатором White для арболітобетона змінюється в межах від рН=11,9 до 12,1.

Проведено аналіз зміни коефіцієнта теплопровідності арболітобетона залежно від середньої густини. Отримані експериментальні значення теплопровідності зразків арболітобетона нижче рекомендованих стандартом за теплофізичними показниками. Визначено звукоізоляцію арболітобетона середньої густини  $300 \text{ кг/м}^3$  яка більш ніж на 33% нижче норми. Причому значення цього показника нижче чим у деревини, що створює максимально комфортні умови в приміщеннях.

Проведена оцінка можливості регулювання біостійкості арболітобетона шляхом введення кремнеземних нанкомпозицій з різним змістом металевого срібла. Проведено аналіз структури арболітобетону за допомогою електронно-мікроскопічних досліджень. Виявлено широкі можливості регулювання структурою арболітобетона на різних масштабних рівнях за рахунок зміни вмісту та співвідношення комбінованої двокомпонентної мікропуццоланової добавки підвищеної гідравлічної активності, мікроармуючої добавки мікрволастоніту та полікарбоксилатної суперпластифікуючої добавки Sika 520.

**У п'ятому розділі** проведена поетапна оптимізація складів арболітобетону. Проведена оптимізація полікомпонентного органо-мінерального комплексу по ЕС моделям, по показникам міцності та середньої густини. Показано, що розроблений органо-мінеральний комплекс, який

застосовано в якості мінералізатора костриці коноплі, забезпечує захист від проникнення лігнінів та цукрів з костриці до в'язучого. Мінералізація сприяє нормальній гідратації в'язучого і не знижує терміни схоплювання, покращує якість виробів.

Проведено вибір оптимального співвідношення в системі «органічний заповнювач-в'язуче» кількості органічного заповнювача та композиційного гіпсового в'язучого. Показано, що оптимальним є співвідношення «органічний заповнювач-в'язуче» рівне 1:1,5. Такий склад забезпечує отримання арболітобетона середньою густиною  $300 \text{ кг/м}^3$ , міцністю при стиску не менше  $0,5 \text{ МПа}$ .

Послідовна поетапна оптимізація дозволила провести поглиблений аналіз впливу на властивості арболітобетона трьох різних за масштабним показником компонентів складної дисперсної системи виду «КГВ-ПОМК-КТК/КГВ-Фр.с. КТК-АРБ», де: КГВ - композиційне гіпсове в'язуче, ПОМК - полікомпонентний орґано-мінеральний комплекс, КТК/КГВ – система «орґанічний заповнювач-в'язуче», Фр.с. КТК - фракційний склад костриці технічної коноплі, АРБ - арболітобетон. Використання технологічних прийомів, таких як збільшення вмісту КГВ та застосування додаткового вібропресування, забезпечує підвищення міцності та середньої густини арболітобетона. Рекомендовано склади, які забезпечують наступні рівні критеріїв якості стінних блоків: класи по  $f_{cm}$  – В 0,35, В 0,75, В1, середньої густини  $\rho=300-500 \text{ кг/м}^3$ , теплопровідністю  $\lambda=0,06-0,10 \text{ Вт/м}\cdot\text{°C}$ .

Розроблена технологічну схему виробництва теплоізоляційних арболітобетонних блоків для внутрішнього і зовнішнього застосування в малоповерховому будівництві. Приведено техніко-економічний розрахунок виробництва арболітобетона на МКГВ. Випущена дослідно-експериментальна партія стінних блоків на підприємстві ТОВ «Consulting Engeneering» м. Києва які впроваджені при будівництві приміщення із заданим замовником температурним режимом на території підприємства. Результати роботи впроваджені в навчальний процес Одеській державній академії будівництва та

архітектури при підготовці здобувачів вищої освіти ступеня магістра по спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія».

**Ключові слова:** арболітобетон, композиційне гіпсове в'язуче, мікропуццолановая добавка, мікроармуюча добавка, органічний заповнювач, костриця коноплі, ЕС моделі, оптимізація.

## ABSTRACT

**Linnik D.S. Hempcrete on a complexly modified composite gypsum binder. - As a manuscript.**

The thesis for candidate degree of engineering science (PhD) in the specialty 192 – Construction and civil engineering – Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture, Odessa, 2021.

*Research objective* is to develop of heat-insulating Hempcrete of average density of 300-500 kg/m<sup>3</sup> of the increased tensile strength at a bend, crack resistance at necessary indicators of durability at compression, water resistance on an organic filler in the form of a fire of technical hemp and on a composite. increased hydraulic activity, micro-reinforcing additive, three-component organo-mineral complex which includes a superplasticizer, a new generation water repellent and an alkaline component.

The work aims to select the optimal compositions of Hempcrete on an organic aggregate in the form of a technical hemp fire and a complex modified composite gypsum binder.

The **introduction** substantiates the choice of topic, formulates the purpose and objectives in accordance with the object and subject of research, identifies scientific novelty and practical significance of the work, presents its general characteristics and connection with scientific plans and programs of the academy, indicates the practical significance of the results and personal contribution. applicant, the results of approbation of the dissertation and data on publications, structure and scope of the dissertation.



The scientific novelty of the obtained results is that for the first time the composition of Hempcrete was developed on the basis of a complex modified composite gypsum binder and organic aggregate in the form of technical hemp fire, which is produced in Ukraine in large volumes.

The composition of the mineral combined two - component micropuzzolan additive of the increased hydraulic activity which provides the increased water resistance of CGB of 0,85-0,92 and durability at compression of 11,5-12,5 MPa for complex modification of CGB is substantiated.

The influence of different types of bulk and surface water repellents on wettability, water resistance and biostability of composite modified gypsum binder is analyzed. The possibility of obtaining, due to hydrophobization of CGB, water resistance 0.9-0.94 at maximum compressive strength of 14.5-15 MPa, tensile strength at bending of 5.5-6.5 MPa at the required compressive strength of M15 and water consumption 0.55-0.65.

The optimal composition of ecologically safe heat-insulating Hempcrete of the increased biostability modified by the offered organo-mineral complex for CGB and mineralization of an organic filler in the form of a fire of technical hemp is recommended.

The **first section** analyzes the literature, the structure, chemical and mineralogical compositions of wood-cement composite materials, their properties, the direction of development of low-rise construction using wall concrete blocks, technical characteristics of building materials based on Hempcrete. Studies conducted so far on increasing the strength and water resistance of arbolite building materials based on hemp fire, are not systematized, disparate and have no general solution for the technology of increasing the strength and water resistance. Domestic technologies for the construction of buildings from local waste of hemp fires are at the level of the last century, and foreign best practices in construction, unfortunately, have not yet been widely used in Ukraine. Therefore, there is an urgent need through the use of local raw materials to obtain arbolite building material with high physical and mechanical properties, as well as to develop technology for its production.

The **second section** contains block diagram of researches is developed. The applied methods of mathematical planning of experiments are stated.

The characteristics of the used raw materials are given. It has been shown that Portland cement with gypsum and active mineral additives can be used to obtain an effective binder mixture for use in the production of Hempcrete with an organic aggregate - technical hemp fires. The peculiarities of technical hemp fire aggregate used in research are considered.

Methods and research methods are described. Methods of fine analysis for determining the structure of composite gypsum binder and Hempcrete are considered.

The **third section** substantiates the selection of the main components of the binder and modifying additives, the selection of the composition of waterproof composite gypsum binder (CGB) for Hempcrete on organic aggregate in the form of technical hemp.

A comparative analysis of the effect of micropuzolane additives of highly active metakaolin and microsilica on the properties of CGB It is experimentally established that the addition of highly active metakaolin has a more effective effect on the physical and mechanical properties of CGB in comparison with microsilica: strength indicators increase by 18-20%. The average density is lower by 18-25%, water resistance increases by 8-10%, which is 2.2-2.3 times higher than the water resistance of gypsum. It has been experimentally established that the use of VMK additives allows to increase the water resistance of CGB to 0.9-0.92, which is higher than the value of water resistance of CGB on microsilica (0.81-0.85).

Based on the results of field experiments, ES 6-factor models of properties were calculated, and the analysis of the interaction and the degree of compatibility of the selected components of the composition of CGB. As a result, the use of a mineral combined two-component micropuzzolan additive with increased hydraulic activity is recommended. This effect of the microreinforcing additive wollastonite on the properties is given. It is shown that the addition of wollastonite has a positive effect not only on crack resistance, but also tensile strength in bending, as well as

contributes to increased compressive strength, medium density, reduces water absorption and open porosity.

Multicriteria optimization of the composition of the composite gypsum binder modified with a combined micropozzlan additive, microreinforcing additive and superplasticizer by superimposing on each other the EC-based models of diagrams, which are presented in the form of triangles on squares. The interaction and compatibility of the components selected for the composition of CGB were confirmed.

Shown is the efficiency of high-active metakaolin, silicafume and wollastonite on the power of CGB. It is shown that the interaction of additives is accompanied by their synergistic interaction and general improvement of properties.

The **fourth section** shows that organic aggregates, which are used for Hempcrete, significantly differ in structure, structure and basic properties, as well as the content of harmful components. Therefore, when selecting and optimizing the composition of Hempcrete on organic aggregate in the form of a fire of technical hemp, it is necessary to take into account the peculiarities of its structure and structure.

It was found that the compositions of CGB, which provide the maximum values of compressive strength, or the maximum values of water resistance, do not coincide with the compositions that provide the maximum adhesive strength between CGB and fire of technical hemp. It should also be noted the positive effect of wollastonite on the strength of adhesion of CGB to the fire. Due to the introduction of wollastonite of the required fraction can increase the adhesive strength by 15%.

The possibility of further increase of water resistance due to volume and surface water repellents is analyzed. The hydrogen pH of water repellents was evaluated.

It is established that the best values of durability are received on the domestic water repellent White of new generation. Water repellent White allows has powerful water-repellent properties due to the presence of nanocomponents, resulting in increased water resistance, the presence of silver in the composition provides protection and enhances the biostability of Hempcrete. Water repellent White allows

you to achieve the "lotus effect". The highest values of compressive strength were obtained when the content of gddrophobzzator White in the amount of 2%, which is taken into account in further studies. The pH of the composite gypsum binder modified with White water repellent for Hempcrete varies from pH = 11.9 to 12.1.

The analysis of the change of the thermal conductivity coefficient of Hempcrete depending on the average density is carried out. The obtained experimental values of thermal conductivity of Hempcrete samples are lower than those recommended by the standard in terms of thermophysical parameters. The sound insulation of Hempcrete of average density of  $300 \text{ kg/m}^3$  which is more than 33% below norm is defined. And the value of this indicator is lower than that of wood, which creates the most comfortable conditions indoors.

The possibility of regulating the biostability of arbolite concrete by introducing silica nanocompositions with different content of metallic silver was evaluated. The analysis of the structure of Hempcrete by means of electron microscopic researches is carried out. Extensive possibilities of regulating the structure of Hempcrete at different scale levels due to changes in the content and ratio of combined two-component micropuzzolan additive of increased hydraulic activity, microreinforcing additive of wollastonite and polycarboxylate superplasticizing additive Sika 520 are revealed.

In the **fifth section** the step-by-step optimization of Hempcrete structures is carried out. The optimization of the modified organo-mineral complex according to the EU models, in terms of strength and density. It has been shown that the developed organo-mineral complex, which is used as a mineralizer of hemp fire, provides protection against the penetration of lignins and sugars from the fire to the binder. Mineralization promotes normal hydration of the binder and does not reduce the setting time, improves the quality of products.

The choice of the optimal ratio in the system "organic aggregate-binder" of the amount of organic aggregate and composite gypsum binder. It is shown that the optimal ratio of "organic filler-binder" is 1:1.5. This composition provides arbolite concrete with a density of  $300 \text{ kg/m}^3$ , compressive strength of at least 0.5 MPa.

Sequential step-by-step optimization allowed to conduct an in-depth analysis of the impact on the properties of Hempcrete three different scale components of a complex disperse system of the type "CGB-OMC-TH/CGB - Fr.c.TH- HEMC", where: CGB - composite gypsum binder, OMC - organo-mineral complex, TH/CGB – system "organic filler-binder", Fr.c.STH - fractional composition of technical hemp, HEMC - Hempcrete. The use of technological techniques, such as increasing the content of CGB and the use of additional vibropressing, provides an increase in the strength and average density of Hempcrete. Recommended compositions that provide the following levels of quality criteria for wall blocks: classes on  $f_{cm}$  - B 0.35, B 0.75, B1, medium density  $\rho = 300-500 \text{ kg/m}^3$ , thermal conductivity  $\lambda = 0.06-0.10 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ .

The technological scheme of production of heat-insulating Hempcreteny blocks for internal and external application in low-rise construction is developed. The technical and economic calculation of arbolite concrete production at MKGV is given. An experimental batch of wall blocks has been released at the enterprise Consulting Engeneering Ltd in Kyiv, which were implemented during the construction of the premises with the temperature regime specified by the customer on the territory of the enterprise. The results of the work are introduced into the educational process of the Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture in the preparation of applicants for higher education master's degree in the specialty 192 "Construction and Civil Engineering".

**Key words:** Hempcrete, composite gypsum binder, micropuzzolanic additive, microreinforcing additive, organic aggregate, hemp, ES models, optimization.

## Список публікацій здобувача за темою дисертації

Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації:

*Статті у наукових фахових виданнях України*

1. Шинкевич Е.С., Тымняк А.Б., Линник Д.С., Тертичный А.А. Оптимизация составов сухих строительных смесей на основе экспериментально-статистических моделей. Науково-технічний збірник "Будівельні матеріали, виробы та санітарна техніка". Київ: 2013. Випуск 48. С. 179-183.
2. Шинкевич Е.С., Линник Д.С., Юсипчук В.И. Экостроительство из арболитобетона на основе композиционного гипсового вяжущего. Науково-технічний збірник "Будівельні матеріали, виробы та санітарна техніка". Київ: 2014. Випуск 52. С. 112-116.
3. Шинкевич Е.С., Тымняк А.Б., Линник Д.С., Мироненко И.Н., Юсипчук В.И. Подбор состава матричного материала для костробетона на основе известкового вяжущего, модифицированного добавками и наполнителями. Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури, 2014, №55. С. 294-300.
4. Шинкевич Е.С., Линник Д.С., Юсипчук В.И. Влияние высокоактивной пуццолановой добавки на свойства композиционного гипсового вяжущего и арболитобетона на его основе. Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури, 2015, №57. С. 273-278.
5. Юсипчук В.И., Линник Д.С., Шинкевич Е.С. Повышение биостойкости костробетона добавкой пирогенного микрокремнезема, модифицированного соединениями серебра, меди и цинка. Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури, 2015, № 60. С. 370-376.
6. Шинкевич Е.С., Линник Д.С., Закаблук С.С., Юсипчук В.И. Подбор состава арболитобетона по экспериментально-статистическим моделям. Науковий вісник будівництва. Харків: 2017. №4(90). С. 86-92.

7. Шинкевич О.С., Ліннік Д.С. Багатопараметрична оптимізація складу арболітобетону. Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту. Харків: УкрДУЗТ, 2017. Вип.174 С. 81-88. (*індексується наукометричною базою Index Copernicus*).

*Статті у наукових періодичних виданнях інших держав*

8. Тымняк А.Б., Линник Д.С., Юсипчук В.И., Шинкевич Е.С. Оптимизация составов и свойств мелкозернистых бетонов на композиционном вяжущем. Сборник Bulletin incercom scientific research institute of construction. Chisinau, Republic Moldova: "INTERCOM", 2015. Nr.6. С. 136-140. ISSN 1857-3762.

9. Шинкевич Е.С., Линник Д.С., Закаблук С.С. Арболитобетон пониженной плотности на композиционном гипсовом вяжущем. Проблемы современного бетона и железобетона. Сборник научных трудов. Минск: БелНИИС, 2019. Выпуск 11. С. 331–347.

10. Shinkevich E.S., Linnik D.S., Ysypchuk V.I. Improvement of Arbolit Concrete Bio-Resistance with Additives by Nanomodifiers. Materials Science Forum. Switzerland: Trans Tech Publications Ltd, 2019, Vol 968. pp. 76-81. ISSN: 1662-9752. (*індексуються наукометричною базою Scopus*).

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації

11. Shinkevich E.S., Linnik D.S. Selection and optimization fractional composition of organic filler for arbolite. Materials of the XIII International Scientific practical conference «Fundamental and applied science». England: Sheffield, 2017. Vol.7 pp. 40-42.

12. Шинкевич Е.С., Линник Д.С. Повышение биостойкости арболитобетона добавками наномодификаторами. Тези доповідей VI

Міжнародної науково-практичної конференції «Актуальні проблеми інженерної механіки». Одеса: ОДАБА, 2019. С. 311-314.

13. Линник Д.С., Шинкевич Е.С. Арболитобетон на композиционном гипсовом вяжущем. Матеріали міжнародного науково-технічного семінару «Моделювання та оптимізація будівельних композитів», Одеса: ОДАБА, 2019. С. 94-96.

14. Шинкевич Е.С., Линник Д.С. Подбор состава арболитобетона на композиционном гипсовом вяжущем по показателям прочности и средней плотности. Збірник тез доповідей міжнародної конференції «Структурутворення, міцність та руйнування композиційних будівельних матеріалів і конструкцій». Одеса: ОДАБА, 2018. С. 88-89.

15. Linnik D.S., Shinkevich E.S. Optimization of composition and properties of arbolit concrete on composite gypsum binder. Матеріали міжнародного науково-технічного семінару «Моделювання та оптимізація будівельних композитів». Одеса: ОДАБА, 2017. С. 64-66.

16. Шинкевич Е.С., Линник Д.С. Оптимизация фракционного состава органического заполнителя для арболитобетона. Тези доповідей бй міжнародної науково-технічної конференції «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд та будівель на залізничному транспорті». Харків: УкрДЗУТ, 2017 С. 28-29.

17. Линник Д.С., Шинкевич Е.С., Петренко А.Л., Нововсельский Д.В. Подбор гранулометрического состава органического заполнителя для арболитобетона. Матеріали міжнародного науково-технічного семінару «Моделювання та оптимізація будівельних композитів», Одеса: ОДАБА, 2016. С. 79-81.

18. Е.С. Шинкевич, А.Б. Тымняк, В.И. Юсипчук, Д.С. Линник Оптимизация состава и свойств штукатурных растворов на композиционном известьсодержащем вяжущем. Матеріали міжнародного науково-технічного семінару «Моделювання та оптимізація будівельних композитів», Одеса: ОДАБА, 2014. С. 106-108.



19. Сурков А.И., Стрелецкий А.И., Линник Д.С., Шинкевич Е.С. Оптимизация свойств арболитобетона по теплофизическим показателям. Тези доповідей I Всеукраїнської науково-практичної конференції здобувачів вищої освіти і молодих вчених «Фізичні процеси в енергетиці, екології та будівництві», Одеса: ОДАБА, 2018. С. 56-59.

20. Шинкевич Е.С., Линник Д.С., Загинайло И.В., Бондаренко Г.Г. Полиминеральная микропуццолановая добавка для композиционного гипсового вяжущего повышенной водостойкости. Тези доповідей IV міжнародної науково-практичної конференції «Інноваційні технології в архітектурі і дизайні», Харків: ХНУБА, 2020. С. 184-185.

Наукові праці, які додатково відображають наукові результати дисертації

21. Ліннік Д.С. Підбір складів екобетонів на органічних заповнювачах. Розділ в колективній монографії. Сучасні будівельні матеріали та їх технології. / за редакцією О.О. Шишкіна. Кривий Ріг: Залозний В.В., 2017. С. 261-281.

## ЗМІСТ

	<b>стр.</b>
<b>АНОТАЦІЯ</b> .....	2
<b>ВСТУП</b> .....	21
<b>РОЗДІЛ 1    СТАН ПИТАННЯ ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ                   ВИРОБНИЦТВА І ЗАСТОСУВАННЯ                   АРБОЛІТОБЕТОНОВ В БУДІВЕЛЬНОЇ ГАЛУЗІ.....</b>	27
1.1. Розвиток виробництва теплоізоляційних матеріалів на основі органічних заповнювачів .....	27
1.2. Перспективи розвитку виробництва композиційних матеріалів на основі костриці коноплі.....	30
1.3. Особливості використання коноплі як органічного заповнювача для арболітобетонів .....	34
1.4. Теоретичні передумови формування структури матеріалів на основі костриці коноплі.....	38
1.5. Фактори, що впливають на адгезійну міцність зчеплення в'язучого з органічним заповнювачем .....	42
1.6. Шляхи підвищення властивостей арболітобетонів.....	47
<b>Висновки за розділом 1</b> .....	53
<b>РОЗДІЛ 2.    МЕТОДИ, МЕТОДИКИ І МАТЕРІАЛИ,                   ЗАСТОСОВУВАНІ В ДОСЛІДЖЕННЯХ.....</b>	55
2.1. Блок-схема дослідження .....	55
2.2. Матеріали, застосовувані в дослідженнях.....	57
2.3. Методики, застосовувані в дослідженні. ....	62
<b>Висновки за розділом 2</b> .....	65
<b>РОЗДІЛ 3.    ВИБІР ТА ОБГРУНТУВАННЯ КОМПОНЕНТІВ                   СКЛАДУ КГВ ДЛЯ ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЙНОГО                   АРБОЛІТОБЕТОНА.....</b>	66
3.1. Порівняння та обґрунтування вибору різних видів в'язучого.....	66

3.2.	Вибір та обґрунтування виду пуцоланових добавок для композиційного гіпсового в'язучого.....	70
3.3.	ЕС моделювання фізико-механічних властивостей композиційного гіпсового в'язучого.....	72
3.3.1.	Особливості підбору складу багатокомпонентного КГВ.....	72
3.3.2.	Постанова і аналіз багатofакторного експерименту.....	74
3.3.3.	Аналіз комплексного впливу мікропуцоланових добавок, мікроамуючої добавки та суперпластифікатора на технологічні властивості, середню густину та пористість КГВ.....	76
3.3.4.	Аналіз комплексного впливу добавок на властивості КГВ на гідрофізичні властивості .....	91
3.3.5.	Аналіз комплексного впливу мікропуцоланових добавок, мікроамуючої добавки та суперпластифікатора на міцневі показники композиційного гіпсового в'язучого.....	104
3.4.	Багатокритеріальна оптимізація складу модифікованого композиційного гіпсового в'язучого.....	112
	<b>Висновки по розділу 3 .....</b>	<b>116</b>
<b>РОЗДІЛ 4. АНАЛІЗ ВЗАЄМОВПЛИВУ ОРГАНІЧНОГО ЗАПОВНЮВАЧА ТА КОМПОЗИЦІЙНОГО ГІПСОВОГО В'ЯЖУЧОГО.....</b>		<b>118</b>
4.1.	Особливості використання костриці технічної коноплі в якості органічного заповнювача для арболітобетонів.....	118
4.2.	Вибір оптимального співвідношення «органічний заповнювач-в'язуче».....	121
4.3.	Вплив складу КГВ на його адгезійну міцність зчеплення з кострою коноплі технічної .....	124
4.4.	Вплив гідрофобізаторів на властивості арболітобетона на КГВ.....	130
4.4.1.	Аналіз ефективності гідрофобізації арболітобетона на КГВ	130

4.4.2.	Вплив гидрофобизаторов на властивості арболітобетона на КГВ.....	138
4.5.	Теплофізичні та звукоізоляційні властивості арболітобетону.....	144
4.6.	Оцінка та регулювання біостійкості арболітобетона.....	147
4.7.	Електронно-мікроскопічні дослідження структури арболітобетона на КГВ.....	150
	<b>Висновки за розділом 4.....</b>	<b>156</b>
<b>РОЗДІЛ 5</b>	<b>ОПТИМІЗАЦІЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ ТА ТЕХНІКО ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ АРБОЛІТОБЕТОНА .....</b>	<b>159</b>
5.1.	Особливості виробництва арболітобетона на композиційному гіпсовому в'язучому.....	159
5.2.	Оптимізація складу і властивостей арболітобетона.....	161
5.2.1.	Оптимізація складу модифікованого органо-мінерального комплексу для арболітобетона.....	161
5.2.2.	Оптимізація фракційного складу арболітобетона.....	168
5.2.3.	Оптимізація складів та властивостей арболітобетона.....	176
5.3.	Екологічність, енергозбереження та пожаростійкість стінних виробів з арболітобетона.....	181
5.4.	Технологічна схема виробництва арболітобетона на КГВ.....	185
5.5.	Техніко-економічний розрахунок виробництва арболітобетона на КГВ.....	189
	<b>Висновки за розділом 5.....</b>	<b>193</b>
	<b>ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ .....</b>	<b>196</b>
	<b>СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ .....</b>	<b>199</b>
	<b>ДОДАТОК А.....</b>	<b>216</b>
	<b>ДОДАТОК Б.....</b>	<b>222</b>
	<b>ДОДАТОК В.....</b>	<b>223</b>

## ВСТУП

**Обґрунтування вибору теми дослідження.** Будівельна галузь України є споживачем значної кількості енергетичних ресурсів. У будівельному секторі споживається майже 50% природних ресурсів і більше 40% енергії. Вдосконалення сучасних будівельних технологій спрямоване на розробку ефективних матеріалів, використання яких дає можливість скоротити енергетичні витрати і витрату сировинних ресурсів. Виробництво композиційних матеріалів і ефективних стінних виробів з арболітобетона на композиційному гіпсовому в'язучому з використанням природної сировини на основі ефективних та енергозбережних технологій спрямовано на вирішення цієї проблеми. Наявність в Україні значних запасів природного гіпсового каменю, коноплі технічної дозволяє, з урахуванням сучасних матеріалів та технологій, вирішити нагальні та актуальні, соціальні та науково-технічні задачі отримання екологічно чистих, економічних та ефективних стінових матеріалів широкої номенклатури.

Арболітобетон на основі композиційного гіпсового в'язучого відноситься до прогресивних будівельних матеріалів завдяки простоті і малій енергоємності виробництва. Тому розробка ефективних складів арболітобетону на композиційному гіпсовому в'язучому з використанням сучасних полімінеральних мікродобавок, складних органо-мінеральних комплексів та об'ємних гідрофобізаторів нового покоління є актуальним завданням.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Робота виконана на кафедрі процесів та апаратів в технології будівельних матеріалів Одеської державної академії будівництва та архітектури в рамках держбюджетних тем «Розробка наукових основ отримання вапняно-кремнеземних композитів неавтоклавного тверднення на основі енергозбережних технологій» (№ держреєстрації 0109U005436), «Комп'ютерне моделювання і оптимізація технологічних процесів, складу,

структури і властивостей багатокомпонентних будівельних матеріалів» (№ держреєстрації 0111U001248), «Розробка науково-теоретичних основ отримання низькоенергоємних екологічних композитів з використанням комп'ютерного матеріалознавства» (№ держреєстрації 0115U000573).

**Метою роботи є** підвищення експлуатаційних властивостей водостійкості і тріщиностійкості арболітобетона на костриці коноплі технічної та композиційному гіпсовому в'язучому за рахунок застосування комплексу мікропуцоланових добавок, мікроармуючої добавки і полікомпонентного органо-мінерального комплексу, спрямованих на поліпшення роботи органічного заповнювача в гіпсоцементно-пуцолановій матриці.

Для досягнення мети поставлені **завдання:**

-теоретично обґрунтувати та експериментально підтвердити можливість отримання теплоізоляційних арболітобетонів на органічному заповнювачі у вигляді костриці коноплі технічної на композиційному гіпсовому в'язучому, модифікованому добавками різного виду;

-визначити закономірності впливу мінеральної комбінованої двокомпонентної мікропуцоланової добавки підвищеної гідравлічної активності, армуючої добавки, об'ємного гідрофобізатора та суперпластифікатора на фізико-механічні властивості композиційного гіпсового в'язучого;

-визначити закономірності впливу полікомпонентного органо-мінерального комплексу та провести оптимізацію його складу, для додаткової модифікації композиційного гіпсового в'язучого і для мінералізації костриці коноплі технічної;

-провести оцінку фізико-механічних та будівельно-експлуатаційних властивостей арболітобетонів;

-оптимізувати склади та властивості арболітобетона і теплоізоляційних блоків для котеджного, малоповерхового і сільськогосподарського будівництва;

-розробити технологічну схему виробництва стінних блоків, провести

техніко-економічний розрахунок та здійснити дослідно-експериментальну апробацію дослідження.

**Об'єкт дослідження.** Модифіковані арболітобетонні вироби на основі композиційного гіпсового в'язучого та органічного заповнювача костриці коноплі технічної.

**Предмет дослідження.** Закономірності впливу комплексу мікропуцоланових добавок, армуючої добавки мікроволастоніту та полікомпонентного органо-мінерального комплексу на властивості арболітобетону на органічному заповнювачі костриці коноплі технічної та композиційному гіпсовому в'язучому.

**Методи дослідження.** Експериментальні дослідження виконувалися з використанням методу планованого експерименту. Дослідження фізико-механічних властивостей проведено по стандартним методикам. Електронно-мікроскопічні знімки виконані на електронному мікроскопі в АН України.

**Наукова новизна отриманих результатів** полягає в наступному:

*Встановлено вперше:*

– теоретично обґрунтовано і експериментально підтверджено можливість підвищення водостійкості, тріщиностійкості, експлуатаційних властивостей арболітобетону завдяки модифікації суміші мінеральною комбінованою двокомпонентною мікропуцолановою добавкою підвищеної гідравлічної активності, армуючою добавкою мікроволастоніта та органо-мінеральним комплексом;

– встановлено закономірності зміни мікроструктури і фізико-механічних властивостей арболітобетону при застосуванні розробленого полікомпонентного органо-мінерального комплексу, який містить гідрофобізатор, суперпластифікатор та лужні компоненти;

*Набуло подальшого розвитку:*

– виявлено можливість покращення механічних властивостей композиційного гіпсового в'язучого та арболітобетону на його основі за рахунок дисперсного армування мікроволастонітом;

– з використанням методів планування експерименту розроблена поетапна схема оптимізації арболітобетону та запропоновані оптимальні склади модифікованих арболітобетонів на композиційному гіпсовому в'язучому і костриці коноплі технічної для зовнішнього та внутрішнього застосування з підвищеною водостійкістю, міцністю і тріщиностійкістю.

**Практичне значення отриманих результатів:**

– розроблені оптимальні склади композиційного гіпсового в'язучого характеризуються наступними показниками якості: водостійкість  $K_p = 0,92 \div 0,94$ ,  $f_{cm} = 18,5$  МПа;  $f_{ctfm} = 5,5$  МПа тріщиностійкість -  $0,87$  МПа·м<sup>1/2</sup>, адгезійна міцність  $0,17-0,20$  МПа, мікротвердість по Брінелю  $3,5$  НВ;

– розроблено оптимальні склади теплоізоляційного арболітобетона, які забезпечують наступні рівні критеріїв якості стінних блоків: класи по  $f_{cm}$  –  $B0,35, B0,75, B1$ , середньої густини  $\rho = 300-500$  кг/м<sup>3</sup>, теплопровідністю  $\lambda = 0,06-0,10$  Вт/м·К;

– запропоновано спосіб підбору фракційного складу органічного заповнювача у вигляді костриці коноплі технічної на основі ЕС моделей. Методика підбору складу та результати дослідження використовуються навчальному процесі в Одеській державній академії будівництва та архітектури при підготовці здобувачів вищої освіти ступеня магістра по спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія»;

– розроблена технологічна схема виробництва теплоізоляційних арболітобетонних стінних блоків на основі модифікованого композиційного гіпсового в'язучого для котеджного, малоповерхового та сільськогосподарського будівництва;

– випущена дослідна партія об'ємом  $60$  м<sup>3</sup> стінних блоків на підприємстві ТОВ «Consulting Engeneering» (м. Київ) яка була використана при будівництві технічної споруди на території підприємства.

**Особистий внесок здобувача:**

Усі основні результати дисертаційної роботи отримані автором



самостійно. Формулювання мети та задач дослідження, планування натурних та лабораторних дослідів, оброблення, аналіз та інтерпретація результатів експериментальних досліджень, узагальнення інформації, формулювання висновків проводилися за участю наукового керівника.

Особистий внесок автора в роботах, що надруковані в співавторстві, полягає в наступному: вибір і обґрунтування виду в'язучого для арболітобетона; експериментальне визначення властивостей композиційного гіпсового в'язучого для арболітобетона; розрахунок моделей, які описують вплив добавок-модифікаторів на властивості композиційного гіпсового в'язучого; оцінка впливу фракційного складу органічного заповнювача на властивості арболітобетона по ЕС моделям; вплив органічних добавок і неорганічних наповнювачів на властивості арболітобетона; підбір складу арболітобетона за ЕС моделями; підбір співвідношення «органічний заповнювач-в'язуче»; оптимізація складу і властивостей арболітобетона; фізико-хімічні дослідження структури в'язучого і арболітобетона; аналіз теплотехнічних властивостей арболітобетона.

**Апробація результатів дисертаційної роботи.** Основні положення дисертаційної роботи і результати досліджень представлені на наступних міжнародних, всеукраїнських і регіональних конференціях та семінарах: міжнародних науково-технічних семінарах «Моделювання та оптимізація будівельних композитів» (м. Одеса, 2014, 2016, 2017, 2019 роки), міжнародна науково-технічна конференція «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд та будівель на залізничному транспорті» (м. Харків, 2017 рік), International Scientific practical conference «Fundamental and applied science» (Англія, 2017 рік), Всеукраїнська науково-практична конференція здобувачів вищої освіти і молодих вчених «Фізичні процеси в енергетиці, екології та будівництві» (м. Одеса, 2017 рік), міжнародна конференція «Структурутворення, міцність та руйнування композиційних матеріалів і конструкцій» (м. Одеса, 2018 рік), Міжнародна конференція «Актуальні проблеми інженерної механіки» (м. Одеса, 2019 рік), міжнародна науково-

практична конференція «Інноваційні технології в архітектурі і дизайні» (м. Харків, 2020 рік).

**Публікації.** За результатами виконаних досліджень опубліковано 21 наукових праць: 7 з яких у наукових фахових виданнях України (1 індексується наукометричною базою Index Copernicus), 3 у наукових періодичних виданнях іноземних держав (1 індексується наукометричною базою Scopus), 1 колективна монографія, 10 тез доповідей у збірниках наукових конференцій і семінарів.

**Структура та об'єм дисертації.** Дисертаційна робота складається зі вступу, п'яти розділів, загальних висновків, списку використаних джерел і додатків. Загальний обсяг - 223 сторінок: 139 сторінок основного тексту, 68 рисунків, 37 таблиць, список літератури з 170 найменувань, 3 додатки.

## РОЗДІЛ 1

### СТАН ПИТАННЯ ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ ВИРОБНИЦТВА І ЗАСТОСУВАННЯ АРБОЛІТОБЕТОНОВ В БУДІВЕЛЬНОЇ ГАЛУЗІ

#### 1.1. Розвиток виробництва теплоізоляційних матеріалів на основі органічних заповнювачів

Будівельна галузь України є споживачем значної кількості енергетичних ресурсів. У будівельному секторі споживається майже 50% природних ресурсів і більше 40% енергії. Вдосконалення сучасних будівельних технологій спрямоване на розробку ефективних матеріалів, використання яких дає можливість скоротити енергетичні витрати і витрату сировинних ресурсів. Виробництво композиційних матеріалів і ефективних стінних виробів з арболітобетона на композиційному гіпсовому в'язучому з використанням природної сировини на основі ефективних і енергозберіжних технологій спрямовано на вирішення цієї проблеми.

Арболітобетон є екологічно чистим будівельним матеріалом і, не дивлячись на наявність органічного наповнювача, не гниє, не схильний до зараження грибком і пліснявою. Це пов'язано з тим, що наповнювач (найчастіше це деревна тріска), піддається додатковій обробці, а в самому блоці або плиті оберігається від дії високосортним цементом [75,78,128].

Арболітобетон є довговічним екологічним будівельним матеріалом, який славиться високими теплосберігаючими властивостями. Теплопровідність арболітобетона складає 0,08-0,17 Вт/м·К, чим перевершує керамзитобетон в 2,5-3,5 разу, цеглину - в 4-5 разів. Для обігріву приміщень із стінами з арболітобетона завтовшки 30 см потрібні в два рази менше енергоносіїв, ніж для приміщень із стінами з цеглини завтовшки 75 см (три цеглини). Блоки арболітобетона застосовуються для зведення несучих стін і перегородок, а також як матеріал теплоізоляції та звукоізоляції в стінах, перегородках і

покриттях будівель різного призначення [138,139].

Арболітобетон починає все частіше називатися фахівцями перспективним матеріалом. Як будівельний матеріал він був довгі роки незаслужено забутий вітчизняними будівельниками. Унікальні теплоізоляційні властивості дозволяли застосовувати його при будь-яких температурах і у будь-яких регіонах. Винахідником арболітобетона вважають Йосипа Оберляйтнера, який в 1920р. уперше здогадався змішати тирсу з портландцементом і мінералізатором. Мінералізатор - це компонент суміші, завдяки якому і вдалося створити Арболітобетон. Річ у тому, що звичайна суміш деревної щепи з портландцементом отверджується дуже повільно. Цьому заважають речовини, що екстрагуються з деревини лужним розчином, який утворюється при хімічній взаємодії портландцементу з водою. Мінералізатор запобігає такій екстракції. В якості мінералізатора винахідником арболітобетона було запропоновано використати хлорид кальцію.

Арболіт прийшов до нас в 1960-і роки, а розробка ГОСТів по виробництву була скопійована із зарубіжного зразка DURISOL (ДЮРИСОЛ). Матеріал і технологія DURISOL (ДЮРИСОЛ) були розроблені в Голландії в 1930-х рр. і відтоді завоювали широку популярність в Європі, Канаді і США передусім завдяки своїй екологічній чистоті, простоті і економічності будівництва за рахунок високих тепло- і звукоізолюючих властивостей, хорошою паропроникністю та малої питомої ваги готової стінної конструкції. Наприклад, необштукатурена стіна завтовшки 375 мм з термічним опором більше 3,5 Вт/м·К та звукопоглинанням більше 50 дБ має питому вагу усього 380кг/м<sup>2</sup>.

Арболітобетон був розроблений в 60-ті роки у СРСР та пройшов усі технічні випробування, а також був стандартизований і сертифікований. Арболітобетон застосовувався в так званому збірно-композитному і кладочно-композитному житловому будівництві. У масштабному житловому будівництві до середини 90-х років не отримав масового застосування у зв'язку з орієнтацією на будівництво крупнозбірних бетонно-блокових будинків де його високі енергозберігаючі, теплозберігаючі, звукопоглинальні властивості не

бралися до уваги. З середини 90-х його використали в Центральній частині СНД, для індивідуального і багатоповерхового житлового будівництва, зведення адміністративно-побутових та виробничих будівель. Застосовувався Арболітобетон і для облаштування шумопоглинаючих конструкцій уздовж автомагістралей і залізниць. Фахівці припускали, що по обсягах випуску і поширення в будівництві арболіт займе третє місце після бетону і пінобетону. Будівлі, побудовані з Арболітобетону більше 60 років тому, і сьогодні - у хорошому стані, що показало його надійність і довговічність, високі гігієнічні і експлуатаційні властивості [47,52,162]. Хорошим доказом переваги арболітобетона є його застосування при будівництві наукової станції «Молодіжна», яка знаходиться в Антарктиді. Три житла з їдальнею були побудовані з арболітових панелей завтовшки всього 30 см [81].

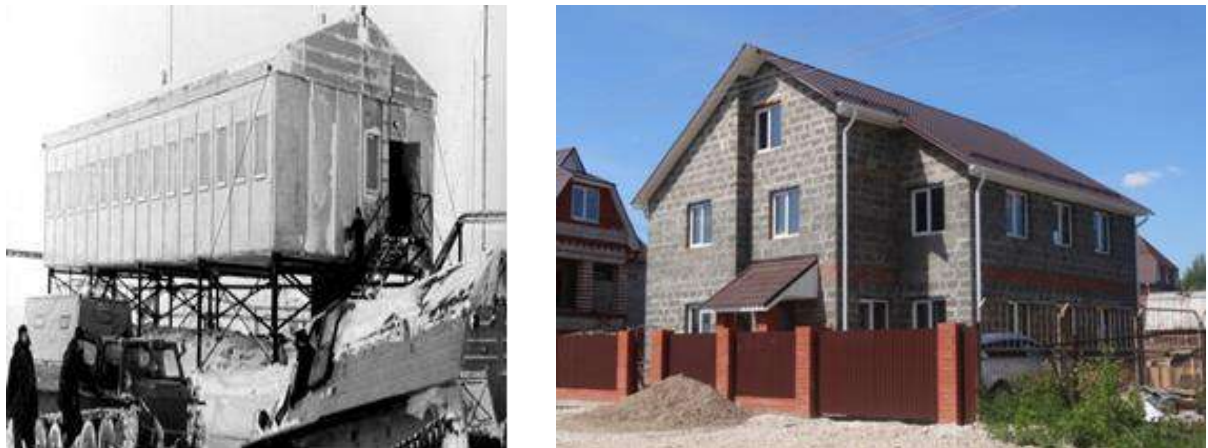


Рис.1.1. Корпус станції «Молодіжна» в Антарктиді побудований з арболітобетону; Сучасний приватний будинок з арболітобетонних блоків

На сьогоднішній день екологічні вимоги і норми по теплопровідності стінних будівельних матеріалів посилені, у зв'язку з високими санітарно-гігієнічними вимогами до житлових будинків і економії енергоресурсів. Багаторічна експлуатація будівель і споруд з матеріалів на органічному целюлозному заповнювачі в зарубіжних країнах, переконливо підтверджує довговічність арболітобетона. З нього виготовляють стінні панелі, блоки, плити, покриття

для поєднаних крівель. За кордоном широко використовується подібний матеріал і цінується за свої екологічні, енергозберіжні якості. У різних країнах аналог «Арболітобетона» має свою назву: «Дюрісол» - Голландія, Швеція; Вундстоун» - США, Канада; «Пілінобетон» - Чехія; «Чентери-боад» - Японія; зведенні не лише приватних будинків, але і висотних будівель різного промислового призначення [155-158].

## **1.2. Перспективи розвитку виробництва композиційних матеріалів на основі костриці коноплі технічної**

Попри те, що дерево-цементні композиції вважаються досить ефективними будівельними матеріалами і їх виробництво налагоджене практично в усіх високорозвинених країнах світу, в той же час, не досліджений достатньою мірою вплив органо-целюлозного заповнювача, такого як костриця коноплі, на терміни схоплювання в'язучого, міцність і довговічність матеріалу. Найбільш вивченим, як вказано раніше, з цементно-композиційних матеріалів являється арболітобетон [29,44]. Арболітобетон, як легкий бетон, застосовується з 1959г. у країнах СНД як стінний матеріал в житловому міському малоповерховому будівництві. Він знайшов широке застосування за кордоном - в Швейцарії, Чехії, США і т. д. [44].

Якість арболітобетона залежить не лише від властивостей терпкої речовини, але і багато в чому від властивостей заповнювача. властивості різних складів арболітобетона розглянуті багатьма авторами [57,74]. В якості органічного заповнювача при його виробництві можуть бути використані відходи - костриця коноплі, січення очерету, костриця льону, і від їх якості і властивостей початкових матеріалів, а також від технології виготовлення, залежать властивості суміші і якість отриманого матеріалу. Основними показниками якості Арболітобетону в якості стінного матеріалу є щільність,

міцність та деформативні характеристики при дії різних факторів, теплофізичні характеристики і довговічність [44,46,120].

Окрім такого стінного матеріалу як арболітобетон, що має досить позитивні фізико-механічні характеристики, треба істотно розширити номенклатуру матеріалів для використання в сільськогосподарському будівництві з метою їх здешевлення і вдосконалення технології виробництва.

Успішного рішення перерахованих завдань сприятиме подальше вдосконалення і розширення застосованих будівельних матеріалів і конструкцій за рахунок використання ефективних будівельних композиційних матеріалів [75], виготовлених на пропонованому в якості заповнювача цьому матеріалі - костриця коноплі, які нині знаходять у край обмежене застосування.

Загальні теорії штучних будівельних матеріалів - композитів були розглянуті багатьма ученими - С.Н. Юнгом, Б.Т. Скромтаєвим, В.А. Риб'євим та ін. [82,86,88,89]. Основним в цих розробках є уявлення про те, що структура дерево-цементних композицій узгоджується із загальними станами теорії штучних будівельних матеріалів. Це викликало необхідність вивчення процесу зчеплення заповнювача із специфічними властивостями, тобто деревини з цементним каменем, визначає його міцність і довговічність.

Вивченню контактної зони деревина-цементний камінь [71] присвячені роботи сучасних дослідників, в яких розглянуті питання поліпшення фізико-технічних характеристик дерево-цементних композицій і підбір їх оптимальних складів.

Композиційні матеріали є з'єднанням двох основних складових, що характеризуються різними механічними і фізичними властивостями, і є незамінними для малоповерхового будівництва, основними складовими композиційного матеріалу є: цементне в'язуче поряд із заповнювачем органічного походження, хімічні добавки і вода. В якості заповнювача, що робить вплив на властивості цих матеріалів, можуть бути використані різні відходи органічної природи, сільськогосподарської промисловості, відходи деревообробної галузі, лісозаготівель і однорічних сільськогосподарських

культур: соломи, лушпиння рису, костриця коноплі, а також кострі льону[44,51,75,78].

Перелічені вище органічні заповнювачі мають такі цінні в застосуванні властивості як екологічність, мала середня щільність, досить хороша звукоізоляція, поширеність в окремих регіонах країни і т. д. Разом з цими перерахованими цінними властивостями вони мають цілий ряд специфічних властивостей, які істотно впливають на процеси структуроутворення, структурно механічні, і кінці-кінців, на властивості композитів [4,77]. Багато досліджень присвячені питанню підвищення міцності арболітобетона. Такими авторами як [62], був запропонований спосіб вимочування стебел коноплі з метою підвищення міцності і прискорення термінів схоплювання. Стебла коноплі вимочували у водному розчині ПАВ, при температурі 20-80 °С при запропонованому способі видно, що зі збільшенням концентрації і температури вимочування, міцність при стискуванні зростає. У віці 1 доба - 0,7 МПа, а у віці 28 діб - 1,2 МПа.

У роботі [61] описаний спосіб виготовлення арболітобетона на основі гіпсових в'язучих речовин. Мета винаходу - підвищення міцності арболітобетона. Поставлене завдання вирішується тим, що відхід первинної переробки коноплі піддається подрібненню в подрібнювачах з дією перетирання, в умовах дії розбавлених розчинів сильних мінеральних кислот - соляною, азотною та ін. При цьому способі виробництва значно зростає зчеплення каменю в'язучого із заповнювачем, що сприяє збільшенню міцності арболітобетонних виробів на стиску та вигин, при наступному співвідношенні компонентів, мас. %: Гіпс - 42-46; Органічний заповнювач - 25-27; (Подрібнена в кислому середовищі деревна тріска) - 4-8; Вода - інші. Міцність при стиску цих складів збільшилося в порівнянні з контрольним складом в 4 рази.

Підвищення міцності [63] арболітобетона в ранні терміни тверднення досягається за рахунок обробки деревного заповнювача гелем, що містить рідке скло, хлористий кальцій і сульфат міді, змішування з цементом і



тверднення, як показують результати випробувань [63] міцність при стиску збільшується в два рази. Негативний вплив на властивості композитів надає значне хімічна активність заповнювача, істотна міра об'ємних деформацій вологості усихання і розбухання [44], по порівнянню різко виражена анізотропія, значна пружність суміші. Міра впливу цих негативних властивостей заповнювачів рослинного походження різна. Проте, для отримання якісних виробів це повинно враховуватися не лише в технології виробництва композитів, але і з метою довготривалої їх служби.

Структура композиційного матеріалу на органічному заповнювачі, передусім, залежить від властивостей матеріалів, використовуваних для його виготовлення. Причому вирішальними властивостями композиту є його теплопровідність, міцність, водопоглинання і деформативність [75]. На процес структуроутворення композиту негативно позначається істотне міра об'ємних деформацій вологості, порівняно висока проникність і провідність, низька адгезія до цементного каменю, анізотропність і значна пружність при ущільненні суміші [77,78,116]. Причому, міра впливу цих недоліків заповнювача рослинного походження на процес структуроутворення і фізико-механічні властивості композитів різна. Але це необхідно враховувати при виробництві матеріалу [120].

Найбільш добре та повно вивчена агресивність целюлозомістких заповнювачів по відношенню до схоплювання і твердіння цементу [15,48,66, 76,115]. При розгляді властивостей дерево-цементної композиції [39] було висунене припущення, що низька міцність такої композиції пов'язана з хімічним складом деревини, є комплекс складних речовин органічного походження - целюлози, лігніну, дубильних і фарбувальних речовин, жирів, ефірних олій, органічних кислот.

Органічні заповнювачі мають такі цінні в застосуванні властивості, як екологічність, мала середня щільність, досить хороша звукоізоляція, поширеність в окремих регіонах країни і т. д. [54]. Разом з цими перерахованими цінними властивостями вони мають ціле рядом специфічних

властивостей, які істотно впливають на процеси структуроутворення, структурно-механічні і, і кінці-кінців, на властивості композитів [77].

До органічних заповнювачів подібних деревині може бути віднесена костриця коноплі [47,75,151], для якої перераховані властивості мало вивчені, і від яких залежить якість і довговічність служби композиційних матеріалів.

Структура композиційного матеріалу на органічному заповнювачі, в першу чергу залежить від властивостей матеріалів, використовуваних для його виготовлення. На процес структуроутворення композиту негативно позначається істотна міра об'ємних деформацій вологості, порівняно висока проникність та провідність, низька адгезія до цементного каменю, анізотропність і значна пружність при ущільненні суміші. Причому, міра впливу цих недоліків заповнювача рослинного походження на процес структуроутворення та фізико-механічні властивості композитів різна, і це необхідно враховувати при виробництві матеріалу.

Багатьма авторами [54,76,103] достатньо вивчені агресивність перелічених вище органічних заповнювачів по відношенню до цементу. Свого часу [74,75], як відмічено раніше, багатьма дослідженнями припустило, що знижена міцність композитів з використанням органічних заповнювачів пов'язана з хімічним складом деревини, є складний комплекс речовин органічного походження [116].

### **1.3. Особливості використання коноплі як органічного заповнювача для арболітобетонів**

У зв'язку з розширенням виробництва дешевих і екологічно чистих композиційних матеріалів на органічних заповнювачах повинна розширюватися номенклатура заповнювачів, використовуваних для їх виготовлення. одній з можливостей як органічного заповнювача являється використання костриці коноплі. Як наслідок такої можливості виникає необхідність детального вивчення фізико-механічних властивостей костриці

коноплі, її будови як органічного заповнювача у будівельних композиційних матеріалах. Особливо треба відмітити, що вона є дуже дешевим наповнювачем в деревино-цементних композиціях, в порівнянні з іншими (деревина, очерет) деревними заповнювачами [103]. Слід також відмітити, що окрім дешевизни костриця коноплі має цілий ряд позитивних властивостей.

Позитивні:

1) У складі в порівнянні з іншими деревними заповнювачами мало водорозчинних цукрів (сахароза, глюкоза, фруктоза) 0,1-0,5%, а також полісахаридів, геміцелюлози (12-16,2%), здібних гідролізовуватися в лужному середовищі, та являються «цементними отрутами»; інші компоненти стійкіші до цементного каменю: целюлоза (46,8-47,7%), лігнін (15,1-18,6%), екстрактні речовини - таніди, скипидар (17,7-19,9%), вимиваються тільки гарячою водою; смоли і пектини (3-4,6%), можуть тільки частково вимиватися і трохи знижувати змочуваність, адгезію; жири, віск та зола (1,6-1,8%) - діалектично інертні.

2) Мало міняє геометричні розміри навіть після трьох діб вимочування у воді, оскільки очікувана висока водостійкість і мінімальні  $V$ .

3) Волокна мають розміри задовольняючі вимогам до органічного заповнювача:  $L$  до 50 мм,  $d$  до 0,3 мм; щільні, з каналами.

Негативні:

1) Поверхня волокон дуже гладка «глянсова», тобто слабка адгезія. На рис.1 видно, що значна частина целюлози має високу міру структурної впорядкованості до кристалічної.

Дерево-композиційні матеріали на основі костриці коноплі дозволять ефективно використати відходи виробництва, а також понизити собівартість продукції і раціонально витратити деревні ресурси, і в той же час, оволодіти принципово новий вид продукції раніше не використаних відходів. це дозволить значно зменшити екологічний збиток від вирубування лісів, [28,67] і розширити асортимент продукції.

При детальному вивченні арболітобетона на основі костриці коноплі як заповнювача, слід розглянути такі його властивості як щільність, вологість, гігроскопічність, теплопровідність, усихання, розбухання і стійкість до дії агресивних засобів [114].

У складі костриці коноплі, як основний компонент, входить целюлоза [40] частки якої здатні склеюватися. Деревні волокна костриці розташовані паралельно довжині часток і на відміну від інших видів сировини мають гладку водонепроникну ізольовану поверхню. Окремі костринки не мають значної товщини, що дозволяє отримувати композиційні блоки з гладкою поверхнею з незначною обробкою. Внаслідок малої товщини костринок вони щільно упаковані, мінімально містять повітряні порожнини, сприяє утворенню великої кількості клейових мостів, а це, у свою чергу, позитивно позначається на міцневих показниках композиційного матеріалу (рис.1.2) [40].

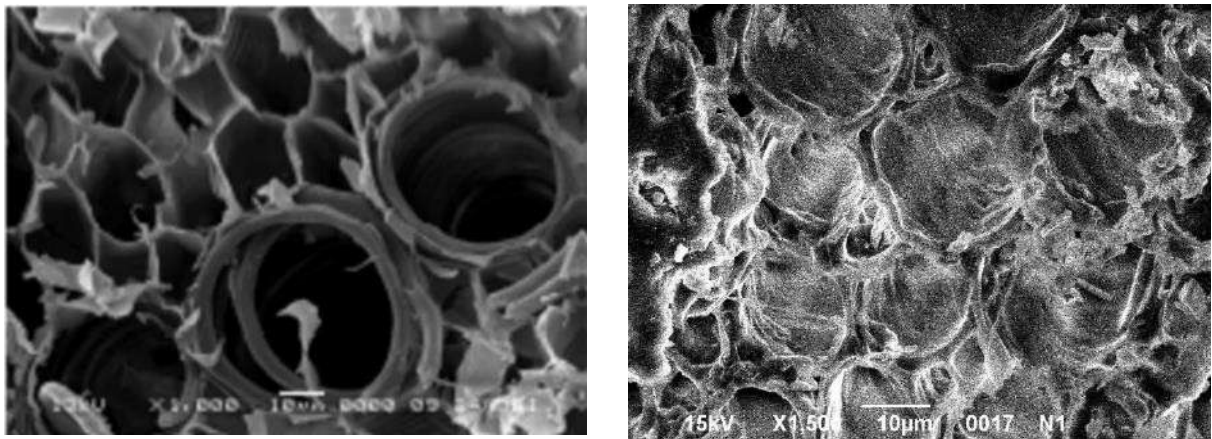


Рис.1.2. Мікрофотографія стебла костриці коноплі

З економічної точки зору використання костриці сприяє зниженню ціни готових виробів з неї, оскільки вартість костриці, як сировини, значно нижче вартості деревини.

З технологічної точки зору, використання костриці дозволяє понизити витрати на виробництво композиційних блоків за рахунок змін в технологічному процесі. При підготовці сировини костриця не вимагає додаткового подрібнення [47], оскільки розміри часток відповідають вимогам

для виробництва композиційних блоків. Конопле обробні підприємства реалізують костру з вологістю 12-30%, що дозволяє понизити витрати на сушку виробів [71]. На відміну від ділової деревини, для дозрівання якої потрібні десятки років, костриця утворюється на конопле переробних підприємствах щорічно. Восени виникає дефіцит деревної сировини у виробництві клеєних композиційних матеріалів, а збір урожаю коноплі та її переробка відбувається восени, тобто в той літній період, коли скорочуються об'єми заготівлі деревини.

В той же час, практично не розглянута можливість використання костриці як органічного заповнювача для композиційного матеріалу, абсолютно не вивчені питання виробництва цього матеріалу, його переваги і недоліки, фізико-механічні властивості, питання виготовлення, формування і тверднення [36]. В процесі первинної переробки конопель утворюється конопляна костриця як відходи виробництва при механічній обробці сировини на машинах, яка є одріснєвєлимими частками стебел лубових рослин - льону та конопель [50]. Велика частина костриці, загальний вихід якої складає більше 1 млн.т. в рік спалюється в якості палива, але в той же час при вивченні її властивостей, вона може бути використана як органічну сировину для виробництва деяких композиційних матеріалів.

Нині [44] спостерігається значний ріст виробництва переробки коноплі, обумовлено підвищеним інтересом до виробництва конопляних тканин і одягу, мають високі екологічні і гігієнічні властивості, та у зв'язку з цим виникає актуальність використання створеної при цьому костриці коноплі у виробництві будівельних матеріалів, на її основі, так само як костриця, є екологічно чистими, і при цьому відсутня необхідність складування костриці, що також має значення [28].

До позитивних властивостей костриці відноситься те, що з її хімічним складом вона містить багато стійких хімічних сполук - лігнін (21-29%), целюлозу (45-58%) і пентозанов (23-26%) [40]. Без додаткової механічної обробки частки костриці утворюють фракцію, придатну для використання у

блоковому виробництві [46]. Оскільки пропонувані композиційні матеріали на основі костриці коноплі можуть поступатися, за результатами дослідження, відповідним будівельним матеріалам, наприклад, деревним плитам, виникла необхідність прийняти технологічні і організаційні напрями, що дозволяють досліджувати і поліпшити якість готових матеріалів, тим самим розширити сферу їх застосування і конкурентоспроможність [44,67].

До костриці коноплі, що використовується як заповнювач для композиційного матеріалу, пред'являють такі вимоги, як на вигляд, так і за видимими ознаками - вона має бути без гнилизни і плісняви, а так само без домішок сторонніх матеріалів (шматків глини, рослинного шару ґрунту, каменів і піску), а в зимовий час - без домішок снігу і льоду [76].

У зв'язку з цим виникла необхідність в цих дослідженнях розглянути костру коноплі в якості заповнювача для композиційного матеріалу [40].

#### **1.4. Теоретичні передумови формування структури матеріалів на основі костриці коноплі**

За прогнозами зарубіжних вчених [151] в майбутньому виготовлятимуться легкі конструкційно-теплоізоляційні бетони з середньою густиною від 800-1200 кг/м<sup>3</sup> і міцністю при стиску від 25 до 70 МПа, використання яких дозволить будувати будівлі заввишки більше 100 поверхів. І це буде можливим завдяки використанню відходів промисловості та сільського господарства.

Велика увага останніми роками приділяється широкому використанню відходів промисловості і сільського господарства в технології отримання композиційних матеріалів. Особливу актуальність отримало використання відходів рослинного походження як сировини для їх виробництва. Це дозволить розширити утилізацію відходів і отримати дешеву місцеву сировину для отримання нових матеріалів. Такі дослідження проводяться у

багатьох країнах, що обумовлено ростом дефіциту деревини для виробництва будівельних матеріалів і виробів.

Численні дослідження показали, сировиною що цілком підходить для виготовлення композиційних матеріалів являється целюлозно-сільськогосподарські відходи - тростина, очерет, солома злакових культур [51,53,55].

Одним з продуктів рослинної сировини для виробництва будівельних матеріалів є костриця коноплі як побічний продукт промислової переробки залишків рослини [46].

Вивченню властивостей і технології отримання матеріалів з рослинної сировини присвячений ряд вітчизняних і зарубіжних досліджень [30,44,48, 66,76,115]. Якість отриманого матеріалу при цьому залежить від розщеплювання сировини на волокно, забезпечується підготовкою сировинної маси, обробляється розчинами лугів, при цьому лігнін розчиняється повністю геміцелюлоза частково, а целюлоза майже не розчиняється, і зв'язок між волокнами ослабляється. Проте, немає необхідності в значній делігнізації рослинного комплексу. Необхідно тільки трохи ослабити міжклітинне зв'язок, а для цього бажано створити умови, при яких сталося б значні зміни основного органічного комплексу рослин.

Широке застосування знайшов арболіт, що виготовляється в основному з відходів целюлозомістких наповнювачів (відходів деревини, соломи, коноплі) та в'язучих речовин [52,54]. Легкий бетон – арболітобетон, простий у виготовленні на органічному наповнювачі та мінеральному в'язучому, довговічний і морозостійкий. Його понижена міцність пов'язана із специфічними властивостями целюлозного наповнювача, негативно впливає на структуроутворення костро композита [96].

Існують вдалі технології виробництва будівельного матеріалу, при інтенсифікації процесу пресування, при яких костриця розм'якшується і виділяється лігнін, сприяє склеюванню окремих стебел [15,118]. У другорядних будівельних конструкціях ефективним матеріалом є очерет,

негативною якісною рисою якого є те, що він не біостійкий і йому потрібна обробка поверхні для підвищення водостійкості.

Відходи сільськогосподарського виробництва - солома, костриця, лушпиння, стебла бавовни теж можна використати для виробництва будівельних матеріалів (деревно-композиційних), проте при достатній міцності виробів росте їх водопоглинання [14].

Костриця коноплі, для якої розроблена технологія виробництва арболітобетонних блоків, вимагає підвищення їх біостійкості, що теж призводить до збільшення водопоглинання. Костриця коноплі є повноцінним заповнювачем для арболітобетона, в її складі мало цукрів, що не вимагає обов'язкового застосування хімічних домішок, при використанні яких відбувається зниження змісту полісахаридів [44,74] і появи в масі вільних цукрів. При цьому збільшується міцність і водостійкість виробів, оскільки головними причинами руйнування будівельних матеріалів на основі рослинної сировини є процес старіння матеріалу в наслідок проникнення води в пори матеріалу, що призводить до поперемінного зволоження і висихання, заморожування і відтавання.

Була запропонована нова технологія виготовлення атмосферостійкого арболітобетона [14] за рахунок повної локалізації деревних часток полімерцементною плівкою, яка не перешкоджає нормальному твердінню цементу. За такою ж технологією можливо отримувати Арболітобетон з костриці коноплі, [14,30] але при цьому важко отримати однорідну фракцію часток.

На основі рослинних відходів виготовляють теплоізоляційні матеріали, в яких в якості в'язучого використано рідке скло [23,34,67,68,105], завдяки чому досягнуті високі вогнезахисні властивості, проте, при цьому матеріали мають підвищену гігроскопічність та водопоглинання.

Особливо слід зазначити, що рідке скло є найбільш перспективним, в порівнянні з іншими неорганічними в'язучими. Воно поводить як електроліт, з одного боку, і як розчин полімерів, з іншою, хоча міра полімеризації в порівнянні з органічними полімерами є великою [56,68].



Тверднення розчину рідкого скла обумовлено, як складністю складових частин, так і присутністю в рідкій фазі компонентів, що мають кристалічну і колоїдну природу [5]. Чим вище модуль рідкого скла тим вище склеювальна його здатність, яку визначають колоїдні з'єднання, що входять до складу рідкого скла. Частки заповнювача об'єднуються в твердий моноліт, що утворюється гелем кремневої кислоти [34]. При твердненні силікатних кислототривких цементів, вважається, що розкладаються силікати натрію, що входять до складу рідкого скла. При твердненні силікатних кислототривких цементів гель кремневої кислоти, що утворився, відкладається на поверхні заповнювача і цементує частки матеріалу в міцний моноліт [33-35,68,105]. При цьому віддаляється не лише вода, міститься в рідкому склі, але і адсорбована гелем [5].

Нині недостатньо досліджена область будівельних матеріалів на основі целюлозомістких відходів, наприклад, костриці коноплі, немає загальних вимог до сировини, як органічного наповнювача, а так само і до в'язучого. Крім того, немає кореляції властивостей матеріалу на основі органічної сировини з його структурою, а це питання є дуже важливим при проведенні робіт, що визначають розробку і створення нового матеріалу з використанням костриці коноплі [50].

Різноманіття будівельних матеріалів залежить від виду рослинного заповнювача (очерет, конопля, костриця льону і т. д.) та виду в'язучого (цемент, рідке скло, вапно, гіпс, синтетичні смоли) [114].

Питання структуроутворення матеріалів на основі рослинної сировини вивчені нині недостатньо, а структурні особливості композиційних матеріалів на рослинному заповнювачі можна простежити на прикладі арболітобетона [13,71,103,114].

При формуванні структури велике значення мають не лише об'ємні дози в'язучого і заповнювача, але і природа поверхні заповнювача [25,49,103]. На межі розділу заповнювача і матриці утворюються порожнечі і пори, за рахунок відмінності коефіцієнтів лінійного термічного розширення з'являється значна

внутрішня напруга, що викликає розтріскування, яке відбувається або по матриці, або по адгезійних контактах із заповнювачем [51,86,132]. Окрім впливу фізико-хімічної активності поверхні заповнювача і в'язучого, характер освіченого зв'язку залежить і від міри зближення компонентів [99].

В процесі структуроутворення виникає напружений стан, що викликає усадкову напругу клейового шару в'язуче-органічний заповнювач [82,87,95].

Костриця коноплі і солома хлібних злаків на відміну від деревини є неоднорідним матеріалом, як в хімічному, так і в морфологічному відношенні.

Спосіб переробки компонентів, в першу чергу, органічного заповнювача в готовий продукт впливає на структуру отриманого матеріалу [39,101].

Целюлозо-волокнисті матеріали для використання в практичних цілях для масового застосування і збільшення обсягу їх виробництва необхідно детально вивчити з метою забезпечення зниження водопоглинання, підвищення біостійкості можливості отримання нових матеріалів на основі сільськогосподарських відходів, зокрема костриці коноплі [78,116].

На основі рослинних відходів в якості в'язучого використовують рідке скло, що зраджує матеріалу вогнезахисні властивості, але при цьому підвищується його гігроскопічність і водопоглинання. Рідке скло має особливості при твердненні, що обумовлено складністю його складових частин і одночасною присутністю в його складі рідкої фази компонентів, що мають кристалічну і колоїдну природу. Колоїдні з'єднання впливають на склеювальну здатність, пов'язану з модулем рідкого скла, - чим вище модуль рідкого скла, тим вище його склеювальна здатність [5,69].

### **1.5. Фактори, які впливають на адгезійну міцність зчеплення в'язучого з органічним заповнювачем**

Серед усіх існуючих різновидів бетону найбільш наближеним до цієї теми легкий бетон, одному з різновидів якого, найбільш вивченим і затребуваним є арболітобетон [36,71]. Виготовляється арболітобетон на мінеральному

в'язучому (зазвичай на портландцементе) і сумішей целюлозних органічних заповнювачів рослинного походження (відходів деревообробки, костриці коноплі та ін.), води та хімічних добавок. Конструкції і вироби з арболітобетона мають значні сировинні ресурси, оскільки разом з в'язучим використовують відходи сільськогосподарського виробництва, об'єм яких досить переконливий; арболітобетон має невисоку середню щільність і має відмінні гігієнічні властивості і довговічність [74,76,77]. Завдяки цьому з нього виготовляють різні композиційні матеріали - стінні панелі, блоки, перевага яких значна порівняно з традиційними матеріалами і полягає, як в зниженні маси будівель і споруд, так і в утилізації відходів сільськогосподарського виробництва і зниженні витрати цементу [74]. Переваги приготування і підготовки целюлозного органічного заповнювача при використанні костриці коноплі в порівнянні з іншими (деревина, очерет) полягає тільки до відділення пилоподібних фракцій.

Теплоізоляційний та конструкційний арболітобетон при середній густині 400-700 кг/м<sup>3</sup> із заповнювачем - костриця коноплі [74,78] має невисоку теплопровідність від 0,07 до 0,12 Вт/м·К, окрім в'язучого і заповнювача в нього вводяться хімічні добавки (хлорид кальцію, рідке скло) [25,35] для прискорення тверднення в'язучого. У технології виготовлення цього композиційного матеріалу повинні враховуватися специфічні властивості заповнювача – костриця коноплі, що впливають різній мірі на процеси структуроутворення та фізико-механічні властивості в'язучого. До такого заповнювача, як костриця коноплі, пред'являються вимоги [30,76] по довжині часток, змісту очосів та паклі, змісту домішок сторонніх матеріалів.

В якості в'язучого для приготування арболітобетона застосовують зазвичай портландцемент [86], який забезпечує в першу добу тверднення інтенсивний набір міцності. Окрім в'язучого, води і заповнювачів у виробництві арболітобетону широко застосовують хімічні добавки, які можуть підвищувати марочну міцність, прискорюють процес тверднення в'язучого і покращують технологічні будівельні властивості суміші. Ними служать

хімічні речовини, уповільнюючі і локалізуючі дії екстрактних речовин, які покривають частки заповнювача водонепроникною плівкою, або є прискорювачами тверднення. В якості таких складів можуть служити хлорид кальцію у поєднанні з рідким склом, або хлорид кальцію з вапном, та інші [5,34,68].

Змінюючи умови тверднення матеріалу, співвідношення між в'язким і інертним заповнювачем, змінюючи хімічний склад і властивості добавки, можливо отримувати матеріали з різними фізико-механічними і фізико-хімічними властивостями [34,45,105,166].

Відмітимо, що деформації вологості арболітового заповнювача, характеризується великою питомою поверхнею часток, таким як деревна стружка, значно перевищують деформації арболітобетону на заповнювачі з меншою питомою поверхнею часток, наприклад на кострі коноплі або кострі льону. Деформації вологості арболітобетону, що виникають можна понизити не лише спеціальними хімічними добавками, підбором форми і розміру часток заповнювача, а так само співвідношенням кількості часток різного розміру для оптимальної упаковки в матеріалі [114].

Усі використані види органічного заповнювача мають в істотний вплив на міцневі та деформативні властивості арболітобетона [74]. Цей вплив визначається, як структурою заповнювача різного виду (формою і розміром часток, питомою поверхнею), так і фізико-механічні та хімічними властивостями - видом і кількістю екстрактних речовин, міцністю, пористістю, деформативністю, біостійкістю і так далі [132,140-142].

Тип рослинного заповнювача (костриця коноплі, очерет і ін.) та терпкого (цемент, гіпс, вапно, рідке скло, та ін.) визначає усе різноманіття існуючих композиційних матеріалів, проте, нині недостатньо вивчені багато питань структуроутворення цих матеріалів.

У матеріалах на рослинному заповнювачі (солома, очерет, костриця на ін.), навколо якого утворюються колоїдні контакти, збільшуються теплоізоляційні властивості, зв'язки між частками досягають оптимальної

структури і проявляються властивості не властиві компонентам [9,19,89]. Це викликає підвищення міцності структури, проте на поверхні розділу фаз виникають дефекти. Крім того, на структуру матеріалу впливає спосіб переробки органічного наповнювача, при якому змінюється активність його поверхні [86,89,100,101].

Технологія отримання арболітобетона з підвищеною стійкістю за рахунок повної локалізації часток заповнювача полімер цементною захисною плівкою була запропонована деякими авторами [14]. Захисна полімер цементна плівка блокує виділення водорозчинних екстрактних речовин і не перешкоджає нормальному твердінню цементу. Матеріал при цьому придбаває підвищену міцність і водостійкість. Як захисна плівка використовувалося рідке скло [5,45], плівка з якого ізолює цемент від шкідливої дії цукрів, або гідрофобізатори.

За такою ж технологією можна отримувати арболітобетон з костриці коноплі, проте при цьому складно отримати однорідну фракцію часток заповнювача [30,52].

Основними факторами, що впливають на структуру матеріалу, є витрата в'язучого, фракційний склад заповнювача, міра ущільнення арболітобетонної суміші при формуванні та ін.

Хімічними способами запобігання шкідливій дії водорозчинних речовин заповнювача на цемент є нейтралізація часток заповнювача спеціальними речовинами для перекладу їх в нешкідливі з'єднання [5].

Якість арболітобетону підвищується зі зниженням витрати води зачиннення із застосуванням пластифікаторів, які не знижують швидкості набору міцності арболітобетона.

Як відмічено багатьма авторами [42,77] на процеси тверднення цементу істотно впливають властивості, кількість і вид заповнювача. У складі органічного заповнювача в цій роботі пропонується костриця коноплі як значний сировинний ресурс для виробництва композиційних матеріалів.

Найважливішою складовою частиною продуктів гідратації портландцементу є гідроксид кальцію [76], який є агресивним по відношенню органічного заповнювача тому що водорозчинні речовини (цукру) впливають на тверднення цементу, вступаючи з ним в хімічну взаємодію і зменшують швидкість схоплювання в слідство того, що частки цементу покриваються захисною оболонкою і втрачають здібності зчіплюватися один з одним. При цьому оболонка, що утворилася ускладнює доступ води до зерен цементу гальмує процесі його гідролізу і гідратації [42].

При виборі цементу перевага належить алітовим цементам, що містять в основному трьох кальцієвий силікат, забезпечує в першу добу інтенсивніший набір міцності, при цьому переважно швидкотвердіючий цемент [76]. Це дає можливість отримати достатню міцність композиту в ранні терміни тверднення до того, як починають активно виділятися шкідливі речовини целюлозомісткого заповнювача. Окрім того прискорення гідратації мінералів портландцементу і інших клінкерних мінералів можна досягти введенням хімічних добавок, як вже згадувалося раніше. Добавки вводяться у вигляді водних розчинів (1.1) замість води зачиннення або замінюють її частково. Залежно від концентрації розчину кількість сухої добавки визначають:

$$P = (V_{dp} * C) / V \quad (1.1)$$

де,  $V$  - об'єм готового розчину,  $m^3$ ;  $dp$  – середня густина розчину потрібної концентрації  $T/m^3$ ;  $C$  - концентрація приготованого розчину %;  $V$  - вміст основної речовини в товарному продукті % [74].

Нині досліджені і налагоджено виробництво комишиту і плит з соломи, відходів сільськогосподарського виробництва і в деяких випадках досягнуте збільшення міцності виробів, проте вони не відповідають вимогам водостійкості, теплопровідності і водопоглинання [43,49]. В деяких випадках вироби отримували досить дешеві, проте при їх виробництві ускладнена робота подрібнювального устаткування внаслідок вологості сировини. при

використанні як заповнювач костриці коноплі в композиційних матеріалах не потрібно використання подрібнювального устаткування, що є перевагою при виготовленні матеріалу.

Проникнення води в пори композиційного матеріалу на основі рослинної сировини, поперемінне зволоження і висихання, заморожування і відтавання викликає руйнування матеріалу. Тому необхідно вживати спеціальні заходи для захисту матеріалу від зволоження в період транспортування, зберігання, а також в період експлуатації.

Багато питань структуроутворення композиційних матеріалів на основі рослинної сировини доки ще недостатньо вивчені, оскільки специфічні особливості заповнювач обумовлюють і особливості процесу структуроутворення. У арболітобетона на рослинному заповнювачі [47,76,88] навколо його елементів утворюються повітряні пори, міняє його теплопровідність і, загалом, властивості матеріалу.

Разом з процесом зміцнення матеріалу, відбувається процес знеміцнення, якщо підвищується зміст наповнювача в композиті. Для формування структури велике значення має не лише кількість в'язучого і наповнювача, але і природа самого заповнювача, спосіб його обробки, змінює активність поверхні заповнювача [39,86,89,100,101].

На структуру і властивості композиційного матеріалу впливає спосіб переробки органічного заповнювача, змінює активність його поверхні. У певних роботах досліджені органічні заповнювачі різного походження (деревина, бавовник, цукрова тростина, костриця коноплі і т. д.), своєрідність їх структури, хімічний і морфологічний спосіб переробки компонентів, їх вплив на активність в'язучого [9,13,26,36].

## **1.6. Шляхи підвищення властивостей арболітобетонів**

Приведений вище огляд є основою для подальшого удосконалення складів і технологічних прийомів виготовлення високоякісних виробів з

арболітобетонів у вигляді блоків для кладки внутрішніх і зовнішніх стін малоповерхового індивідуального і сільськогосподарського будівництва. Особлива увага при виробництві блоків з арболітбетону, слід приділяти термінам схоплювання, водостійкості, деформативності, біостійкості, розширенню та ін.

Серед безлічі факторів, на перераховані властивості робить вплив взаємодія гіпсу у вигляді  $\beta$ -модифікації  $\text{CaSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ .

При розробці високотехнологічних складів враховувалися процеси взаємодії напівгідратів  $\beta$ -модифікації з добавками різного виду і призначення. Узагальнення результатів дозволило сформулювати і реалізувати в досвідчених умовах додаткові доступні технологічні прийоми. Активний кремнезем комбінованої двохкомпонентної мікропуцоланової добавки взаємодіє з  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ . В результаті утворюються гідросилікат кальцію типу  $\text{CSH}(\text{B})$ , а спільно з гідроалюмінатами утворюються гідрогранати  $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot n\text{SiO}_2 \cdot (6-2)n\text{H}_2\text{O}$  і гідросилікоалюмінати  $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{CaSiO}_3 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ , що показано в розділі 4.5. Ці з'єднання сприяють підвищенню водостійкості, оскільки мають незначну розчинність і захищають частинки гіпсу від розчинення.

Після розчинення гіпсу починається кристалізація новоутворень в насиченому розчині. В процесі кристалізації на початку утворюються кристали, а потім відбувається їх ріст і зрощення між собою. Процес зрощення кристалів в єдиний каркас найважливіший для міцності. Здатність до повного зрощення контактів втрачається задовго до повного завершення гідратації. Тому будь-яка механічна дія (повторне перемішування або вібрація) призводить до зниження міцності, що обумовлено руйнуванням первинної структури. Виходячи з викладеного слід зробити висновок, що час приготування КГВ і його перемішування з кострою має бути чітко обмежений.

Наявність у складі КГВ тонкодисперсних добавок-наповнювачів сприяє не лише зниженню розчинності, але і уповільненню термінів схоплювання. Проте швидке тверднення для виробництва арболітових виробів є позитивним фактором. Під час виготовлення арболітобетонних блоків, завдяки малим



термінам тверднення, збільшується оборотність форм, оскільки вже через декілька годин після формування виробу досягають більше 50% марочної міцності. В даному випадку слід враховувати, що із-за коротких термінів схоплювання неможливо замішувати великі об'єми арболітобетонної суміші. Проте об'єми суміші можуть коригуватися кількістю змішувачів, що не раціонально. У зв'язку з цим для регулювання термінів схоплювання застосовуються добавки. З давніх часів відомо, що введення вапна уповільнює терміни схоплювання гіпсомістких розчинів. Широко застосовують добавки-уповільнювачі у вигляді органічних клеїв, буру та ін.

У даному дослідженні для регулювання термінів схоплювання і забезпечення процесів мінералізації додатково застосовано вапно, враховуючи її лужні властивості.

Відомо також що збільшення тонкості помелу приводить до прискорення тверднення, причому збільшення тонкості помелу гіпсу впливає значно менше, ніж вторинний помел. Так само терміни схоплювання гіпсомістких в'язучих можуть регулюватися температурними параметрами. Підвищення температури до 80°C призводить до скорочення термінів схоплювання, що є актуальним для арболітобетонів, але негативним для гіпсових в'язучих. Високій швидкості схоплювання обумовлена необхідністю мінімізації часу процесу насичення водою органічного заповнювача. Надлишок води не лише уповільнить схоплювання, але і вплине на щільність, понизить міцність терпкого. Виходячи з викладеного витікає, що для бетонів на органічних заповнювачах раціонально застосувати обробку парою при температурі 70-80°C. При подальшому підвищенні температури до 90-100°C схоплювання і тверднення гіпсу припиняється.

Дослідженнями [8,10,16] встановлено, що введення до 0,1% NaCl при отриманні гіпсу призводить до поліпшення властивостей гіпсового в'язучого. При цьому не лише знижується температура гідратації, але і покращується якість в'язучого. Нестачею гіпсу, який містить NaCl являється підвищена гігроскопічність і втрата активності при збереженні. Тому такий гіпс

необхідно використати відразу ж після виготовлення, що не раціонально при виробництві арболітобетонних виробів з КГВ.

У виробництві будівельного гіпсу для обезводнення широко застосовуються добавки  $\text{CaCl}_2$  і варіння в карналіті ( $\text{KCl} \cdot \text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ), що забезпечує високу міцність, але різко скорочує терміни схоплювання. Можливе застосування, для обезводнення тільки  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  і  $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$ . Використовуються такі розчини ПАВ: СДБ, милонафт, карбонові кислоти та їх різновиди - сульфоефіри, алкіларілсульфонати. Зміст таких ПАВ 1-3% маси гіпсового каменю.

На терміни початку і кінця схоплювання впливає розчинність КГВ. Розчинність напівгідрату - 2,05 г/л, тоді як ангідриту - 1 г/л, ангідрит здатний переходити в гіпс. Розчинність, таким чином, може регулюватися рецептурно-технологічними чинниками в досить широких межах. Чим вище розчинність, тим раніше починається і закінчується схоплювання.

Різні добавки (сапонін, екстракт з листя каштана та ін.) впливають на міцність і терміни схоплювання, в результаті формування кристалів різної форми і розмірів.

Міцність і терміни схоплювання можна підвищити скороченням водопотреби гіпсу. Знижують водопотребу гіпсу сульфатний луг, кератиновий та вапняно-клейовий розчини, синтетичні жирні кислоти (0,1-0,3№ від в'язучого), алкіламіни.

Розчинність гіпсу знижується при введенні вапна. Спільне введення винищити і гідралічних добавок, таких як трепел, опока, шлак підвищує водостійкості і міцність.

Встановлено також [22,111], що процес штучного старіння гіпсу також сприяє зниження водопотреби і термінів схоплювання, підвищує міцність. Розчинність гіпсу знижується при введенні вапна. Спільне введення мінеральних та гідралічних добавок, таких як трепел, опока, шлаки, підвищує водостійкість і міцність.

Для регулювання термінів схоплювання використовують різні добавки:

вапно, органічні клеї, буру та ін. Найбільш широко відомою є класифікація добавок В.Б. Ратинова і Т.Н. Розенберг [85]: сильні і слабкі електроліти і не електроліти, фосфати та борат лужних металів, борна кислота; готові центри кристалізації:  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ;  $\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ; IV клас це ПАВ, які адсорбують частинки гіпсу: вапняно-клейовий розчин, казеїн, кератин та ін.

При роботі з гіпсомістким в'язучим необхідно враховувати його деформаційні властивості. Будівельний гіпс  $\beta$ -модифікації здатний до розширення від 0,05 до 0,15%. Для зменшення розширення вводиться до 0,1% вапна. Гіпс має значну повзучість. У вологих відливках вона в кілька разів вище, чим в сухих. Особливо велика повзучість під дією вигинаючих навантажень. У зв'язку з цим, вироби на гіпсових в'язучих рекомендується використати в конструкціях, працюючих на вигин. Бетони на КГВ на відміну від гіпсових, не мають підвищеної повзучості.

Для того, щоб отримати теплоізоляційно-конструкційний арболітобетон, пропрацювали комбінації взаємодоповнюючих технологічних прийомів, включаючи ускладнення складів для отримання теплоізоляційно-конструкційного бетону. Нижче перераховані основні технологічні прийоми коригування складів і властивостей арболітобетонів на КГВ.

Фактори складу, які сприяють поліпшенню будівельно-експлуатаційних властивостей за рахунок фізико-хімічних процесів:

1) Зменшення розчинності гіпсу введенням мінеральних добавок-наповнювачів і винищити у кількості 5% (5-25%).

2) Щоб не відбувалося уповільнення термінів схоплювання під впливом натрієвого рідкого скла, до складу суміші можуть бути введені кристали двуводного гіпсу в якості центрів кристалізації або вапно.

3) Як показано вище, щоб гіпсове в'язуче вважається водостійким, якщо коефіцієнт розм'якшення перевищувати 0,75. Коефіцієнт розм'якшення будівельного гіпсу  $0,35 \div 0,40$ , а високоміцного -  $0,40 \div 0,45$ . підвищення водостійкості та міцності спільним введенням винищити з ВМК і МКР відповідно до розроблених вище складів, можливе введення миколаївського

нафталінового шламу для підвищення водостійкості [6].

4) В якості активатора тверднення вводиться вапно, а також матеріали, які містять вільне вапно: доломіт 5-8%, шлак 10-15%, вапно 2-3%. Також в якості активаторів тверднення вводяться різні сульфати:  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{NaHSO}_4$ ,  $\text{K}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{FeSO}_4$ .

5) Використання подрібненої коноплі як релаксаторів напруги. Застосування конопляного борошна в якості релаксаторів напруги обумовлене різницею в розчинності гіпсу і цементу в матричному матеріалі. Уповільнення процесів карбонізації вимагає інтенсифікації процесу карбонізації. Застосування конопляного борошна в якості релаксаторів напруги, що часто виникають в процесі утворення гідро-сульфокарбонату кальцію, являється найбільш доступним способом [102]. Тонкоподрібнене борошно органічного походження здатне в значних кількостях адсорбувати на свою поверхню гідроокис кальцію і новоутворення фази алюмінату портландцементу.

6) Гіпс характеризується не значною адгезією по відношенню до заповнювачів: на межі в'язуче-заповнювач взаємодії практично не відбувається. У зв'язку з цим, з метою підвищення адгезії на завершаючому етапі, в якості сполучного шару, застосована обробка заповнювача (костриці коноплі) цементно-рідкоскляним складом. Механізм дії складу полягає в проникненні цементу в костру та взаємодії його з полісахаридами.

7) Для запобігання розтріскуванню КГВ на поверхні органічного заповнювача - костриці в результаті деформаційних процесів, до складу КГВ вводиться автором воластоніт відповідно до сформульованої гіпотези.

Способи активації технологічних процесів і підвищення якості виробів:

8) Трамбування виробу під тиском і вібрація або вібропресування.

9) Можлива також обробка гарячою парою костриці при  $T=70\div 80^\circ\text{C}$  [75].

10) Просочування виробів речовинами, які запобігають просочуванню води зокрема, поверхневими гідрофобізаторами. Можливі варіанти застосування воску, парафіну, кремній органіки.

## Висновки за розділом 1

1. Проблемами поліпшення фізико-механічних характеристик арболітобетона на основі костриці коноплі і технології зведення будівель та споруд з нього займалися такі фахівці, як: Л.Й. Дворкін, О.Л. Дворкін, А.Ф. Бернацький, В.А. Гамова, В.М. Курдюмова, В.Д. Котенко, Н.В. Савицький, Д.А. Пługін, В.В. Стоянов, А.А. Крутов, В.Х. Наназашвіллі, Б.Д. Руденко, І.А. Риб'єв, А.Т. Семенов, В.М. Хрулев, Н.І. Кліменко, А.А. Шевляков, Л.П. Хорошун, Д.Ю. Дубровська, А.А. Титунін, С.М. Хасдан, Л.М. Осиповіч, та інші.

2. Відомості про міцність і водостійкість виробів з арболітобетона, представлені в науковій літературі, мають, часто, уривчастий і суперечливий характер, що обумовлено різними умовами експлуатації малоповерхових будівель і споруд. Дослідження, проведені досі з питань підвищення міцності і водостійкості арболитових будівельних матеріалів на основі костриці коноплі, не систематизовані, розрізнені і загального рішення за технологією підвищення міцності і водостійкості не мають.

3. Вітчизняні технології зведення будівель з місцевого відходу костриці коноплі знаходяться на рівні позаминулого століття, а зарубіжний передовий досвід будівництва доки, на жаль, на території України не знайшов широкого застосування. Тому існує гостра необхідність шляхом використання місцевих сировинних компонентів отримати арболитовий будівельний матеріал з високими фізико-механічними показниками, а також розробити технологію його виробництва.

4. Сформульовано *робочу гіпотезу* дисертаційного дослідження, яка полягає в наступному: можна припустити, що введення до складу арболітобетонної суміші композиційного гіпсового в'язучого, яке містить гіпс, цемент, комбіновану двокомпонентну мікропуцоланову добавку підвищеної гідравлічної активності та модифіковане армуючою добавкою мікроволластоніта і полікомпонентним органо-мінеральним комплексом, який

містить гідрофобізатор, суперпластифікатор та полісумішевий лужний компонент, дозволить отримувати теплоізоляційні арболітобетони для зовнішнього і внутрішнього застосування з високими показниками якості: тріщиностійкості, адгезійної міцності, міцності на розтяг при згині, водостійкості та біостійкості.

## РОЗДІЛ 2

### МЕТОДИ, МЕТОДИКИ І МАТЕРІАЛИ, ЗАСТОСОВУВАНІ В ДОСЛІДЖЕННЯХ

#### 2.1. Блок-схема дослідження

Дисертаційна робота виконувалася відповідно до блок-схеми досліджень, представленої на рис. 2.1.

Постановка досліджень ґрунтується на системно-структурному підході, відповідно до якого управління властивостями матеріалів визначається можливостями технологічних дій і чинників складу на характеристики структури і властивості і може бути здійснено при розкритті взаємозв'язків в ланцюзі «склад-технологія-структура» і «склад-технологія-властивість».

Нині системний підхід є основним науково-методологічним принципом дослідження в рішенні завдань оптимізації, управління і аналізу складних систем, якими є будівельні матеріали. Стратегія системного підходу при вивченні технології будівельних матеріалів із застосуванням методів моделювання складних систем для обробки і аналізу експериментальних даних розроблена в працях [18-20,24,65]. Відповідно до основних принципів аналізу складних систем, на основі загальної методології складання блок-схеми експериментальних досліджень із застосуванням математичної теорії планування експерименту [18-20,65], визначені основні етапи конкретизованої блок-схеми дослідження.

У блок-схемі, приведеній на рис.2.1 виділено 4 основні етапи, що конкретизують основні моменти завдання дослідження і системи, що забезпечують комплексний аналіз, від постановки проблеми до практичної реалізації результатів.

## БЛОК-СХЕМА ДОСЛІДЖЕННЯ

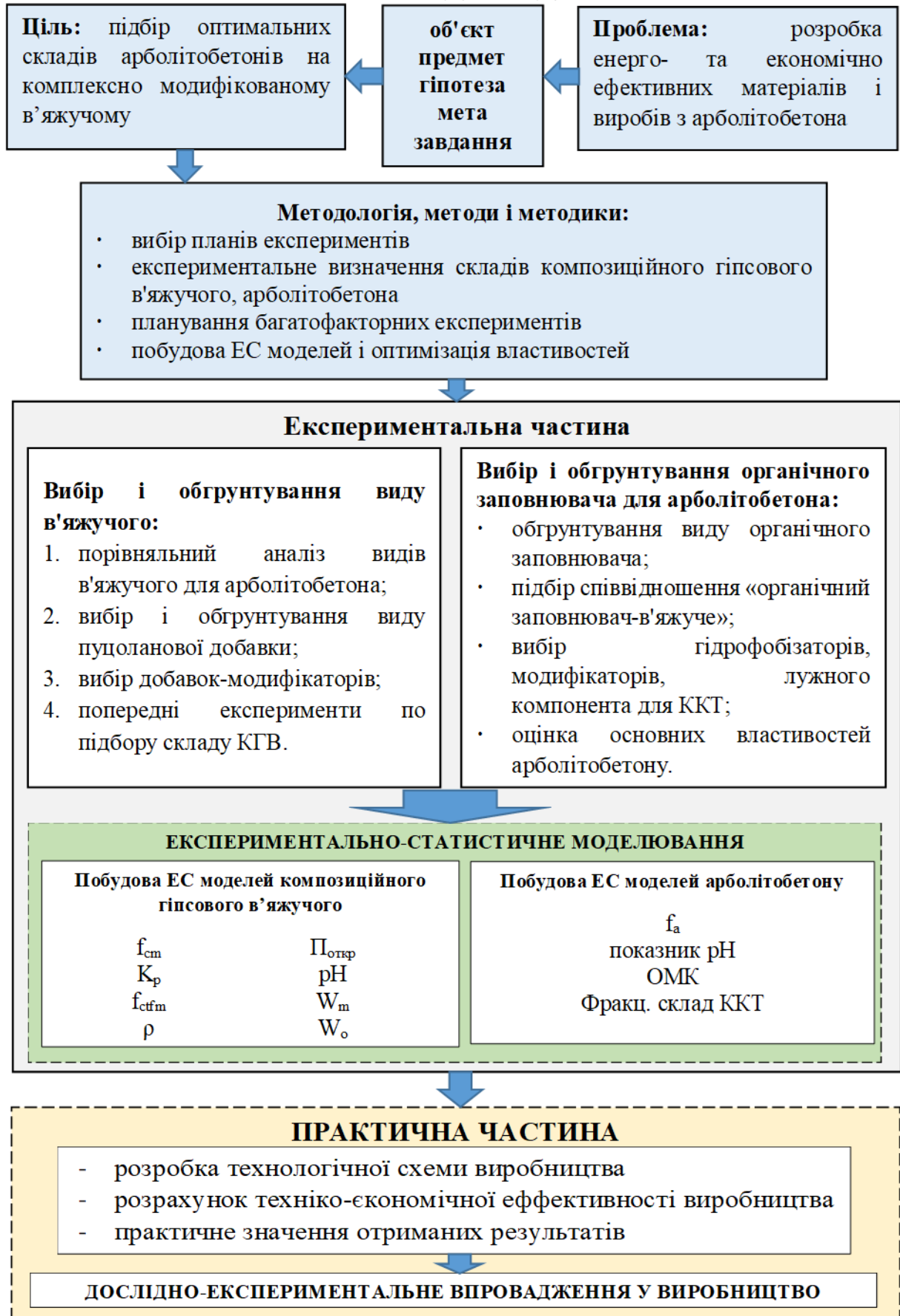


Рис. 2.1. Блок-схема дослідження



## 2.2. Матеріали, застосовувані в дослідженнях

На основі аналізу літературних даних в якості в'язучого матеріалу для розробляемого арболітобетона, були використані композиції гіпсу та пуцоланового цементу, для отримання так званого композиційного гіпсового в'язучого (КГВ) [107,111,127,130]. Активною гідравлічною добавкою, що вводить до складу композиційного гіпсового в'язучого, служили високоактивний метакаолін та мікрокремнезем.

Композиційне гіпсове в'язуче (КГВ) поєднує в собі позитивні якості початкових компонентів - портландцементу та будівельного гіпсу, тобто характеризується водостійкістю і швидкістю набору міцності. КГВ отримують шляхом ретельного змішування в належних пропорціях наступних матеріалів: гіпсу, портландцементу з активною мінеральною добавкою з осадових гірських порід, що містять у своєму складі аморфний кремнезем (опока, діатоміт, трепел, мікрокремнезем, метакаолін та ін.), характеризуються залишком на ситі № 008 не більше 20%. При цьому рекомендується використати добавки, активність яких при визначенні по поглинанню окислу кальцію протягом 30 діб характеризувалася б величиною не менше 200міліграма/г добавки. За літературними даними [2,28,111,112] для отримання водостійких КГВ сумішей рекомендується наступний вміст компонентів: гіпсу 50-70 %, цементу 20-25 %, гідравлічної добавки 15-30 %. Подібне співвідношення гіпсу і портландцементу забезпечує КГВ набір значної міцності вже на 3 доби після зачинення і здатність до гідравлічного тверднення впродовж 1-2 років.

Для проведення досліджень арболітобетону на основі костриці технічної коноплі застосовувалися наступні матеріали:

Портландцемент марки ПЦ І 500-Д0 виробництва ПАТ «Хайденберг Цемент Україна». Використаний портландцемент, по мінеральному складу відноситься до середньоалюмінатних цементів, які найбільш характерні для сучасної вітчизняної цементної промисловості. Основні характеристики

портландцементу визначені відповідно до діючих стандартів ДСТУ Б.В. 2.7-46:2010 «Цементи загальнобудівельного призначення». Хімічний склад портландцементу ПЦ І 500-Д0 представлений у таблиці 2.1. Мінералогічний склад портландцементу ПЦ І 500-Д0 представлений у таблиці 2.2.

Таблиця 2.1

## Хімічний склад портландцементу ПЦ І 500-Д0

SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	п.п.п.
21,30	5,36	4,36	66,00	1,00	4,00	0,24	0,61	1,51

Таблиця 2.2

## Мінералогічний склад портландцементу ПЦ І 500-Д0

Мінерали	C <sub>3</sub> S	C <sub>2</sub> S	C <sub>3</sub> A	C <sub>4</sub> AF	PH	N	P
Середнє значення, %	60	17	7	12	0,24	0,61	1,51

Гіпс будівельний марки Г-5 Кам'янець-подільського родовища виробництва ПАО «ГИПСОВИК», задовольняючий вимогам ДСТУ Б В.2.7-склад гіпсу будівельного представлено в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3

## Хімічний склад гіпсу будівельного

Мінерали	CaO	SO <sub>3</sub>	H <sub>2</sub> O	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO
Середнє значення, %	34,5	43,3	18,5	0,9	0,8	0,2

Гіпс формувальний/будівельний Г-10 Н-III виробництва ТОВ «Кнауф гіпс Донбас», задовольняючий вимогам ДСТУ Б В.2.7-82:2000 «Будівельні матеріали. В'язучі гіпсові. Технічні умови».

В якості органічного заповнювача для арболітобетона використовувалася

костриця коноплі - відхід канатного заводу м. Івано-Франківськ, застосовували в дослідженнях в тому ж вигляді, в якому він буває на канатних заводах, отриманий з коноплі технічної. Розміри часток коливаються від 1-10 мм по довжині, найчастіше зустрічаються частки завдовжки близько 5 мм. Товщина коливається в межах 0,3-1,5 мм, середня щільність костриці коноплі  $\rho_0=110-120$  кг/м<sup>3</sup>. По хімічному складу схожа з деревиною. У конопляній костриці міститься до 45-58% целюлози, лігніну 21-29%, пентозанов 23-26%. Конопля - однорічна рослина з довжиною стебел 80 - 120 см, діаметр 1 - 3 мм, довжина волокон якого залежно від виду і умов зростання може бути 4 мм і більше, при ширині 0,01-0,03 мм. Для його будови характерні загострені кінці, вузький ниткоподібний канал (порожнина клітини), що доходить до кінців клітини, сильно і рівномірно потовщені оболонки, щілиновидні прості часи. Колір стебла під час вегетації міняється: спочатку він зелений, потім молочно-восковий і, нарешті, жовтий. Уздовж стебла на відстані 15 см росте вузьке (35мм), довгі (25 - 35мм) листя. Після цвітіння у міру дозрівання листя опадають. На вершині стебла утворюються декілька гілочок, які теж можуть галузитися. На кінцях гілочок зростає квітка без запаху, блакитного, іноді білого або рожевого кольору, в якій п'ять пелюсток і п'ять тичинок. Після самозапилення квітка перетворюється на насінну голівку.

На поперечному зрізі стебла можна спостерігати зовнішній шар-шкірку (епідерміс) з поверхнею, покритою плівкою, просоченою воскоподібними речовинами (кутикула). Шкірка складається з щільних судинних клітин з потовщеними стінками. Костриця коноплі є ефективною в якості наповнювача в композиційних матеріалах різного призначення, що обумовлено особливостями її фізико-хімічної будови і дешевизною внаслідок великих її запасів як відходів промислового і сільськогосподарського виробництва.

Стебла конопель (рис.2.2) при виділенні волокна в процесах зминання і тріпання, внаслідок наведеної будови, руйнуються, а здерев'янілі частини, що відпадають, утворюють костру. Розміри цих часток коливаються від 1 до 30 мм по довжині, найчастіше зустрічаються частки завдовжки близько 5-25 мм.



Рис. 2.2. Зовнішній вигляд костриці коноплі.

*Добавки-модифікатори, уповільнювачі та мікроармуючі.*

В якості мінеральної комбінованої двокомпонентної мікропуццоланової добавки підвищеної гідравлічної активності використані високоактивний метакаолін (ВМК) та мікрокремнезем (МКК). Високоактивний метакаолін, продукт термічної обробки каолініту - породо утворюючого мінералу каоліну і каолінових глин в інтервалі температур  $600 \div 800$  °С. По своєму хімічному складу високоактивний метакаолін відповідає ТУ У 14.2-363632275-001:2009. Виробник ТОВ «Мета-Д», м. Дніпро. Хімічний склад високоактивного метакаолина представлено у таблиці 2.4. Дисперсний склад високоактивного метакаоліну 55,8% часток менше 2 мкм, питома поверхня – 15 м<sup>2</sup>/г.

Таблиця 2.4

Хімічний склад високоактивного метакаолина

Мінерали	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Si <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	CaO
Середнє значення, %	43,8	53,42	0,75	0,58	0,45

Мікрокремнезем ( $m\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ ) - є ультрадисперсним матеріалом, що складається з часток сферичної форми, отримуваний в процесі газоочищення

печей при виробництві сплавів, що містять кремній. Основним компонентом матеріалу являється діоксид кремнію аморфної модифікації. Мікрокремнезем є найважливішим компонентом при виробництві бетонів з високими експлуатаційними властивостями. Його хімічний склад наведено у таблиці 2.5.

Таблиця 2.5

## Хімічний склад та якісні показники мікрокремнезему

Мінерали	SiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Cl-	CaO, MgO	pH	ρ г/см <sup>3</sup>
Середнє значення, %	86	0,15	0,15	1,0	0,8	7,0-8,5	80-130

Для зниження водопотреби та термінів схоплювання КГВ при збереженні рухливості в якості пластифікуючої добавки застосовували Sika ViscoCrete 520 - це суперпластифікатор третього покоління для бетонів і будівельних розчинів. Відповідає вимогам до суперпластифікаторів згідно SIA 162 (1989) і prEN 934-2 (табл. 2.6).

Таблиця 2.6

## Основна характеристика і склад Sika ViscoCrete 520

Найменування показника	Значення показника
Зовнішній вигляд/колір	темно-коричнева рідина
Хімічна основа	полікарбоксилат
Середня густина, кг/л	1,155±0,02
Значення pH	5,0±1.0
Вміст хлоридів	≤0,1%

Sika ViscoCrete 520 призначений для виробництва сухих сумішей будівельних розчинів і бетону. Sika ViscoCrete 520 сприяє значному скороченню кількості води, підвищенню рухливості суміші і в той же час забезпечує оптимальну когезію і максимальне самоущільнення. Значне скорочення кількості води, чудова рухливість, у поєднанні з хорошою ранньою міцністю робить позитивний вплив в згаданих раніше випадках.

В якості мінералізатора і для зміцнення арболитобетона застосовувалося рідке скло ПРАТ «Український силікат» м. Херсон, відповідне вимогам ТУ У24.1-32725542-001:2010р. Фізико-хімічні показники рідкого скла наведено у таблиці 2.7.

Таблиця 2.7

## Фізико-хімічні показники рідкого скла

Найменування показника	Значення показника
Зовнішній вид $\text{Na}_2\text{O}(\text{SiO}_2)_n$	Густа рідина сіруватого або прозорого кольору
Вміст $\text{SiO}_2$ , мас. %	31,9
Вміст $\text{Na}_2\text{O}$ , мас. %	12,5
Силікатний модуль	13,1
Середня густина	1300-1450
Вміст домішок, мас. %	1,2

В якості мікроармуючої добавки використовувався мікрволасторит виробництва ЗАТ «Геоком» що задовольняє вимогам ТУ 5777-006-40705684-2003. Вода для приготування, в'язучого і арболитобетона повинна задовольняти яка відповідає вимогам ДСТУ Б В.2.7-273:2011 «Вода для бетонів і розчинів. Технічні умови».

Також для проведення досліджень використовувалися наступні добавки:

- Полікарбоксилатний суперпластифікатор Sika Visco Crete 520;
- Комплексний гідрофобізатор ПГК-White;
- Рідке скло.

### 2.3. Методики, застосовувані в дослідженні

Основні характеристики сировинних матеріалів та властивості арболитобетона і в'язучого для його виробництва визначали відповідно до діючих держстандартів.

Фізико-механічні властивості композиційного гіпсового в'язучого визначалася по ДСТУ Б.В. 2.7-82:2010 «В'язучі гіпсові. Технічні умови».

Досліджувані зразки арболітобетона випробовувалися згідно ДСТУ Б.В. 2.7-271:2011 «Арболіт та вироби з нього. Загальні технічні умови» на зразках – кубах з ребром 10 см.

Величину водневого показника визначали потенціометричним методом за допомогою електронного рН-метра.

Крайовий кут змочування визначався методом «лежачої краплі». Дослідження на біостійкість зразків арболітобетону виконані у Інституті хімії поверхні ім. А.А. Чуйка НАН України.

Електронно-мікроскопічні знімки виконані на електронному мікроскопі JSM-6390/6390LV в АН України з використанням методу одноступінчастих вугільних реплік.

Індекс звукоізоляції визначався згідно ДБН В.1.1-31:2013 «Захист територій, будинків і споруд від шуму».

Мікротвердість по Брінеллю НВ визначалася за допомогою твердоміра ТШ-2 відповідно до ГОСТ 23677-79. Для визначення мікротвердості на 2 зразки в'язучого розмірами 4x4x16, за 72 години перед випробуванням було нанесене проникаюче гідрофобне просочення - праймер, після чого зразки склеїлися в єдиний моноліт. Випробування розчинних зразків проводилося під максимально допустимим навантаженням для даного типу приладу і вироблялося в різних точках робочої поверхні для отримання найбільш точних даних. Після випробування для обчислення мікротвердості зразка діаметр протиснутої області вимірювався за допомогою ручного мікроскопа.

Тріщиностійкість КГВ визначалася на зразках з ініційованою тріщиною за допомогою критичного коефіцієнта інтенсивності напружень  $k_{Ic}$ . Використаний метод випробування зразків на згин з надрізом за 3-х точковою схемою (рис.2.3). Тріщина створювалася шляхом пропилювання алмазним диском надрізу в затверділому зразку.

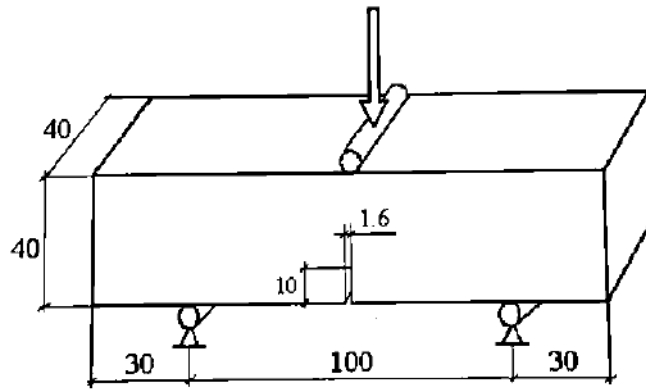


Рис.2.3. Випробування зразка з надрізом за трьох точковою схемою

$k_{1c}$  визначався за формулою:

$$k_{1c} = G_{но} \sqrt{\pi \cdot l}$$

де:  $G_{но}$  - номінальна напруга в ослабленому перерізі у кінчика тріщини при критичному навантаженні,

$l$  – довжина зразка.

Визначення адгезії костри коноплі до в'язучого здійснювалося за наступною методикою. Костра коноплі фракцій 2,5-5-10 мм напильється з деяким ущільненням на металеву пластину розміром 10x20 см, з попередньо нанесеним на неї шаром клею (рис.2.4.а). Після затвердіння клею, не прикріплені, частки костринки видаляються, а на підготовлену пластину встановлюють трафарет з нержавіючий стали, на який наносять суміш, готову до застосування і зі встановленою маркою по рухливості. Суміш заглажують металевим шпателем, після чого трафарет негайно знімають. Загальний час тверднення зразків має бути 28 сут.

Через 27 сут до затверділих зразків епоксидним клеєм високої міцності приклеюють штамп і продовжують зберігання зразків при температурі  $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$  та відносній вологості  $(65 \pm 5)\%$  впродовж 24 ч. Силу відриву зразків від основи визначали через 24 ч на приладі Proseq Dyna Z16, з цифровим манометром (рис.2.4.б), прикладаючи до штампу навантаження із швидкістю її наростання  $(250 \pm 50)$  кН. Вимір проводять безпосередньо на випробовуваній конструкції, немає необхідності заздалегідь готувати зразки для випробувань.





а)

б)

Рис.2.4. а) Металева пластина з приклеєною костою коноплі;  
 б) Визначення адгезійної міцності арболитобетона за допомогою  
 адгезіометра Proceq Dyna Z16

Таким чином, можна отримати порівняльні дані про величину адгезії між в'язучим та органічним заповнювачем. Зчеплення розраховується як відношення зусиль розриву до поверхні контакту:  $R = F/S$ , МПа.

## Висновки за розділом 2

1. Дана характеристика застосовуваних в роботі сировинних матеріалів. Показано, що з портландцементу з гіпсом і активних мінеральних добавок можна отримати ефективну в'язучу суміш для застосування у виробництві арболитобетонів з органічним заповнювачем - костри технічної коноплі.

2. Розглянуто особливості застосовуваного в дослідженнях органічного заповнювача костри технічної коноплі.

3. Розглянуто методи тонкого аналізу для визначення структури композиційного гіпсового в'язучого і арболитобетона, наведені ДСТУ для визначення фізичних та фізико-механічних властивостей арболитобетонів і в'язучого для їх виробництва.

## РОЗДІЛ 3

### ВИБІР ТА ОБГРУНТУВАННЯ КОМПОНЕНТІВ СКЛАДУ КГВ ДЛЯ ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЙНОГО АРБОЛІТОБЕТОНА

#### 3.1. Порівняння та обґрунтування вибору різних видів в'язучого

Целюлозомісткі заповнювачі рослинного походження, включаючи стебла луб'яних культур (костриця льону, коноплі та ін.), разом з властивими їм цінними властивостями, такими як мала середня щільність, не дефіцитність, хороша змочуваність, легкість обробки та ін., має і негативні якості, які ускладнюють отримання матеріалу високої міцності. До негативних властивостей целюлозних заповнювачів відносяться: підвищена хімічна активність, значна міра об'ємних деформацій вологості, низька адгезія по відношенню до в'язучого, різко виражена анізотропія в різних структурних напрямках, значна пружність при ущільненні суміші. Міра впливу цих властивостей заповнювачів рослинного походження на процеси структуроутворення та фізико-механічні властивості арболітобетону різна. Тому для отримання високоякісних виробів на різних видах в'язучого повинна враховуватися технологія їх виробництва [76-78].

Целюлозомісткі заповнювачі рослинного походження роблять істотний вплив на процеси структуроутворення, фізико-механічні та експлуатаційно-будівельні властивості арболітобетону.

Аналіз літературних джерел показав, що звичайні типи в'язучого - цемент, вапно замінюються в роботах на альтернативні матеріали, такі як MgO і цеоліт [154,161]. Експериментальні результати механічних властивостей арболітобетону показують, що використання цеоліту як заміна цементу, не забезпечує високу механічну міцність арболітобетона, але оксид магнію, є відповідною заміною для цементу в легких композитах. Проте, середня густина отриманих виробів досить висока і складає 790-1200 кг/м<sup>3</sup>.

Використання винищити в якості в'язучого не забезпечує високої міцності при стиску, і складає 0,3-0,4 МПа при щільності 300кг/м<sup>3</sup> [81].

Проблема отримання якісних виробів з арболітобетону полягає в підборі виду в'язучого, оптимізації його компонентів. На першому етапі дослідження обґрунтовано підбір основних компонентів в'язучого, добавок та виконаний підбір складу в'язучого.

У пошукових дослідженнях по підборі складу в'язучого для арболітобетону був передбачений широкий вибір варіантів в'язучих: цемент, гіпс, вапно, магнезійне в'язуче, рідке натрієве скло. Вибір варіантів виходив з міркувань, пов'язаних з певними обмеженнями і початковими умовами, продиктованими вимогами технологічності отримання композиту, витрат на початкові матеріали, прогнозованими виробничими витратами, тривалістю технологічного циклу отримання будівельних виробів з композиту і тому подібне.

У якості в'язучого для арболітобетону на основі костриці коноплі в пошукових експериментах випробувані 5 різних видів в'язучого та 8 варіантів їх комбінацій з різними видами добавок-модифікаторів (таблиця 3.1).

На підставі проведених пошукових досліджень для різних видів і варіантів в'язучого можна говорити про переваги та недоліки різного виду в'язучого.

Цемент широко використовується як основа для виробництва арболітобетона. Склади на цементному в'язучому показують високу міцність і стійкість до вологоперемінних дій, але мають підвищену щільність і вимагають обробки целюлозного заповнювача мінералізаторами.

Вапно широко використовується при виробництві арболітобетона за кордоном. Вироби на вапні мають низьку середню густину, достатню міцність. Недолік вапняного в'язучого - повільний набір марочної міцності виробів. Відомі розробки, в яких, в якості в'язучого для арболітобетона застосовувалося рідке скло. Перевагою цього в'язучого являється те, що воно добре зв'язується з кострою та у поєднанні з добавками забезпечує матеріалу з

таким заповнювачем необхідну біостійкість, вогнестійкість і достатню механічну міцність. На його тверднення не оказують вплив цукри та реактивні речовини, що знаходяться в деревині. Проте це в'язуче має високу вартість.

Таблиця 3.1

Композити на основі костриці коноплі з різними видами в'язучого: початкові компоненти і варіанти в'язучого, середня щільність та склад.

№	Найменування в'язучого	Початкові компоненти	Середня густина отриманого композиту, кг/м <sup>3</sup>	Орієнтовна витрата в'язучого на 1 м <sup>3</sup> матеріалу, кг
1	Композиційне гіпсове в'язуче	1.1 ГПЦВ	300...350	Гіпс- 400 Цемент- 80 Пуцолана - 20
		1.2 ГПЦВ+ добавки-модифікатори	280...300	——"———
2	Цемент	2.1 Цемент	450	250
3	Вапно	3.1 Вапно+ добавки-модифікатори	280...300	Вапно — 310
		3.2 Вапно + трепел+ добавки-модифікатори	300...350	Вапно — 175 Трепел— 175
		3.3 Вапно +цеоліт+ добавки-модифікатори	350...450	Вапно - 150 Цеоліт - 150
4	Цемент Сореля	4.1 MgO+MgCl	600...700	MgO+MgCl - 350
5	Рідке скло	5.1 Рідке скло + наповнювач+ отверджувач	450..500	Рідке скло - 130 Наповнювач- 130

Використання якості в'язучого вапна в композиції з різними наповнювачами дозволило отримати матеріал зі середньою густиною 300-350кг/м<sup>3</sup> у разі застосування наповнювача у вигляді трепела і 350-450 кг/м<sup>3</sup> у

разі застосування наповнювача у вигляді цеоліту. Структура зразків мала низьку міцність із-за поганого склеювання костриці в єдиний конгломерат. Для прискорення процесів схоплювання та тужавіння матеріалу, забезпечення його міцності додатково знадобилася його сушка при температурі до 60°C.

Недоліком арболітобетону на цементному, вапняному та вапно місткому в'язучому, являється відносно тривалий термін набору марочної міцності. Інший недолік пов'язаний з тим, що деревина містить легкогідролізовані екстрактивні речовини типу цукрів, що є шкідливими для цих видів в'язучого. Цукри складаються в основному з вуглеводневих груп НОСН, осідаючи на поверхні частинок мінералів цементу і вапна, утворюють що найтонші оболонки, які ізолюють частки від води та уповільнюють хід процесів гідролізу і гідратації.

Для нейтралізації дії цукрів в технології застосовуються спеціальні прийоми, суть яких може полягати в наступному: в частковому видаленні цих речовин з костриці; у перекладі цукрів в нерозчинні або нешкідливі з'єднання; у використанні добавок-прискорювачів тверднення. Відносно простий спосіб нейтралізації цукрів вважається введення в суміш різних «мінералізаторів», таких як хлористий кальцій, рідке скло, сірчаноокислий глинозем та їх комбінації, які одночасно є прискорювачами тверднення.

Застосування рідкого скла з наповнювачем дозволяє отримувати композит щільністю 450-500 кг/м<sup>3</sup>. Перевагою цього в'язучого являється ті, що воно добре зв'язується з кострою та у поєднанні з добавками забезпечує матеріалу з таким заповнювачем необхідну біостійкість, вогнестійкість і достатню механічну міцність. На його тверднення не оказують впливи цукри та реактивні речовини, що знаходяться в деревині. Проте це в'язуче має високу вартість.

Композити на основі композиційного гіпсового в'язучого мають хороший зчеплення костриці з в'язучого; міцневі показники задовільні; розпалубна міцність досягається через 3-5 ч. (залежно від марки гіпсу, термінів схоплювання, водогіпсового відношення); проблеми з цукрами для цього виду

в'язучого не так актуальні. Після тверднення композит на композиційному гіпсовому в'язучому характеризується відносно невисокою вологістю. Композиційне гіпсове в'язуче маючи короткий термін схоплювання, обмежують термін формування матеріалу. Для уповільнення початку схоплювання знадобилося введення добавок - уповільнювачів гідратації гіпсу.

Таким чином, на підставі проведених пошукових досліджень встановлено, що найбільш високими і задовольняючими вимоги по щільності та міцності властивостями є арболітобетон на композиційному гіпсовому в'язучому (Рис.3.1).



а)



б)

Рис. 3.1. Зразки арболітобетону на: а) вапняному; б) композиційному гіпсовому в'язучому.

### **3.2. Вибір та обґрунтування виду пуцоланових добавок для композиційного гіпсового в'язучого**

Нині перспективними пуцолановими добавками які можуть істотно покращувати властивості гіпсового в'язучого, являються мікрокремнезем (МКК) та високоактивний метакаолін (ВМК). Досліджено вплив на міцність при стиску, міцність на розтяг при згині, водостійкість, середню густину КГВ високоактивного метакаоліна та мікрокремнезему та проведено порівняльний

аналіз впливу цих добавок на властивості КГВ. Результати представлені на рисунку 3.2.

Як видно з діаграм, використання високоактивного метакаоліна у складі КГВ в порівнянні з мікрокремнеземом дає значний приріст ряду властивостей:

- міцність при стиску зразків при змісті високоактивного метакаоліна 10-12% від маси цементу складає 5 МПа, що більше за міцність складу того, що містить мікрокремнезем на 20% (рис 3.2.а);
- міцність при згині при змісті високоактивного метакаоліна 10-12% від маси цементу складає 5 МПа, що більше за міцність складу, що містить відповідну кількість мікрокремнезему на 18% (рис. 3.2.б);
- середня густина усіх складів на високоактивному метакаолине на 18% більше ніж в складах з мікрокремнеземом, а водостійкість зразків підвищується на 8% - 10% (рис .3.2.в-г).

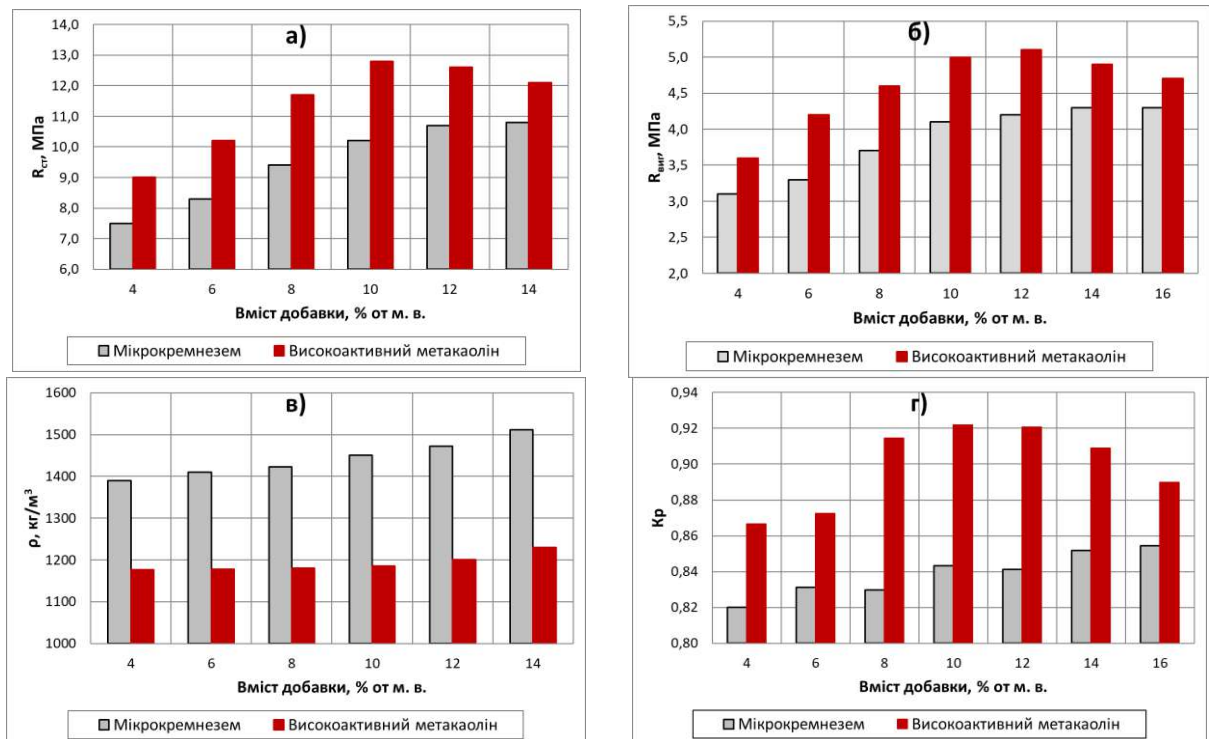


Рис. 3.2. Діаграми впливу пуцоланових добавок на властивості композиційного гіпсового в'язучого

Визначено, що добавка метакаоліна робить позитивний вплив на ряд властивостей матеріалу: міцність при стиску, міцність при згині, водопоглинання за масою та об'ємом, водостійкість. Для подальших

досліджень був рекомендовані три основні склади, які характеризуються наступними показниками:  $f_{cm}^{28} > 12$  МПа,  $f_{cm} \rightarrow \max$ ;  $K_p > 0.9$ ;  $K_p > 0.9 \rightarrow \max$ ;  $f_{ctfm} > 4,9$  МПа,  $f_{ctfm} \rightarrow \max$ ; Рухливість суміші  $18 \pm 0.5$  (табл. 3.2).

Таблиця 3.2

## Вплив виду пуццоланової добавки на рині властивостей КГВ

№	Склади			Рівні властивостей КГВ на ВМК/МКК			
	Ц	Г	ВМК/МКК	$\rho_{ВМК}/\rho_{МКК}$	$f_{ctfm}$ (ВМК/МКК)	$f_{cm}^{28}$ (ВМК/МКК)	$K_p$ (ВМК/МКК)
1	+	+	8	1185	5,0	12,8	0,92
				1423	3,7	9,4	0,83
2	+	+	10	1200	5,1	12,6	0,92
				1451	4,1	10,2	0,84
3	+	+	12	1230	4,9	12,1	0,91
				1472	4,2	10,7	0,84

Експериментально встановлено, що добавка високоактивного метакаоліна робить ефективніший вплив на фізико-механічні властивості КГВ та арболітобетона на його основі: міцність при стиску, міцність при згині, водостійкість, порівняно з широко застосовуваними мікрокремнеземами. Експериментально встановлено що застосування добавки ВМК дозволяє підвищити водостійкість в'язучого КГВ до 0,9-0,92 що вище за значення водостійкості КГВ на мікрокремнеземі 0,81-0,85. Однак мікрокремнезем сприяє підвищенню середньої густини КГВ що є актуальним для арболітобетонів.

### 3.3. ЕС моделювання фізико-механічних властивостей композиційного гіпсового в'язучого

#### 3.3.1. Особливості підбору складу багатокомпонентного КГВ

Відносно низькі енергетичні витрати, повна механізація і автоматизація



гіпсової промисловості є основою того, що в останні десятиліття гіпсові в'язучі все ширше застосовуються у високорозвинених країнах. На основі гіпсу випускаються різноманітні за призначенням вироби. Поклади гіпсу досить широкі та присутні в шарах усіх геологічних епох від кембрію до антропогена. Родовища гіпсу зазвичай залягають в прадавніх руслах річок, реліктових озерах і низинах. В Україні основні родовища гіпсу розробляються в Чернівецькій області і на Донбасі.

У численних дослідженнях показано, що змінити умови зрощення кристалів гіпсу можна вводячи у воду зачинення суспензії гіпсу різних добавок-модифікаторів [119,135,145,167]. Модифікатори регулюють водопотребу, терміни схоплювання, тверднення, а також впливають на форму і розмір кристалів.

Як вказано в розділі 2 п.2.2., в якості мінеральної комбінованої двокомпонентної мікропуцоланової добавки підвищеної гідравлічної активності використані МКР та ВМК. В якості добавки-пластифікатора Sika ViscoCrete 520 та мікрволастоніт, як армуюча добавка та регулятор напруги.

На більшість властивостей гіпсобетонних виробів робить вплив розчинність в'язучого. На розчинність КГВ, отриманих на основі  $\beta$ -напівводного гіпсу і неорганічних модифікаторів впливає ряд факторів, в першу чергу пуцоланові добавки і добавки-модифікатори, зокрема, мікрокремнезем, високоактивний метакаолін та мікрволастоніт. Більшість дослідників вважають, що під час тверднення в'язучого можливо протікання одночасно двох процесів: з одного боку, йдуть фізико-механічні процеси розчинення, гідратації, дифузії і кристалізації, з іншого боку - топохімічні процеси прямого приєднання води до в'язучого.

Гіпсові в'язучі гідратуються в розчині, а малорозчинні силікати кальцію, які утворюються в розчині гіпсу з МКР і ВМК, - топохімічно. Процеси протікають паралельно, накладаючись і впливаючи один на одного. Присутність топохімічного процесу сприяє деякому уповільненню розчинення гіпсового в'язучого. Цей висновок витікає з аналізу рівняння:

$$\frac{dm}{dt} = SD \frac{c_1 - c}{\delta}; \quad (3.1)$$

де  $dm/dt$  - кількість речовини, що розчиняється в одиницю часу в одиниці об'єму;  $D$  - коефіцієнт дифузії;  $S$  - площа цілісної поверхні речовин;  $c_1$  - концентрація насиченого розчину;  $c$  - фактична концентрація в даний момент часу;  $\delta$  - товщина дифузійного шару.

Швидкість розчинення пропорційна площі поверхні розчиненої в'язучої речовини, коефіцієнту та обернено пропорційна до товщини дифузійного шару.

Таким чином, у разі потреби підвищення розчинності слід збільшувати дисперсність гіпсових в'язучих, збільшувати швидкість перемішування або ввести органічний сапонін, що приведе до зменшення товщини дифузійного шару. Для зменшення розчинності розчинів можливо вводити у воду зачинення речовини, які підвищують в'язкість сумішей і зменшують коефіцієнт дифузії. В якості таких добавок раціонально застосовувати клеї, гліцерин, декстрин та ін. Таким чином, розчинність сумішей на основі композиційного гіпсового в'язучого, яка впливає на більшість будівельно-експлуатаційних властивостей, може регулюватися відповідно до завдань дослідження. Для арболітобетонів на КГВ необхідно і можливо регулювати розчинність сумішей з урахуванням водопотреби костриці.

### 3.3.2. Постанова і аналіз багатofакторного експерименту

За результатами проведених планових експериментів розраховані експериментально-статистичні шести факторні моделі.

Вибір плану експерименту для вирішення конкретних матеріалознавчих завдань диктується конкретними умовами цих завдань і вимог до результатів їх вирішення. Відповідно до мети роботи було застосовано 24-х точковий план у вигляді "трикутників на кубі". Застосування планів типу МТQ обумовлено наступними положеннями. Використовувані для отримання модифікованих композиційних гіпсових в'язучих, матеріалів і виробів (в'язучі, заповнювачі,



компонентів при досягненні системою деяких критичних параметрів [18]. Завдання аналізу структуроутворення і структури в цілому, як об'єкта, що характеризується набором різноманітних структурних параметрів, досить складна. Ця складність обумовлена різноманіттям і суперечливістю розвитку елементарних процесів, які в подальшому визначають рівень властивостей композиційних матеріалів, для розкриття закономірностей кінетичних процесів, які обумовлюють формування кінцевої структури композиційних матеріалів (КМ), процес структуроутворення аналізується як процес, що синтезує в собі різного роду взаємодії, які протікають послідовно або одночасно, накладаючись та впливаючи один на одного.

Процесу структуроутворення у відкритих дисперсних системах, як системах, для яких характерний нелінійний синтез гідратоутворення, притаманні ефекти синергетичних взаємодій.

При цьому варто враховувати, що менш основні гідросилікати мають більшу міцність. Однак велике значення для міцності має також співвідношення між аморфною і кристалічною фазами у в'язучої речовині. Тобто, величина питомої поверхні армуючої добавки мікроволастоніту (Вл), виконуючи роль модифікатора структури, є ефективним фактором, який дозволяє регулювати властивості композиційних сумішей в широких межах і повинна назначатися з урахуванням вмісту мікронаповнювачів.

### **3.3.3. Аналіз комплексного впливу мікропуцоланових добавок, мікроамуючої добавки та суперпластифікатора на технологічні властивості, середню густину та пористість КГВ**

Традиційно в якості пуцоланових добавок для композиційного гіпсового в'язучого застосовується трепел, опока і діатоміт. Волженський розробив гіпсоцементно-пуцоланове в'язуче [21]. У якості пуцоланової добавки застосовувався в основному тонкомелений трепел якій подрібнювався до питомої поверхні  $S_{\text{шт}}=500-600 \text{ см}^2/\text{г}$ , що 1,5-2 рази вище за питому поверхню

звичайних портланд цементів. Феронською був розроблений новий склад в'язучого на основі гіпсу, цементу та пуцоланової добавки який дістав назву композиційного гіпсового в'язучого. Роль пуцоланових добавок в композиційному гіпсовому в'язучого полягає в необхідності зв'язування гідроксиду кальцію з утворення гідросилікатів кальцію підвищеної водостійкості [111].

Тенденцією останніх десятиліть є перехід на добавки-модифікатори з мікро- і ультра дисперсною питомою поверхнею. Застосовують добавки з  $S_{\text{пит}}$  від 10000-30000  $\text{см}^2/\text{г}$ . Дисперсність добавок не лише істотно міняє кінетику фізико-хімічних процесів, але й змінюється механізм і послідовність протікання фізико-хімічних процесів. У результаті істотно покращуються властивості і якість отримуваних композитів. При цьому співвідношення компонентів і їх роль у формуванні структури та властивостей змінюється.

На цьому етапі описана та проаналізована зміна водопотреби, щільності, водопоглинання за масою та за об'ємом композиційного гіпсового в'язучого. Аналіз результатів експериментів проведений після експериментально-статистичних моделей. Побудовані експериментально-статистичні моделі описують, в цьому розділі, зміну властивостей КГВ по відношенню до дії води, під впливом мікропуцоланових добавок та добавок-модифікаторів з урахуванням їх взаємовпливу.

ЕС моделі впливу на властивості КГВ добавок різного виду і призначення з урахуванням взаємодій між ними розраховані в програмі COMPEX. У програмі реалізується послідовний регресійний аналіз з помилкою експерименту не більше  $S\{R\}=0,04$  при  $\alpha=0,02$ .

**Водопотреба КГВ.** Як відомо  $\alpha$ - і  $\beta$ - напівгідрати гіпсу істотно відрізняються по водопотребі. Для отримання тіста нормальної густини з  $\beta$ -напівгідрату гіпса знадобиться 50-70% води, а з  $\alpha$ -напівгідрату 30-40%.  $\beta$ -напівгідрат гіпса має більш високу водопотребу, швидше твердне, але міцність його нижча. Проте при однаковому водогіпсовом відношенні міцність зразків  $\alpha$ - і  $\beta$ - напівгідратів приблизно однакова. Висока водопотреба КГВ може



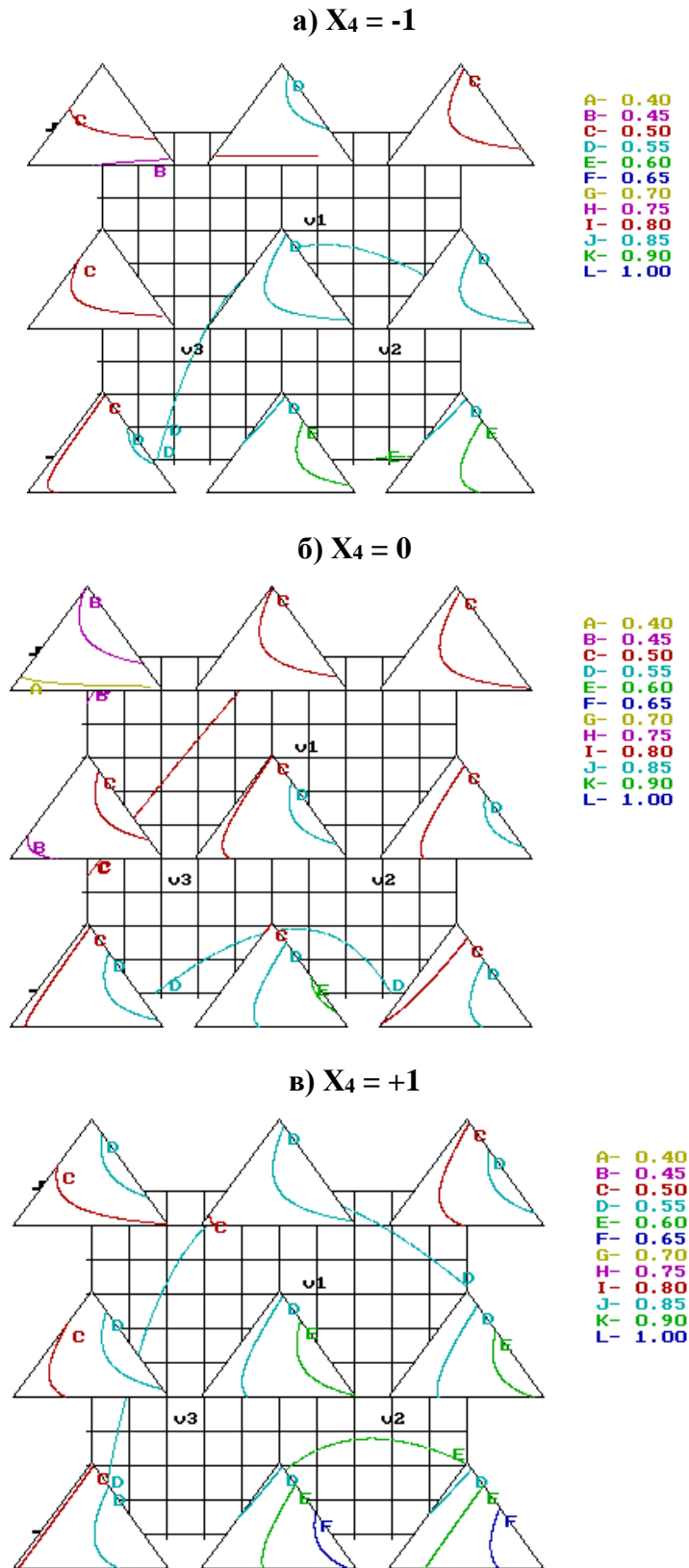


Рис.3.3. Вплив мікропуцоланового компонента МКР ( $x_5$ ), суперпластифікатора Sika ( $x_6$ ) і мікроармуючої добавки мікрволастоніта на водопотребу КГВ, при вмісті: а) ВМК - 5%; б) ВМК - 10%; в) ВМК - 15%.

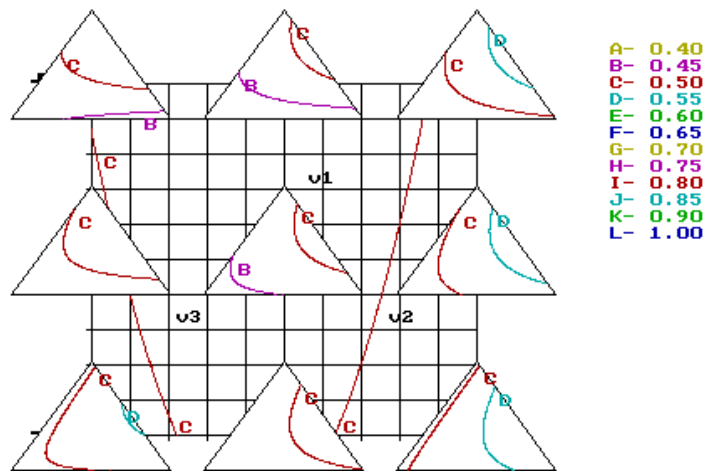
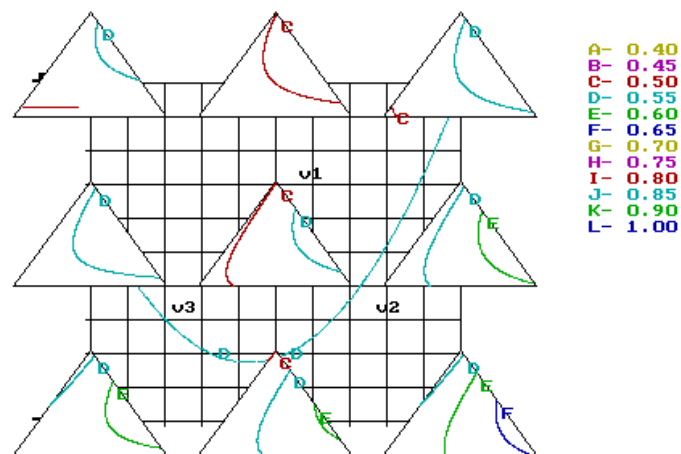
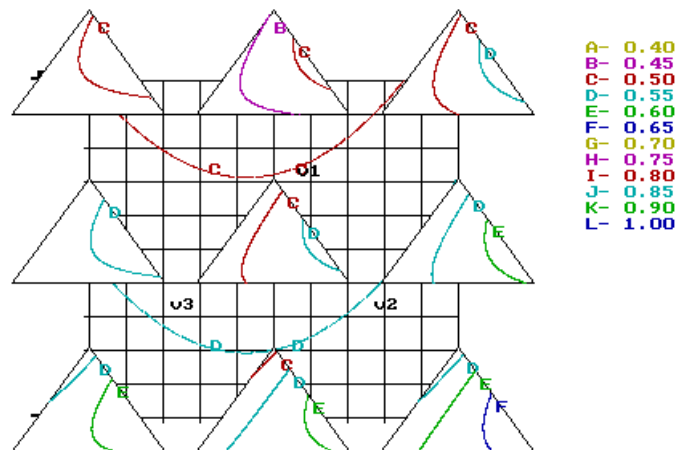
а)  $X_5 = -1$ б)  $X_5 = 0$ в)  $X_5 = +1$ 

Рис.3.4. Вплив мікропуцоланового компонента ВМК ( $x_4$ ), суперпластифікатора Sika ( $x_6$ ) і мікроармуючої добавки мікрОВОластоніта на водопотребу КГВ, при вмісті: а) МКР - 5%; б) МКР - 10%; в) МКР - 15%.



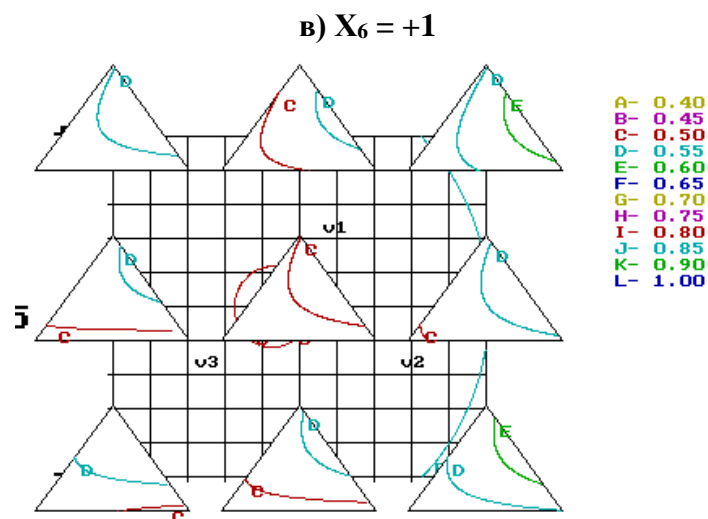
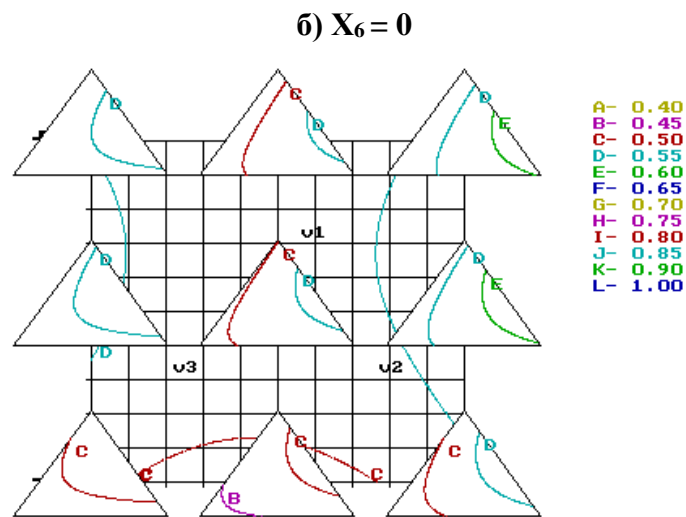
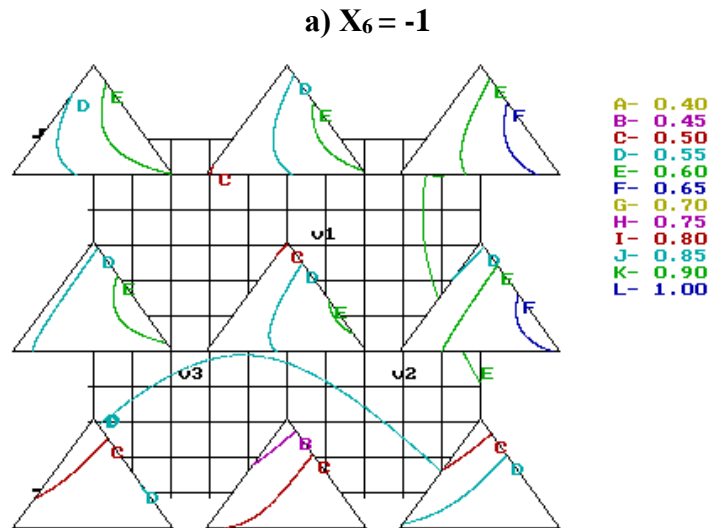


Рис.3.5. Вплив мікропуцоланових компонентів ВМК ( $x_4$ ), МКР ( $x_5$ ) і мікроармуючої добавки мікрОВОластоніта на на водопотребу КГВ, при вмісті:

а) Sika - 0,1%; б) Sika - 0,6%; в) Sika - 1,1%.

Таким чином аналіз дев'яти трикутних діаграм, на квадраті в усій області факторного простору, описаного ЕС моделлю, дозволяє візуалізувати та встановити раціональний або оптимальний зміст фракцій мікроволастоніту або їх співвідношень для кожної конкретної властивості композиту.

Як впливає з діаграми на рис. 3.2-3.5 водопотреба КГВ під впливом мінеральних мікропуцоланових добавок підвищеної гідравлічної активності та мікроармуючої добавкою мікроволастоніту змінюється в діапазоні від 0,4-0,65. Водопотреба визначалася при постійному нормованому розпливі суміші КГВ діаметром  $180\pm 5$ мм [10]. Зміна вмісту суперпластифікатора Sika як відомо знижує водопотребу. При цьому мікрокремнезем підвищує водопотребу різних складів сумішей від 0,45 до 0,65 в залежності від вмісту суперпластифікатора Sika. Введення ВМК в кількості від 5-10% знижує водопотребу, а від 10-15% підвищує водопотребу. З діаграм слідує, що між цими компонентами є взаємний вплив один на одного, що дозволяє отримувати необхідне значення водопотреби сумішей.

Водопотреба КГВ змінюється в межах від 0,45 до 0,65. Водопотреба знижується від 0,65 до 0,45 за рахунок збільшення змісту полікарбоксилатної добавки Sika з 0,1% до 1,1%. Зниженню водопотреби сприяє так само зменшення змісту мікрокремнезему. Особливий вплив мікрокремнезему на підвищення водопотреби позначається при мінімальному змісті добавки Sika в кількості від 0,1% до 0,6% від м.в. Водопотребу раціонально скорочувати за рахунок введення вапняно-клейового наповнювача у кількості  $0,1\div 0,3\%$  в'язучого. Відомо так само, що скоротити водопотребу гіпсу можна зберіганням його на складах упродовж 2-4 тижнів.

**Пористість відкрита КГВ.** Істотний вплив на фізико-механічні властивості КГВ та арболітобетона робить пористість загальна, відкрита та закрита, а так само їх співвідношення. Визначення пористість проводилося відповідно до ДСТУ Б.В. 2.7-42-97 «Методи визначення водопоглинення, густини і морозостійкості будівельних матеріалів і виробів.» [31].

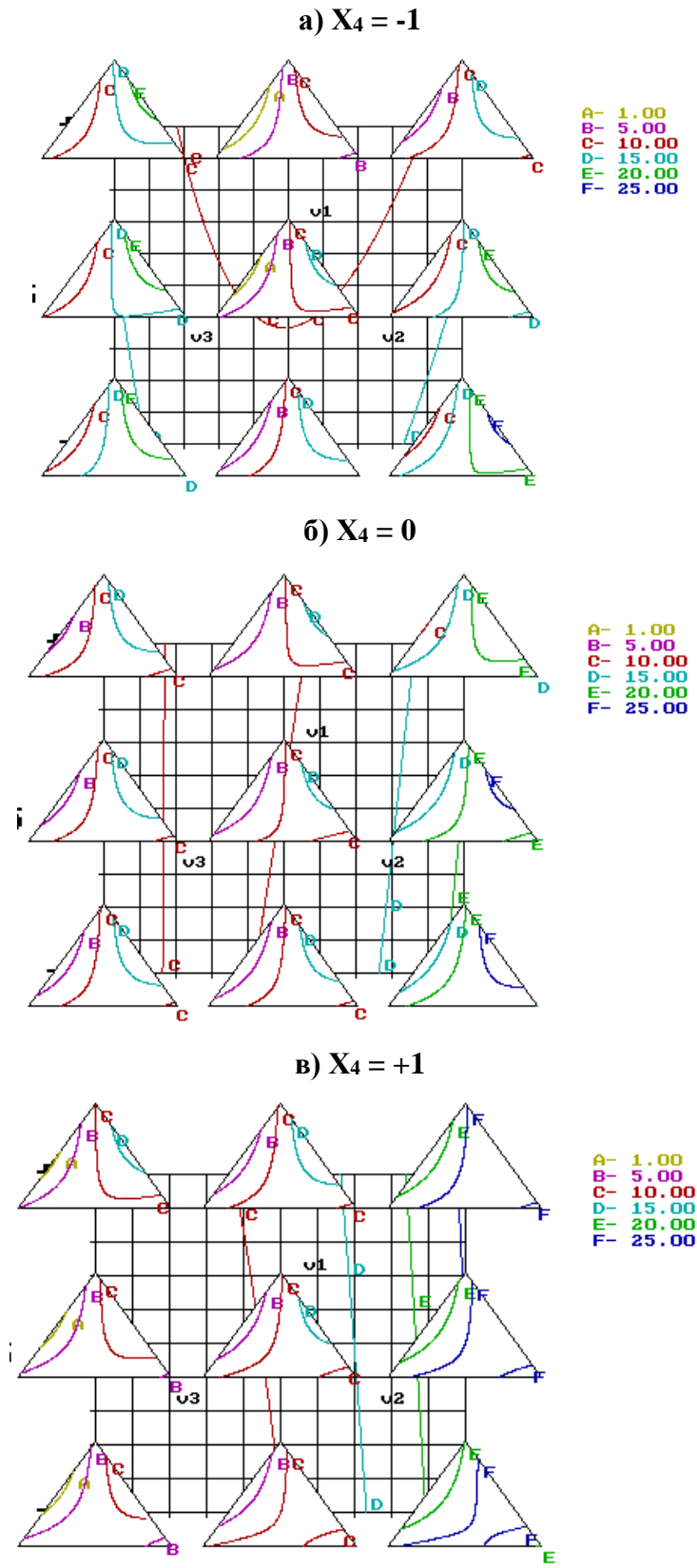


Рис.3.6. Вплив мікропуцоланового компонента МКР ( $x_5$ ), суперпластифікатора Sika ( $x_6$ ) і мікроармуючої добавки мікрволастоніт на  $\Pi_{\text{відкр}}$  КГВ, при вмісті: а) ВМК - 5%; б) ВМК - 10%; в) ВМК - 15%.

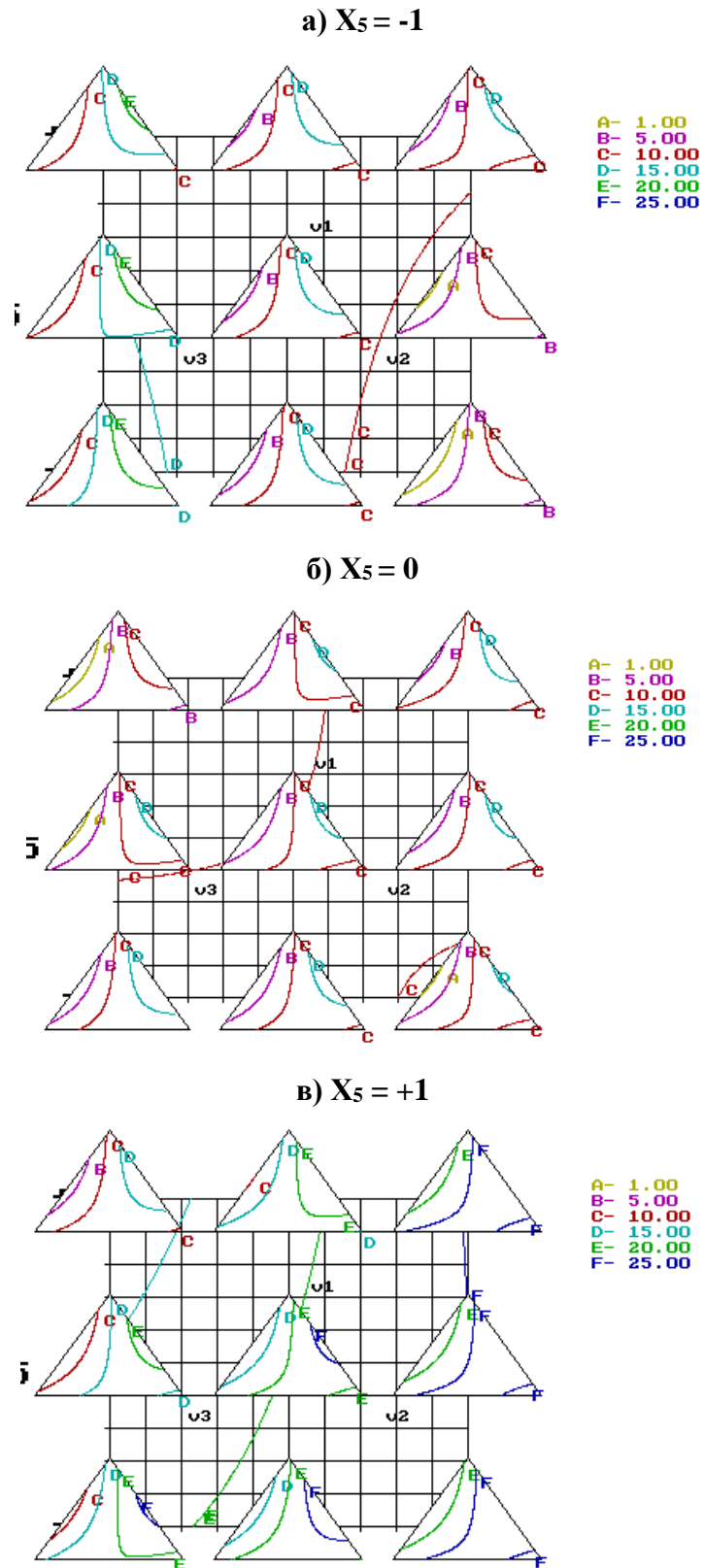


Рис.3.7. Вплив мікропуцоланового компонента ВМК ( $x_4$ ), та суперпластифікатора Sika ( $x_6$ ) і мікроармуючої добавки мікрОВОластоніт на  $\Pi_{\text{відкр}}$  КГВ, при вмісті: а) МКР - 5%; б) МКР - 10%; в) МКР - 15%.

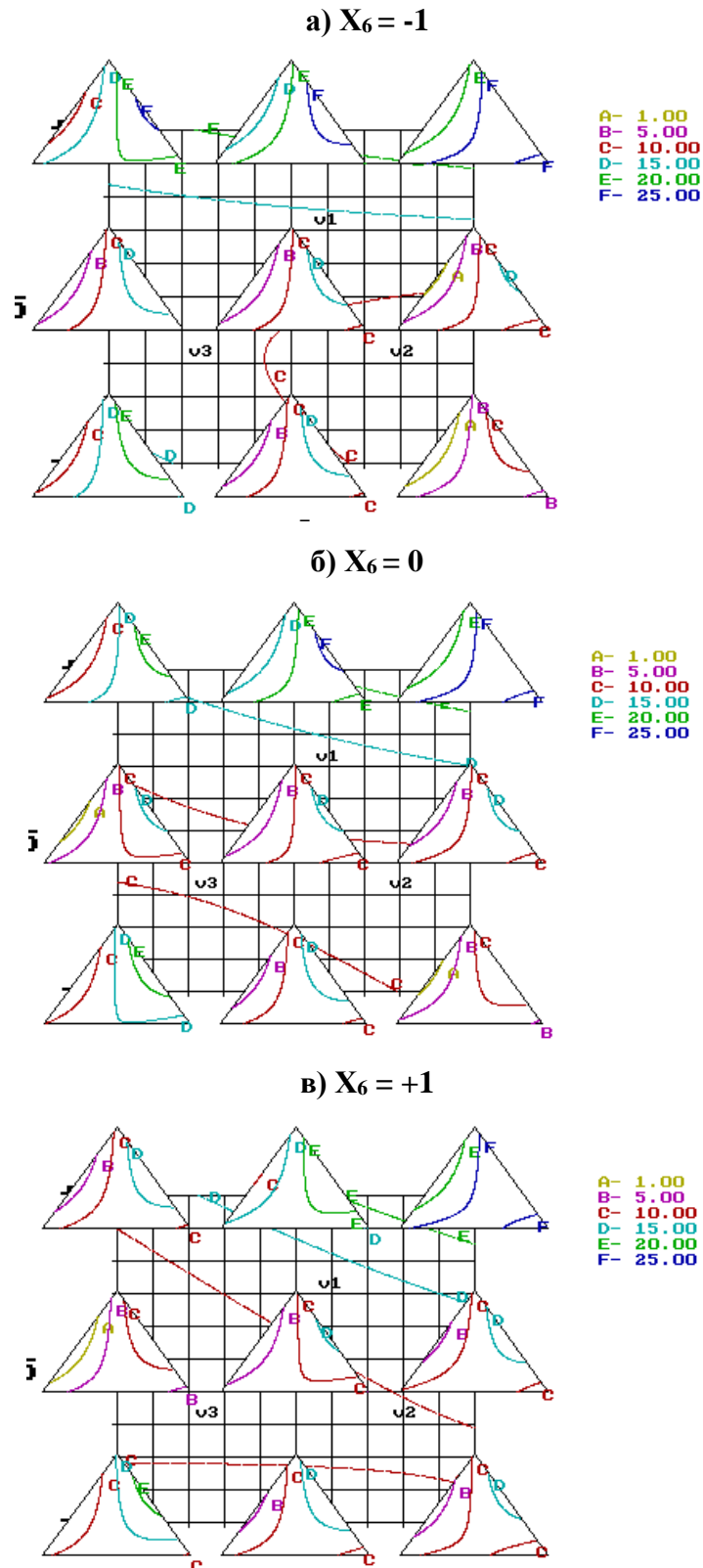


Рис.3.8. Вплив мікропуцоланових компонентів ВМК ( $x_4$ ), МКР ( $x_5$ ) і мікроармуючої добавки мікрволастоніт на  $\Pi_{\text{відкр}}$  КГВ, при вмісті:  
 а) Sika - 0,1%; б) Sika - 0,6%; в) Sika - 1,1%.





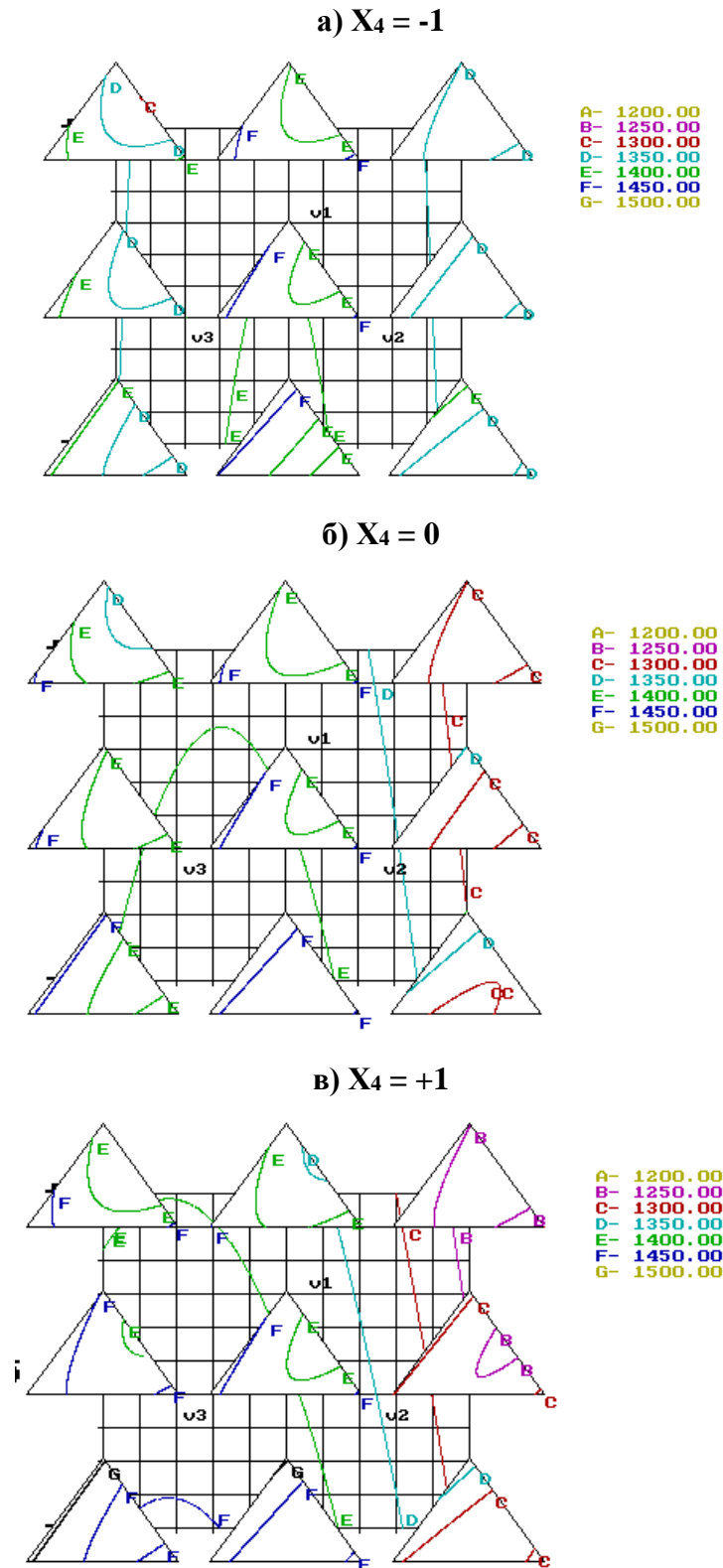


Рис.3.9. Вплив мікропуцоланового компонента МКР ( $x_5$ ) та суперпластифікатора Sika ( $x_6$ ) і мікроармуючої добавки мікрволастоніт на середню густину КГВ, при вмісті: а) ВМК - 5%; б) ВМК - 10%; в) ВМК - 15%.



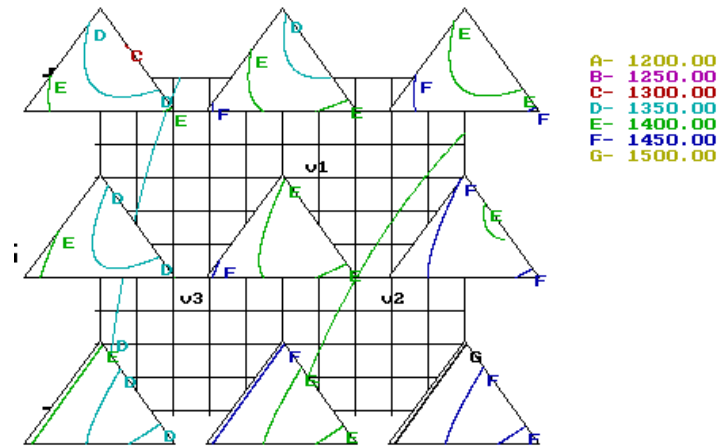
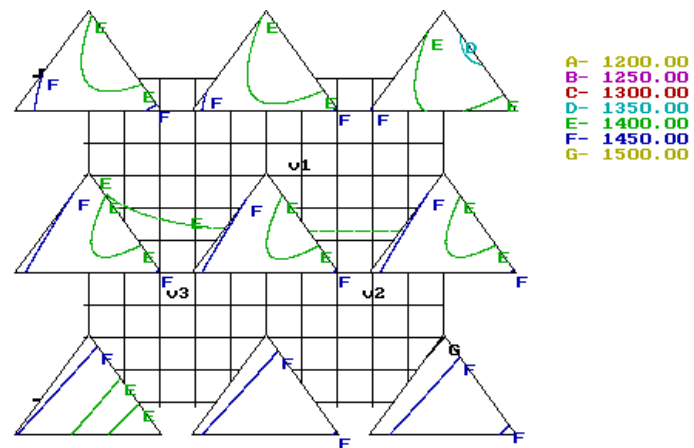
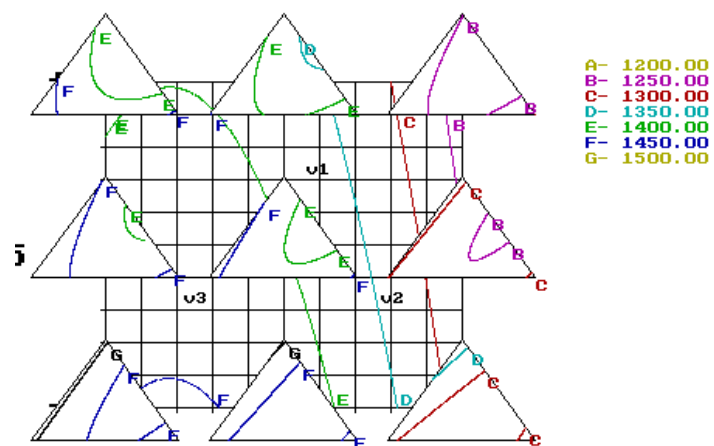
а)  $X_5 = -1$ б)  $X_5 = 0$ в)  $X_5 = +1$ 

Рис.3.10. Вплив мікропуцоланового компонента ВМК ( $x_4$ ), та суперпластифікатора Sika ( $x_6$ ) і мікроармуючої добавки мікрволастоніт на середню густину КГВ, при вмісті: а) МКР - 5%; б) МКР - 10%; в) МКР - 15%.

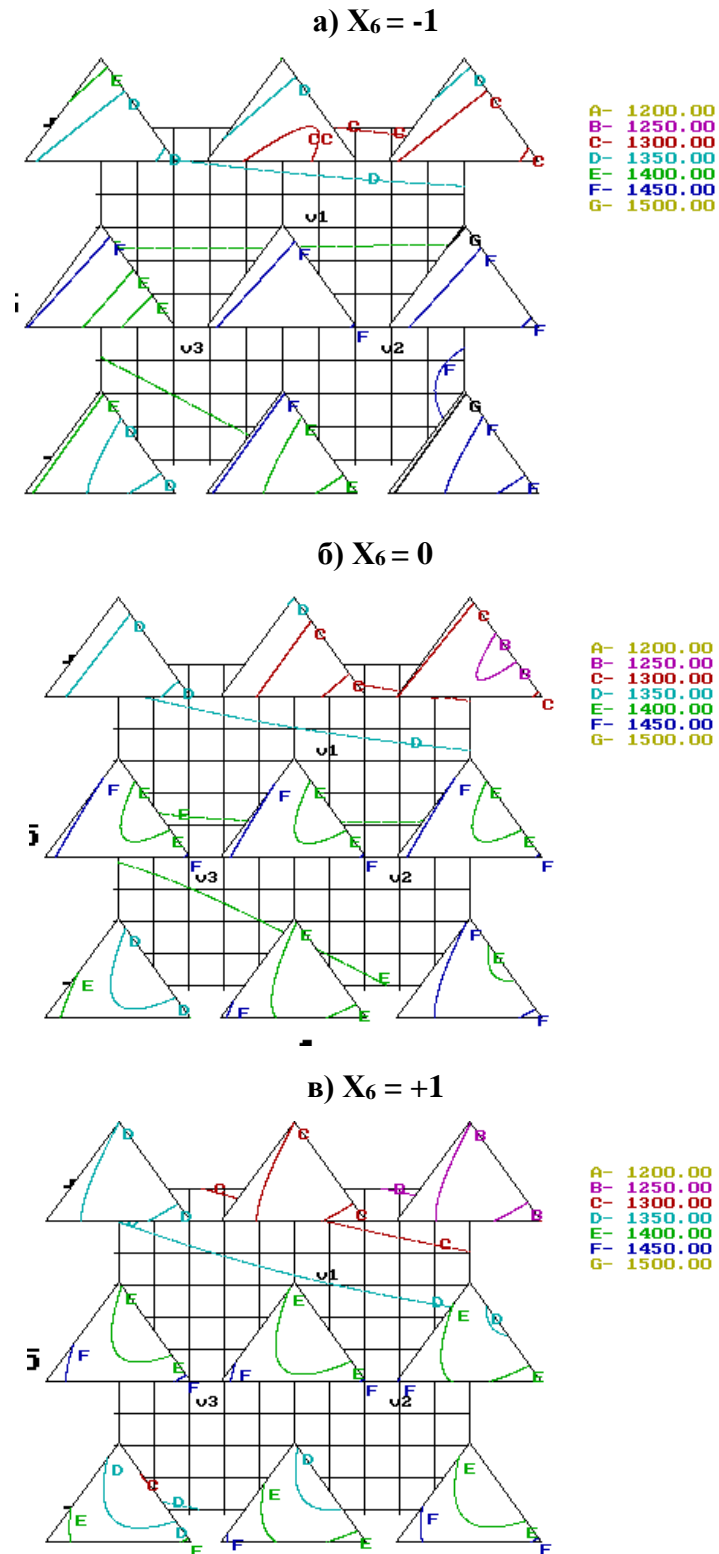


Рис.3.11. Вплив мікропуцоланових компонентів ВМК (x4), МКР (x5) і мікроармуючої добавки мікрволастоніт на середню густину КГВ, при вмісті:

а) Sika - 0,1%; б) Sika - 0,6%; в) Sika - 1,1%.

Терміни схоплювання КГВ залежать від багатьох технологічних факторів та факторів складу. Використання мінеральних наповнювачів уповільнюють терміни схоплювання. За даними Феронской [111], терміни схоплювання КГВ: початок не раніше 2 хв., кінець схоплювання - не пізніше 15 хв. За результатами авторських експериментів встановлено, що застосування наповнювачів скорочує терміни схоплювання залежно від водогіпсового співвідношення (таблиця.3.3). КГВ модифікованого вибраними добавками змінюються у рамках експерименту в наступних межах. При вмісті Sika 0,1% 5-10 мін, при вмісті Sika 0,6% 10-20 мін, при вмісті Sika 1,1% 20-40 хв.

Таблиця 3.3

Вплив водогіпсового відношення на терміни схоплювання

Водогіпсове відношення В/Г	0,55	0,65	0,75	0,85
Терміни схоплювання, хв.				
початок	9	11	13	15
кінець	28	37	45	49
Терміни схоплювання КГВ, хв.				
початок	5	10	20	40
кінець	15	30	50	>60

Таким чином Sika у кількості 0,1% несуттєво впливає на терміни схоплювання КГВ і відповідають термінам схоплювання чистого гіпсу. Кінець схоплювання при вмісті Sika 0,1% 15мин, при вмісті Sika 0,6% 30 мін, при вмісті Sika 1,1% 60 хв.

### 3.3.4. Аналіз комплексного впливу добавок на властивості КГВ на гідрофізичні властивості

**Водостійкість КГВ.** Повна ЕС модель (3.8), яка описує вплив досліджуваних факторів на водостійкість, має наступний вигляд:



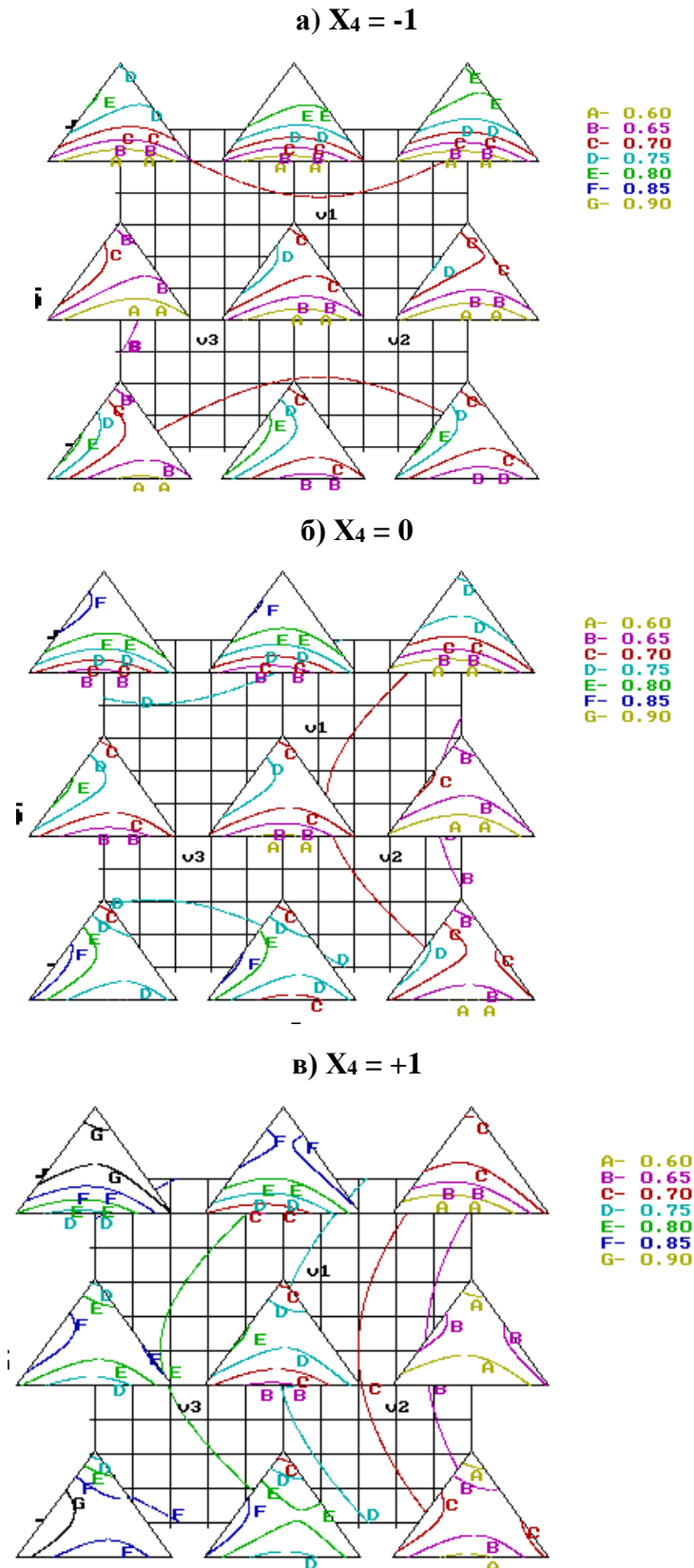


Рис.3.12. Вплив мікропуцоланового компонента МКР ( $x_5$ ) та суперпластифікатора Sika ( $x_6$ ) і мікроармуючої добавки мікрволастоніт на водостійкість КГВ, при вмісті: а) ВМК - 5%; б) ВМК - 10%; в) ВМК - 15%.

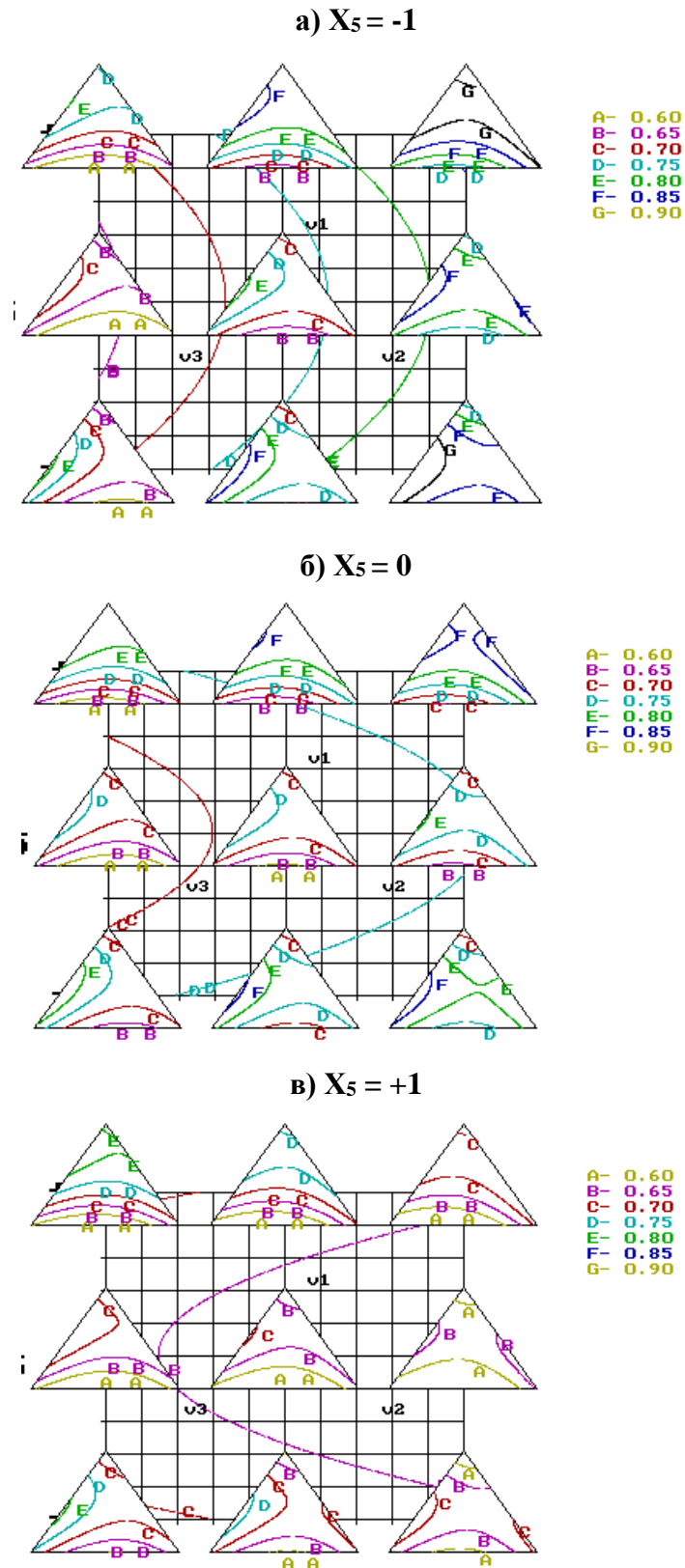


Рис.3.13. Вплив мікропуцоланового компонента ВМК ( $x_4$ ), та суперпластифікатора Sika ( $x_6$ ) і мікроармуючої добавки мікрОВОластоніт на водостійкість КГВ, при вмісті: а) МКР - 5%; б) МКР - 10%; в) МКР - 15%.

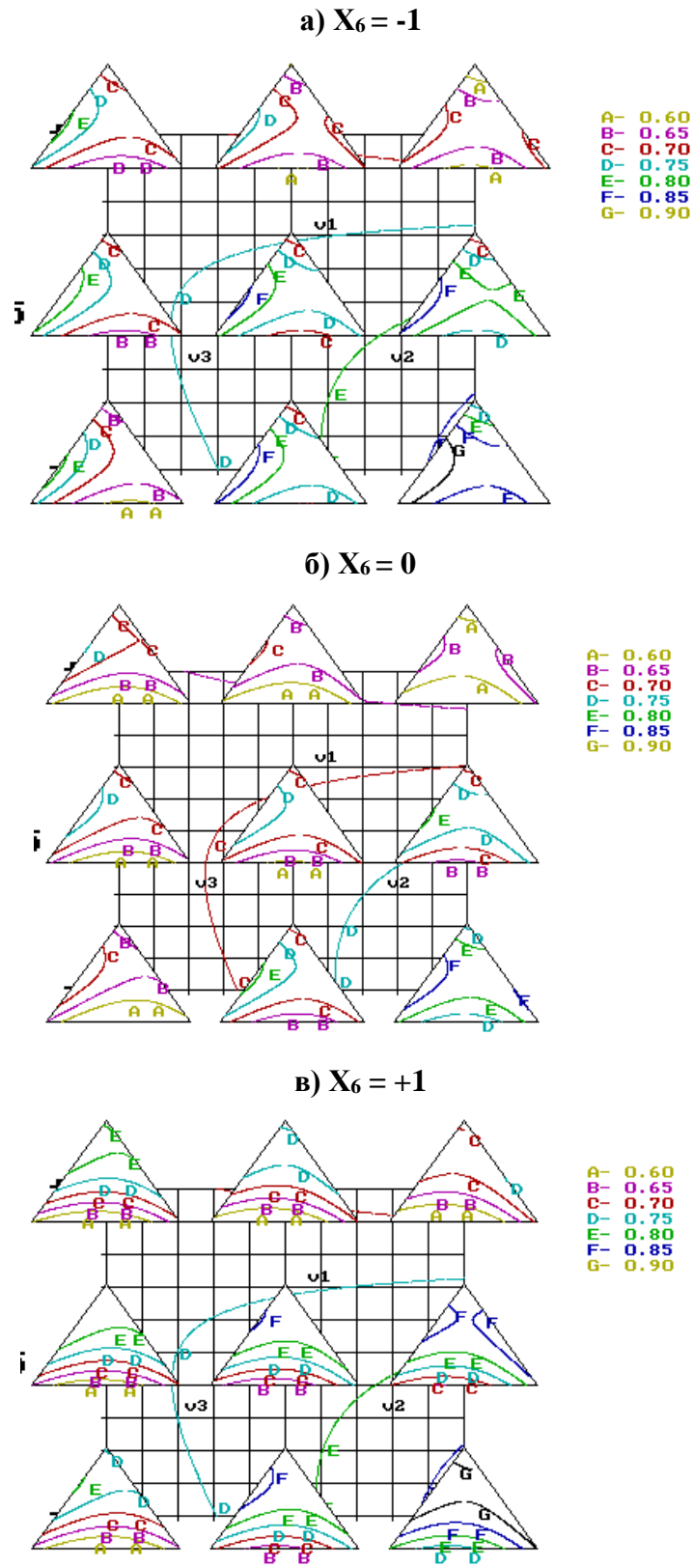


Рис.3.14. Вплив мікропуцоланових компонентів ВМК ( $x_4$ ), МКР ( $x_5$ ) і мікроармуючої добавки мікрОВОластоніт на водостійкість КГВ, при вмісті:

а) Sika - 0,1%; б) Sika - 1,1%; в) Sika - 0,6%.





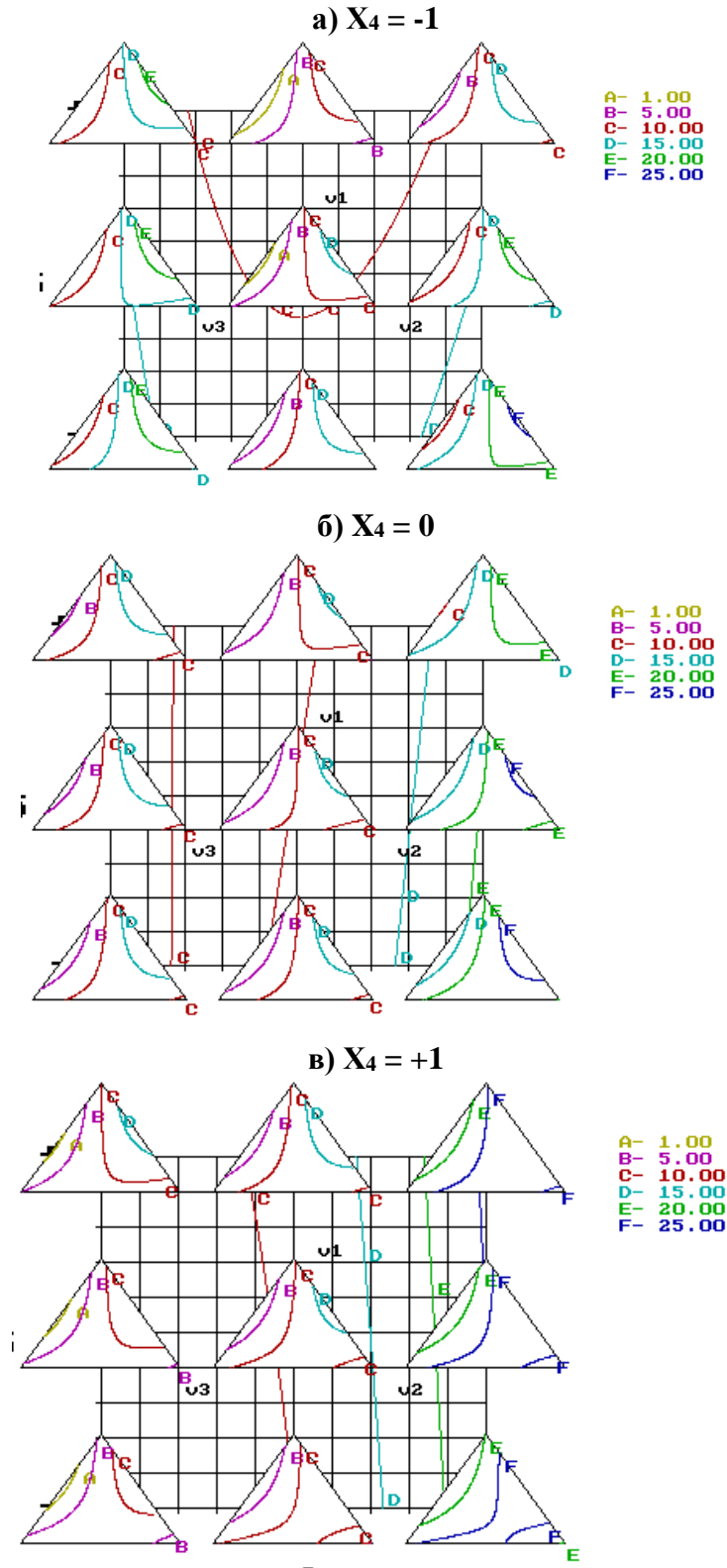


Рис.3.12. Вплив мікропуцоланового компонента МКР ( $x_5$ ) та суперпластифікатора Sika ( $x_6$ ) і мікроармуючої добавки мікрволастоніт на водопоглинання за об'ємом КГВ, при вмісті: а) ВМК - 5%; б) ВМК - 10%; в) ВМК - 15%.

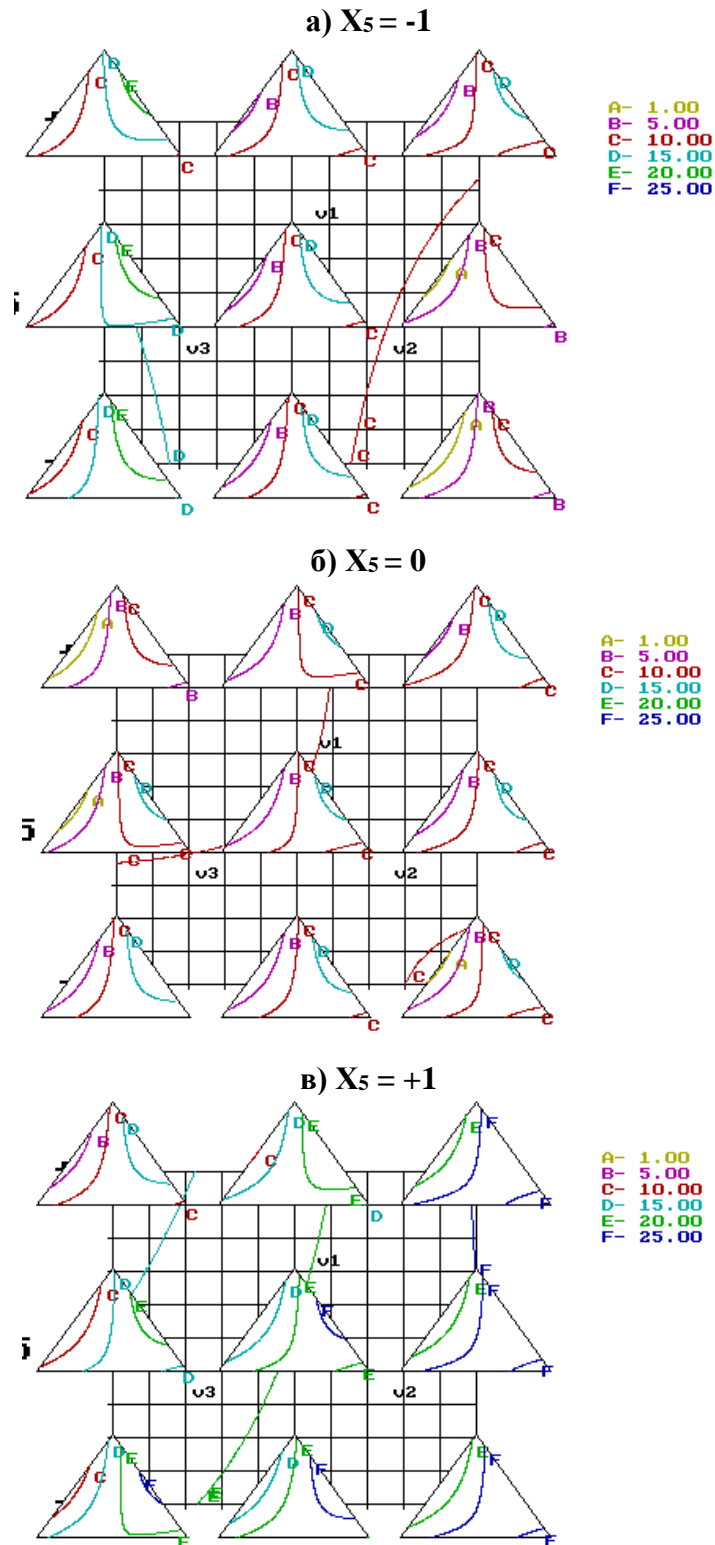


Рис.3.13. Вплив мікропуцоланового компонента ВМК ( $x_4$ ), та суперпластифікатора Sika ( $x_6$ ) і мікроармуючої добавки мікрОВОластоніт на водопоглинання за об'ємом КГВ, при вмісті: а) МКР - 5%; б) МКР - 10%; в) МКР - 15%.

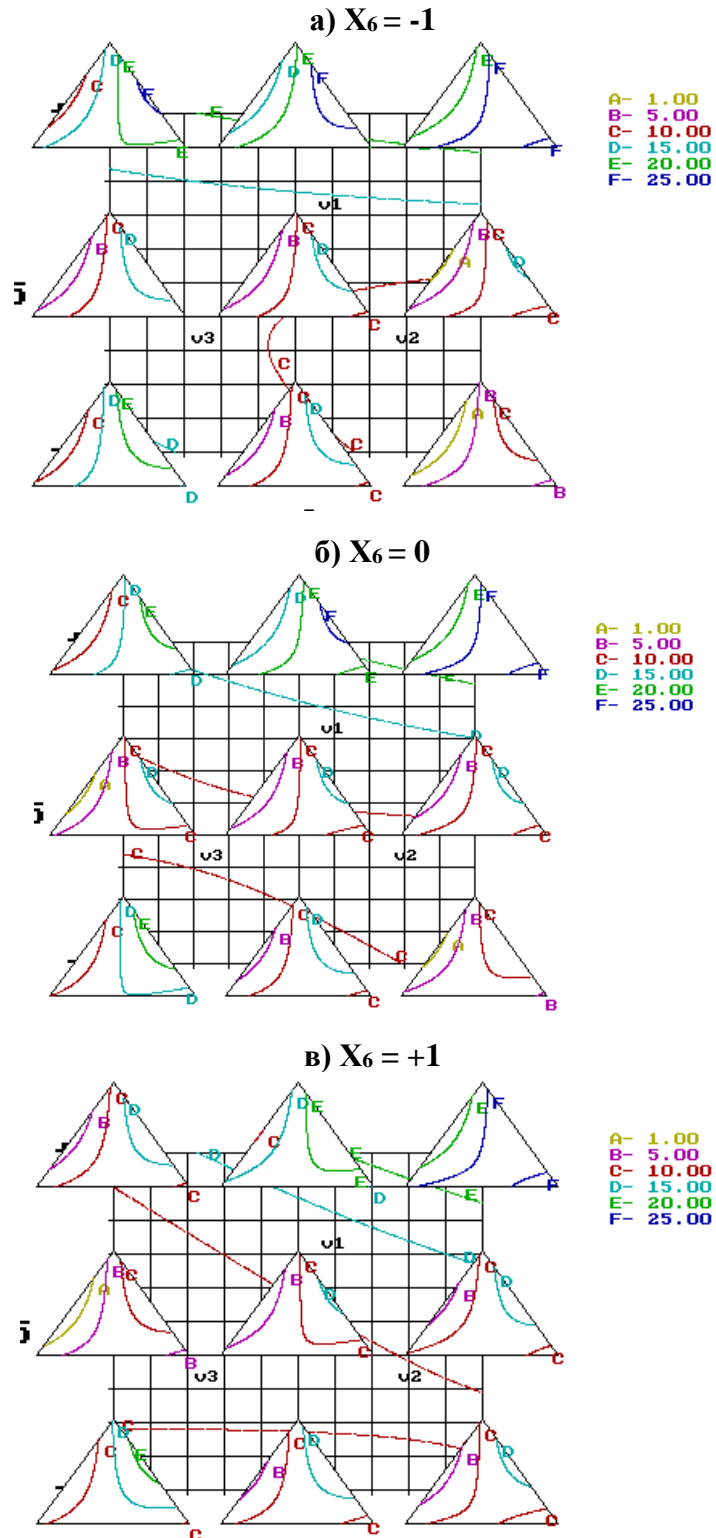


Рис.3.14. Вплив мікропуцоланових компонентів ВМК ( $x_4$ ), МКР ( $x_5$ ) і мікроармуючої добавки мікроволастоніт на водопоглинання за об'ємом

КГВ, при вмісті:

а) Sika - 0,1%; б) Sika - 0,6%; в) Sika - 1,1%.



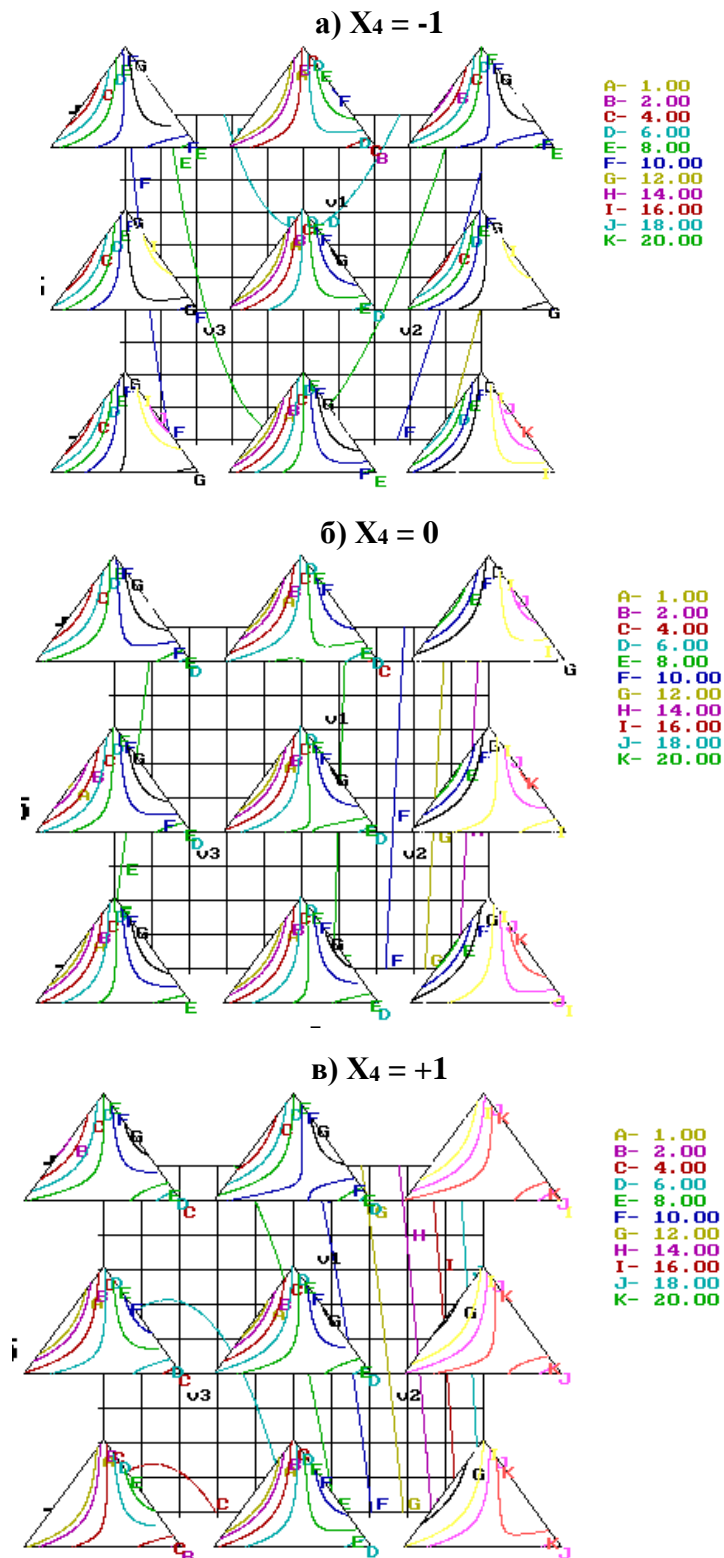


Рис.3.15. Вплив мікропуцоланового компонента МКР ( $x_5$ ) та суперпластифікатора Sika ( $x_6$ ) і мікроармуючої добавки мікрОВОластоніт на водопоглинання за масою КГВ, при вмісті: а) ВМК - 5%; б) ВМК - 10%; в) ВМК - 15%.

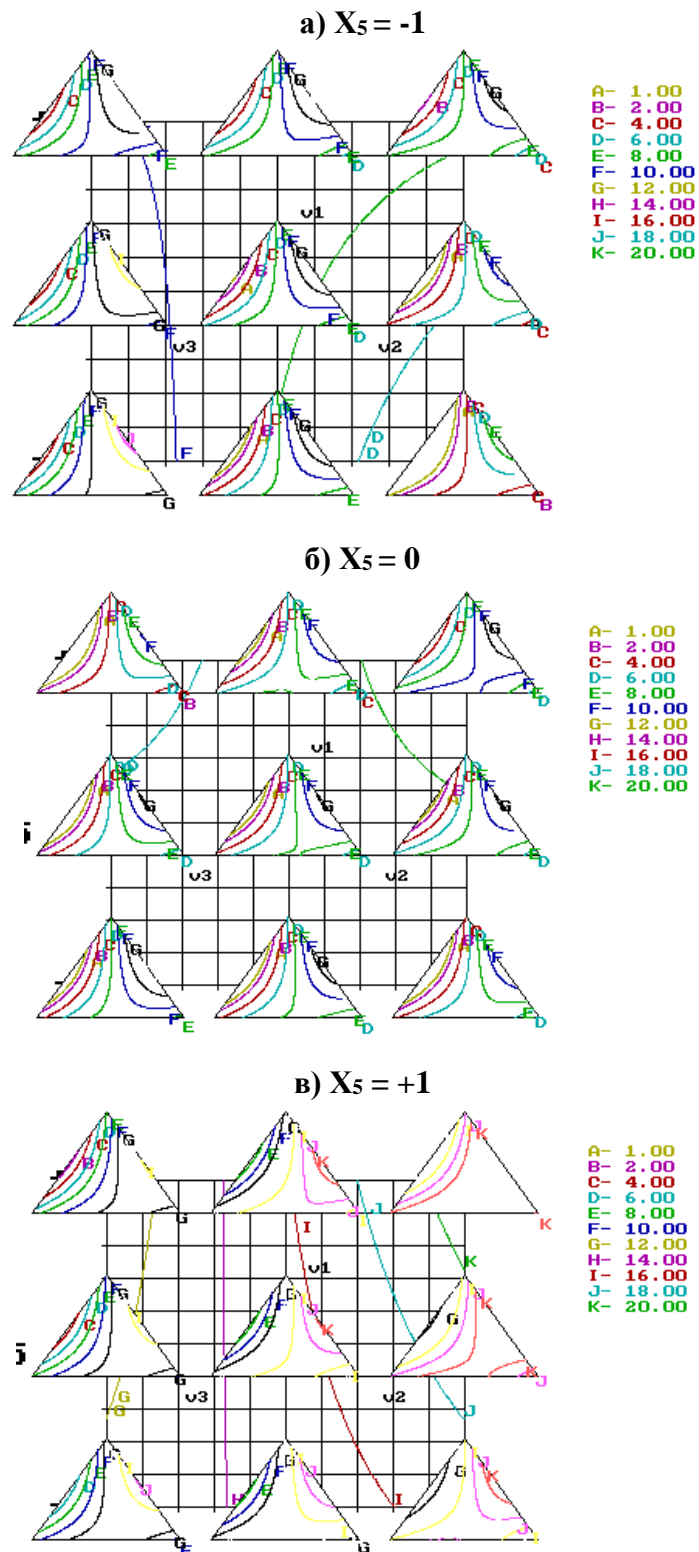


Рис.3.16. Вплив мікропуцоланового компонента ВМК ( $x_4$ ), та суперпластифікатора Sika ( $x_6$ ) і мікроармуючої добавки мікрволастоніт на водопоглинання за масою КГВ, при вмісті: а) МКР - 5%; б) МКР - 10%; в) МКР - 15%.

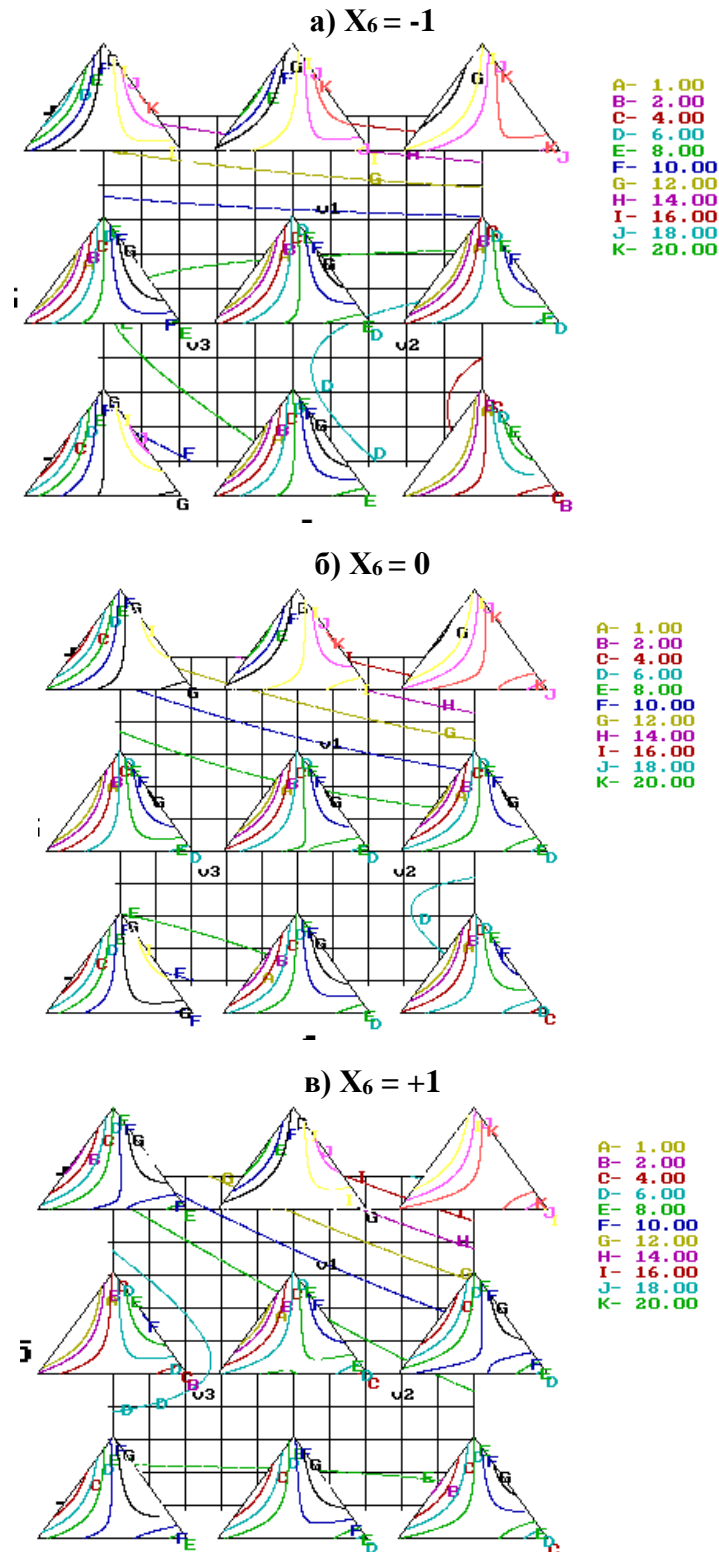


Рис.3.17. Вплив мікропуцоланових компонентів ВМК ( $x_4$ ), МКР ( $x_5$ ) і мікроармуючої добавки мікрволастоніт на водопоглинання за масою КГВ, при вмісті:

а) Sika - 0,1%; б) Sika - 0,6%; в) Sika - 1,1%.





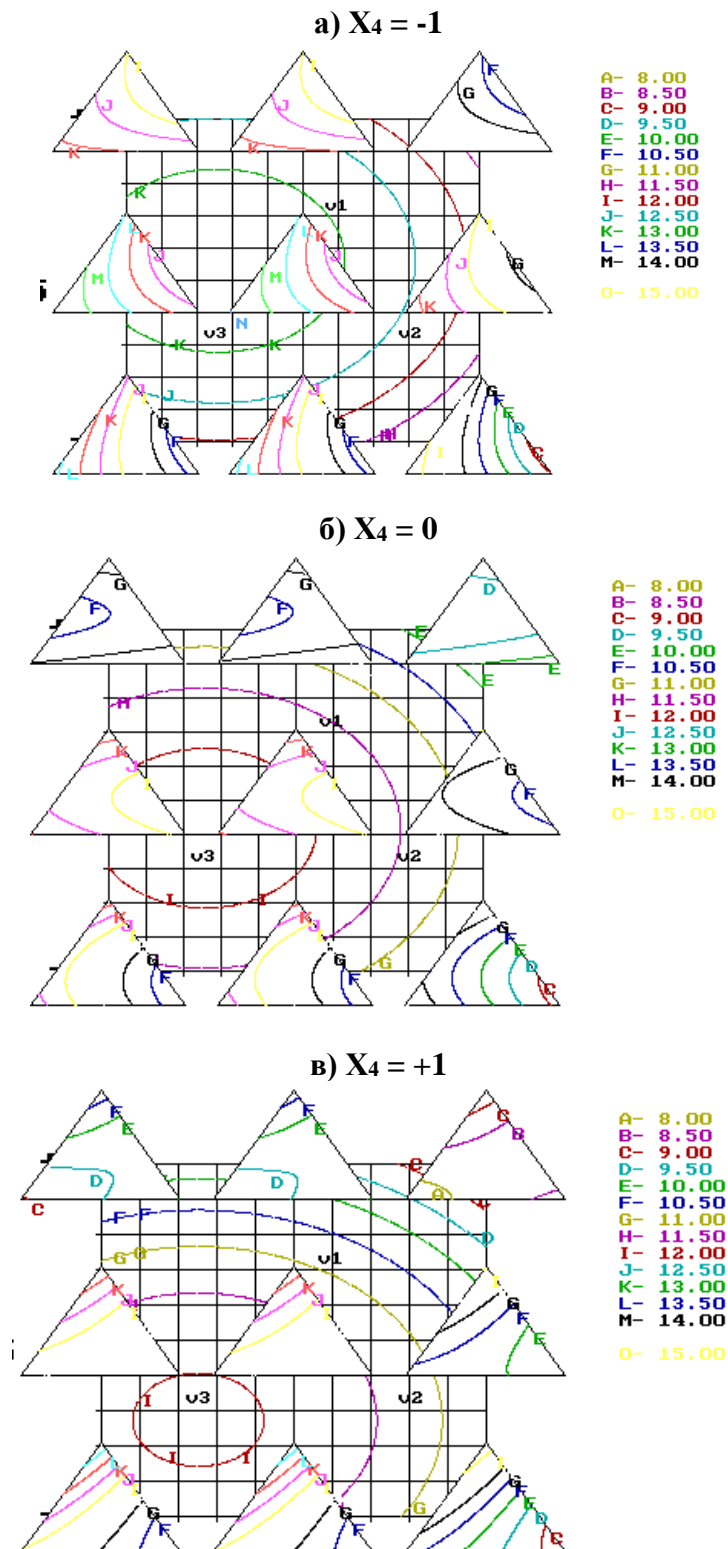


Рис.3.18. Вплив мікропуцоланового компонента МКР ( $x_5$ ) та суперпластифікатора Sika ( $x_6$ ) і мікроармуючої добавки мікрволастоніт на міцність при стиску КГВ, при вмісті: а) ВМК - 5%; б) ВМК - 10%; в) ВМК - 15%.

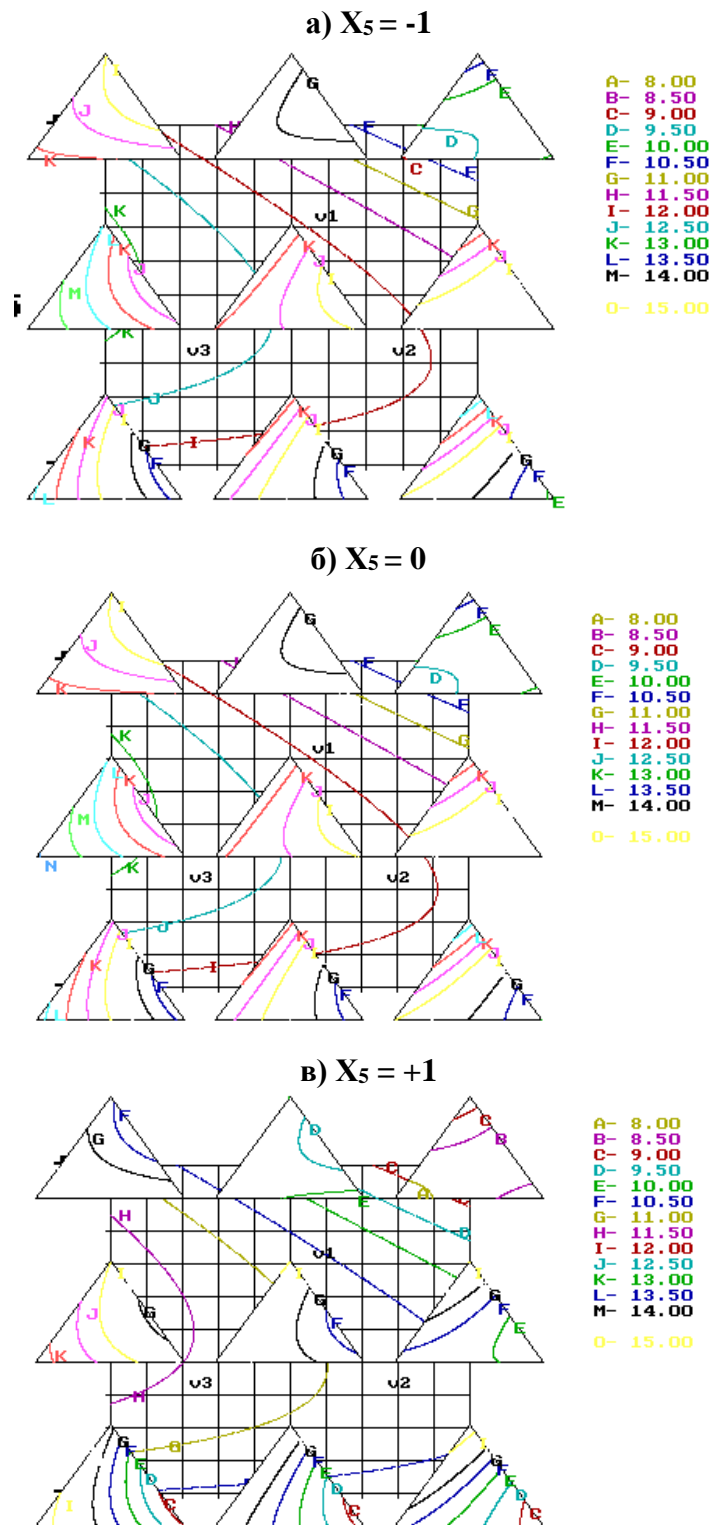


Рис.3.19. Вплив мікропуцоланового компонента ВМК ( $x_4$ ), та суперпластифікатора Sika ( $x_6$ ) і мікроармуючої добавки мікрволастоніт на міцність при стиску КГВ, при вмісті: а) МКР - 5%; б) МКР - 10%; в) МКР - 15%.

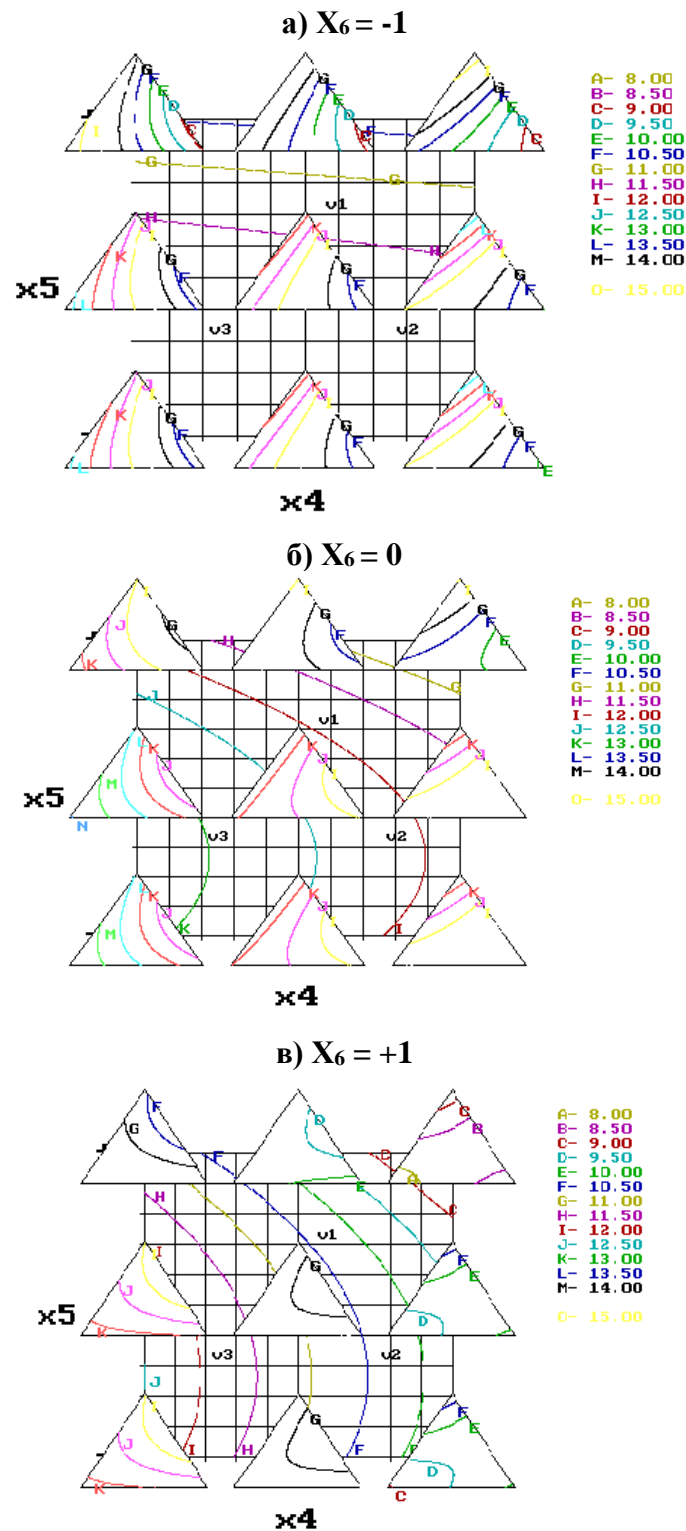


Рис.3.20. Вплив мікропуцоланових компонентів ВМК ( $x_4$ ), МКР ( $x_5$ ) і мікроармуючої добавки мікрволастоніт на міцність при стиску КГВ, при вмісті:

а) Sika - 0,1%; б) Sika - 0,6%; в) Sika - 1,1%.



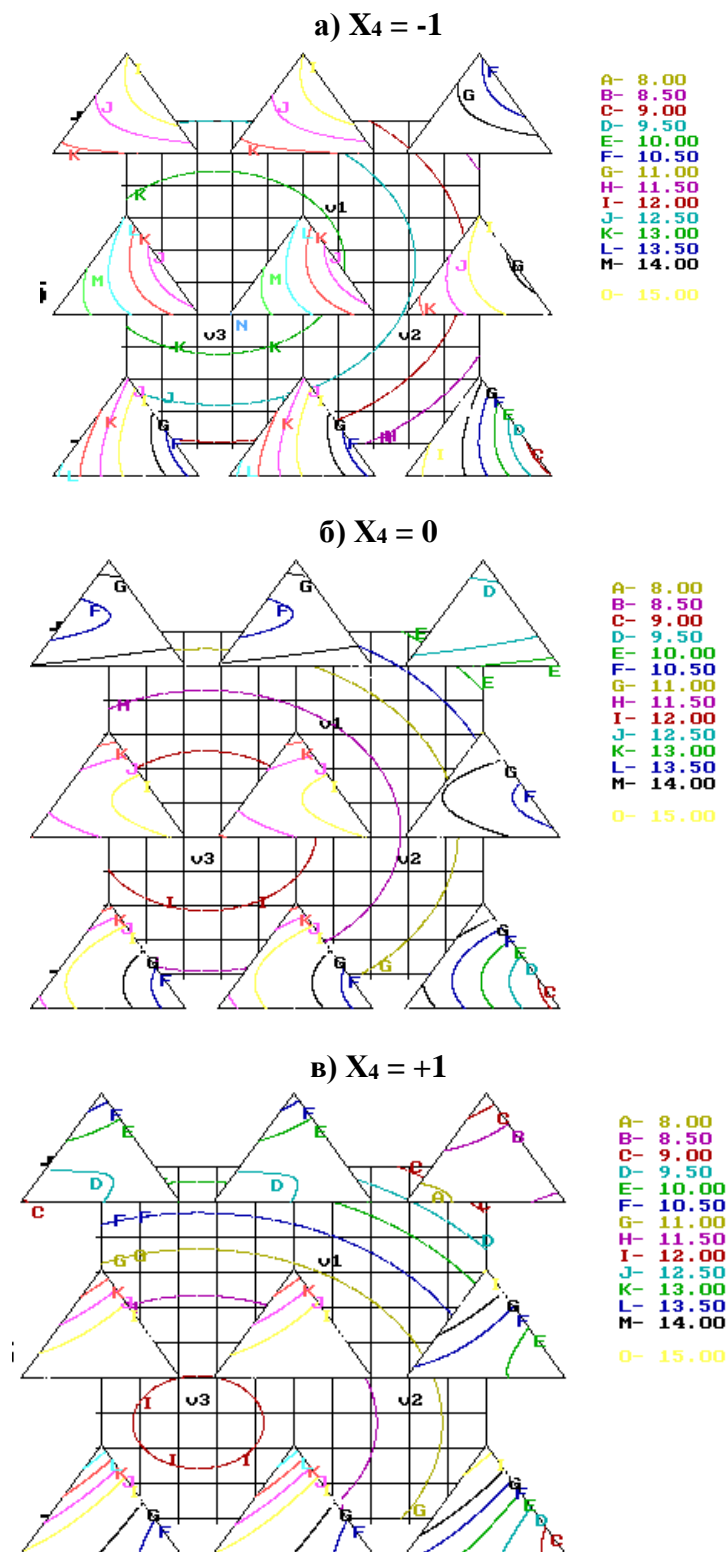


Рис.3.21. Вплив мікропуцоланового компонента ВМК ( $x_4$ ), та суперпластифікатора Sika ( $x_6$ ) і мікроармуючої добавки мікрОВОластоніт на міцність на розтяг при згині КГВ, при вмісті: а) МКР - 5%; б) МКР - 10%; в) МКР - 15%.

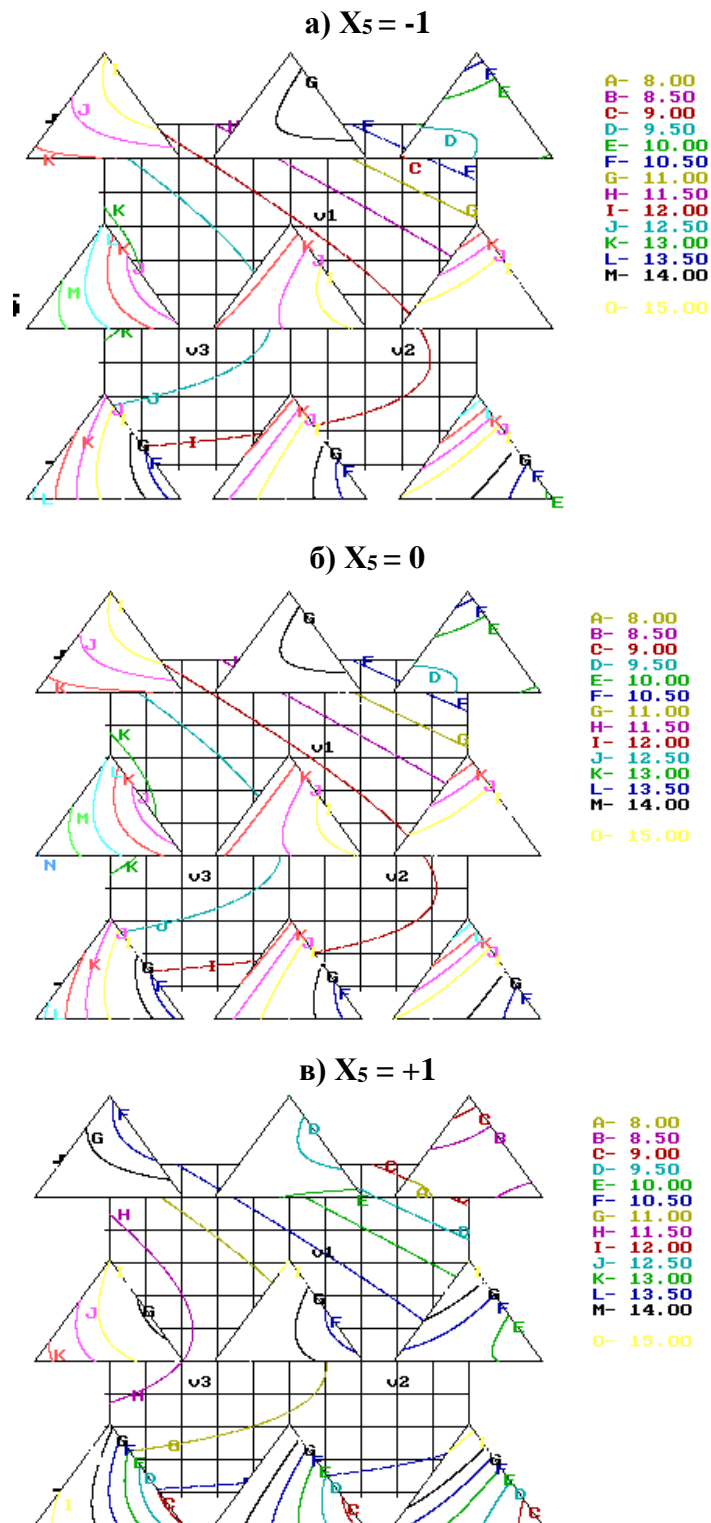


Рис.3.22. Вплив мікропуцоланового компонента ВМК ( $x_4$ ), та суперпластифікатора Sika ( $x_6$ ) і мікроармуючої добавки мікрволастоніт на міцність на розтяг при згині КГВ, при вмісті: а) МКР - 5%; б) МКР - 10%; в) МКР - 15%.

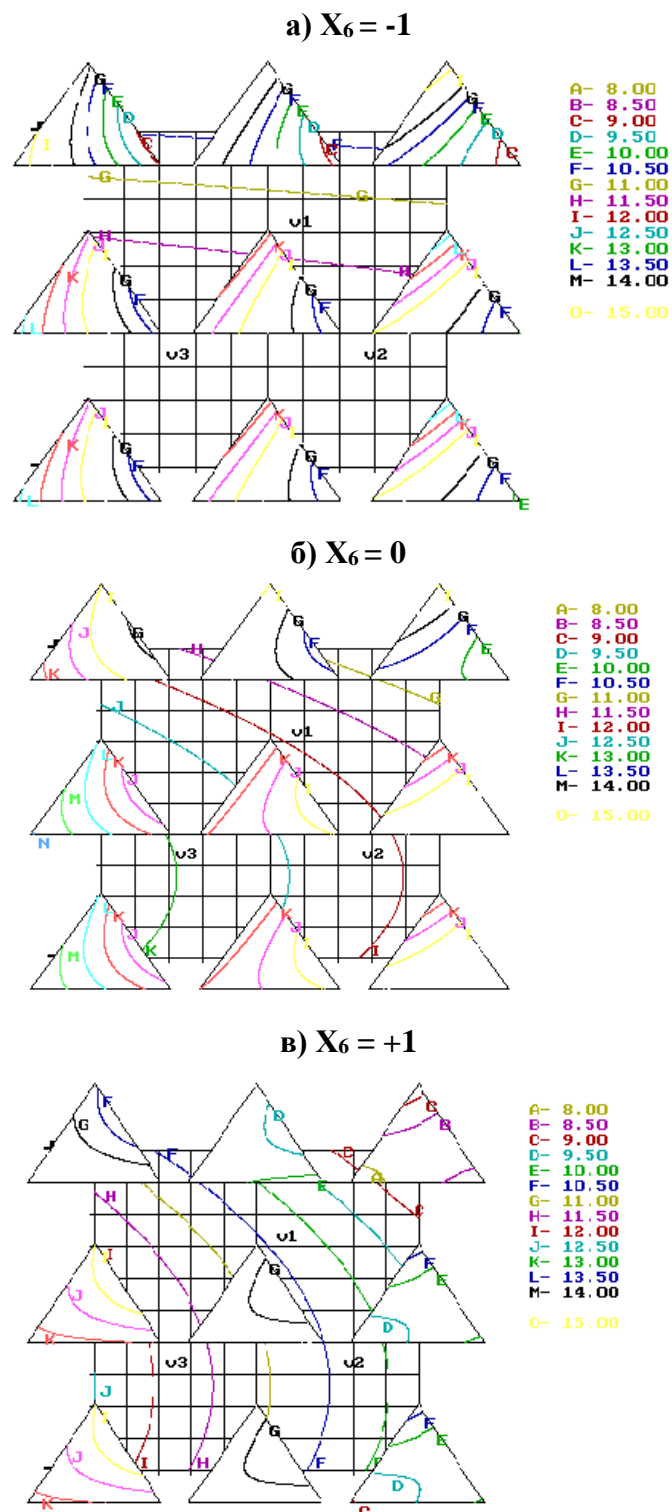


Рис.3.23. Вплив мікропуцоланових компонентів ВМК ( $x_4$ ), МКР ( $x_5$ ) і мікроармуючої добавки мікрОВОластоніт на міцність на розтяг при згині

КГВ, при вмісті:

а) Sika - 0,1%; б) Sika - 0,6%; в) Sika - 1,1%.

### 3.4. Багатокритеріальна оптимізація складу модифікованого композиційного гіпсового в'язучого

Оптимізація складу КГВ модифікованого комбінованою мікропуцолановою добавкою, армуючою добавкою та суперпластифікатором проведена шляхом накладення один на одного побудованих в розділах 3.3-3.4. по ЕС моделям діаграм, які представлені у вигляді трикутників на квадратах. Таке накладення дозволяє вибрати цілу серію складів, які відповідають вимогам за рівнями властивостей. В даному випадку проведена накладення діаграм які описують зміну наступних властивостей: водопотреба,  $\Pi_{заг}$ ,  $\Pi_{вікр}$ ,  $\Pi_{закр}$ ,  $f_{cm}$ ,  $f_{ctfm}$ ,  $K_p$ ,  $W_m$ ,  $W_o$  (рис 3.24. а-б).

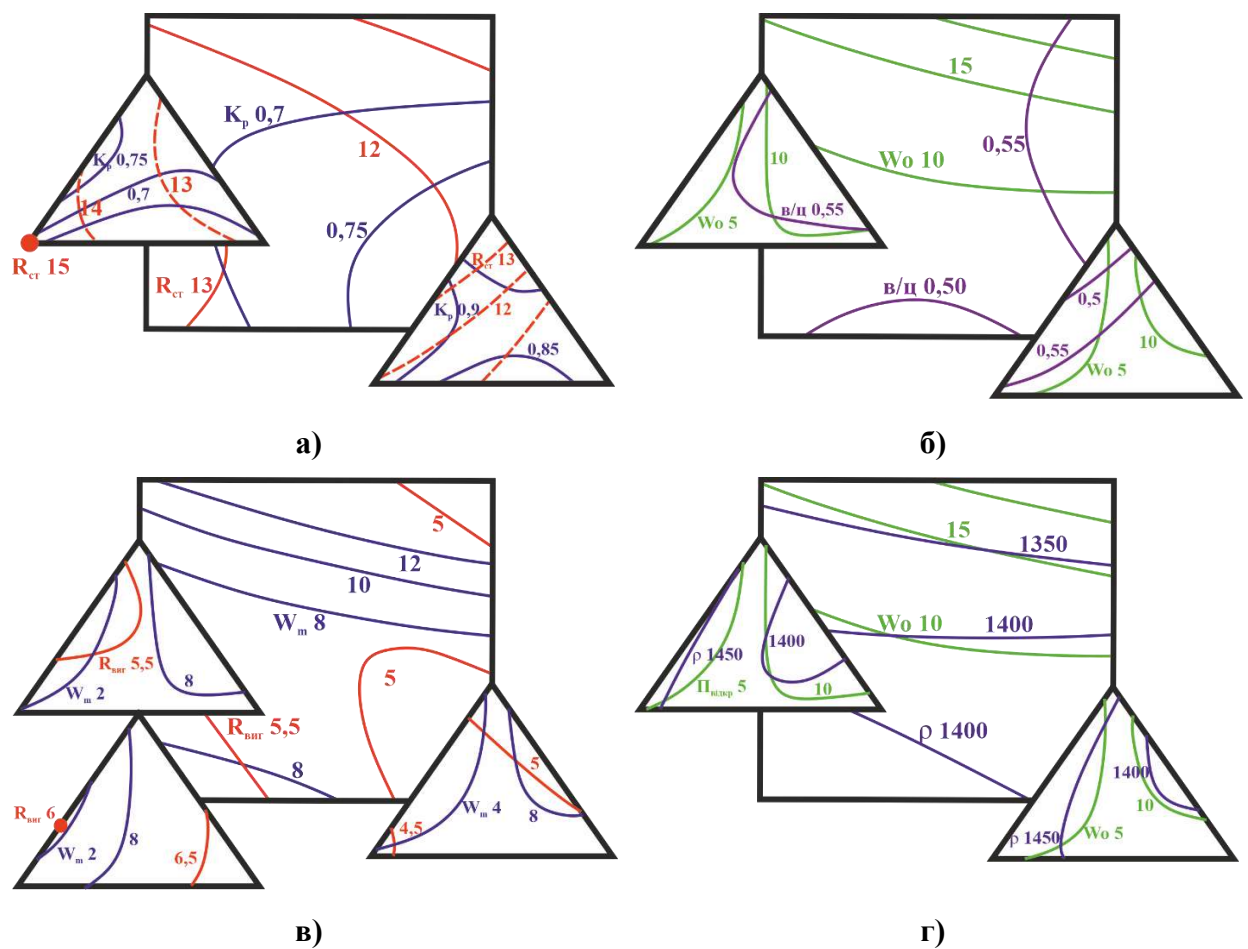


Рис.3.24. Багатокритеріальна оптимізація складу модифікованого композиційного гіпсового в'язучого



Раціональні склади які рекомендовані на основі проведеного аналізу представлені в таблицях 3.4-3.5.

Таблиця 3.4

Склади КГВ з водостійкістю  $K_p \geq 0,9$  и  $K_p = 0,85 \div 0,89$

№	Показники якості	$K_p \geq 0,9$						$K_p = 0,85 \div 0,89$			
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
показники якості											
1	$K_p^{\max}$	0,92	0,93	0,94	0,93	0,91	0,9	0,85	0,85	0,85	0,87
2	$f_{cm}^{\text{опт}}$	12,0	12,7	10	10	9,7	9,2	13	12,7	10	10,5
3	$f_{ctfm}$	4,4	4,2	4,5	4,0	4,3	4,2	4,3	4,4	4,2	4,2
4	$W_o$	0,55	0,50	0,58	0,55	0,55	0,57	0,45	0,56	0,65	0,63
5	$\rho$	1510	1500	1450	1430	1450	1390	1470	1480	1490	1450
6	$\Pi_{\text{заг}}$	46	45	40	39	35	38	36	38	39	36
7	$\Pi_{\text{вікр}}$	3	5	11	6	11	12	6	7	1	5
8	$\Pi_{\text{закр}}$	43	40	29	33	24	27	30	31	38	31
9	$W_m$	1	3	8	1	4	8	2	3	1	2
вміст пуцоланових компонентів в % от м.в.											
10	ВМК	15		15				10		15	
11	МКР	5		5				5		10	5
12	Sika	0,1		1,1				0,1			
дисперсність армуючої добавки											
13	Вл1	-	+	+	+	-	+	+	-	+	-
14	Вл2	-	-	+	-	+	+	-	-	-	+
15	Вл3	+	-	-	+	-	+	+	+	+	-
співвідношення армуючих добавок різної дисперсності, %											
16	Вл1/Вл2,3	0	1	1/2	1/2	0	1/3	1/2	0	2/3	0
17	Вл2/Вл1,3	0	0	1/2	0	1	1/3	0	0	0	1
18	Вл3/Вл1,2	1	0	0	1/2	0	1/3	1/2	1	1/3	0

Для проведення багатокритерійної оптимізації результати досліджень та аналізу експериментально-статистичних моделей зведені в таблицю 3.6.

Оптимізація складів проведена за двома основними критеріями. У першому варіанті за показник якості прийнятий максимальне значення коефіцієнта розм'якшення. У іншому варіанті за показник якості набуто максимального значення міцності при стиску. Оптимальні склади отримані шляхом накладення багат шарових діаграм у вигляді трикутника. Трикутні діаграми, як вказувалося вище, описують зміну властивостей під впливом мікрволастоніту в області діаграми у вигляді квадрата з урахуванням

основного завдання оптимізації. Перше оптимізаційне завдання, отримати МКГВ максимальної водостійкості з поліпшеними іншими показниками якості ( $\rho$ ,  $W_m$ ,  $W_o$ ,  $f_{ctfm}$ ).

Таблиця 3.5

Склади КГВ з водостійкістю  $K_p=0,85\div 0,89$ 

№	Показники якості	$K_p=0,85\div 0,89$										
		11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
показники якості												
1	$K_p^{max}$	0,88	0,85	0,85	0,86	0,85	0,85	0,86	0,89	0,87	0,85	0,85
2	$f_{cm}^{opt}$	11,5	11,5	12,5	11	15	11,2	11,4	10,5	10	10	10,3
3	$f_{ctfm}$	4,3	4,5	4,4	4,3	5	5	4,7	4,6	4,5	4,2	4,4
4	$W_o$	0,62	0,58	0,56	0,46	0,56	0,52	0,48	0,56	0,57	0,58	0,52
5	$\rho$	146	147	143	144	141	140	143	142	135	135	142
		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	$P_{zag}$	42	41	40	43	42	41	33	41	38	49	42
7	$P_{vikp}$	7	2	1	1	10	5	4	1	15	15	5
8	$P_{zakp}$	35	39	39	42	32	36	29	40	23	24	37
9	$W_m$	4	1	1	1	10	4	1	4	10	10	1
вміст пуцоланових компонентів в % от м.в.												
10	ВМК	15		15	5	10			15			
11	МКР	5	10		5	10	5	10	5	10		
12	Sika	0,1		0,6			1,1					
дисперсність мікроармуючої добавки												
13	Вл1	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+
14	Вл2	+	-	-	-	+	-	-	-	+	+	-
15	Вл3	+	+	+	+	-	+	+	-	-	-	+
співвідношення мікроармуючих добавок різної дисперсності, %												
16	Вл1/Вл2,3	1/3	0	1/2	1/2	3/4	1/2	1/3	1	1/2	0	1/3
17	Вл2/Вл1,3	1/3	0	0	-	1/4	0	0	0	1/2	1	0
18	Вл3/Вл1,2	1/3	1	1/2	1/2	-	1/2	2/3	0	0	0	2/3

Результати які отримані в результаті рішення першої оптимізаційної задачі представлені в таблиці 3.6. Для порівняння приведені необхідні (нормовані) показники якості для гіпсових та композиційних гіпсових в'язучих. Отримані оптимальні склади задовольняють технічним умовам (склад 1), а склади 2-3 перевищують ці вимоги.

Другу оптимізаційне завдання - отримати МКГВ максимальної міцності з допустимим рівнем ( $0,7 < K_p < 0,85$ ) водостійкості.

Таблиця 3.6

Рівні властивостей КГВ при різному співвідношенні компонентів суміші.

№	Наймен. вл-в компонентів	Од. вим	Kp $\geq$ 0,9			Kp=0,85÷0,89				
			1	2	3	1	2	3	4	5
рівні властивостей при різному співвідношенні компонентів суміші										
1	Kp	-	0,92	0,93	0,94	0,85	0,85	0,87	0,88	0,89
2	f <sub>cm</sub>	МПа	12,0	12,4	10	12	11,5	10	11,5	10,5
3	f <sub>ctfm</sub>	МПа	4,4	4,2	4,5	5,0	4,5	4,5	4,3	4,6
4	W <sub>m</sub>	%	1,0	1,0	12,0	2	2	12	4	3
5	W <sub>o</sub>	%	3,0	1,2	15,0	5	5	15	5	5
6	$\rho$	кг/м <sup>3</sup>	1400	1400	1500	1400	1470	1350	1450	1500
вміст мікропуцоланових добавок, від м.в.										
1	ВМК	%	15			15				
2	МКК	%	5			5	10		15	5
вміст суперпластифікатора, від м.в.										
1	Sika	%	0,1		1	0,6	0,1	1,1	0,1	1,1
співвідношення фракційного складу Вл										
1	Вл1	-	-	+	+	+	-	+	+	+
2	Вл2	-	-	-	-	+	-	+	+	-
3	Вл3	-	+	+	-	-	+	-	+	-

Як впливає з таблиці 3.7, модифікація КГВ мікрволастонітом забезпечують підвищення f<sub>ctfm</sub>. При цьому співвідношення f<sub>cm</sub>/f<sub>ctfm</sub> = 2÷2,4 рази. Для складів без мікрволастоніту f<sub>cm</sub>/f<sub>ctfm</sub> = 2,85÷3,75 рази. Відмінності значень відносного показника f<sub>cm</sub>/f<sub>ctfm</sub> складають 69-76%, що свідчить про ефективність впливу мікроармування на КГВ. Склади, які у рамках експерименту мають максимальне значення по водостійкості мають міцність при стиску  $\geq$ 13МПа.

Показана ефективність спільного впливу ВМК, МКК і волластонита на властивості КГВ, зокрема: максимальні значення міцності на стиск f<sub>cm</sub>=15 МПа досягнуті при співвідношенні ВМК/МКК = 1:1 до 1:2, (ВМК 5%, вміст мікрволастоніта Вл3), f<sub>ctfm</sub> вище в 1,5-2 рази нормованих значень. Підтверджено позитивний вплив мікрволастоніта на міцність при стиску та міцність на розтяг при згині: f<sub>cm</sub> підвищується з 12,5 до 15 МПа тобто на 16%; f<sub>ctfm</sub> з 5 до 6,5 МПа тобто на 25%. Водопотреба складає 0,55-0,6;

тріщиностійкість - 0,38 МПа, водостійкість  $K_p=0,85-0,92$ ;  $\rho=1400\div 1450$  кг/м<sup>3</sup>;  $W_m=1-8\%$ ;  $P_{відк}=1-15\%$ . показано, що взаємовплив добавок супроводжується їх синергетичною взаємодією і загальним поліпшенням властивостей.

Таблиця 3.7

Показники якості гіпсу та гіпсомістких в'язучих.

№ пп	Вид в'яз.	Марка в'яз.	Показники якості				Коефф. водостійк.	Катег. водос тійк.	$f_{ctfm}/$ $f_{cm}$
			норма		факт				
			$f_{cm}$	$f_{ctfm}$	$f_{cm}$	$f_{ctfm}$			
1	Гіпс	Г10	10,0	4,5	-	-	0,7÷0,8	ПВ*	2,2
2	Гіпс	Г5	5,0	2,5	-	-	0,5÷0,65	ПВ*	2,0
3	КГВ	15	15,0	4,0	-	-	$\geq 0,8$	В*	3,7
4	МКГВ		-	-	15,0	5,9	0,75	ПВ	2,5
5	МКГВ		-	-	10,0	4,2	0,85	В	2,4
6	МКГВ		-	-	9,6	4,8	0,9	В	2,0

\*- за даними Феронської А.В.

### Висновки за розділом 3

1. У якості в'язучого, для арболітобетону на основі костриці коноплі, в пошукових експериментах випробувані 5 різних видів в'язучого та 8 варіантів їх комбінацій з різними видами добавок-модифікаторів. На підставі проведених пошукових досліджень встановлено, що найбільш високими і задовольняючими вимоги за середньою густиною та міцневим властивостями є арболітобетон на композиційному гіпсовому в'язучому.

2. Проведено вибір і обґрунтування виду мікропуцоланових добавки для композиційного гіпсового в'язучого. Показано, що перспективними пуцолановими добавками які можуть істотно покращувати властивості гіпсового в'язучого, являється мікрокремнезем (МКК) та високоактивний метакаолін (ВМК). Визначено, що добавка ВМК робить ефективніший вплив на фізико-механічні властивості КГВ, та в першу чергу підвищує водостійкість КГВ до 0,9-0,92 що вище водостійкості КГВ на МКК 0,81-0,85. Для подальших

досліджень було рекомендовано спільне використання двох видів мікропуцоланових добавок ВМК та МКК.

3. На підставі результатів натурних експериментів розраховані ЕС 6-факторні моделі властивостей КГВ: водопотреба,  $P_{заг}$ ,  $P_{вікр}$ ,  $P_{закр}$ ,  $f_{cm}$ ,  $f_{ctfm}$ ,  $K_p$ ,  $W_m$ ,  $W_o$ . За ЕС моделям проведено аналіз взаємовпливу і ступінь сумісності вибраних компонентів складу для КГВ. В результаті рекомендовано застосування мінеральної комбінованої двокомпонентної мікропуцоланової добавки підвищеної гідравлічної активності. Дана оцінка впливу армуючої добавки волластоніта на властивості. Показано, що добавка мікрОВОластоніта робить позитивний вплив не тільки на тріщиностійкість, а й на міцність при згині, а так само сприяє підвищенню міцності при стиску, середньої густині, знижує водопоглинання і відкрити пористість.

4. Проведена багатокритеріальна оптимізація складу композиційного гіпсового в'язучого модифікованого комбінованою мікропуцолановою добавкою, армуючою добавкою та суперпластифікатором шляхом накладення один на одного побудованих по ЕС моделям діаграм, які представлені у вигляді трикутниках на квадратах. Підтверджено взаємовплив та сумісність вибраних для складу КГВ компонентів.

5. Показана ефективність спільного впливу ВМК, МКК і мікрОВОластоніта на властивості КГВ, зокрема: максимальні значення міцності при стиску  $f_{cm} = 15$  МПа досягнуті при співвідношенні ВМК/МКК = 1:1 до 1:2, (ВМК 5%, вміст мікрОВОластоніта ВЛЗ),  $f_{ctfm}$  вище в 1,5-2 рази нормованих значень. Підтверджено позитивний вплив мікрОВОластоніта на міцність при стиску та міцність на розтяг при згині:  $f_{cm}$  підвищується з 12,5 до 15 МПа тобто на 16%;  $f_{ctfm}$  з 5 до 6,5 МПа тобто на 25%. Водопотреба складає 0,55-0,6; тріщиностійкість - 0,38 МПа, водостійкість  $K_p = 0,85-0,92$ ;  $\rho = 1400 \div 1450$  кг/м<sup>3</sup>;  $W_m = 1-8\%$ ;  $P_{відк} = 1-15\%$ . Показано, що взаємовплив добавок супроводжується їх синергетичною взаємодією і загальним поліпшенням властивостей.

## РОЗДІЛ 4

### АНАЛІЗ ВЗАЄМОВПЛИВУ ОРГАНІЧНОГО ЗАПОВНЮВАЧА ТА КОМПОЗИЦІЙНОГО ГІПСОВОГО В'ЯЖУЧОГО

#### 4.1. Особливості використання костриці коноплі технічної в якості органічного заповнювача для арболітобетонів

Арболітобетон є ефективним та перспективним композиційним матеріалом, виробництво якого налагоджено у більшості розвинених країн світу. Якість таких композитів залежить не лише від виду та властивостей в'язучого, але і від властивостей органічних заповнювачів, зокрема у вигляді костриці коноплі технічної (ККТ), яку використовували в даному дослідженні. Цей вид органічного заповнювача та його зчеплення з різного виду в'язучими вивчено не достатньо, не дивлячись на те, що багатьма вченими [63,76,86,89,133] розроблені теорії штучних будівельних композитів. Тому питання вивчення контактної зони «костриця коноплі - камінь модифікованого композиційного гіпсового в'язучого» є важливим аспектом аналізу даного дослідження.

До специфічних властивостей костриці коноплі технічної, в першу чергу, можна віднести: значну хімічну активність по відношенню до в'язучого, зокрема до КГВ. Істотна величина об'ємних вологісних деформацій - усихання та набрякання, анізотропія, значна пружність при укладанні, трамбуванні, вібропрасуванні. Вплив перерахованих факторів для дерево-цементних систем досить глибоко вивчені, але мало вивченим є питання взаємодії матриці та органічного заповнювача в системі «КГВ-костриця коноплі технічної».

Властивості коноплі технічної від властивостей деревної тріски відрізняються вмістом полісахаридів, щільністю, співвідношенням довжини, ширини, товщини стебла, шорсткістю та гладкістю поверхні, тонкістю і рихлістю стінок клітин, великим числом водоносних судин з внутрішньою порожниною по довжині стебла [76]. Костриця коноплі має бути без плісняви,

гнилизни, чужорідних домішок. Крім того, волокна костриця коноплі технічної розташовані паралельно довжині стебла і на відміну від деревини, мають гладку мало водонепроникну поверхню (рис.4.1).

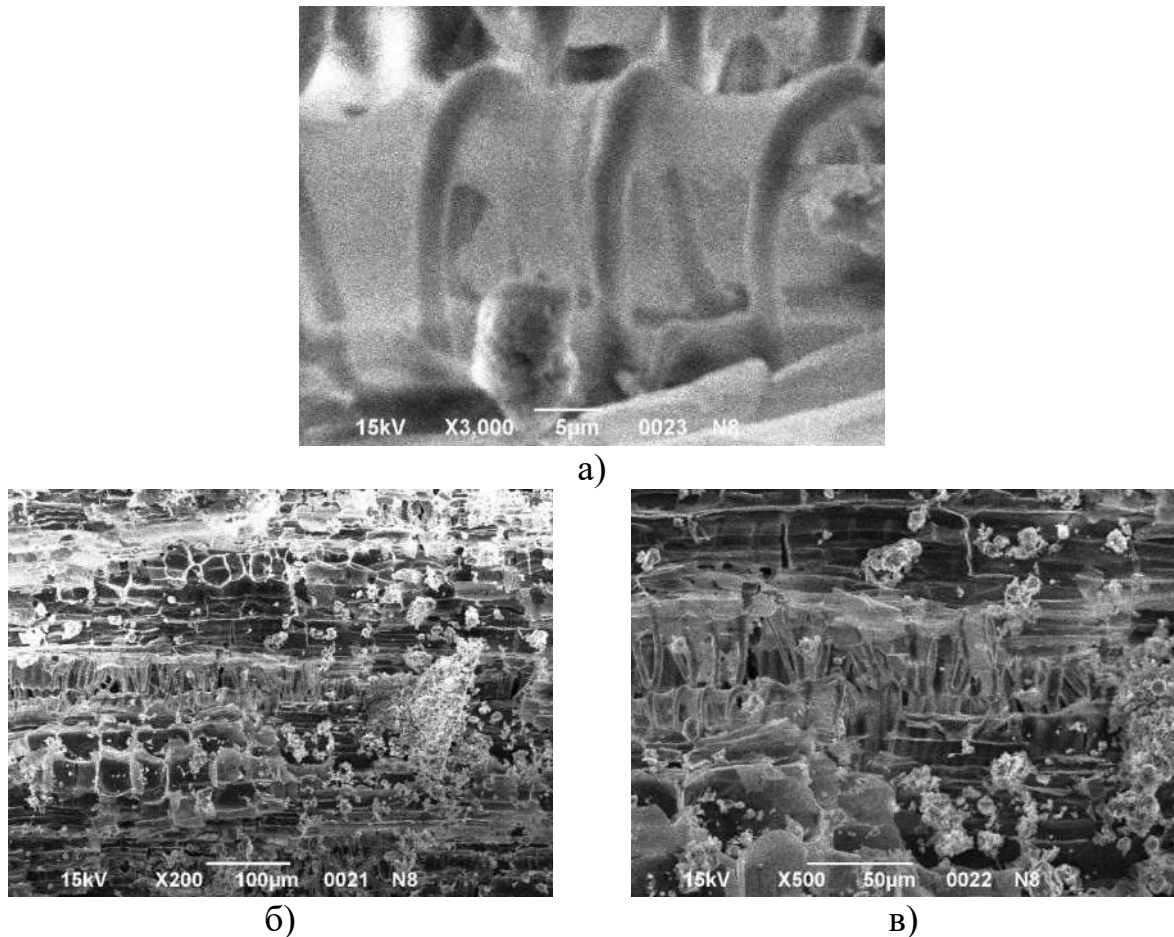


Рис.4.1. Електронно-мікроскопічні фотографії а) поверхні, б-в) структури костриці коноплі технічної

Окремі стебла костриці коноплі технічної мають незначну товщину, містять мінімальні порожнечі усередині. У наслідку малої товщини частки костриці можуть бути пошарово упаковані, що сприяє утворенню значної кількості сполучних контактів між ними. Перераховані позитивні особливості костриці коноплі технічної даються взнаки на усіх фізико-механічних властивостях арболітобетонів з їх застосуванням, в першу чергу, на міцневих показниках та щільності.

До найбільш важливих властивостей костриці коноплі технічної слід віднести її щільність, вологість, гігроскопічність, теплопровідність, усихання-

набрякання, стійкість до дії агресивних компонентів зовнішнього середовища. Підприємства по переробці костриці коноплі технічної реалізують продукцію з вологістю 12-28%. Насипна щільність костриці коноплі технічної не перевищує 120 кг/м<sup>3</sup>. За рахунок наявності мало проникного, ізолюючого, гладкого шару на поверхні стебел, костриця коноплі має низьку гігроскопічність і теплопровідність, менше 0,07-0,15 Вт/м·К. Наявність волокон в стеблі знижує процеси усихання-набрякання (рис.4.2).

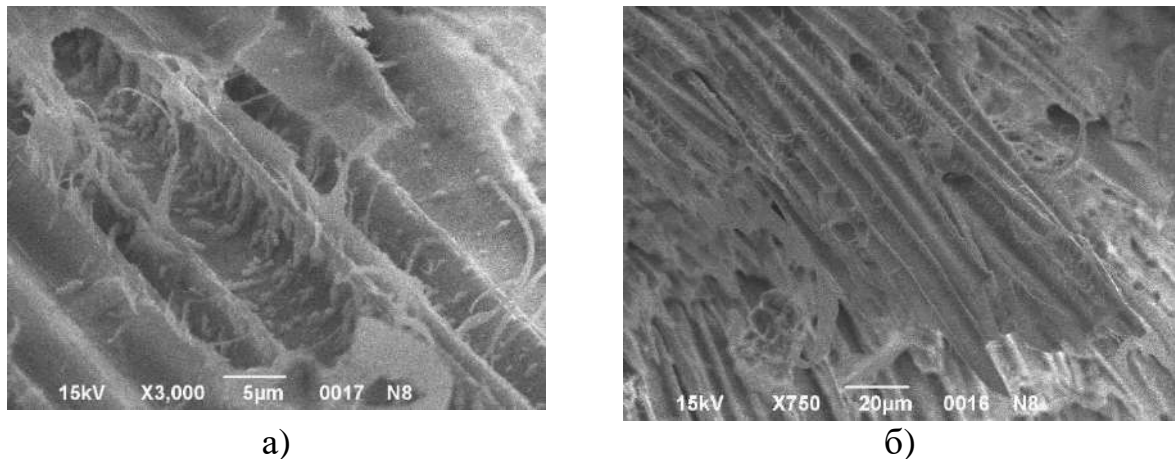


Рис.4.2. Електронно-мікроскопічні фотографії волокон в стеблі костриці коноплі технічної

На рис.4.3. наочно видно, що природне армування стебел костриці коноплі йде вздовж і поперек волокон. В точках перетину кільцевих волокон усередині костриці з розташованими уздовж костриці волокнами утворюють міцний контакт, нагадуючи ребра сполучених з хребцем. Листкове природне армування костриці коноплі забезпечує їй здатність сприймати згинальні і розтягуючі навантаження. В даному випадку слід прагнути до того, щоб модуль пружності КГВ був максимально наближений до модуля пружності ККТ. З цією метою, відповідно до висуненої гіпотези, до складу матричного матеріалу арболітобетона в якості додаткового армуючого компонента КГВ був введений мікророботоніт (Вл).

Електронно-мікроскопічні знімки виконані на електронному мікроскопі JSM - 6390/6390LV в АН України.



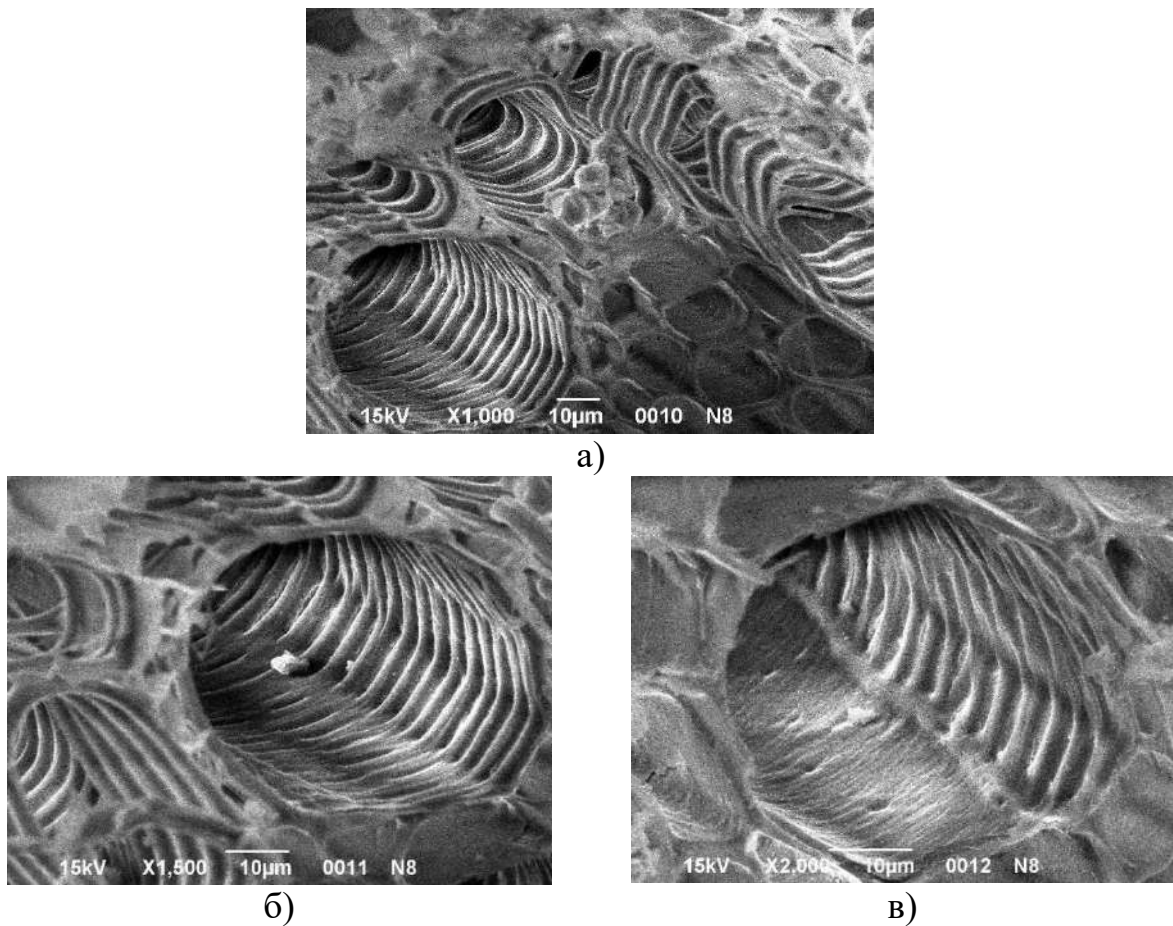


Рис.4.3. Електронно-мікроскопічні фоторграфії армувань стебел костриці коноплі

Таким чином, можна зробити висновок, що органічні заповнювачі, які застосовуються для арболітобетонів, істотно відрізняються структурою, будовою та основними властивостями, а також змістом шкідливих компонентів - полісахаридів, різновидів целюлози, танінів, пектинів та ін. хімічних елементів. Тому при підборі і оптимізації складів арболітобетонів на органічному заповнювачі у вигляді костриці коноплі технічної необхідно враховувати вище перелічені особливості його структури і будови.

#### 4.2. Вибір оптимального співвідношення «органічний заповнювач-в'язуче»

Міцність арболітобетона визначається багатьма факторами, основними з яких являються: сумісність компонентів, міцність матриці в'язучого і фізико-

механічні властивості заповнювача. Закон конгруенції встановлює [54], що при зміні в'язучого компонента відповідні зміни стануться і в композиційному матеріалі на його основі. Тому одним із завдань при проектуванні складу арболітобетона є всемірне поліпшення його в'язучої частини. З іншого боку, важливою особливістю бетонів на органічних заповнювачах є той факт, що конкретний вид заповнювача дозволяє отримати бетон з його використанням тільки до певної марки по міцності [30]. Вище перелічені закономірності дозволяють на цьому етапі цих досліджень поставити два основні завдання. Перше полягає в підборі в'язучого з оптимальним набором експлуатаційних якостей (міцність, водостійкість, собівартість). Друге завдання при проектуванні складу арболітобетона можна сформулювати, як підбір оптимального співвідношення в'язучого матеріалу і органічного заповнювача.

На цьому етапі дослідження проведень підбір співвідношення компонентів в системі «органічний заповнювач-в'язуче», яку забезпечує отримання арболітобетона щільністю нижче мінімально нормованої в ДСТУ для заданої міцності [88]. Умови завдання чергового етапу дослідження приведені в таблиці. 4.1.

Таблиця 4.1

Умови підбору співвідношення компонентів в системі «органічний заповнювач-в'язуче»

Найменування властивості	Нормовані рівні властивостей по ДСТУ б В. 2.7.-271:2011	Задані рівні властивостей (марка)
Міцність при стиску, МПа; (Клас міцності бетону)	В 0,35 при $\rho=400-450 \text{ кг/м}^3$ В 1 при $\rho=500 \text{ кг/м}^3$	$f_{cm} \geq 0,45 \text{ МПа}$ (В0,35)
Середня густина, $\rho$ (кг/м <sup>3</sup> )	400-500 кг/м <sup>3</sup>	$\rho \leq 300 \text{ кг/м}^3$
Водопоглинання за об'ємом, $W_o$ (%)	—	$W_o \rightarrow \min$

На рис. 4.4-4.5 представлені графіки зміни фізико-механічних властивостей арболітобетона залежно від вмісту в'язучого по відношенню до вмісту органічного заповнювача.

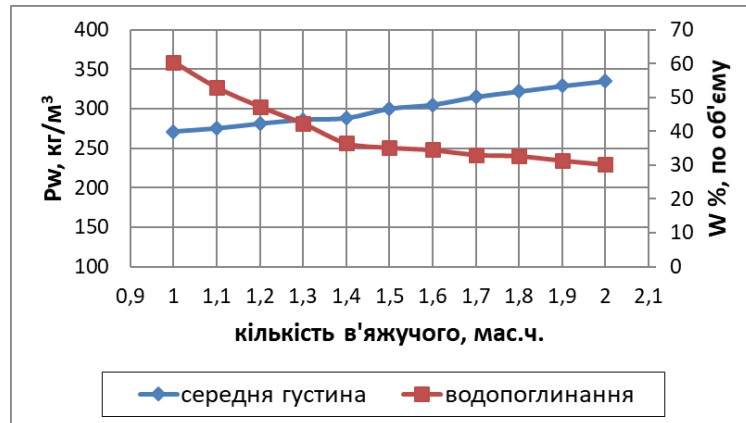


Рис. 4.4. Залежність середньої густини і водопоглинання від кількості в'язучого в арболітобетонних зразках

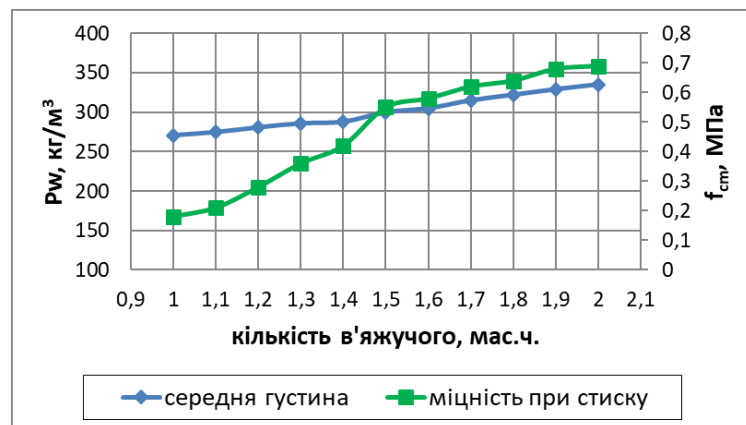


Рис. 4.5. Залежність середньої густини і міцності при стиску від кількості в'язучого в арболітобетонних зразках

З графіків, представлених на рис. 4.4-4.5 можна зробити припущення, що при співвідношенні органічного заповнювача до КГВ від 1:1,5 до 1:1 (мас.ч.) щільність арболітобетона  $\rho$  - (270÷300) кг/м<sup>3</sup>,  $f_{cm}$  - (0,25÷0,50) МПа,  $W_o$  - (55÷35)%. Таким чином, в діапазоні досліджуваних складах по співвідношенню компонентів в системі «органічний заповнювач-в'язуче» міцність змінюється до 1,7 разів. При вмісті в'язучого в суміші від 1,4 до 2

відчутно зменшується водопоглинання за об'ємом - до 30%. У результаті для подальших експериментальних досліджень рекомендовано співвідношення компонентів в системі «органічний заповнювач-в'язуче» 1:1,5.

Проведен підбір співвідношення кількості органічного заповнювача і композиційного гіпсового в'язучого. Показано, що оптимальним є співвідношення «органічний заповнювач-в'язуче» рівне 1:1,5. Такий склад забезпечує отримання арболітобетона щільністю 300 кг/м<sup>3</sup>, міцністю при стиску не менше 0,5 МПа.

#### **4.3. Вплив складу КГВ на його адгезійну міцність зчеплення з кострецею коноплі технічної**

В даний час вкрай мало відомостей є в науково-технічній літературі про способи визначення адгезії в бетонах на органічних заповнювачах, про величину їх адгезійної міцності і факторах, що впливають на неї.

На наступному етапі був проведений аналіз адгезійної міцності композиційного гіпсового в'язучого до органічного заповнювача - костреці коноплі технічної.

У цьому дослідженні, враховуючи що загальні закономірності штучних бетонів на мінеральних в'язучих та заповнювачах корелюють із загальними закономірностями орґано-мінеральних бетонів, для визначення адгезійної міцності застосован прилад Proceq Dyna Z16 (рис. 4.6).

Змочуваність поверхні впливає на зчеплення її з іншими поверхнями. Застосування гідрофільних змочуваних складів здатне підвищити зчеплення основи з другою поверхнею, а використання гідрофобізаторів, залежно від активності основи або шару, що наноситься, здатне значно зменшити адгезійну міцність між ними. На змочуваність впливають компоненти, що містяться у складі коноплі. Наприклад, пектини і смоли, зміст яких не значно (до 5%) можуть лише трохи понизити змочуваність і адгезію, частково обмилюючись. Екстрактивні таніни, такі як скипидар (17,0-19,0%)



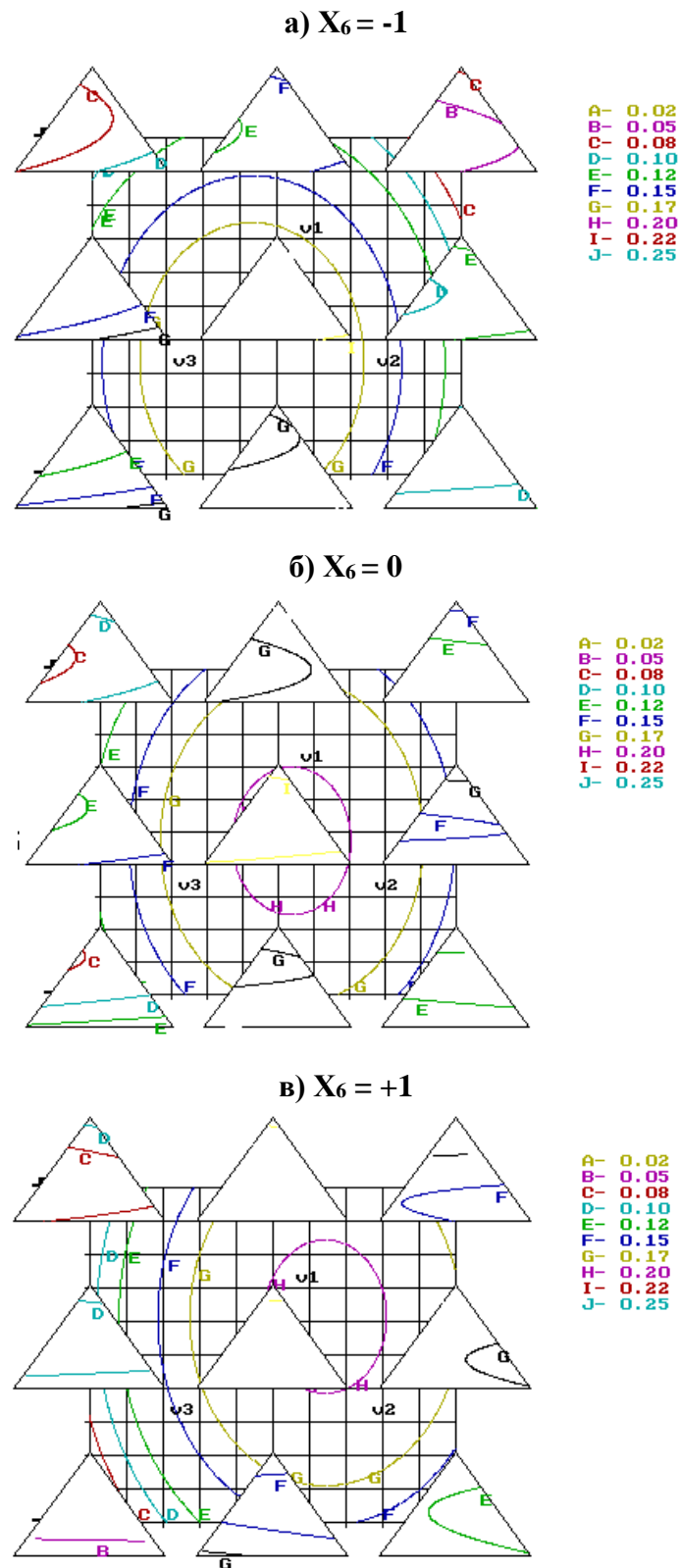


Рис.4.6. Вплив мікропуцоланових компонентів ВМК ( $x_4$ ), МКР ( $x_5$ ) і мікроармуючої добавки мікрволастоніту на адгезійну міцність КГВ до костриці коноплі, при вмісті: а) Sika - 0,6%; б) Sika - 0,1%; в) Sika - 1,1%

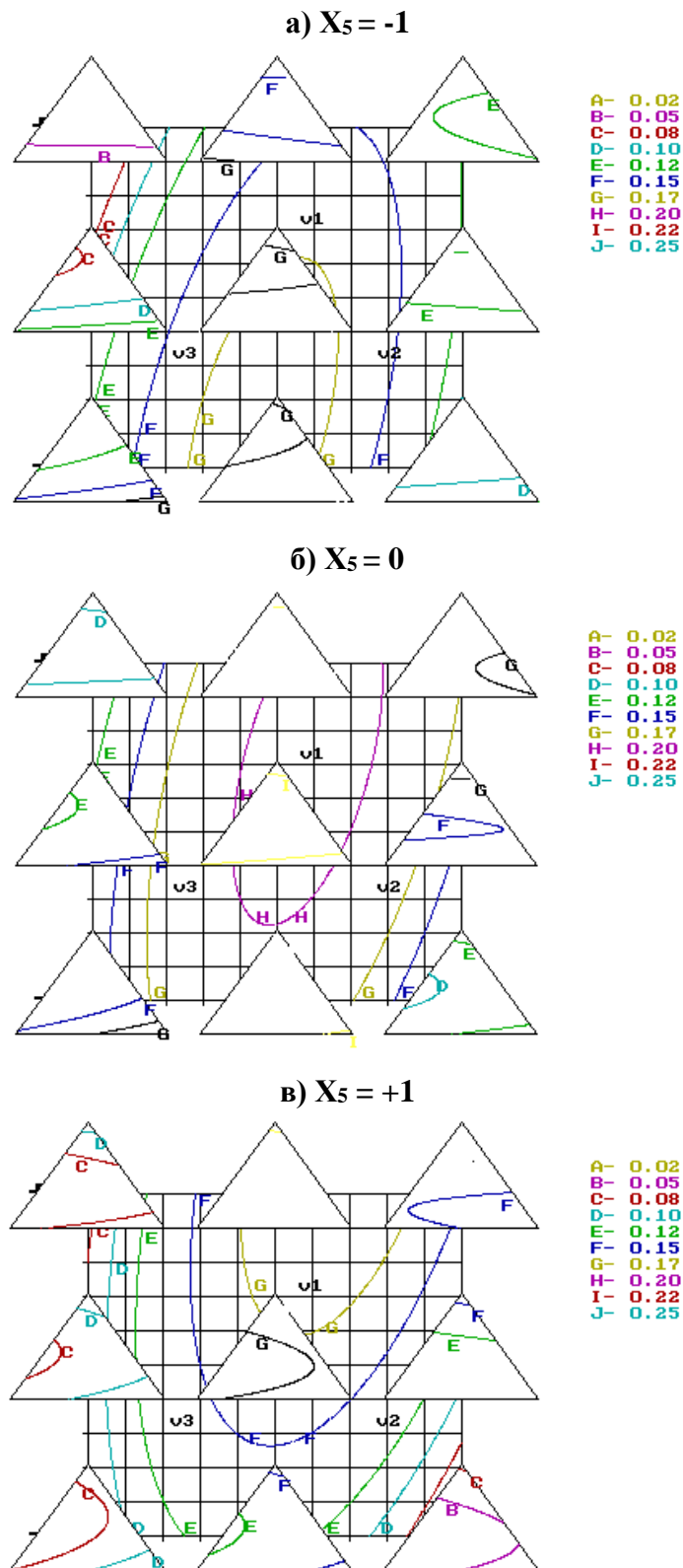


Рис.4.7. Вплив мікропластичного компонента ВМК ( $x_4$ ), та суперпластифікатора Sika ( $x_6$ ) і мікроармуючої добавки мікрволастоніту на адгезійну міцність КГВ до костриці коноплі, при вмісті: а) МКР - 10%; б) МКР - 5%; в) МКР - 15%

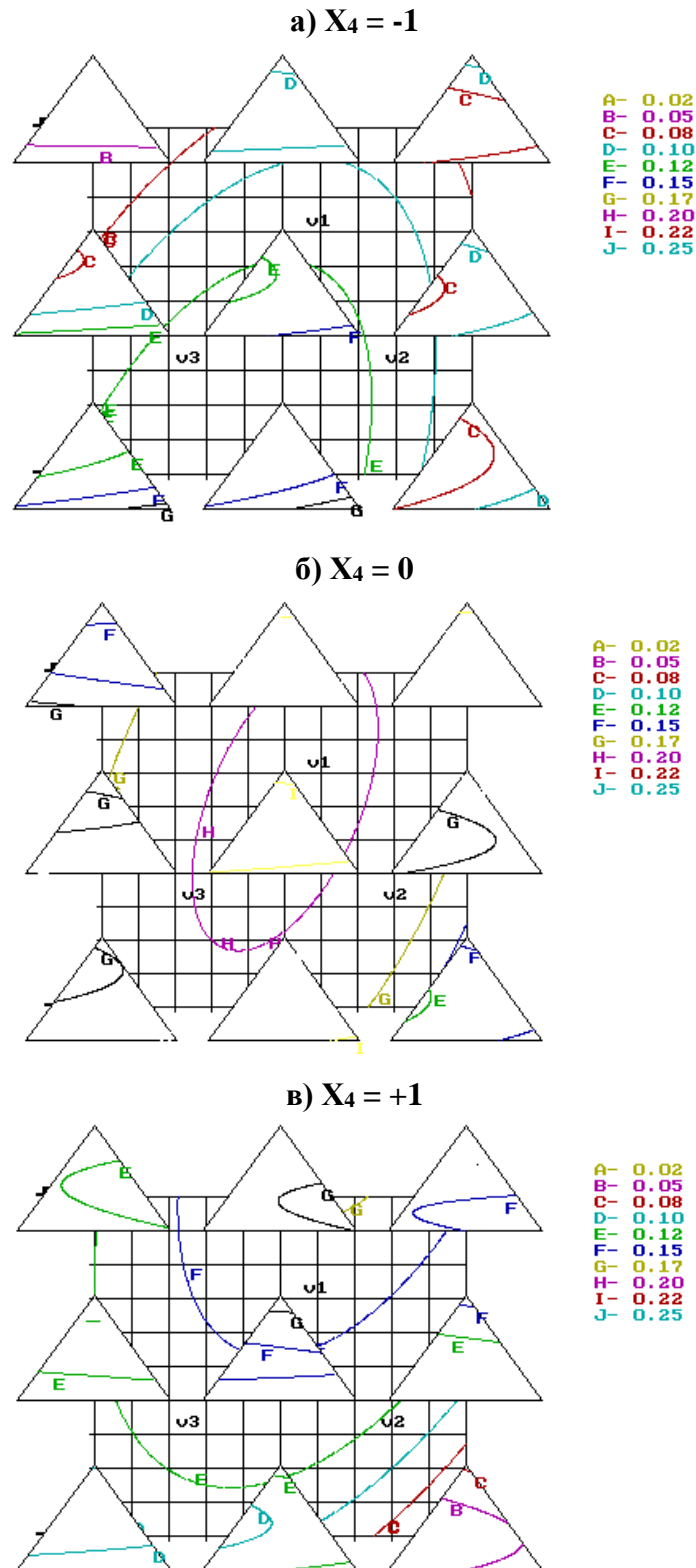


Рис.4.8. Вплив мікропуцоланового компонента МКР ( $x_5$ ) та суперпластифікатора Sika ( $x_6$ ) і мікроармуючої добавки мікрволастоніт на адгезійну міцність КГВ до костриці коноплі, при вмісті: а) ВМК - 10%; б) ВМК - 5%; в) ВМК - 15%



Введення до складу мікроармуючої добавки мікрволастоніту забезпечує підвищення адгезії з 0,20 до 0,22 МПа, тобто на 11% при вмісті Sika 0,6÷1,1% від м.в. (рис.4.7.б-в).

Особливо ефективний вплив на  $f_a$  робить мікрволастоніт при мінімальній витраті добавки Sika 0,1%, що може бути обумовлено деяким що пластифікує ефектом добавки мікрволастоніту. При мінімальному введенні суперпластифікатора Sika спільно з введенням мікрволастоніту забезпечується підвищення адгезії з 0,17 до 0,22 МПа, тобто на 22,5% (рис.4.7.б). Вміст, в даному випадку МКР=5-10%, ВМК=10%. Слід враховувати так само значний вплив довгих волокон мікрволастоніту при фіксованому його вмісті.

Значення  $f_a \geq 0,22$  МПа отримані при вмісті добавки Sika=0,6%, застосування мікрволастоніту Вл1 Вл2 та Вл3, вмісті МКР та ВМК в кількості до 10% від м.в. (тобто МКР/ВМК=1÷1). При зменшенні вмісту МКР з 10 до 5%, необхідно застосовувати мікрволастоніт з мінімальною довжиною волокон Вл2 і Вл3 (рис.4.9.). Таким чином введення мікрволастоніту забезпечує підвищення адгезійної міцності ще на 15% з 20 до 22,3 МПа.

Таблиця 4.2

## Вплив добавок-модифікаторів на властивості арболітобетонів.

	Наймен. вл-в компонентів	Од. вим	Склади						
			1	2	3	4	5	6	7
рівні властивостей при різному співвідношенні компонентів суміші									
1	$f_{cm}$	МПа	0,58	0,61	0,61	0,49	0,52	0,53	0,44
2	$f_a$	МПа	0.15	0,19	0,15	0,15	0,19	0,18	0.22
3	pH	-	12	12.1	12	12	12	12.1	12.1
4	$\rho$	кг/м <sup>3</sup>	305	320	314	290	300	301	310
вміст мікропуцоланових добавок, % м.в.									
1	ВМК	%	10		5		10	15	10
2	МКК	%	5		5		15	10	10
пластифікуюча добавка, % м.в.									
1	Sika 520	%	0.6	1.1	0.6	1.1	0.6	1.1	0.6
співвідношення фракційного складу Вл									
1	Вл1	-	-	-	-	-	-	-	-
2	Вл2	-	-	-	-	-	+	+	+
3	Вл3	-	+	+	+	+	+	-	+

В цілому аналіз представленої інформації показав, що склади КГВ, які забезпечують найкращі значення по  $f_{cm}$  і водостійкості, не співпадають із складами, які забезпечують максимум адгезійної міцності. Склади КГВ відрізняються, передусім, кількісним змістом МКР і ВМК та їх співвідношенням МКР/ВМК (таблиця. 4.2.). потрібне коригування і подальша оптимізація складу арболітобетона. При цьому, як показано в таблиці 4.2. отримані значення  $f_{cm}$  арболітобетона відповідають або перевищують вимоги ДСТУ Б.В.2.7-271:2011 «Арболіт та вироби з нього, загальні технічні умови». Слід так само відмітити позитивний вплив мікроволастоніту на міцність зчеплення КГВ з кострицею. За рахунок введення мікроволастоніту необхідної фракції можна збільшити  $f_a$  на 15%. Таким чином адгезія рекомендованих складів змінюється від 0,15 до 0,22 МПа.

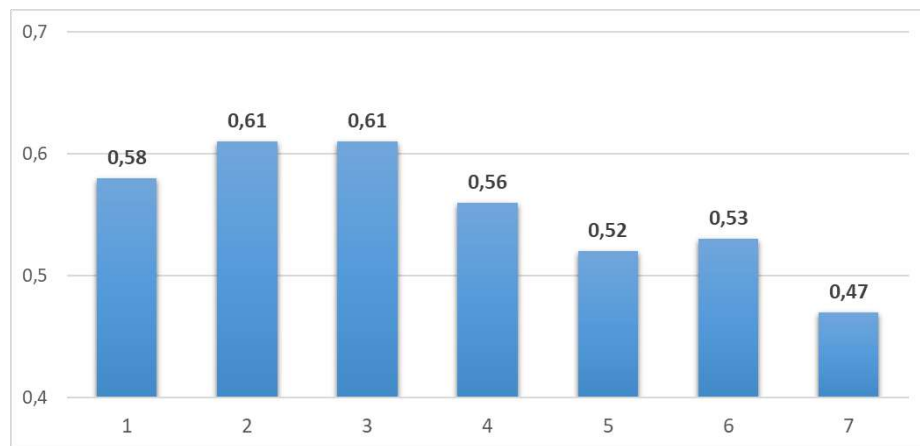


Рис. 4.9 Вплив мікроармуючих добавок, добавки-модифікатора і мікропуцоланових добавок на міцність при стиску арболітобетона

#### 4.4. Вплив гідрофобізаторів на властивості арболітобетона на КГВ

##### 4.4.1. Аналіз ефективності гідрофобізації арболітобетона на КГВ

Гідрофобізація будівельних матеріалів грає дуже важливу роль в збереженні їх теплотехнічних, механічних, естетичних та інших важливих експлуатаційних властивостей.

З часів СРСР у будівельній індустрії використали перше покоління гідрофобізаторів, таких як ГКЖ-10, ГКЖ-11 і їх різновиди, а також емульсії ГКЖ-50-94 та ГКЖ-50-94М. Пізніше з'явилися гідрофобізуючі ґрунтовки на основі дисперсії стирол акрилових або акрилових сополімерів.

З усього спектру гідрофобізаторів, що відрізняються матеріалом підкладки і умовами експлуатації, розглянемо проникаючі ґрунтовки загальнобудівельного призначення. Як правило, це водно-дисперсійні матеріали, що застосовуються в якості першого шару при виробництві обробних робіт по неорганічних підставах.

Мета застосування:

- вирівнювання водопоглинання підкладки;
- поліпшення адгезії обробного покриття до підкладки;
- зміцнення підкладки шляхом зв'язування часток старих покриттів, що відшарувалися, або пилу;
- захист поверхні від проникнення агресивних рідин (наприклад води) з верхнього покриття в підкладку.

Для виконання своїх функцій проникаючі ґрунтовки повинні володіти:

- хорошими плівкотвірними властивостями полімерів, що входять в їх рецептуру;
- високою проникаючою здатністю;
- стійкістю до гідролізу, особливо для нанесення на високолужні свіжі цементні підкладки;
- стійкістю до дії електролітів для запобігання коагуляції на поверхні, оскільки в мінеральних будівельних матеріалах міститься велика кількість розчинних іонів;
- водостійкістю покриттів, що виходять

Із-за необхідності стійкості до гідролізу водно-дисперсійні ґрунтовки зазвичай виготовляють на основі дисперсій стиролакрилових або чисто акрилових сополімерів. Механізм дії таких ґрунтовок плакуючий, тобто частки 100-200 нм потрапляють в пори приблизно в 10 разів більшої величини,

створюють плівку, чим забезпечують зниження вологонасичення поверхні підкладки. При цьому відсутній хімічний зв'язок сополімера з неорганічним матеріалом підкладки, що обмежує адгезію, у тому числі обробних матеріалів, що наносяться далі.

Нині розроблений принципово новий підхід науковими відділами академії АНУ і фірми ТММ до складання глибоко проникаючих ґрунтовок на основі кремнійорганічних з'єднань, здатних вступати в хімічну взаємодію з неорганічною підкладкою. При цьому значно підвищується адгезія і забезпечується глибше проникнення ґрунтовки в найдрібніші пори підкладки за рахунок нанорозмірності кремнійорганічних структур, що раніше не застосовувалися для цих цілей (рис. 4.10).

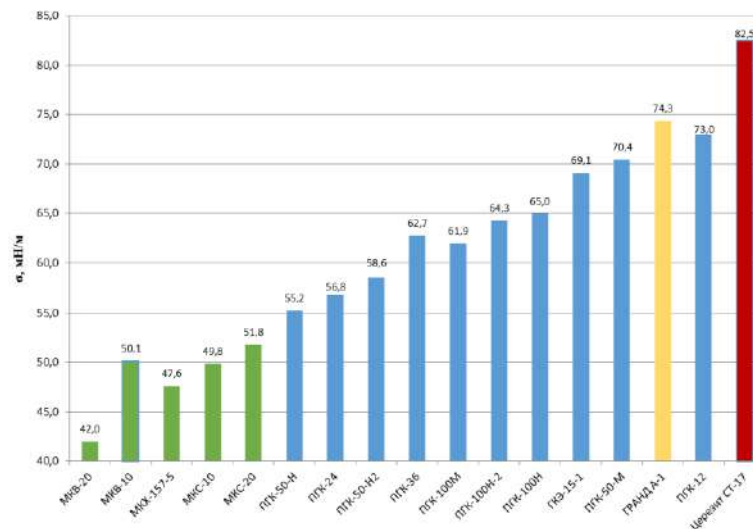


Рис. 4.10. Діаграма зміни величини поверхневого натягу ґрунтовок різного виду

Ці розробки реалізовані в продукції торгової марки «Гідроефект» в серії гідрофобізаторів ПГК. Нове покоління глибоко проникаючих ґрунтовок ПГК-100М, ПГК-100Н та інші реалізують цей принцип. Усі гідрофобізатори відрізняються величиною водневого показника рН який змінюється від 6,8 до 13,4 (рис. 4.11). Величина значення водневого показника в подальших дослідженнях враховується з метою створення лужного середовища для органічного заповнювача у вигляді коноплі технічної. Відомо, що високе

значення водневого показника рН створює сприятливі умови для підвищення біостійкості органічного заповнювача у вигляді костриці коноплі технічної. Крім того, ці ґрунтовки повністю екологічно безпечні, не мають запаху, створюють захист від вологи при збереженні паропроникності, не змінюють колір та відтінок оброблюваної основи. Останнє особливо важливе при виробництві реставраційних робіт. Гідрофобізатори серії ПГК дозволяють досягти «ефекту лотоса».

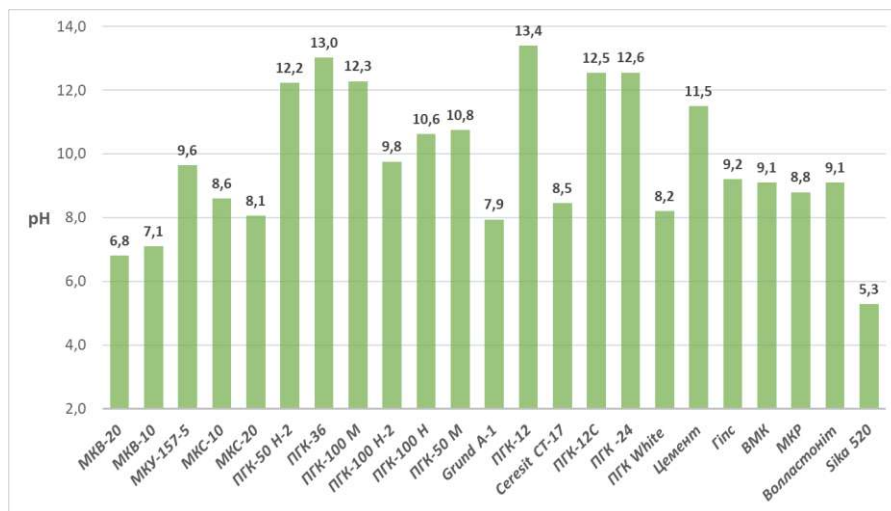


Рис. 4.11. Зміна рН гідрофобізаторів

На наступному етапі дослідження проаналізована можливість подальшого підвищення водостійкості за рахунок об'ємних та поверхневих гідрофобізаторів. З проаналізованих гідрофобізаторов було вибрати три для подальших досліджень.

Для оцінки дії гідрофобізаторів на властивості поверхні зразків з гіпсового в'язучого нами проводилися виміри крайового кута змочування методом лежачої краплі (sitting drop method). Форма краплі, що покоїться на горизонтальній плоскій поверхні в полі сили тяжіння (рис. 4.13.a), є осесиметричною та описується рівнянням Юнга–Лапласа (Young - Laplace) [150]:

$$\rho g y + \sigma(K(y) - K(h)) = 0, \quad (4.2)$$

де  $\rho$  - щільність рідини,  $g$  - прискорення вільного падіння,  $\sigma$  - поверхневий натягнення рідини (питома вільна енергія межі розділу рідина - газ)  $K_y = 1R_1(y) + 1R_2(y)$ ,  $R_1(y)$  і  $R_2(y)$  - головні радіуси кривизни поверхні краплі в точці з ординатою  $y$ ,  $Kh = K(y)|_{y=h}$ , тобто на вершині краплі.

Рівняння (4.2) не має аналітичного рішення, тому для розрахунку форми краплі з високою точністю і знаходження кута змочування застосовуються чисельні методи.

Краплі малого розміру під дією капілярного тиску здатні зберігати сферичну форму (див. рис. 4.12.б). У цьому випадку з елементарної геометрії легко знайти кут змочування  $\theta$ . Краплю можна вважати малою, якщо її вага набагато менше капілярного тиску; радіус малої сферичної краплі  $r$  повинний задовольняти співвідношенню  $r \ll 2\sigma/g\rho$  (тут щільність газу вважається нехтує малій в порівнянні з щільністю рідини). Оцінки показують, що це наближення застосоване до крапель води ( $\sigma \approx 0.072$  Н/м) радіусом близько 0.4 мм і менш.

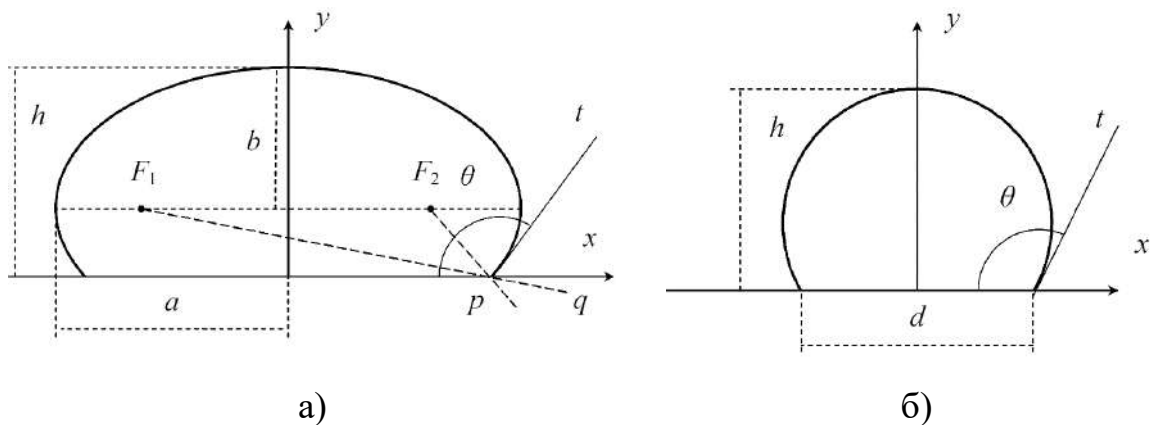


Рис. 4.12. Форма крапель, що лежать на плоскій гідрофобній поверхні:

а) - «важка» крапля; б) - «мала» крапля;

$\theta$  - крайовий кут змочування,  $t$  - дотична до меридіанного перерізу краплі в точці розділу трьох фаз

Для більших крапель радіусом  $r \leq 2\sigma/g\rho$  (до 3.5 мм) їх меридіанний переріз можна приблизно розглядати як сегмент конічного перерізу - еліпса [169]. У цьому випадку, вимірюючи розміри півосей еліпса  $a$  і  $b$  (см рис. 4.13.а), легко визначити положення його фокусів  $F_1$  і  $F_2$ , потім знайти рівняння фокальних радіусів  $p$  і  $q$ , що сполучають фокуси еліпса з точкою розділу трьох фаз.

Бісектриса зовнішнього кута, утвореного перетином цих фокальних радіусів, і буде дотичною  $t$  до меридіанного перерізу краплі в точці розділу трьох фаз. Кут її нахилу, який нескладно вичислити, знаючи рівняння для  $p$  і  $q$ , є додатковим до шуканого кута  $\theta$ .

У експерименті розмір крапель рідини визначається внутрішнім діаметром каналу крапельниці. У нашому випадку він складав 0.53 мм (при зовнішньому діаметрі голки 0.8 мм). Маса крапель дистильованої води, що продукуються крапельницею, були виміряні на аналітичних вазі. Використовувана голка формувала краплі з середньою масою 15.6 міліграм. Радіус відповідної сферичної краплі приблизно дорівнює 1.55 мм, що, очевидні, перевищує критерій крихти краплі. Для аналізу форми такої краплі ми вирішили застосовувати метод конічного перерізу.

Для фотореєстрації форми крапель на досліджуваній поверхні використали Web-камеру CANYON CNR WCAM820 з роздільною здатністю 1600×1200 пікселів. Штатний об'єктив камери був замінений на оптичну систему, складену за принципом мікроскопа. Поле зору кадра склало близько 9 мм, масштаб зображення був визначений за допомогою об'єкт - мікрометра і дорівнював 5,75 мкм/піксель. Два світлодіодні освітлювачі з регулюваннями яскравості дозволяли комбінувати косе відображене та минаюче освітлення, для встановлення оптимального контрасту зображення на межах розділу фаз. При роботі із зразками, вбираючими воду, камера перемикалася в режим відео зйомки з роздільною здатністю 800×600 пікселів та з кадровим інтервалом 100 мс.

Зображення, отримане камерою, зберігалося на комп'ютері і аналізувалося за допомогою графічного редактора. У графічному редакторі підбирали еліпс, задовільно співпадаючий з контуром краплі, після чого прочитували розміри його півосей, координати центру і координати точок розділу трьох фаз, потім описаним вище методом обчислювали крайовий кут змочування.

На рисунку 4.13 показана крапля дистильованої води на поверхні зразка, що не пройшов обробки гідрофобізаторами. Поверхня зразка гідрофільна, про що свідчить крайовий кут змочування, менший 90. Вода розтікається і вбирається гіпсовим в'яжучим: на рисунку показана крапля через різні проміжки часу, що пройшли від моменту контакту.

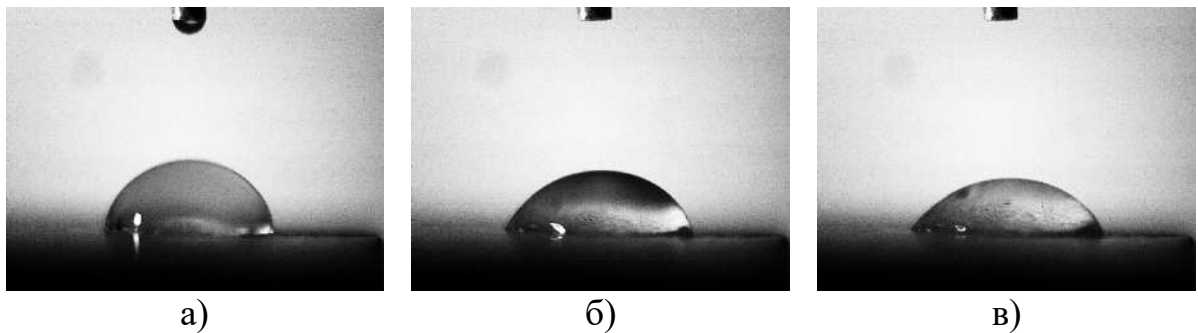


Рис. 4.13. Крапля води на поверхні необробленого зразка після закінчення від початку контакту: а) - 0.4 з ( $\theta = 83^\circ$ ); б) - 2.0 з ( $\theta = 72^\circ$ ); в) - 5.0 з ( $\theta = 62^\circ$ )

Поверхні, вбираючі воду, можна характеризувати на додаток до крайового кута змочування також швидкістю вбирання через одиничну контактну поверхню. Швидкість вбирання можна оцінити по зменшенню об'єму краплі з часом, якщо швидкістю випару можна нехтувати, що допустимо при високій швидкості вбирання.

Розрахунок об'єму краплі проводили в припущенні, що крапля є усіченим еліпсоїдом обертання. Легко показати, що при цьому об'єм  $V$  визначається заввишки краплі  $h$  і розмірами півосей її меридіанного перерізу:

$$V = \pi a^2 \left( h - \frac{b}{3} + \frac{(b-h)^3}{3b^2} \right) \quad (4.3).$$

Досліди показали, що швидкість вбирання краплі в зразки можна вважати високою, оскільки за годину повного вбирання об'єм контрольної краплі на металевій поверхні залишався незмінним в межах погрішності виміру.

На необроблених зразках крайовий кут змочування зменшується впродовж перших двох секунд контакту з 86 до 72, але при цьому об'єм краплі залишається незмінним в межах погрішності виміру, отже, спостерігається тільки розтікання краплі. Качан вбирання реєструється нами з 3-ей секунди.



Максимальна швидкість вбирання доводиться на 5-6-й секунди і складає  $0.017 \text{ г см}^{-2} \text{ с}^{-1}$ . Загальний час вбирання краплі варіювався в діапазоні 12 - 30 з при середній контактній площі  $0.15 \text{ см}^2$ .

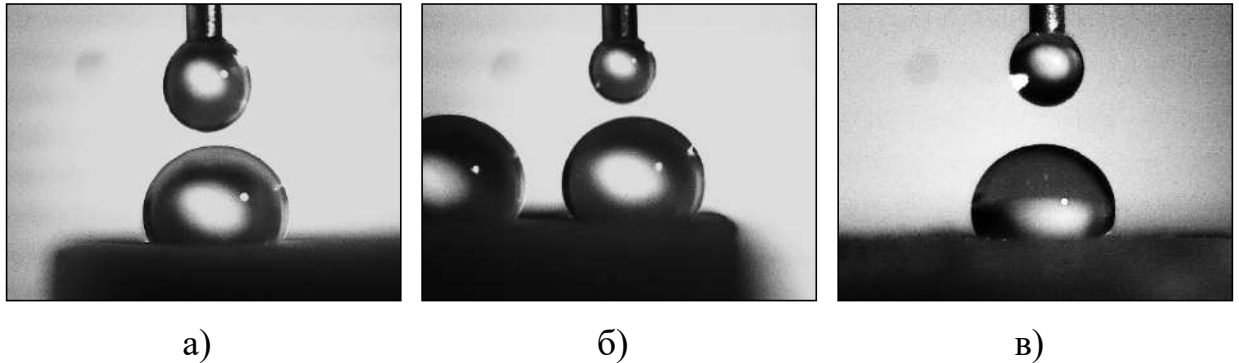


Рис. 4.14. Крапля води на поверхні зразків, оброблених грунтовками:  
а) - ПГК-12С; б) - ПГК- 24; в) - ПГК- W

На рис. 4.14 показані краплі дистильованої води на поверхні зразків, оброблених гідрофобізаторами. Поверхні зразків набули гідрофобних властивостей: крайовий кут змочування для води перевищує  $90^\circ$ . На цих поверхнях ми не спостерігали розтікання і вбирання краплі. Середній крайовий кут змочування для випробуваних гідрофобізаторів приведений нижче в таблиці 4.3.

Таблиця 4.3

Крайові кути змочування для випробуваних гідрофобізаторів

Найменування гідрофобізатора	ПГК-12С	ПГК-24	White
Значення кута змочування	$129 \pm 7^\circ$	$130 \pm 5^\circ$	$121 \pm 4^\circ$

Гідрофобізатори ПГК-12С та ПГК-24 демонструють однакову ефективність відносно гідрофобізації поверхні: крайові кути змочування на оброблених ними поверхнях з урахуванням вказаної погрішності можна вважати співпадаючими. Дещо гірший результат дає гідрофобізатор White.

Проаналізована можливість подальшого підвищення водостійкості за рахунок об'ємних та поверхневих гідрофобізаторів. Для оцінки дії

гідрофобізаторів на властивості поверхні зразків з гіпсового в'язучого нами проводилися виміри крайового кута змочування методом лежачої краплі який показав, що поверхні зразків набули гідрофобних властивостей: крайовий кут змочування для води більше  $120^\circ$ .

#### 4.4.2. Вплив гідрофобізаторів на властивості арболітобетона на КГВ

Був проведений порівняльний аналіз впливу на міцність при стиску та щільність арболітобетону двох видів гідрофобізаторів. Перший - вітчизняний White, який був застосований для підвищення водостійкості КГВ і широко застосований в Україні зарубіжний гідрофобізатор Sika-1. Результати аналізу приведені в таблиці 4.4.

Таблиця 4.4

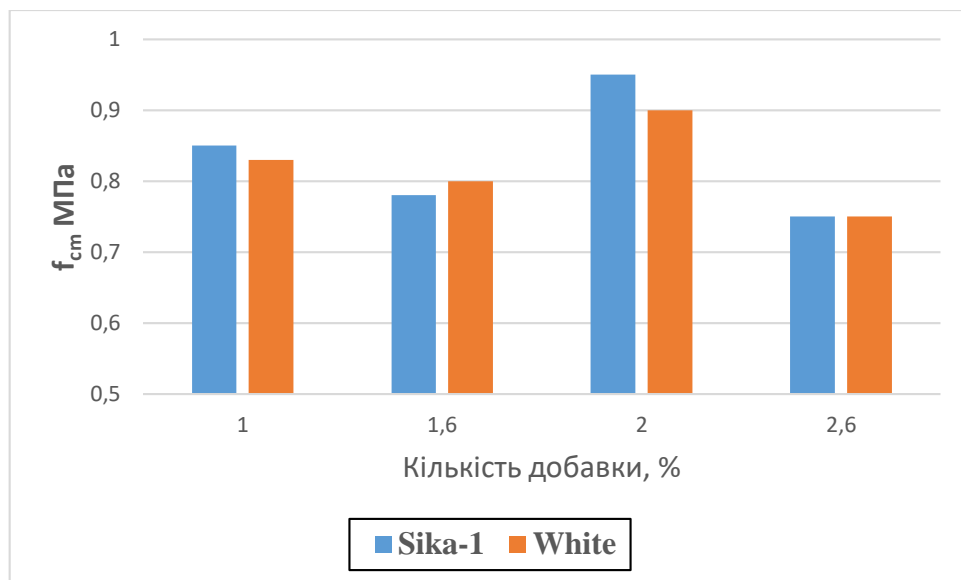
Вплив виду гідрофобізаторів на властивості арболітобетона

Вид гідрофобізатора		Гідрофобізатор Sika -1				Гідрофобізатор White			
Вміст гідрофобізатора, % м.в.		1	1,5	2	2,5	1	1,5	2	2,5
№ складу		1	2	3	4	5	6	7	8
$f_{cm}$	МПа	0,85	0,78	0,95	0,75	0,83	0,80	0,90	0,75
$\rho$	кг/м <sup>3</sup>	537	525	521	514	522	524	542	525

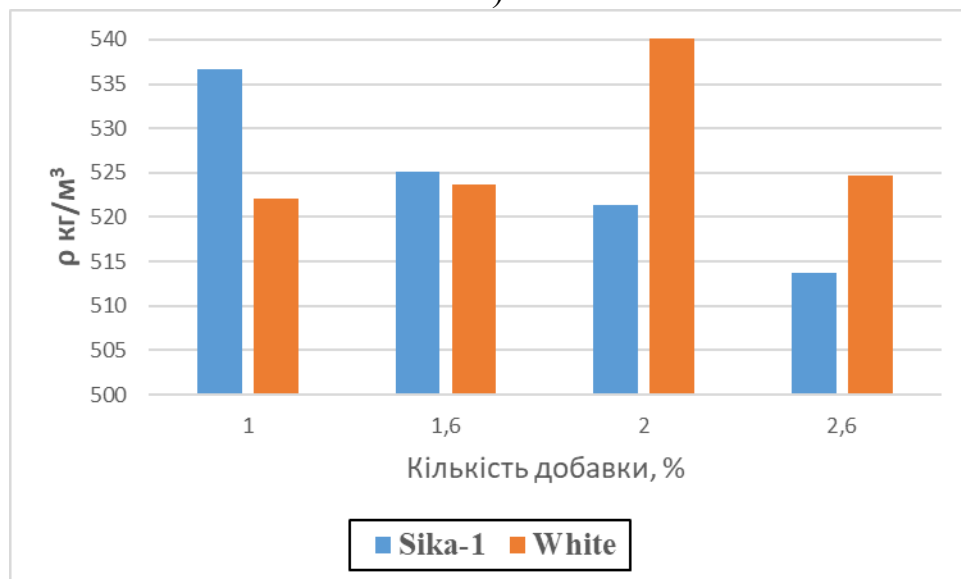
Як видно з таблиці 4.4. за рахунок проведення додаткових технологічних операцій забезпечені умови для отримання арболитових блоків які можуть бути віднесені до теплоізоляційних, класів В 0,75-1,0.

Порівняльний аналіз отриманих результатів показав, що найкращі значення міцності отримані на вітчизняному гідрофобізаторі White нового покоління. Гідрофобізатори White можуть застосовуватися для об'ємної і поверхневої гідрофобізації. У нашому випадку застосований гідрофобізатор White для об'ємної гідрофобізації КГВ. Цей гідрофобізатор відрізняється від

зарубіжного гідрофобізатора Sika-1. Застосування гідрофобізатора White дозволяє вирішити цілу низку запитань. Має потужні водовідштовхувальні властивості за рахунок присутності у складі наноконпонентів, в результаті підвищується водостійкість. Наявність срібла в складі забезпечує захист і підвищення біостійкості арболітобетонів, проте обидва гідрофобізатора не роблять істотного впливу на міцнєві показники.



а)



б)

Рис.4.15. Вплив гідрофобізаторів Sika-1 та White на властивості арболітобетона: а) міцність при стиску, б) середню густину



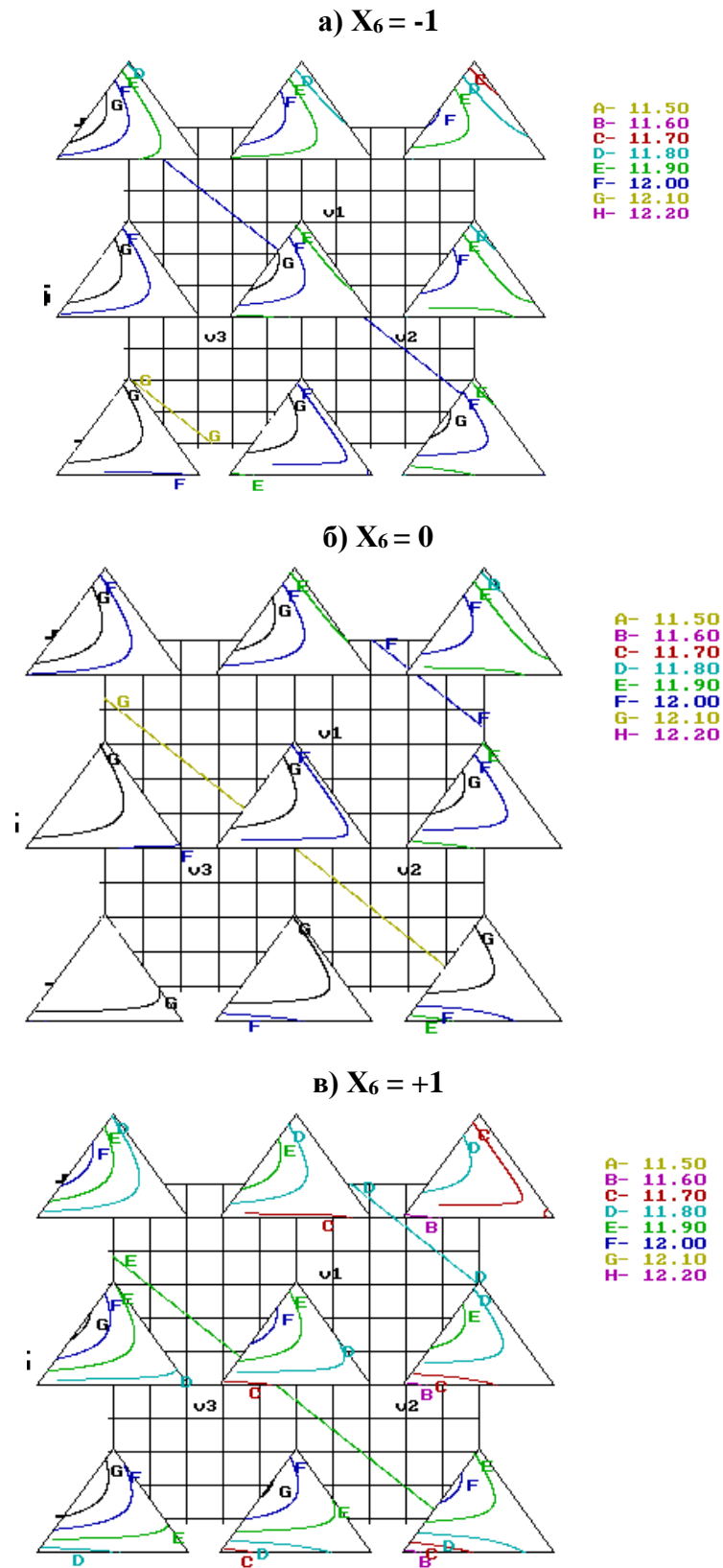


Рис.4.16. Вплив мікропуцоланових компонентів ВМК ( $x_4$ ), МКР ( $x_5$ ) і мікроармуючої добавки мікрволастоніту на рН арболітобетону, при вмісті:  
а) Sika - 0,6%; б) Sika - 0,1%; в) Sika - 1,1%

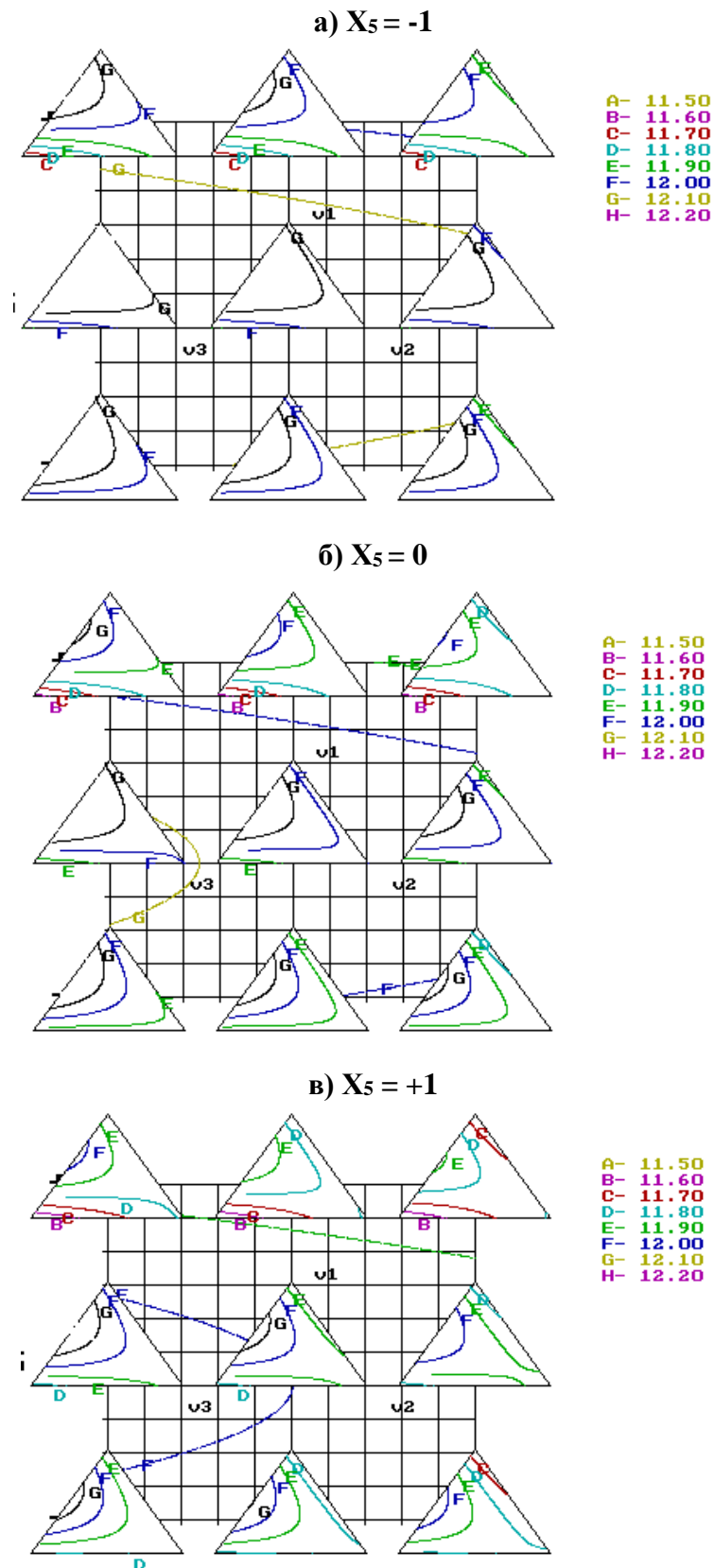


Рис.4.17. Вплив мікропуцоланового компонента ВМК ( $x_4$ ), та суперпластифікатора Sika ( $x_6$ ) і мікроармуючої добавки мікрволастоніту на рН арболітобетону, при вмісті: а) МКР- 10%; б) МКР- 5%; в) МКР - 15%

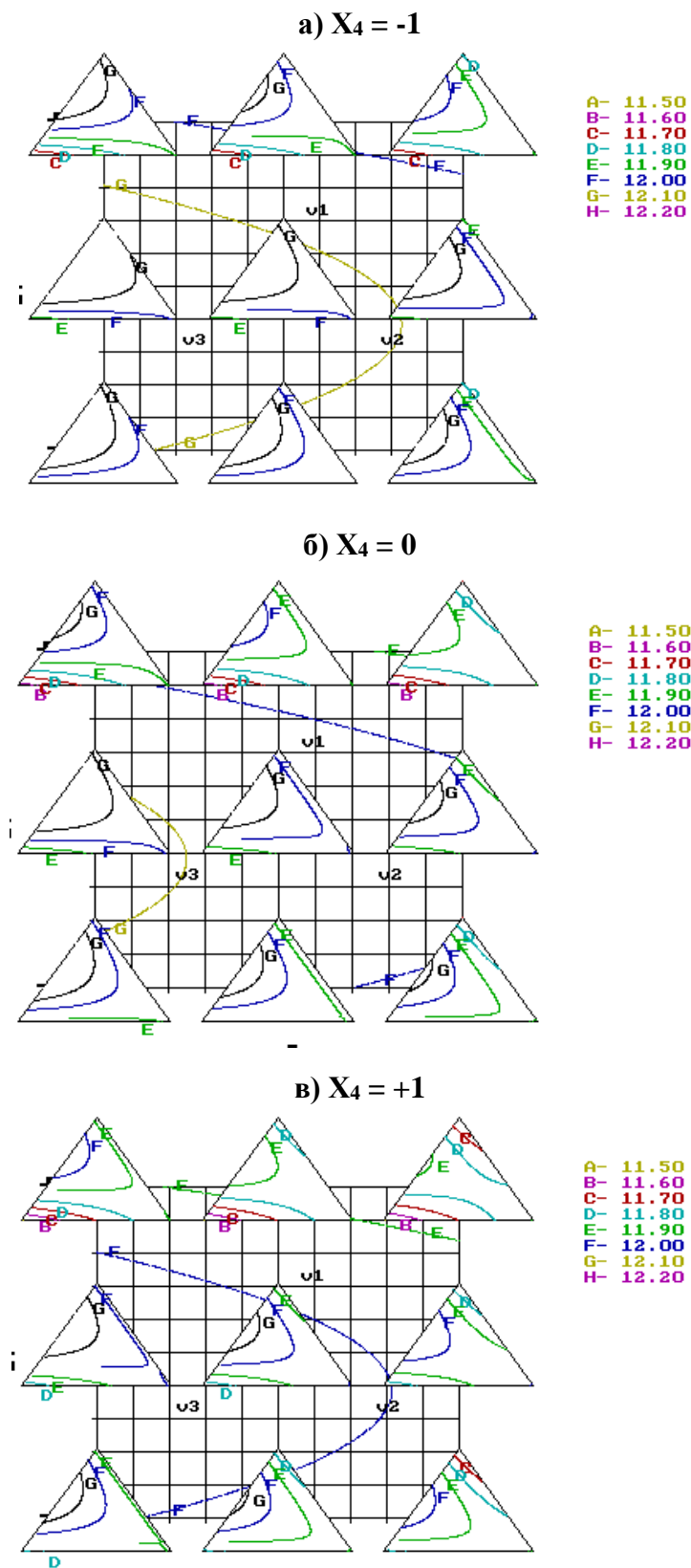


Рис.4.18. Вплив мікропуцоланового компонента МКР ( $x_5$ ) та суперпластифікатора Sika ( $x_6$ ) і мікроармуючої добавки мікрволастоніту на рН арболітобетону, при вмісті: а) ВМК- 10%; б) ВМК- 5%; в) ВМК - 15%

Водневий показник рН для КГВ актуально визначати для виробів з органічним заповнювачем. Відомо, що чим вище рН суміші, тим суміш більше біостійка.

На підставі аналізу і узагальнення викладеного можна припустити, що одним з процесів, який забезпечує прискорення схоплювання і підвищення  $f_{cm}$ , є застосування хімічної активації, яка полягає в підвищенні рН середовища. Введення лужних гідрофобізаторів та вапна, залежно від їх вмісту, підвищує рН з 9,2 до 11,9-12,1. В даному випадку вапно і деякі сульфатні солі ( $Na_2SO_4, NaHSO_4, K_2SO_4, FeSO_4$ ) так само виконують роль активаторів тверднення гіпсомістких в'язучих і сприяють поліпшенню властивостей за рахунок створення лужного середовища. Ще Волженський А.В. [21] відмічав, що вирішальну роль в процесі гідратації мінералів відводиться лужному середовищу, яке утворюється в результаті розчинення оксиду кальцію, натрієвого або калієвого рідкого скла, та ін. компонентів.

#### **4.5. Теплофізичні та звукоізоляційні властивості арболітобетону**

Теплопровідність є головною властивістю як для великої групи теплоізоляційних матеріалів, так і для матеріалів, які застосовують для влаштування зовнішніх стін та покриттів будівель.

Застосування сучасних теплоізоляційних матеріалів з низькою теплопровідністю дозволяє отримати значний техніко - економічний ефект за рахунок зменшення товщини огорожувальних конструкцій або зниження енергетичних витрат на опалення будівель.

Теплопровідність матеріалів залежить від наступних факторів [28]:

1) фізичного стану і будови, які визначаються фазовим станом речовини; ступенем кристалізації і розмірами кристалів; анізотропією теплопровідності кристалів і напрямком теплового потоку; об'ємом пористості матеріалу і характеристиками пористої структури;



2) хімічного складу і наявності домішок, особливо останні впливають на теплопровідність кристалічних тіл;

3) умів експлуатації, що залежать від температури, тиску, вологості матеріалу.

Для оцінки теплофізичних властивостей отриманого теплоізоляційного арболітобетона був проведений експеримент по виміру та оцінці коефіцієнта теплопровідності. Вимір коефіцієнта теплопровідності арболітобетона виконаний за допомогою вимірника теплопровідності ІТС-1 методом стаціонарного теплового потоку по ДСТУ Б.В.2.7-105:2000. Для точнішої оцінки і прогнозування отриманих результатів, в експерименті були використані зразки арболітобетона з різною середньою густиною, висушених до постійної маси. Отримані експериментальні і контрольні значення теплопровідності по ДСТУ Б.В.2.7-271:2011[32] приведені в таблиці 4.5. Для наочного представлення і аналізу отриманих результатів дослідження впливу коефіцієнта теплопровідності арболітобетона залежно від середньої густини були побудовані графіки залежностей, представлених на рис. 4.19.

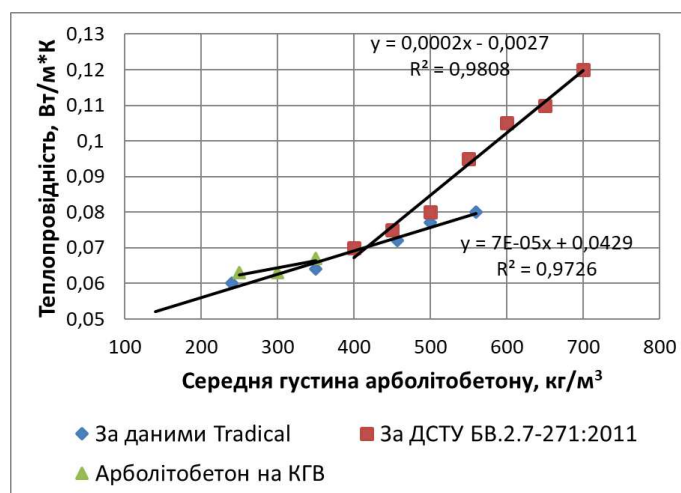


Рис. 4.19. Зміна теплопровідності арболітобетона залежно від середньої густини

Як видно з діаграми теплопровідність арболітобетона виражена лінійною залежністю та рості зі збільшенням середньої густини. Отримані

експериментальні значення теплопровідності зразків арболітобетона нижче рекомендованих стандартом. Отриманий матеріал задовольняє вимогам ДСТУ за теплофізичними показниками.

Таблиця 4.5

## Теплопровідність теплоізоляційного арболітобетону

За даними Tradical	$\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	240	350	457	500	560	-	-
	$\lambda$ , Вт/м·К	0,06	0,063	0,072	0,078	0,08	-	-
За ДСТУ Б.В.2.7-271:2011	$\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	400	450	500	550	600	650	700
	Деревина $\lambda$ , Вт/м·К	0,07	0,075	0,08	0,095	0,105	0,11	0,12
	Костриця коноплі $\lambda$ , Вт/м·К	0,08	0,09	0,095	0,105	0,12	0,13	0,14

Проведений аналіз впливу коефіцієнта теплопровідності арболітобетона залежно від середньої густини. Отримані експериментальні значення теплопровідності зразків арболітобетона нижче рекомендованих стандартом. Отриманий матеріал задовольняє вимогам за теплофізичними показниками.

Ефективність звукоізоляції оцінювалась за авторською методикою з застосуванням гучного динаміка та спеціальних звукоперешкоджаючих конструкцій на зразках КГВ та арболітобетона щільністю 300 та 500 кг/м<sup>3</sup>.

Досліджуваний матеріал оцінювався на ступінь звукоізоляції від постійного впливу шуму в 1000 Гц (1 кГц), який найбільш поширений в житлових умовах. Ефективність звукоізоляції оцінюється індексом звукоізоляції повітряного шуму  $R_w$ , чим вище  $R_w$ , тим вище ступінь звукоізоляції, величина якої виражена в децибелах дБ.

Згідно ДБН В.1.1-31:2013 «Захист територій, будинків і споруд від шуму» індекс звукоізоляції для перекриттів та стін повинен бути не більше  $R_w=52$  дБ. Тільки при цих показниках можливо говорити про акустичний комфорт.

Результати впливу постійного шуму на зразки композиційного гіпсового в'язучого та арболітобетону різної щільності наведені на діаграмі (рис. 4.20).

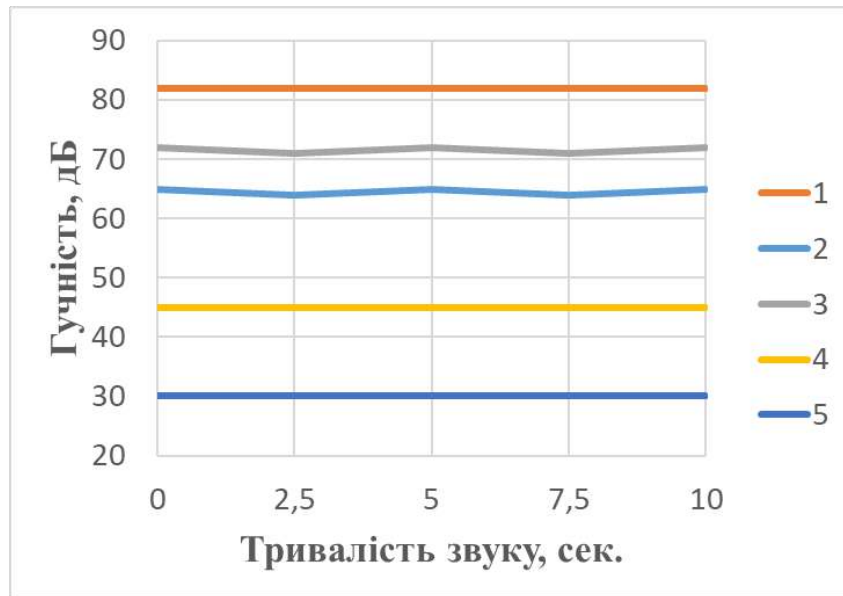


Рис. 4.20. Індекс звукоізоляції досліджуваних зразків:

- 1 – чистий, постійний звук  $R_w=82$  дБ; 2- брусок деревини  $R_w=65-66$  дБ; 3 – зразок МКГВ  $R_w=71-72$  дБ; 4 – зразок арболітобетону товщиною 20 см  $R_w=45$  дБ; 5- арболітобетон товщиною 30 см  $R_w=30$  дБ

Нанесення захисного штукатурного розчину понизить значення показника звукоізоляції, проте він залишиться в нормативних межах. Причому значення цього показника нижче чим у деревини, що створює максимально комфортні умови в приміщеннях.

#### 4.6. Оцінка та регулювання біостійкості арболітобетона

На наступному етапі дослідження проведень аналіз можливості підвищення біостійкості арболітобетона на КГВ нанодобавкою високоактивного пірогенного мікрокремнезему, модифікованого з'єднаннями срібла, міді і цинку.

Високодисперсний кремнезем широко використовується як неорганічний нанорозмірний компонент полімерних, органічних і неорганічних композитів

[17]. Високорозвинена поверхня і особлива будова пірогенного кремнезему дозволяє використати його в якості матриці для формування нанорозмірних металлооксидних, вуглецевих і металевих структур (нанодобавок), використовуючи методи хімічного модифікування поверхні [7,38,79].

У роботі використовувався високоактивний пірогенний кремнезем модифікований з'єднаннями срібла, міді і цинку. Досліджені основні характеристики арболітобетона на антимікробну активність відносно тест-штамів деяких мікроорганізмів.

Отримані наноконпозиції були досліджені на антибактеріальну активність відносно широкого спектру мікроорганізмів.

Відповідно до рекомендацій ВООЗ для оцінки активності препаратів використали штами *Staphylococcus aureus* ATCC25923, *Staphylococcus aureus* ATCC 6538, *Staphylococcus aureus* 209, *Candida albicans* ATCC 885/653. Мікробне навантаження складало 107 мікробних клітин на 1 мл середовища і встановлювалося за стандартом McFarland. У роботі брали 18-24 годинну культуру мікроорганізмів і 24-48 годинну культуру грибів. Роботі проводили на підставі стандартних методик за нормативними документами "Бактеріологічний контроль поживних середовищ" [8].

Для синтезу наноконполітів використаний метод механо-хімічного сольватно-стимульованого модифікування в кульовій млині. [7,38,79] Витрата реагентів вказана в таблиці 4.6. У найменуванні зразків цифрою вказаний зміст металу у відсотках.

Таблиця 4.6

Витрата солі металів (г) на 100 г кремнезему

Сіль	Ag/SiO <sub>2</sub> 2%	Ag/SiO <sub>2</sub> 5%	Ag/SiO <sub>2</sub> 10%	Cu <sub>x</sub> O <sub>y</sub> /SiO <sub>2</sub> 1,3%	Zn <sub>x</sub> O <sub>y</sub> /SiO <sub>2</sub> 1,3%
AgNO <sub>3</sub>	3,4	8,4	16,8	-	-
Cu(CH <sub>3</sub> COO) <sub>2</sub> ·2H <sub>2</sub> O	-	-	-	3,6	-
Zn(CH <sub>3</sub> COO) <sub>2</sub> ·2H <sub>2</sub> O	-	-	-	-	4,4

Після механо-хімічної обробки порошки піддавалися термічній обробці на повітрі при температурі 400-550°C.

Оцінку отриманих наноконпозицій проводили методом рентгенофазного аналізу (РФА). Прожарення при 550°C зразка зі вмістом срібла 10% ваги, показало формування часток металевого срібла розміром 10 нм. Додаткова інформація про будову наноконпозицій отримана методом електронної мікроскопії (ПЕМ), що просвічує: в зразках спостерігаються двійникові кристалічні утворення округлої форми (рис. 4.21.).

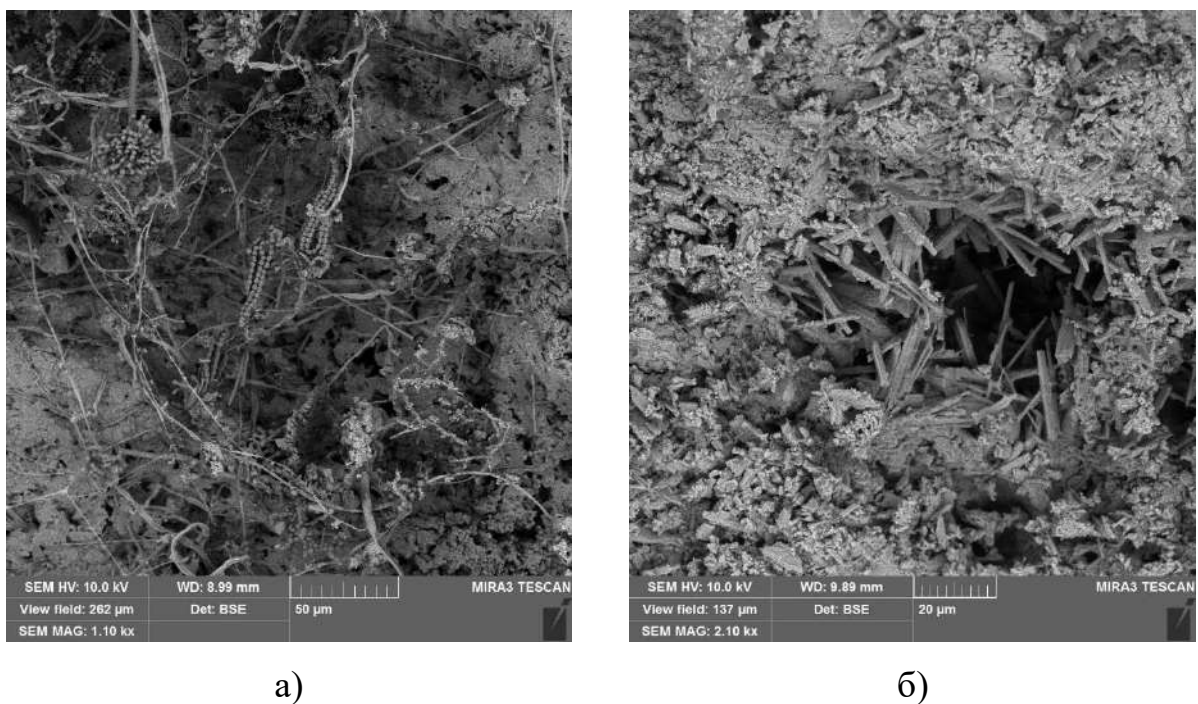


Рис.4.21. Зразки арболітобетона виготовлені: а) без використання нанодобавки; б) з використанням нанодобавки

Антибактеріальна активність препаратів методом дифузії в агар відносно тест-штамів показала, що у ряді кремнеземних наноконпозицій з різним вмістом металевого срібла активність зростає в послідовності 10%>2%>5%. Тому для використання в арболітобетоні були рекомендовані наноконпозиції з 2% вмістом срібла (від вмісту високоактивного пірогенного кремнезему).

Біостійкість арболітобетона необхідно строго контролювати, для цього

необхідно забезпечувати необхідні умови зберігання і передбачати техногічні операції по підвищенню біостійкості. За біостійкістю арболітобетон належить до V-групи відповідно до класифікації НДІБМВ.

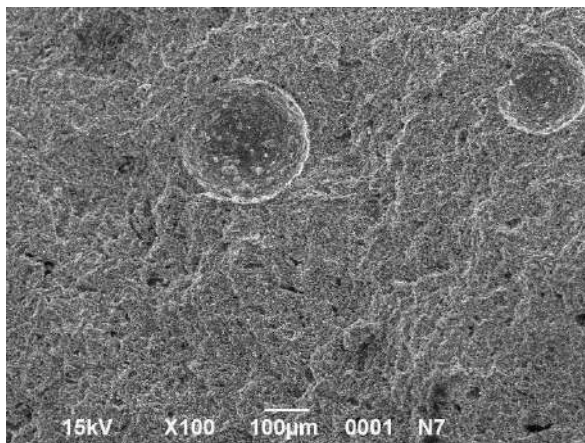
#### 4.7. Електронно-мікроскопічні дослідження структури арболітобетона на КГВ

Знімки виконані на електронному мікроскопі JSM-6390/6390LV ілюструють розташування окремих і об'єднаних в агрегати, зростки структурних елементів, морфологію, габітус, розміри та форму кристалів, інші особливості структури з різним рівнем роздільної здатності фотознімків. Поетапне збільшення структурних елементів від  $\times 700$  до  $\times 15000$  сприяє поглибленому вивченню структурних особливостей складного органо-мінерального композиту у вигляді арболітобетона.

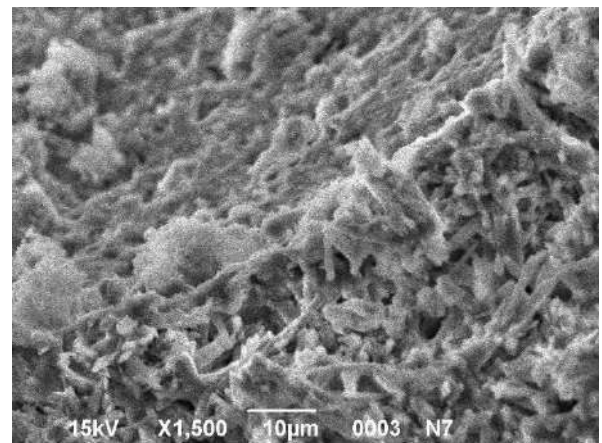
Усі фотографії робилися від малих оглядових збільшень вибраної ділянки до великих збільшень, приблизно в центральній області. На серії електронно-мікроскопічних знімків представлена структура зразка арболітобетона виготовленого на КГВ складу № 15 (таблиця.3.4) який має міцність при стиску  $f_{cm}=15$  МПа (рис 4.18 а-г). На знімках виділені ділянки, збільшені на кожному подальшому знімку. Структура матриці щільна дрібнозерниста (рис 4.18 а). Серед безлічі факторів, на перераховані властивості робить вплив взаємодія гіпсу у вигляді  $\beta$ -модифікації,  $\text{CaSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ . Як показали електронно-мікроскопічні дослідження, активний кремнезем мінеральної комбінованої двокомпонентної мікропуцоланової добавки підвищеної гідравлічної активності взаємодіє з  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ . В результаті утворюються гідросилікат кальцію типу  $\text{CSH}(\text{B})$ , а спільно з гідроалюмінатами утворюються гідрогранати  $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot n\text{SiO}_2 \cdot (6-2)n\text{H}_2\text{O}$  і гідро-силікоалюмінати  $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{CaSiO}_3 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ , що показано в розділі 4.5.

Характерна структура зігнутих кристалічних утворень (рис.4.22.а) поперечний розмір яких не перевищує їх подовжні розміри, дозволяє віднести

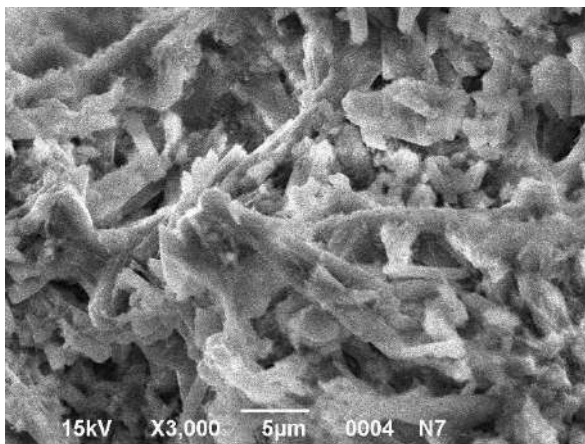
ці новоутворення до тоберморитоподібних. Хімічна формула тоберморитових утворень має вигляд:  $(1,5 \div 2,0) \text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot [1-4\text{H}_2\text{O}]$ . На знімках 4.22. б-г збільшений вихід на поверхню поперечного розрізу костриці, усередині якого розташовані новоутворення. Новоутворення сформовані за рахунок проникнення рідкого дисперсійного середовища через стінки всередину костриці, з подальшою кристалізацією рідкої фази. Судячи зі знімків (рис. 4.22. в-г) частина тоберморитів знаходяться в гелевидному, нанорозмірному стані, що робить позитивний вплив на ущільнення структури. Закінчення тоберморитових кристалів прирастають до внутрішньої поверхні пори, що виразно видно при збільшенні в 15000 разів (рис.4.22. г).



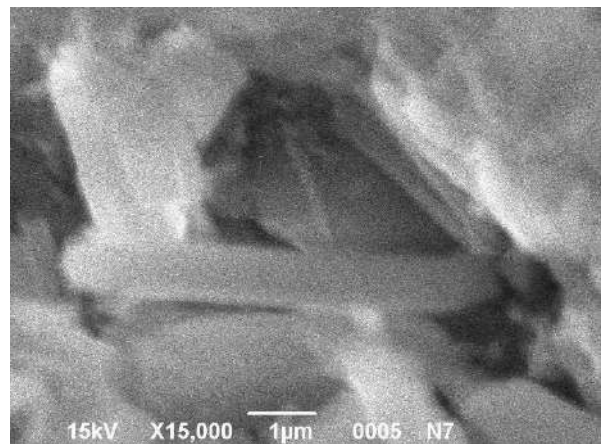
а)



б)



в)



г)

Рис.4.22. Електронно-мікроскопічні фоторграфії структури зразка арболітобетона виготовленого на КГВ

Структура матричного матеріалу арболітобетона, який складається з компонентів КГВ, модифікатора та полікарбосилатного пластифікатора, представлена на рис. 4.24.

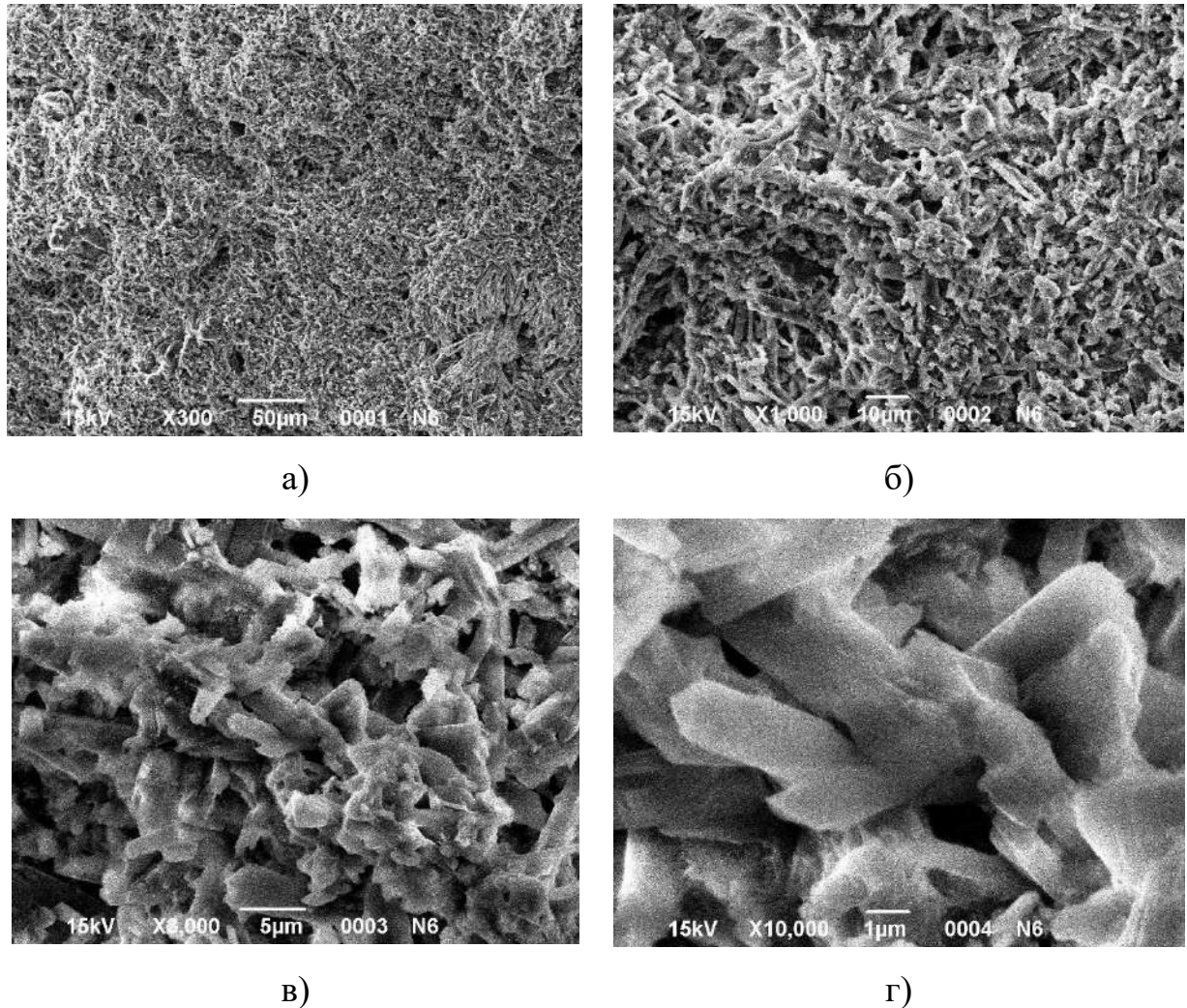


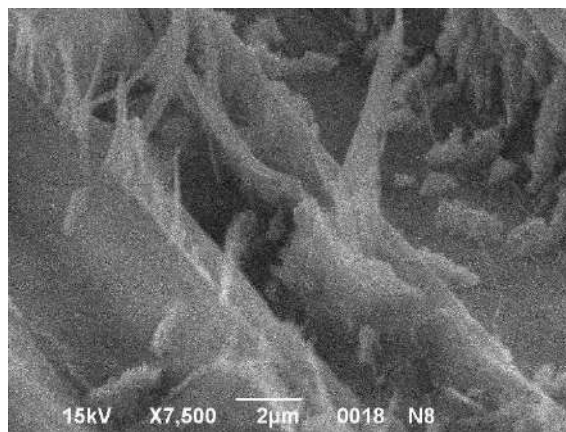
Рис.4.23. Електронно-мікроскопічних фоторграфії структур матричного матеріалу арболітобетона

Наглядно представлено, що структура матриці складається з агрегатно-блокових мінеральних новоутворень. Переважаючий розмір кристалів 5-10 мкм (рис.4.23.а). Темніше забарвлення поверхневих шарів окремих блоків вказує на дифузію глиноземистих фаз високоактивного метакаоліна в матричному матеріалі арболітобетона. В результаті утворюються окрім тобермарита  $CSH(V)$  утворюються гідроалюмінати, гідрогранати,

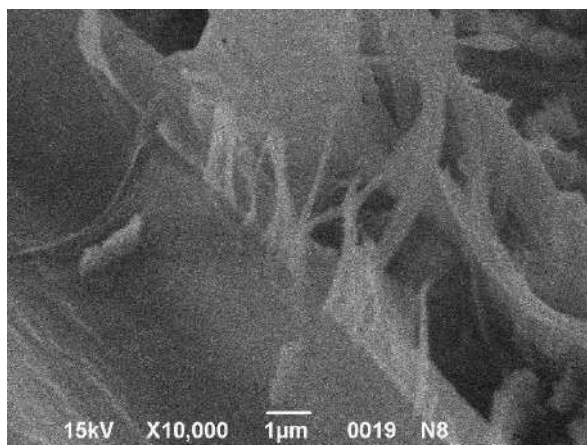


гідросилікоалюмінати (рис.4.23.б,в,г).

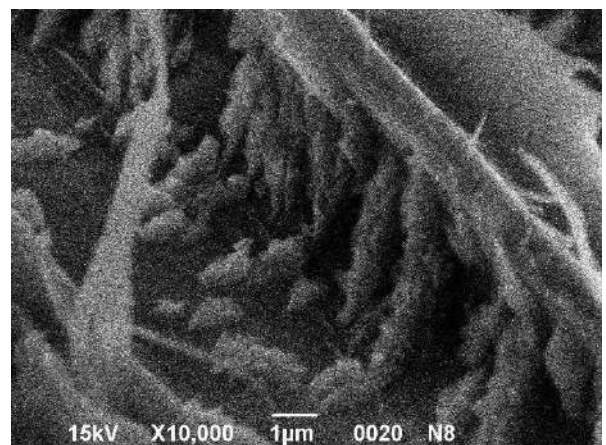
На знімку (рис.4.22.а) видно світлий ореол навколо поперечного зрізу костриці, та знімках (рис.4.23 а-г.) зі збільшенням  $\times 300$  до  $\times 10000$  чітко видно еtringітоподібні новоутворення. На приналежність цих утворень до еtringіта вказує їх найбільш світлий в порівнянні з іншими матричними мінералами колір. Еtringітові утворення представлені щільними агрегатами субмікроскопічних часток, на поверхню яких виходять частково розорієнтовані, а більшою мірою впорядковані голчасті кристали завдовжки не більше 1мкм еtringіта та мікроластоніта.



а)



б)

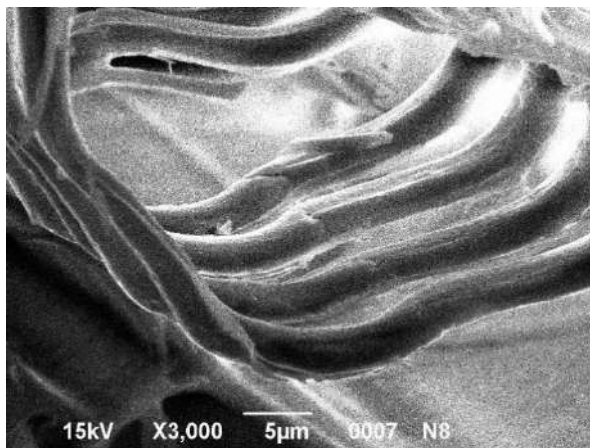


в)

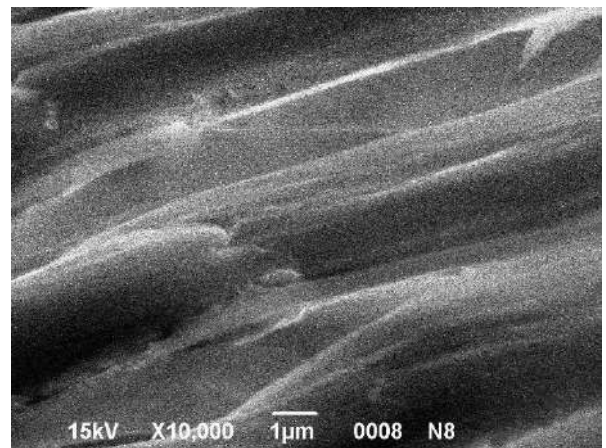
Рис.4.24. Електронно-мікроскопічні фоторафії структур матричного матеріалу арболітобетона

Наявність пустотності навколо голчастих волокон може розглядатися як варіант армування композитів дискретними волокнами (рис.4.24. а-в.). Що сприятиме перерозподілу напруги безпосередньо в матриці. В результаті зростає здатність матриці сприймати навантаження на вигін та розтяг, що відповідає висуненій гіпотезі. Додаткове армування порового простору забезпечує також підвищення міцності та тріщиностійкості.

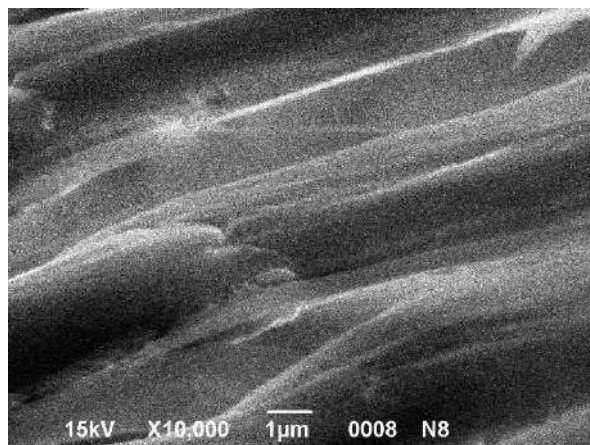
На електронній мікрофоторафії (рис. 4.25.) представлена структура матричного матеріалу арболітобетона, у складі якої мінімальна кількість суперпластифікатора Sika. У структурі складу № 15 (таблиця. 3.4) є присутніми мінерали  $\text{CaCO}_3$  з групи карбонатів (рис. 4.25. а-г).



а)



б)



в)



г)

Рис.4.25. Електронно-мікроскопічні фоторафії матриць арболітобетона з вмістом Sika 0,1%

Для порівняння на рис. 4.26. наводяться мікрофотографії структури чистого порошку кварциту.

Видно, що будова, морфологія і розміри плоских, налягаючих один на одного кристалів схожі із структурою мінералів гіпсоцементно-пуццоланової матриці. Полімерні композиції з кальцитом характеризуються підвищеною водостійкістю і еластичністю [27-29] Проте, факт освіти і позитивної ролі  $\text{CaCO}_3$  у складі матриці вимагає додаткового опрацювання і аналізу, що буде реалізований в подальших дослідженнях. Можливо, що умови, коли відбувається формування карбонатних утворень забезпечить подальше підвищення властивостей КГВ та арболітобетона. В цьому випадку необхідно збільшити зміст мікропуццоланових добавок або змінити їх співвідношення.

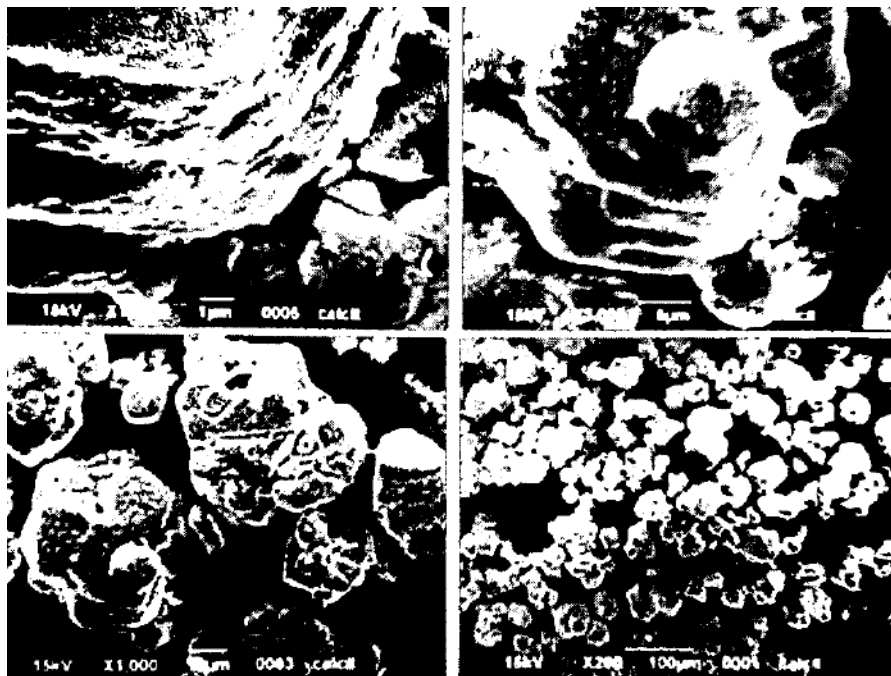
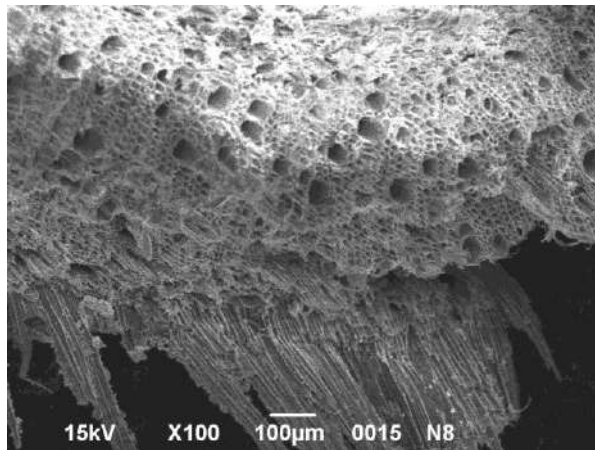


Рис.4.26. Мікрофотографії структури чистого порошку кварциту

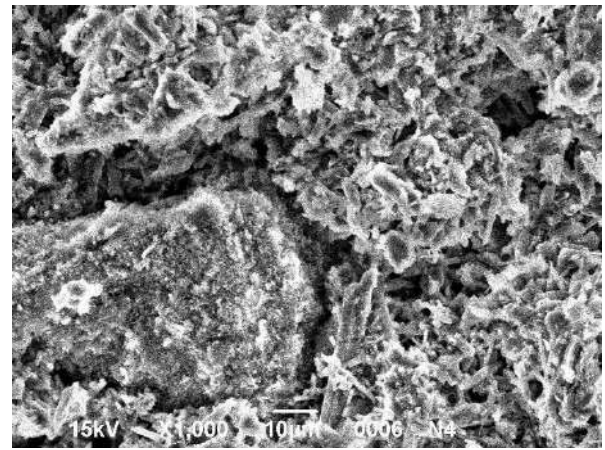
На електронно-мікроскопічній фотографії (рис. 4.27.) зафіксована досить протяжна мікротріщина шириною розкриття  $<0,2$  мкм.

Тріщина може виникнути при підготовці скола зразка, що підтверджує чіткий рельєф берегів тріщини і відсутність всередині тріщини

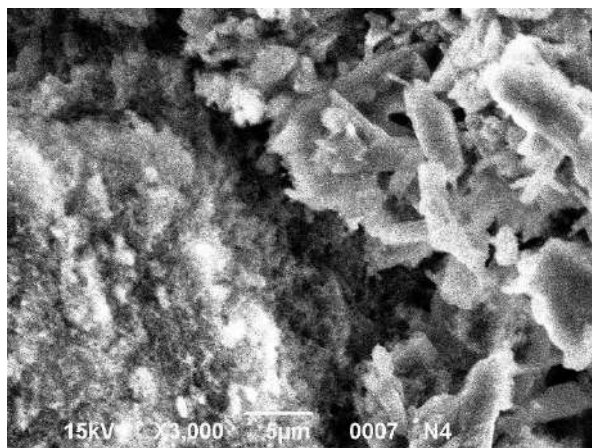
дрібнозернистих фаз. Проте тріщина може також вказувати на неоптимальність складу, коли процеси гідратації складу супроводжуються контракційною усадкою гелю гідросилікату з порушенням сплошності середовища. Можна припустити, що зміна співвідношення усіх компонентів матриці арболітобетона аннулює цей дефект структури.



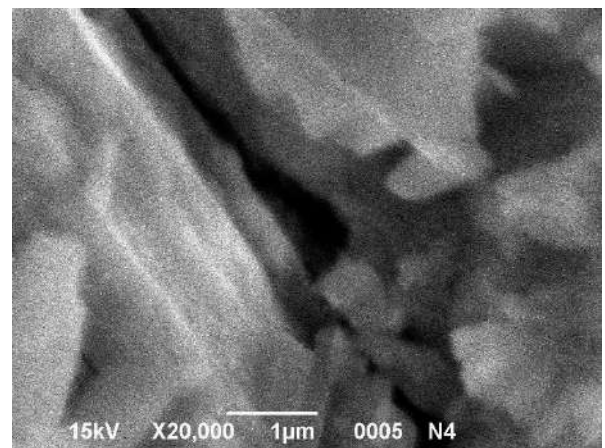
а)



б)



в)



г)

Рис.4.27. Електронно-мікроскопічних фоторгафії матриць арболітобетона зі вмістом Sika 0,1%

#### Висновки за розділом 4

1. Показано, що органічні заповнювачі, які застосовані для арболітобетонів, істотно відрізняються структурою, будовою і основними

властивостями, а також змістом шкідливих компонентів. Тому при підборі і оптимізації складів арболітобетонів на органічному заповнювачі у вигляді костриці коноплі технічної необхідно враховувати особливості його структури і будови.

2. Встановлено, що склади КГВ, які забезпечують максимальні значення по  $f_{cm}$ , або максимальні значення водостійкості, не співпадають із складами, які забезпечують максимум адгезійної міцності між КГВ та кострицею коноплі технічної. Склади КГВ відрізняються вмістом МКР та ВМК, та їх співвідношенням. Слід так само відмітити позитивний вплив мікроластоніту на міцність зчеплення КГВ з кострицею. За рахунок введення мікроластоніту необхідної фракції можна збільшити  $f_a$  на 15%. Потрібне коригування і подальша оптимізація складу арболітобетона. При цьому, отримані значення  $f_{cm}$  арболітобетона відповідають або перевищують вимоги ДСТУ.

3. Проаналізована можливість подальшого підвищення водостійкості за рахунок об'ємних та поверхневих гідрофобізаторів. Для оцінки дії гідрофобізаторів на властивості поверхні зразків з гіпсового в'язучого нами проводилися виміри крайового кута змочування методом лежачої краплі який показав, що поверхні зразків набули гідрофобних властивостей: крайовий кут змочування для води більше  $120^\circ$ . Проведена оцінка водневого показника рН гідрофобізаторів.

4. Встановлено, що найкращі значення міцності отримані на вітчизняному гідрофобізаторі White нового покоління. Гідрофобізатор White дозволяє має потужні водовідштовхувальні властивості за рахунок присутності у складі наноконпонентів, в результаті підвищується водостійкість, наявність срібла в складі забезпечує захист і підвищення біостійкості арболітобетонів. Гідрофобізатор White дозволяє досягти «ефекту лотоса». Найбільше значення  $f_{cm}$  отримані при вмісті гідрофобізатора White у кількості 2%, що враховано в подальших дослідженнях. Водневий показник рН композиційного гіпсового в'язучого модифікованого гідрофобізатором

White для арболітобетона змінюється в межах від рН=11,9 до 12,1.

5. Проведене аналіз зміни коефіцієнта теплопровідності арболітобетона залежно від середньої густини. Отримані експериментальні значення теплопровідності зразків арболітобетона нижче рекомендованих стандартом. Отриманий матеріал задовольняє вимогам ДСТУ за теплофізичними показниками. Арболітобетон відрізняється високою звукоізоляцією: звукоізоляція арболітобетона середньої густини  $300 \text{ кг/м}^3$  складає 38 дБ, що більш ніж на 33% нижче норми. Нанесення захисного штукатурного розчину понизить значення показника звукоізоляції, проте він залишиться в нормативних межах. Причому значення цього показника нижче чим у деревини, що створює максимально комфортні умови в приміщеннях.

6. Проведена оцінка можливості регулювання біостійкості арболітобетона шляхом введення кремнеземних наноконпозицій з різним змістом металевого срібла. Показане що антибактеріальна активність препаратів, у ряді кремнеземних наноконпозицій з різним змістом металевого срібла, активність зростає в послідовності 10% > 2% > 5%. Тому для використання в арболітобетоні рекомендовані наноконпозиції з 10-процентним змістом срібла (від змісту кремнезему). За біостійкості арболітобетон належить до V-групі відповідно до класифікації НДІБМВ.

7. Проведений аналіз електронних мікрофотографій показав широкі можливості регулювання структурою арболітобетона на різних масштабних рівнях за рахунок зміни вмісту і співвідношення комбінованої двокомпонентної мікропуцоланової добавки підвищеної гідравлічної активності, мікроармуючої добавки мікроластоніту та полікарбоксилатної суперпластифікуючої добавки Sika 520.

## РОЗДІЛ 5

### ОПТИМІЗАЦІЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ ТА ТЕХНИКО ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ АРБОЛІТОБЕТОНА

#### 5.1. Особливості виробництва арболітобетона на композиційному гіпсовому в'язучому

Арболітобетон це складний композиційний матеріал. Для формування структури і міцності «камінь композиційного гіпсового в'язучого-органічний заповнювач» необхідно звести до мінімуму величину внутрішньої напруги між заповнювачем - кострою коноплі та композиційним гіпсовим в'язучим в ньому [97,98]. Виділення шкідливих цукрів призводить до виникнення внутрішніх напружень і труднощів схоплювання матеріалу. Літературний огляд дозволив встановити, що основний вплив на композиційний матеріал за своїми властивостями має заповнювач.

Наявність в заповнювачі легкогідролізуємих та екстрактних речовин, так званих «цементних отрутих речовин», шкідливих для цементу, є однією із специфічних особливостей органічного заповнювача. Ці «Цементні отрути» різко уповільнюють схоплювання і набір міцності цементного каменю, сильно знижують міцність частини розчину арболітобетону. Основна частина цих шкідливих речовин є легкорозчинними цукрами. Їх концентрація максимальна у поверхні заповнювача, що призводить до дуже низької адгезії і значного послаблення контактної зони [3,11,12]. Тому усі зусилля дослідників і практиків спрямовані на нейтралізацію такого шкідливого впливу.

У роботах [64,82,83] встановлено, що найбільш шкідливі дії роблять легкорозчинні прості цукру як сахароза, глюкоза, фруктоза і частина геміцелюлози, здатної в певних умовах перейти у форму таких цукрів, у меншій мірі небезпечні крохмаль, таніди та смоли. Лужне середовище

цементного тіста сприяє виділенню «цементних отрутних речовин», кількість яких змінюється в значних межах поклад від породи деревини, умів і термінів зберігання. На деяких виробництвах, особливо за кордоном, застосовується заповнювач тільки хвойних порід, оскільки міцність арболітобетона на основі їх вища, ніж на листвяних породах. Це пояснюється наявністю деревних смол в хвойних породах, причому такого складу, що смороду є природними мінералізаторами деревини.

У роботах [91-93] автори пропонують для виготовлення арболітобетонних виробів методом віброштамбування з шлаколузних арболітобетонних складів тонкомелений фосфорний шлак перемішувати з подрібненими стеблами бавовника або рисовим лушпинням і з водним розчином рідкого скла. Арболітобетонні зразки виготовляють формуванням, використовуючи для цієї мети матриці і форми, що замикаються. Отриманий при цьому матеріал, має марочну міцність 0,1-0,25 МПа. Також відмічають, що при заміні портландцементу на лужне в'язуче, за технології виробництва, виключаються операції по вимочуванню заповнювача. Тому що при твердненні системи «лужне в'язуче-органічний заповнювач» не утворюються з'єднання, що шкідливо впливають на тверднення арболітобетона. До того ж, при цьому виключається застосування хімічних добавок таких як мінералізатори і прискорювачі тверднення [73].

Науковий і практичний інтерес викликають роботи [163-165], спрямовані на розробку і дослідження органомінеральних композиційних матеріалів на основі безвипалювальних лужних в'язучих і відходів сільського господарства, зокрема арболітобетонів. Специфічною особливістю арболітобетона є його структура. Тому для створення теплоізоляційного арболітобетона з щільністю менше  $400 \text{ кг/м}^3$  необхідно враховувати і той фактор, що застосування тепловологісної обробки не бажане, оскільки органічний заповнювач має високе водопоглинання. Крім того, першочерговим завданням для створення арболітобетона на



сільськогосподарських відходах являється вивчення екстрактних речовин, від змісту яких залежать показники отриманого матеріалу [47,108].

## **5.2. Оптимізація складу і властивостей арболітобетона**

Оптимізація як вибір найкращого варіанту з безлічі можливих, проведена із застосуванням поетапного аналізу властивостей. Процес оптимізації включає 5 основних етапів, описаних в параграфах 5.2.1-5.2.3. Кожен подальший етап оптимізації здійснюється на базі оптимізації попередніх показників якості. В результаті комплексної оптимізації складів КГВ, полікомпонентного органо-мінерального комплексу, фракційного складу костриці та складів арболітобетона, рекомендовані склади для теплоізоляційних блоків  $\rho=300-500 \text{ кг/м}^3$ .

### **5.2.1 Оптимізація складу полікомпонентного органо-мінерального комплексу для арболітобетона**

На наступному етапі був проведений аналіз сумісності гідрофобізатора White з іншими добавками-модифікаторами, які в сьогоденні роботі застосовуються для виготовлення арболітобетона.

Проведений підбір і оптимізація складу полікомпонентного органо-мінерального комплексу. Органо-мінеральний комплекс включає три компоненти: гідрофобізатор нового покоління White, суперпластфікатор Sika 520, і натрієве рідке скло. В процесі оптимізації складу арболітобетона, запропонований органо-мінеральний комплекс застосований для модифікації КГВ. Цей же органо-мінеральний комплекс застосований в якості мінералізатора костриці коноплі технічної.

Для оптимізації складу полікомпонентного органо-мінерального комплексу для костриці коноплі технічної поставлен трьохфакторний експеримент за планом Шеффе.

Оптимізацію складу полікомпонентного органо-мінерального комплексу для костриці коноплі проводили згідно 3-факторного симплекс-центрального плану експерименту в математичному середовищі STATISTICA. Загальна сума всіх компонентів полікомпонентного органо-мінерального комплексу складала 1. Фактори варіювання та матриця планування експерименту наведені в таблиці 5.1 та таблиці 5.2.

Таблиця 5.1

## Фактори варіювання

Фактори, вигляд	натуральний	кодований	Рівні варіювання		Інтервал варіювання
			0	1	
Sika 520	%	$X_1$	0	3	3
White	%	$X_2$	0	3	3
Рідке скло	%	$X_3$	0	3	3

Таблиця 5.2

## Матриця планування експерименту

Точки плану	План матриці в кодованому вигляді			План матриці в натуральному вигляді		
	$X_1$	$X_2$	$X_3$	Sika 520	White	Рідке скло
1	1,00	0,00	0,00	3	0	0
2	0,00	1,00	0,00	0	3	0
3	0,00	0,00	1,00	0	0	3
4	0,50	0,50	0,00	1,5	1,5	0
5	0,50	0,00	0,50	1,5	0	1,5
6	0,00	0,50	0,50	0	1,5	1,5
7	3,33	3,33	3,33	1	1	1

На рис. 5.1-5.2 приведені ізопараметричні діаграми впливу органо-мінерального комплексу на міцність при стиску та середню густину композиційного гіпсового в'язучого.

У результаті реалізації експерименту отримані трьох факторні сумішеві ЕС моделі, що описують зміну міцності при стиску і середньої густини.

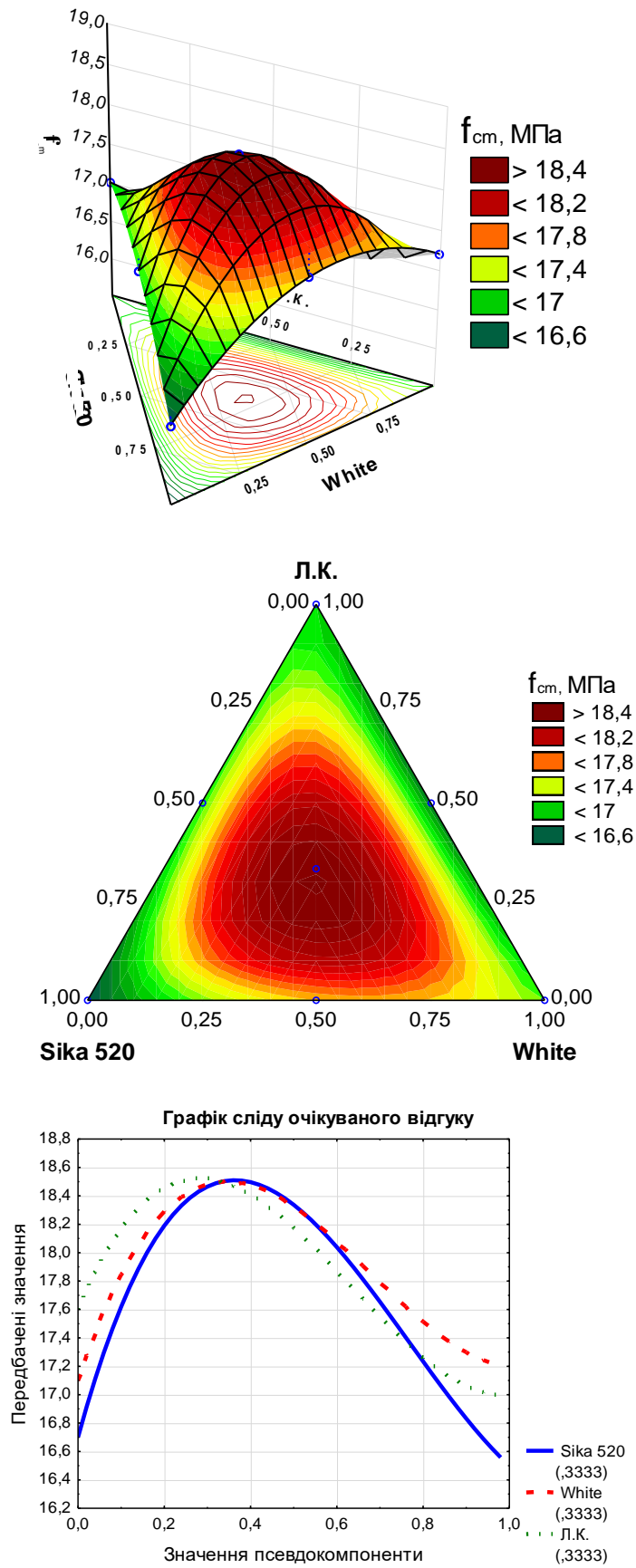


Рис. 5.1. Діаграми впливу органно мінерального комплексу на міцність при стиску КГВ

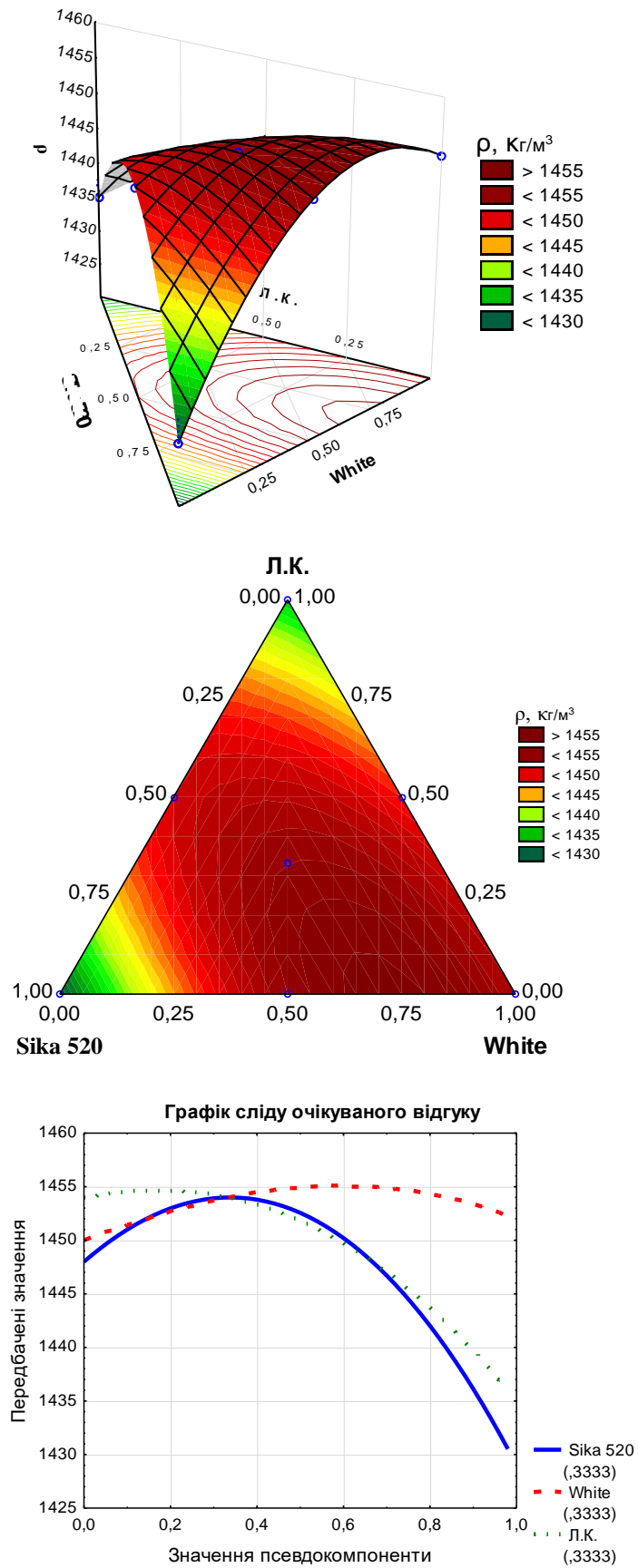


Рис. 5.2. Діаграми впливу органо мінерального комплексу на середню густину КГВ

Зміна міцності при стиску під впливом трьох компонентів органо-мінерального комплексу, зокрема суперпластифікатора Sika 520, гідрофобизатора White та рідкого скла (5.1):

$$f_{cm} = 16,5 * x + 17,2 * y + 17 * z + 3 * x * y + 1,4 * x * z - 1,6 * y * z + 34,8 * x * y * z + 0 * x * y * z \quad (5.1)$$

Зміна середньої густини під впливом трьох компонентів органо-мінерального комплексу (5.2):

$$\rho = 1429 * x + 1452 * y + 1435 * z + 54 * x * y + 72 * x * z + 18 * y * z - 18 * x * y * z \quad (5.2)$$

Аналіз моделей показує, що на зміну міцності при стиску впливають усі три основні фактори варіювання а так само їх спільна дія. Максимальною міцністю характеризується склад №7 (таблиця. 5.3) в якому усі запропоновані компоненти знаходяться в співвідношенні 1:1:1 (рис. 5.3.).

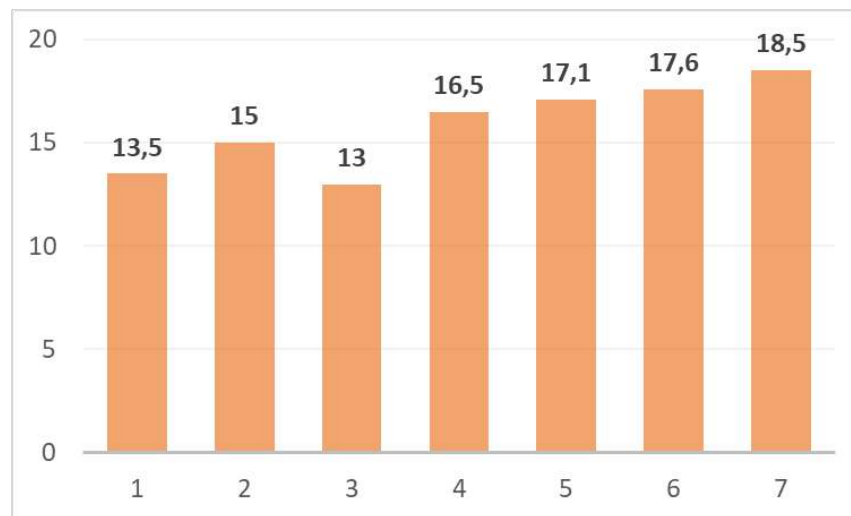
Таблиця 5.3

## Результати експерименту

Точки плану	Рівні факторів			$\rho$ гр/см <sup>3</sup>	$f_{cm}$ МПа
	Sika ViscoCrete 520	Гідрофобизатор White	Рідке скло		
1	3	0	0	1429	16,5
2	0	3	0	1452	17,2
3	0	0	3	1435	17
4	1,5	1,5	0	1454	17,6
5	1,5	0	1,5	1450	17,1
6	0	1,5	1,5	1448	16,7
7	1	1	1	1454	18,5

Слід зазначити, що органо-мінеральний комплекс робить позитивний вплив на щільність КГВ. Середня густина в зоні максимальної міцності  $\rho=1450\text{кг/м}^3$ . Таким чином, максимальні значення середньої густини і міцності знаходяться в одній області факторного простору. Тобто органо-

мінеральний комплекс одночасно сприяє ущільненню структури КГВ і підвищенню міцності.

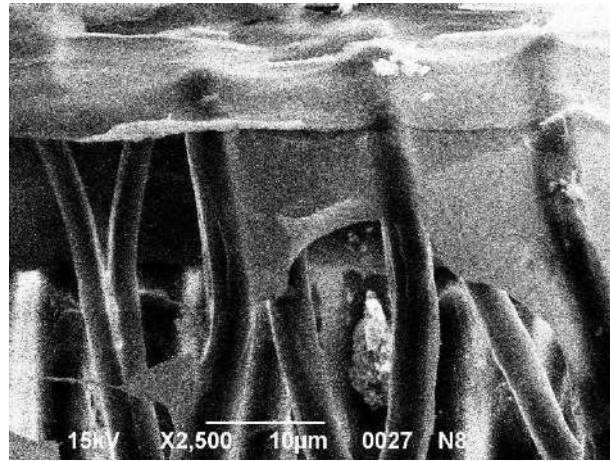


- |                  |                                 |
|------------------|---------------------------------|
| 1- 0,1% Sika 520 | 5- 1,5% Sika + 1,5% рідке скло  |
| 2- 0,6% —  —     | 6- 1,5% Sika + 1,5% White       |
| 3- 1,1% —  —     | 7- 1% Sika + 1,5% p.c.+1% White |
| 4- 3,0% —  —     |                                 |

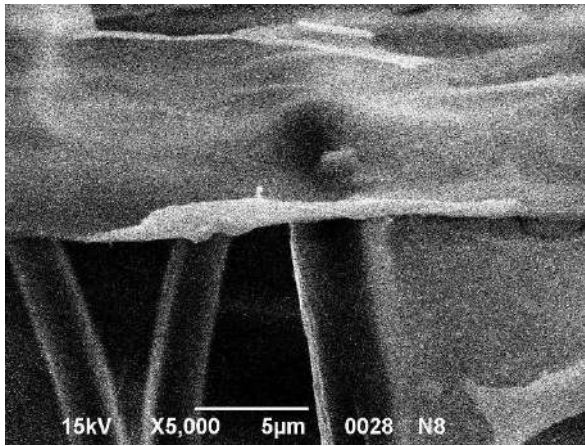
Рис. 5.3. Оцінка сумісності компонентів органо-мінерального комплексу

Розроблений органо-мінеральний комплекс застосований так само, як вказано вище, для мінералізації костриці коноплі технічної. Мінералізація полягає в зменшенні негативного впливу водорозчинних екстрактивних легкогідролізуємих речовин, сутність яких полягає в частковому видаленні цих речовин із заповнювача. Мінералізація повинна забезпечувати капсулювання цукрів і лігніну. В процесі мінералізації прості цукри переводяться в нерозчинні з'єднання. Мінералізація здійснюється різними хімічними суспензіями або розчинами-добавками. Вибір модифікуючих добавок різної хімічної природи обумовлений їх модифікованим впливом на костру коноплі.

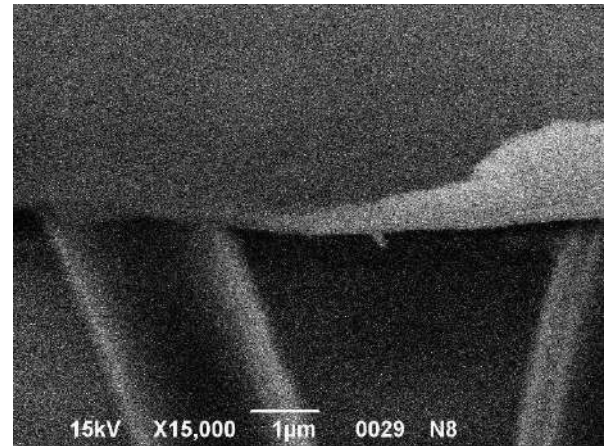
Обробка костриці коноплі технічної показала, що трьохкомпонентний комплексний мінералізатор утворює на поверхні захисний шар (рис. 5.4.). Як видно на електронних мікрофотографіях, мінералізатор утворює щонайтоншу плівку на поверхні костриці.



а)



б)



в)

Рис.5.4. Електронно-мікроскопічних фотографій а) поверхні; б-в) структури костриці коноплі технічної обробленої трьохкомпонентним комплексним мінералізатором

Як показано у роботі [109], оцінка сумісності компонентів у багатокомпонентних складах, є важливим аспектом підвищення якості композиційних матеріалів. Арболітобетон так само відноситься до композиційних матеріалів. Компоненти органо-мінерального комплексу сумісні між собою. Органо-мінерального комплекс застосований для поліпшення властивостей КГВ і для мінералізації костриці коноплі.

Таким чином, оцінений вплив полікомпонентного органо-мінерального комплексу на властивості КГВ, і для мінералізації костриці коноплі технічної. Проведена оптимізація полікомпонентного органо-мінерального

комплексу по міцності і середньої густині. Показаний що, розроблений органо-мінеральний комплекс, який застосований в якості мінералізатора костриці коноплі, забезпечує захист від проникнення лигнінів і цукрів з костриці до в'язучого. Мінералізація сприяє нормальній гідратації в'язучого і не знижує терміни схоплювання, покращує якість виробів.

### 5.2.2. Оптимізація фракційного складу арболітобетона

Важливими аспектами будь-якого оптимізаційного завдання є поліпшення властивостей, зменшення витрати дорогих компонентів і зниження собівартості кінцевої продукції. Виробники намагаються поліпшити якість матеріалів або підвищення кількості компонентів у в'язучого, або введення доладного комплексу дорогих хімічних добавок. Проте, можна піти дещо іншим шляхом, оптимізуючи склад не лише в'язучого, але й органічного заповнювача, таким чином знизивши тимчасові і матеріальні витрати на поліпшення якості продукції.

Оптимізація фракційного складу костриці коноплі технічної виконано у декілька етапів. Первинні умови оптимізації фракційного складу арболітобетона приведені в таблицях 5.4-5.5.

Таблиця 5.4

Умови оптимізаційного завдання арболітобетона

Основні критерії якості	Критерії оптимізації	
	За ДСТУ Б.В. 2.7-271:2011	Задані довільно
Клас міцності	B0,35	B0,35; B0,75; B1
Марка бетону	M 5	M5; M10; M15
Середня густина, кг/м <sup>3</sup>		≤ 400



Таблиця 5.5

Обраний фракційний склад органічного заповнювача.

Розміри отворів контрольних сит, мм	Залишки на ситах			
	Повні залишки на контрольних ситах		Приватні залишки на контрольних ситах	
	min	max	min	max
10	20	40	20	40
5	40	75	20	35
2,5	90	100	60	25

У програмі *STATISTICA* був проведений аналіз взаємовпливу трьох різних фракцій складу органічного заповнювача (таблиця.5.5.) на міцність при стиску та середню густину арболітобетона по побудованих ЕС-моделям.

Таблиця 5.6

Фактори варіювання

Фактори, вигляд	натуральний	кодований	Рівні варіювання		Інтервал варіювання
			0	1	
Фракція 10	%	$X_1$	0	3	3
Фракція 5	%	$X_2$	0	3	3
Фракція 2,5	%	$X_3$	0	3	3

Таблиця 5.7

Матриця планування експерименту

Точки плану	План матриці в кодованому вигляді			План матриці в натуральному вигляді		
	$X_1$	$X_2$	$X_3$	Фракція 10	Фракція 5	Фракція 2,5
1	1,00	0,00	0,00	3	0	0
2	0,00	1,00	0,00	0	3	0
3	0,00	0,00	1,00	0	0	3
4	0,50	0,50	0,00	1,5	1,5	0
5	0,50	0,00	0,50	1,5	0	1,5
6	0,00	0,50	0,50	0	1,5	1,5
7	3,33	3,33	3,33	1	1	1

Оптимізацію складу комплексного мінералізатора для костриці коноплі проводили згідно 3-факторного симплекс-центрального плану експерименту в математичному середовищі STATISTICA. Загальна сума всіх компонентів полікомпонентного органо-мінерального комплексу складала 1. Фактори варіювання та матриця планування експерименту наведені в таблиці. 5.6 і таблиця. 5.7.

У результаті реалізації експерименту отримані трьохфакторні сумішеві ЕС моделі, що описують зміну міцності при стиску і середньої густини під впливом фракційного складу заповнювача. Залежність міцності при стиску від співвідношення кількості різних фракцій органічного заповнювача описується ЕС моделлю (5.3):

$$f_{cm} = 0,47 * x + 0.5 * y + 0.46 * z - 0.02 * x * y - 0.1 * x * z + 0.16 * y * z + 1.32 * x * y * z \quad (5.3)$$

Залежність середньої густини від співвідношення кількості різних фракцій органічного заповнювача описується ЕС моделлю (5.4):

$$\rho = 285 * x + 310 * y + 314 * z + 18 * x * y + 30 * x * z - 3,9999 * y * z + 57 * x * y * z \quad (5.4)$$

По ЕС моделям (5.3) і (5.4) проаналізовано впливи фракційного складу органічного заповнювача на властивості арболітобетона на композиційному гіпсовому в'язучому. Оцінка впливу кожного фактора (фракція органічного заповнювача) на відповідне значення властивостей (міцність при стиску, щільність) виконувалася по графіках, представлених на рис. 5.5-5.6.

Межі області розташування фракційного складу костриці згідно із стандартом, відображені на трикутних діаграмах у вигляді прямокутного паралелепіпеда.

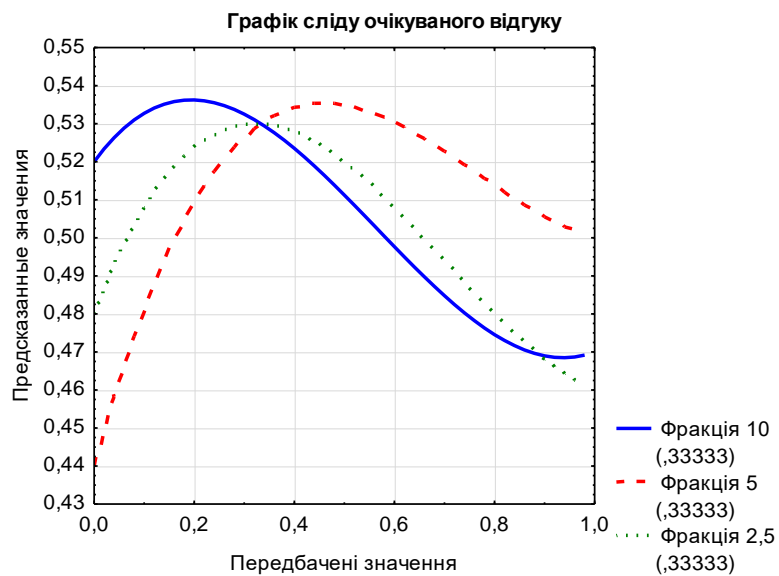
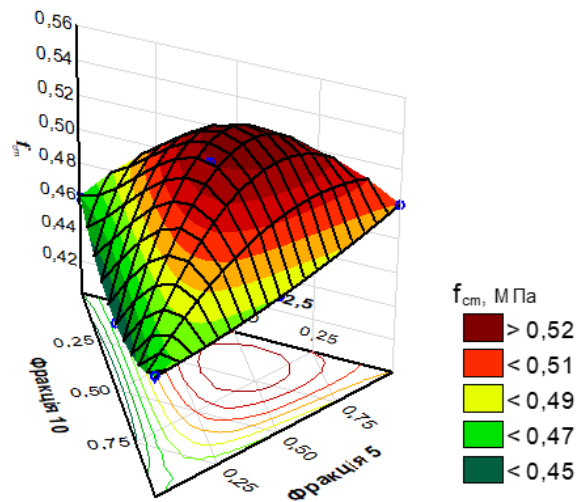
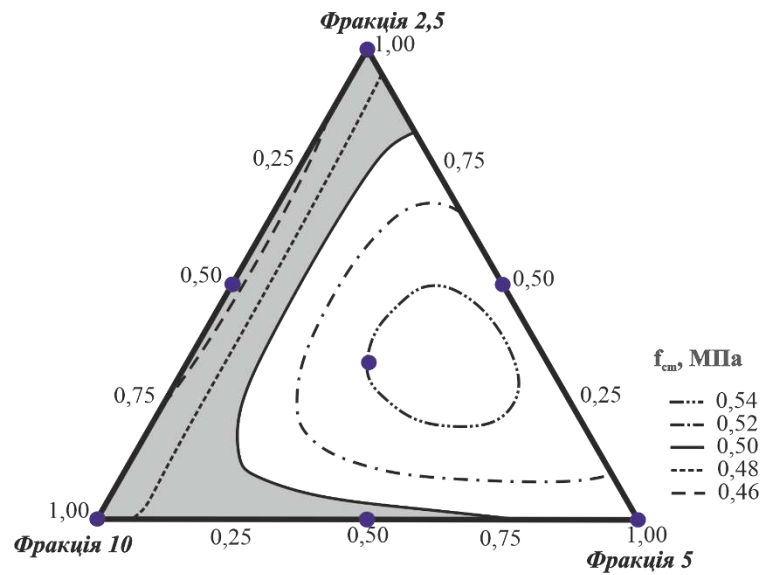


Рис. 5.5. Вплив фракційного складу органічного заповнювача на межі міцності при стиску арболітобетона на КГВ

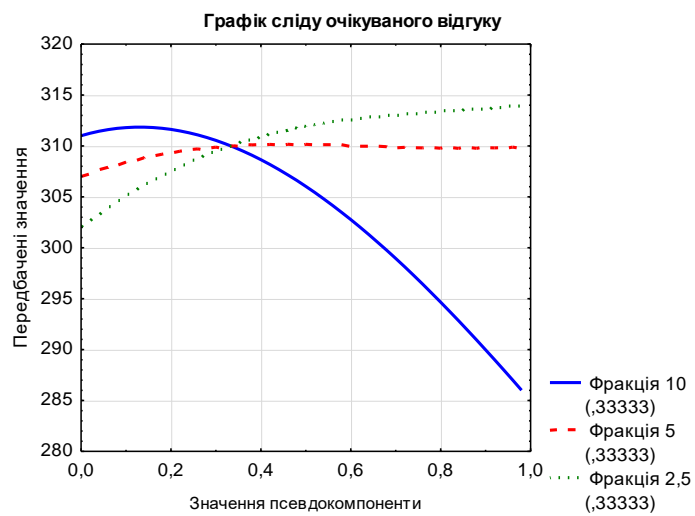
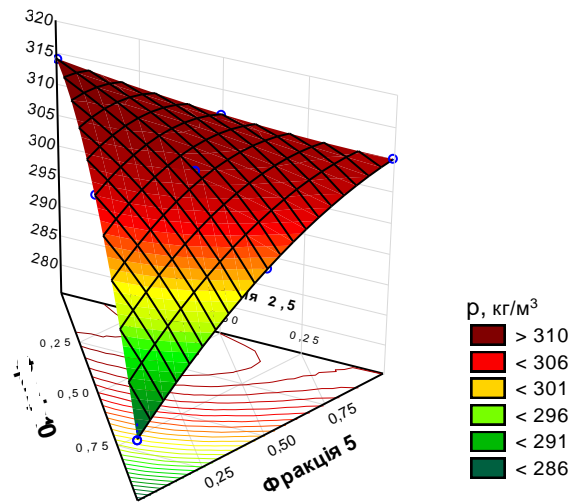
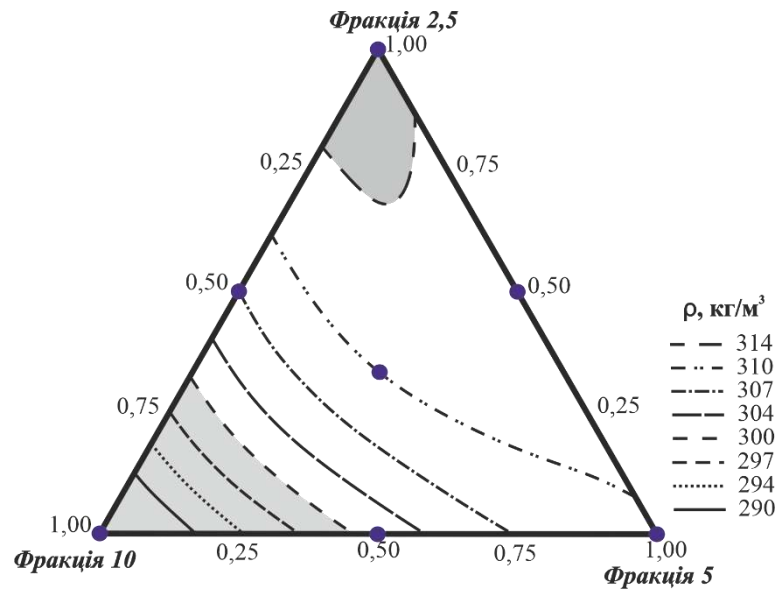


Рис. 5.6. Вплив фракційного складу органічного заповнювача на середню густину арболітобетона на КГВ

Аналіз графіків показує, що при змісті великої фракції (розміром  $\geq 10\text{мм}$ ) в кількості від 50% до 100% і змісті середньої фракції (розміром  $\geq 5\text{мм}$ ) в кількості від 0% - 50%, забезпечується значне зниження щільності - до 285 кг/м<sup>3</sup>. Вплив дрібної фракції (розміром  $\geq 2,5\text{мм}$ ) на міцність незначний.

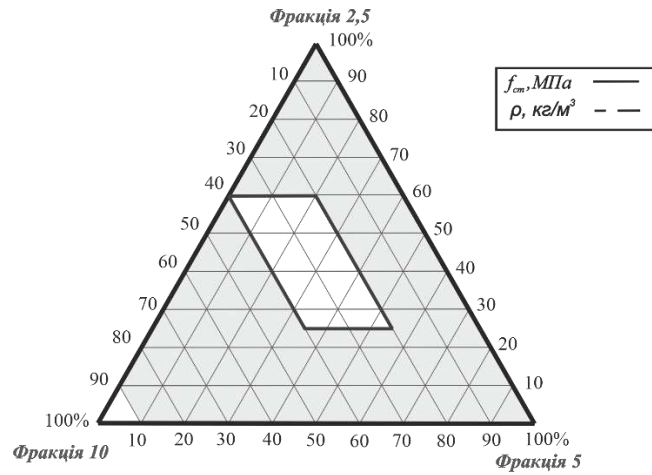
Як видно з діаграми на рис.5.5, область оптимальних фракційних складів, які забезпечують задані показники по міцності (клас міцності В0,35 і вище) для КГВ значно ширше за область в рекомендованих ДСТУ [32] межах (табл.5.11).

З діаграми на рис. 5.6, видно, що рекомендовані фракційні склади на основі КГВ, забезпечують отримання арболітобетону щільністю 300 кг/м<sup>3</sup>, що значно нижче рекомендованих ДСТУ [32] значень щільності для арболітобетону задовольняючому класу по міцності В 0,35.

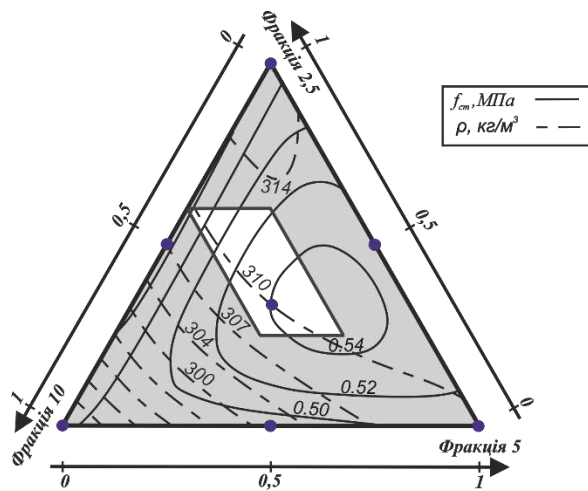
**Оптимізація фракційного складу арболітобетона.** Результати оптимізації фракційного складу органічного заповнювача проілюстровані на трикутній діаграмі (рис. 5.7).

На рис.5.7 зображена діаграма зміни  $f_{cm}^{28}$  та середньої густини арболітобетона при виконанні обох умовах оптимізаційного завдання. Максимальне значення  $f_{cm}=0,54$  МПа забезпечується наступним складом: костриця фракції 10=35%, фракції 5=35%, фракції 2,5=35%. Для цього складу  $\rho=310\text{кг/м}^3$ .

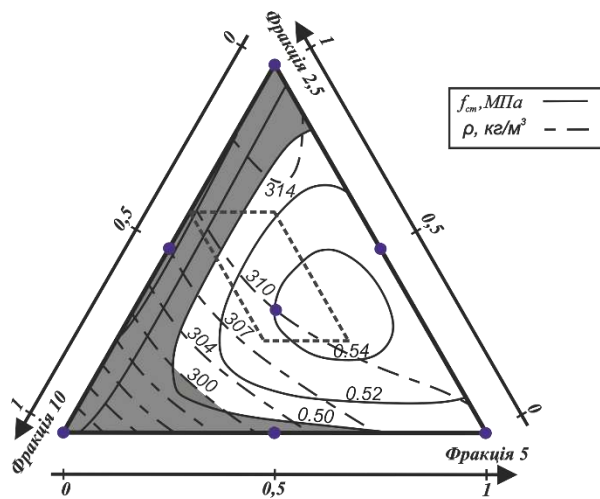
На діаграмі виділена область складів заданою міцністю і зниженій щільності 300 кг/м<sup>3</sup>, з урахуванням складу композиційного гіпсового в'язучого, фракційного складу костриці і співвідношення компонентів в системі «в'язуче-органічний заповнювач». Оптимальні склади забезпечують міцність  $f_{cm}\geq 0,5$  МПа і вище, щільністю  $\rho=300$  кг/м<sup>3</sup>, що значно нижче рекомендованих ДСТУ [32] значень щільності для арболітобетона задовольняючому класу по міцності В0,35. Область складів арболітобетона повністю відповідає вимогам ДСТУ, забезпечуючи при цьому отримання арболітобетона з поліпшеними властивостями.



а)



б)



в)

Рис. 5.7. а) діаграма області розташування фракційного складу в рекомендованих по ДСТУ межах; б-в) Область оптимальних складів по середній густині та міцності при стиску

Область складів арболітобетона обмежена відносно невеликою зоною на графіці в рекомендованих по ДСТУ межах [32] для фракцій органічного заповнювача, що істотно обмежує кількість варіантів по підборі складу при регулюванні властивостей виробу. Як видно з діаграм, істотний вплив на властивості арболітобетона робить вміст фракції 5-10мм. Збільшення вмісту цієї фракції у складі органічного заповнювача можливо на 40-60% по порівнянню з нормами ДСТУ. Оптимальні склади забезпечують клас міцності В0,35 та В0,5,  $\rho=300-312 \text{ кг/м}^3$ , що нижче нормованих значень щільності 400-450  $\text{кг/м}^3$  для вказаних класів по міцності для арболітобетона.

Таким чином, проведена оптимізація складу арболітобетона за показниками міцності і середньої щільності з урахуванням складу композиційного гіпсового в'язучого, фракційного складу органічного заповнювача і співвідношення компонентів в системі «органічний заповнювач-в'язуче». Оптимальні склади забезпечують клас міцності В0,35 і В0,5 середньою густиною 300-312  $\text{кг/м}^3$ , що на 25% нижче нормованих значень щільності по ДСТУ (400-450  $\text{кг/м}^3$ ) при В0,35 і В0,5 класах по міцності для арболітобетонів (табл. 5.8-5.9).

Область розташування оптимальних складів (рис.5.7) в рекомендованих ДСТУ значеннях і проведеної оптимізації дозволяють зробити висновок: рекомендовані склади для арболітобетонів на цементному в'язучому (рис.5.7.а) не відповідають оптимальним складам для арболітобетона на КГВ (рис.5.7.б).

Області оптимальних складів рекомендовані ДСТУ і отримані автором частково перетинаються в центрі діаграми. Таким чином, для арболітобетонів на КГВ середньою густиною 300  $\text{кг/м}^3$  можна використати не усі склади рекомендовані ДСТУ. А для складів, які забезпечують середню густину арболітобетона 500-550  $\text{кг/м}^3$  необхідно проводити індивідуальний підбір складу арболітобетона і співвідношення компонентів «органічний заповнювач-в'язуче», а саме «костриця коноплі технічної-КГВ». На підставі викладеного можна зробити висновок що зміна виду органічного

заповнювача та вмісту композиційного гіпсового в'язучого приводить до зміни показників якості арболітобетону.

Таблиця 5.8

Фракційні склади костриці які забезпечують необхідні критерії якості арболітобетона

№	Склади						Рівні властивостей	
	Г	Ц	ВМК	Фракція заповнювача			$f_{cm}^{28}$ МПа	$\rho$ кг/м <sup>3</sup>
				10	5	2,5		
1	+	+	10	40	35	25	0,52	307
2	+	+	10	20	20	60	0,51	312
3	+	+	10	20	35	45	0,53	311
4	+	+	10	20	55	25	0,53	310
5	+	+	10	40	15	45	0,5	309
6	+	+	10	35	35	35	0,53	310

Таблиця 5.9

Склади арболітобетонної суміші які забезпечують необхідні критерії якості

Умови оптим. завдання	№ складу	Склади				Рівні властивостей	
		ВМК	МКР	Воластоніт	Sika	$f_{cm}^{28}$ , МПа	$\rho$ , кг/м <sup>3</sup>
В0,35 $f_{cm} \geq 0,5$ МПа $\rho = 300-350$ кг/м <sup>3</sup>	1	15	10	Вл3	0.6	0,52	307
	2	15	10	Вл3	0.65	0,51	312
	3	10	5	Вл1+Вл3	0.8	0,53	311
	4	10	5	Вл1+Вл3	1.1	0,53	310
	5	15	10	Вл3	1.0	0,5	309
	6	10	5	Вл1+Вл3	1.1	0,53	310

### 5.2.3. Оптимізація складів та властивостей арболітобетона

Оптимізація складів та властивостей арболітобетона реалізована в процесі поетапної оптимізації складів його окремих багатокомпонентних складових частин, зокрема елементів структур різних рівнів.



Перший етап - оптимізація складів КГВ з комбінованою двокомпонентною микропуццолановою добавкою підвищеної гідравлічної активності та мікроармуючим компонентом у вигляді мікроволастоніту з різною довжиною волокон.

Другий етап - оптимізація складів модифікованого трикомпонентного органо-мінерального комплексу:

а) для підвищення властивостей КГВ;

б) для мінералізації костриці коноплі технічної, як окремої технологічної операції.

Третій етап - оптимізація фракційного складу і співвідношення фракцій костриці коноплі технічної для арболітобетона.

Загальна схема поетапної оптимізації представлена на рис. 5.8.

Фізико-хімічні дослідження, приведені в розділах 4 та 5 і аналіз отриманих показників окремих систем, розглянутих в процесі оптимізації, підтвердили сумісність застосованих компонентів [109].

Послідовна поетапна оптимізація дозволила провести поглиблений аналіз впливу на властивості арболітобетона трьох різних за масштабним показником компонентів складної дисперсної системи виду «КГВ-ПОМК-ККТ/КГВ-Фр.с. ККТ-АРБ», де: КГВ - композиційне гіпсове в'язуче, ПОМК - полікомпонентний органо-мінеральний комплекс, ККТ/КГВ – система «органічний заповнювач-в'язуче», Фр.с. ККТ - фракційний склад костриці коноплі технічної, АРБ - арболітобетон.

Як зазначено в огляді літературних джерел підвищення показників якості арболітобетона може здійснюватись багатьма способами. Автором запропоновані наступні технологічні прийоми, які забезпечили підвищення міцності і щільності арболітобетона: збільшений вміст КГВ і застосовано вібропресування. В результаті отримані блоки арболітобетона:  $\rho=400-450\text{кг/м}^3$ ; клас по  $f_{cm}$  - B0,75;  $f_{cm}=0,95$  МПа, та середньою густиною  $\rho=500-550\text{кг/м}^3$ ; клас по  $f_{cm}$  – B1;  $f_{cm}=1,3$  МПа.

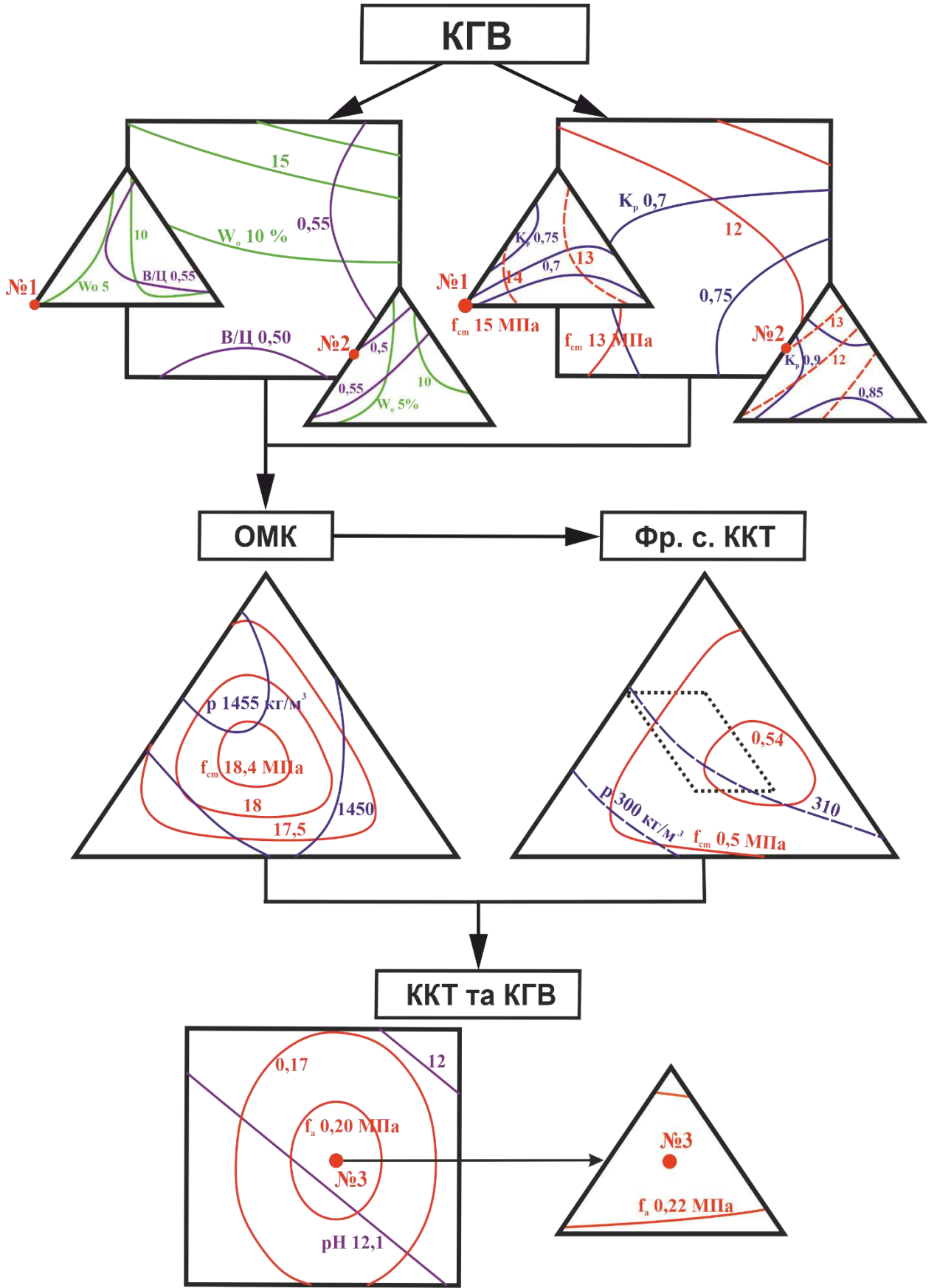


Рис. 5.8. Результати об'єднання основних етапів оптимізації по ЕС моделями

В якості мінералізатора застосован модифікований органо-мінеральний комплекс. Мінералізація костриці коноплі проводилася нанесенням ПОМК методом розпилення на поверхню органічного заповнювача. Для забезпечення максимальної водостійкості арболітобетонні блоки оброблялися поверхневим гідрофобизатором White.

На етапі експериментального впровадження застосовані наступні способи активації рекомендованих оптимальних складів, для підвищення водостійкості, міцності та інших властивостей КГВ.

На підставі аналізу і узагальнення викладеного можна припустити, що одним з процесів, який забезпечує прискорення схоплювання і підвищення  $f_{cm}$ , є застосування хімічної активації, яка полягає в підвищенні рН середовища. Введення лужних гідрофобизаторів та ПОМК, залежно від їх змісту, підвищує рН до 12,1-12,5. В даному випадку вапно і деякі сульфатні солі ( $Na_2SO_4$ ,  $NaHSO_4$ ,  $K_2SO_4$ ,  $FeSO_4$ ) виконують роль активаторів тверднення композиційних гіпсомістких в'язучих і сприяють поліпшенню властивостей за рахунок створення лужного середовища. Ще Волженский А.В. відмічав [21], що вирішальну роль в процесі гідратації мінералів відводиться лужному середовищу. Також збільшена міра тиску пресування в два рази (рис. 5.9).

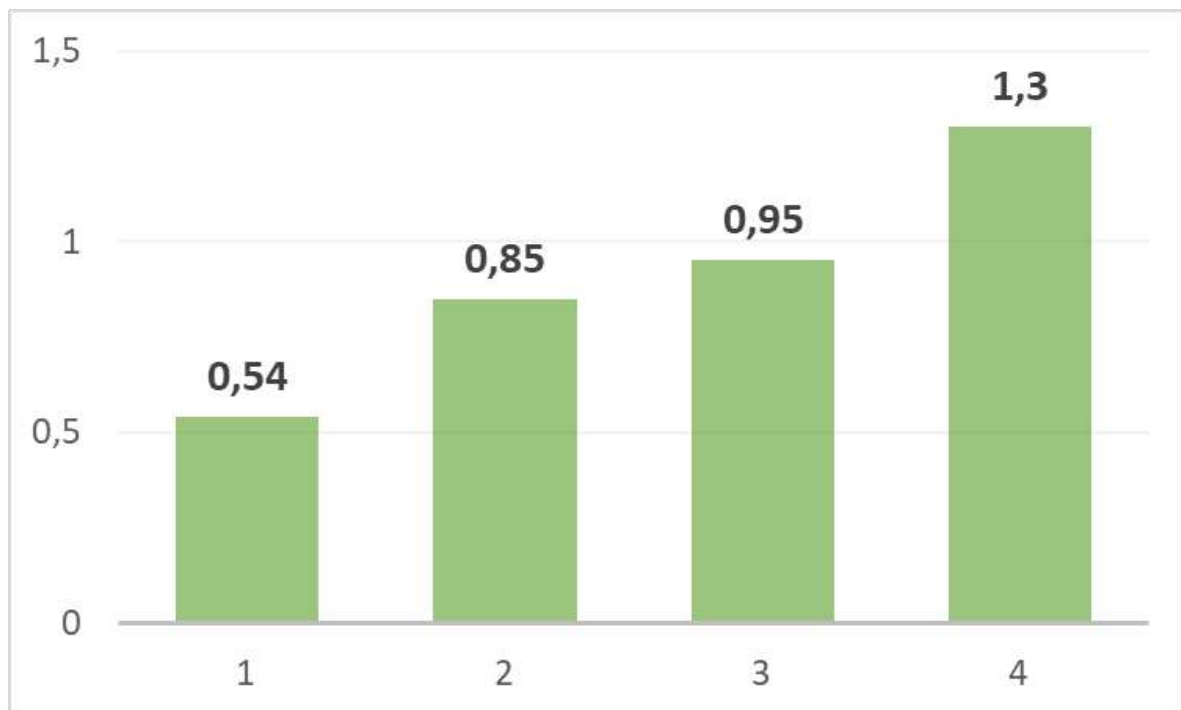
В результаті використання перелічених вище методів, отримано арболітобетон на КГВ середньої густини 450-500 кг/м<sup>3</sup> і міцністю на стиск 0,75-1,3 МПа, тобто класу В0,75 та В1.0 (табл. 5.10).

Проведена поетапна оптимізація складів арболітобетона: з урахуванням розробленого оптимального складу модифікованого композиційного гіпсового в'язучого, розробленого трьох компонентного органо-мінерального модифікатора, оптимального фракційного складу 1:1:1 органічного заповнювача та оптимального співвідношення компонентів 1:1,5 в системі «органічний заповнювач-в'язуче». Рекомендовано склади, які забезпечують наступні рівні критеріїв якості стінних блоків: класи по  $f_{cm}$  – В0,35, В0,75, В1, середньої густини  $\rho=300-500$  кг/м<sup>3</sup>, теплопровідністю  $\lambda=0,06-0,10$ Вт/м·К.

Таблиця 5.10

Рекомендовані склади арболітобетона на КГВ.

№ ПП	Основні компоненти складів					Властивості арболітобетона					
	КГВ	ОМК	ФС ККТ	ККТ КГВ	d, МПа	f <sub>ст</sub> , МПа	ρ кг/м <sup>3</sup>	λ Вт/м <sup>°С</sup>	f <sub>a</sub> МПа	pH	B
1	+	+	1:1:1,5	1:1,5	0,2	0,50	300	0,07	0,17	12	0,35
2	+	+	—  —	1:1,5	0,2	0,52	307	0,07	0,19	12,1	0,35
3	+	+	—  —	1:1,5	0,2	0,54	310	0,08	0,22	12,5	0,35
4	++	+	—  —	1:2	0,4	0,85	467	0,1	0,19	12	0,75
5	++	+	—  —	1:2	0,4	0,95	507	0,1	0,19	12	0,75
6	++	+	—  —	1:2	0,4	0,96	521	0,13	0,20	12,3	0,75
7	++	+	—  —	1:2	0,6	1,3	570	0,15	0,25	12,5	1,0



1- dп=0,2 МПа; ККТ/КГВ=1:1,5

2- dп=0,2 МПа; ККТ/КГВ=1:2,0

3- dп=0,6 МПа; ККТ/КГВ=1:1,5

4- dп=0,6 МПа; ККТ/КГВ=1:2,0

Рис. 5.9. Вплив тиску пресування зразків та співвідношення ККТ/КГВ на міцність при стиску арболітобетона

### 5.3. Екологічність, енергозбереження та пожаростійкість стінних виробів з арболітобетона

Сучасний рівень будівництва пред'являє дуже високі вимоги в частині підвищення теплозахисту, енергозбереження і екологічності будівель. Можливі два шляхи підвищення комфортності проживання людини - підвищення енергоозброєності житла і енергозбереження. Директивою ЄС про декарбонізацію передбачається зростаючі штрафи за викиди CO<sub>2</sub> в атмосферу, а заявою старанного віце-президента Єврокомісії Франса Тиммерманса від 08.07.2020г. представлені і запропоновані дві стратегії розвитку у сфері енергетики. Перша стратегія-перемикання енергетики з вуглеводневих на чисті джерела. Вона охоплює як сферу виробництва енергії, так і сферу споживання, зокрема відмова від споживання енергії від вуглеводневих джерел. Другим стратегічним напрямом енергозбереження є поступовий і повний перехід на водневу енергетику, засновану на холодному синтезі. Актуальним стратегічним напрямом так само є напрям, контролюючий екологічність матеріалів [33,58-60]. Розробка сучасних утеплювачів, теплоізоляційних матеріалів і гідрофобизаторов, які дозволяють зберегти теплотехнічні властивості виробів в умовах екологічних дій, так само є актуальним напрямом будівельної галузі [70,84,94,110].

Ці стратегії вже зараз підтримуються економічними заходами для якнайшвидшого вирівнювання кліматичної ситуації на Землі.

До пріоритетних напрямів відносяться [117,121-124]:

- нові екологічно чисті теплоізоляційні матеріали;
- енергоефективні технології перетворення енергії в побутові потреби;
- поступовий перехід на водневу енергетику;
- ефективне використання поновлюваних джерел енергії і акумуляторів.

Енергозбережний підхід — це завжди економічно обгрунтований комплекс заходів в різних напрямках [125-129], а саме:

- застосування гідрофобизаторов для збереження теплотехнічних характеристик конструкцій, що захищають;
- відхід від фенолформальдегідних клеїв у виробництві мін вати;
- застосування екологічно чистих арбалитобетонних утеплювачів з натуральними поновлюваними заповнювачами;
- застосування сонячних панелей, ветро-, волно-, і гідроенергоустановок з системами акумуляції;
- застосування теплових акумуляторів в системах водяного і повітряного теплопостачання у поєднанні з системами рекуперації;
- енергозберіжний архітектурно-дизайнерський підхід в проектуванні і реконструкції будівель;
- застосування енергозберіжного скління;
- повсюдне використання світлодіодного освітлення;
- використання автономних когенераційних установок;
- адсорбційні технології перетворення тепла в холод.

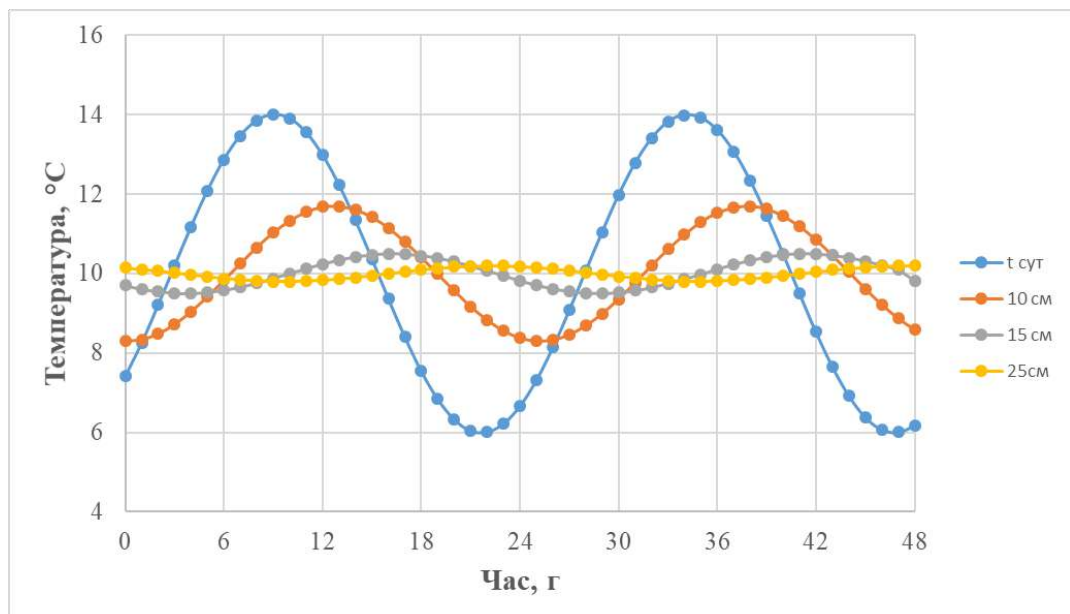


Рис. 5.10. Зміна середньодобової температури усередині приміщення з арбалитобетонних блоків залежно від їх товщини

Розробка композиційних матеріалів з полішеними теплоізоляційними властивостями і їх широке застосування у будівництві в умовах економії теплоенергетичних ресурсів мають у край важливе значення. Цим вимоги великою мірою відповідають сучасні композиційні матеріали на органічних заповнювачах. Виробництво таких композиційних матеріалів повною мірою відповідає вимогам сучасного малоповерхового будівництва.

Завдяки отриманій структурі арболітобетону з низьким коефіцієнтом теплопровідності  $\lambda \leq 0,07$  Вт/м·К (рис. 5.10.) і з підвищеною міцністю рекомендованих для виготовлення теплоізоляційних виробів для малоповерхового будівництва [129-131].

Сучасний арболітобетон відрізняються високими показниками по вогнестійкості. Відповідно до ДБН В.1.1-7-2016 усіх будівельних матеріалів класифікують за такими показниками пожежної небезпеки: горючістю, займистістю, поширенням полум'я поверхнею, димоутворювальною здатністю та токсичністю продуктів горіння. Будівельні матеріали, віднесені до негорючих, за іншими показниками пожежогнебезпеки не поділяють. За горючістю будівельні матеріали поділяють на негорючі (НГ) та горючі (Г) відповідно до ДСТУ Б В. 2.7-19:

- по рівню їх горючості: низької горючості («Г1»), помірної горючості («Г2»), середньої горючості («Г3») і підвищеної горючості («Г4»);
- по рівню займистості: труднозаймисті («В1»), помірно- («В2») та легкозаймисті («В3»);
- за поширенням полум'я поверхнею : що не поширюють («РП1»), слабо- («РП2»), помірно- («РП3») та сильнопоширюючі («РП4»);
- залежно від сили димоутворення: з малою («Д1»), з помірною («Д2») та високою здатністю («Д3»);
- по рівню шкідливості продуктів горіння, які виділяються при пожежі: малонебезпечні («Т1»), помірно- («Т2»), високо- («Т3») та надзвичайно небезпечні («Т4»).

За основою цієї класифікації арболітобетон, як матеріал, відрізняється слабкою горючістю (Г1), трудно займається (В1) і не поширює полум'я (РП1). У зв'язку з цим характеристики по рівню небезпеки продуктів горіння, що виділяються, у арболітобетона немає: цей матеріал не підтримує горіння впродовж 1,5-3 годин в середньому. В цей час він просто тліє, даючи можливість загасити пожежу. Усе залежить від зовнішньої обробки будови: саме вона може стати причиною займання, скоротивши або збільшивши термін втрати здатності, що несе, у арболітобетонних конструкцій.

Наприклад, у разі зовнішньої обробки будинку з арболітобетона штукатуркою з цементно-піщаної суміші і при товщині його стін в 30 см і більше, міра стійкості будівлі до вогню відповідатиме 2-у рівню. При цьому рівні межа вогнестійкості (R) для стін, що несуть, складатиме не менше 90 хвилин.

Рівень вогнестійкості будівельних конструкцій буває і першому ступеню, але за умови, що:

- показник втрати здатності «R», що несе їх, при пожежі перевищує нормативних 120 хвилин;

- крім того, такий будинок одночасно повинен мати клас конструктивної пожароопасности не нижче С0, а клас пожежної небезпеки будконструкцій - К0. Тобто, будова не має бути взагалі пожежонебезпечною (це найбезпечніші будови).

Причому, без випробувань клас К0 можна встановити тільки для будівель, зведених повністю з матеріалів групи НГ. А арболітобетон є слабо горючим (Г1). Звичайно, підвищити міру вогнестійкості арболитової будівлі не складе труднощів - шляхом скорочення, наприклад, штукатурного шару до 2 см. За рахунок цього зросте стійкість несучих арболитових конструкцій перед вогнем - і показник R буде 120 і навіть більше. Але і при такому рівні вогнестійкості стіна з арболитових блоків все одно не отримає автоматично характеристики С0 і К0.



У результаті без випробувань, наприклад, обштукатурене цементно-піщаною сумішшю арболітобетонна споруда, товщина стін якого перевищує 30 см, матиме 2-у міру стійкості до вогню, а клас конструктивної його пожежної стійкості - С1.

Варто відмітити, що рівень конструктивної пожежонебезпеки визначається «активністю» участі конструкцій будівлі в розвитку пожежі і в утворенні його небезпечних чинників. Тому важливо з чого побудований будинок і чим він оброблений. Але у випадку арболітобетону найважливіше, чим фанерована споруда.

Що стосується додаткового захисту будинку з арболітобетона від вогню, то при його зведенні слід дотримуватися, зокрема, ДБН Б.2.2-12:2018 «Планування і забудова територій», який регулює планування і забудову земельних ділянок. Так, на його основі (п.15.2 розділу 15) мінімальна протипожежна відстань між будинками коливається від 6 до 18 м один від одного - залежно від того, з яких матеріалів виготовлені сусідні будинки.

Таким чином, серед безлічі сучасних композиційних матеріалів арболітобетон на органічному дешевому і легко поновлюваному заповнювачі у вигляді костриці коноплі технічної та композиційному гіпсовому в'язучому яке відрізняється мінімальними викидами  $\text{CO}_2$  в процесі приготування  $\text{Ca}_2\text{SO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , може бути віднесений до найбільш екологічно чистим, економічно вигідним матеріалам для індивідуального і сільськогосподарського будівництва.

#### **5.4. Технологічна схема виробництва арболітобетона на КГВ**

У виробничих умовах число компонентів і вид добавок вибирають виходячи з конкретних умів: якості органічного заповнювача, призначення і умів експлуатації виробів і конструкцій. Технологія арболіта в основному включає ті ж операції, що і технологія звичайного бетону на пористих

заповнювачах. Проте органічний целюлозний заповнювач як специфічний матеріал вносити свої корективи в усі технологічні операції.

Технологічний процес виготовлення арболітобетонних виробів і конструкцій у більшості діючих цехів складається з наступних переділів: дроблення і підготовка заповнювача по гранулометричному складу, обробка заповнювача, дозування компонентів арболітобетона, приготування арболитової суміші, укладання її у форми і ущільнення, термообробка відформованих виробів, визрівання при плюсових температурах, транспортування виробів на склад.

Розроблена технологія виробництва теплоізоляційних блоків арболітобетона на основі костриці коноплі.

Технологічна схема складається з наступних етапів:

Етап 1. Підготовка сировини. На цьому етапі відбувається візуальний огляд і відсіювання заповнювача.

Етап 2. Приготування добавок з водою.

Етап 3. Перемішування добавок з водою з костриці і витримки на 15-20 хвил для кольматації пір органічного заповнювача.

Етап 4. Перемішування компонентів. Відбувається перемішування усіх компонентів в обов'язковій послідовності для подальшого надання кінцевому матеріалі міцності і водостійкості.

Етап 5. Формування виробів. Сировинна маса укладається у форми з трамбуванням і після закінчення схоплювання проводиться розпалубили готових виробів, чищення, підготовка форм в нову партію і процес повторюється.

Ця технологія найбільш проста для реалізації і може отримати більше поширення на малих підприємствах і приватних фірмах. Нижче приведень опис технологічної лінії виготовлення арболитових блоків на основі костриці коноплі.

Виробництво арболитових блоків на основі костриці коноплі включає наступні відділення:

- 1) склад костриці коноплі і компонентів;
- 2) формувальна ділянка;
- 3) сушарна ділянка для набору міцності блоків;
- 4) склад готової продукції.

Для зберігання костриці коноплі використовуються закриті не опалювані складські приміщення з активним вентиляванням. Костриця коноплі може використовуватися після висушування в полі.

Технологічна схема виробництва арболітобетонних блоків для стін малоповерхового будівництва представлена на рис. 5.11.

Костриця коноплі з бункера по гвинтовий конвеєр (живильники) подається на фракціонування. Отриманою сумішшю заповнюються металеві форми. Мастило форм машинною олією робиться на конвеєрі повернення. На майданчику з відміткою +2,00 м над конвеєром повернення встановлений бак з машинною олією, з розпилувачем. Пуансоном формувальної установки маса ущільнюється і розрівнюється за формою. Потім стрічковим конвеєром форма подається до пресу, де робиться укладання згори паперу, пресування блоків з фіксацією верхньої кришки форми. Далі розподільним пристроєм і завантажувальним транспортером форми доставляються в понижувач, де робиться завантаження їх на сушарні вагонетки консольним рольганги. Надлишок сполучної, що утворюється при формуванні, збирається в лоток, який знаходиться під формами і подається у бак повернення в'язучого. Сушка і тверднення блоків здійснюється в спеціальному приміщенні - сушарці, що складається з двох кімнат. Година сушки 24 години в природному стані, при температурі 18-24°C. Металеві форми з твердими блоками розвантажують і подають на ту, що розпалубила прес-виштовхувач. Розпалублені вироби направляють в місця укладення блоків в контейнери. Розібрані форми повертаються до формувальної установки. Паралельно проводиться чищення, мастила форм і укладання на дно паперу. У кінці зміни проводять промивання устаткування від в'язучого.

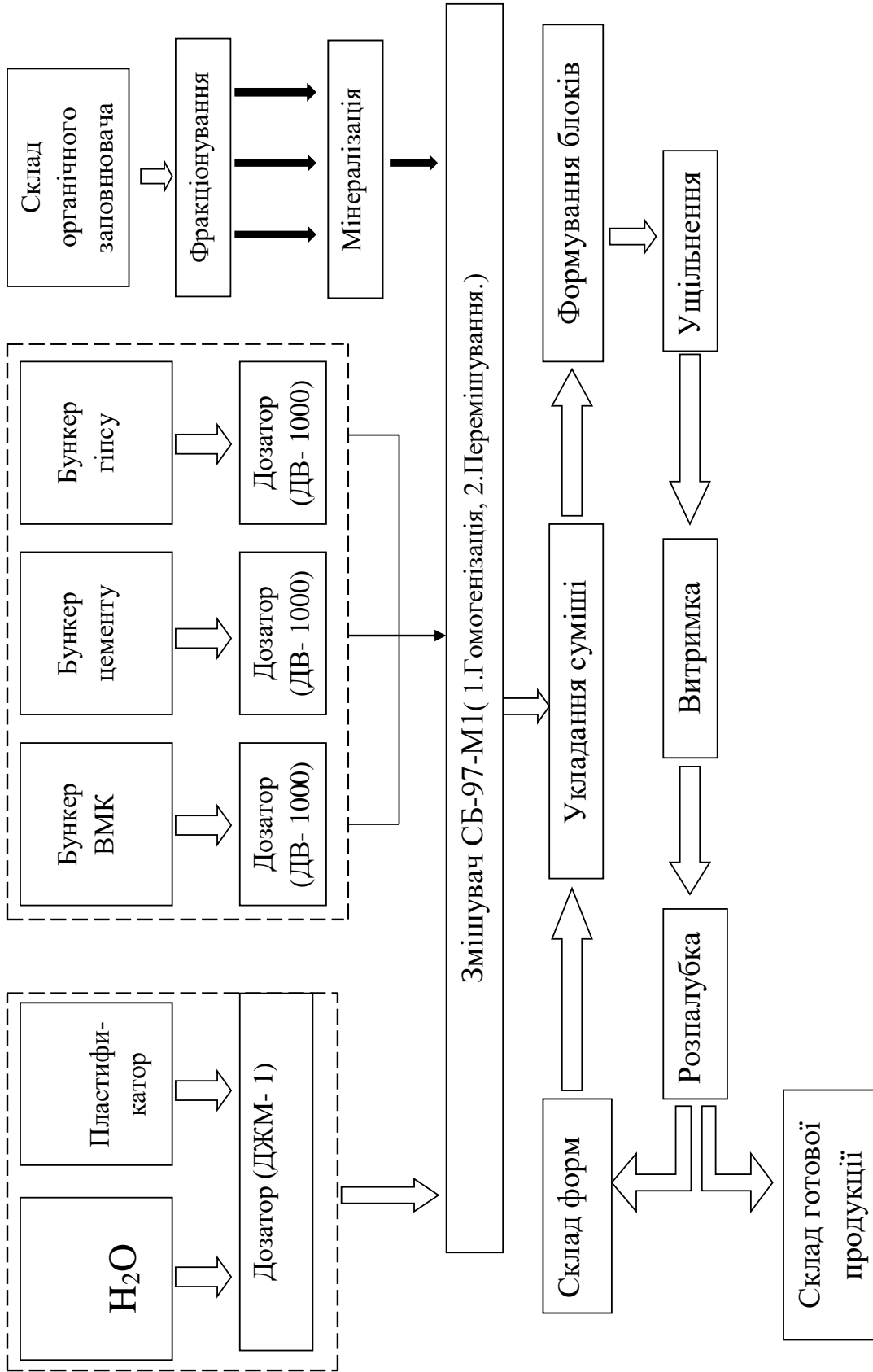


Рис.5.1.1. Технологічна схема виробництва арболитобетонних блоків.

### 5.5. Техніко-економічний розрахунок виробництва арболітобетона на КГВ

З метою зіставлення витрат і розрахунку собівартості виробництва аболітобетона на основі костриці коноплі в роботі приведені порівняльні дані матеріальних і енергетичних витрат на виробництво газобетону.

Цех по виробництву аболітобетонних блоків з костриці коноплі має продуктивність 5 тис.м<sup>3</sup> в рік. Початкові дані представлені в таблиці 5.11:

Таблиця 5.11

#### Початкові дані

Вид виробу	блоки
Кількість в 1 м <sup>3</sup>	30
Продуктивність в зміну, м <sup>3</sup>	19
Продуктивність в зміну, шт.	570
Середня густина газобетону, кг/м <sup>3</sup>	400
Середня густина арболітобетона, кг/м <sup>3</sup>	300-500
Кількість робочих днів в місяці	22

Витрата матеріалів на 1 м<sup>3</sup> газобетону та арболітобетона на кострі коноплі приведена в таблиці 5.12:

Таблиця 5.12

#### Витрата матеріалів на 1 м<sup>3</sup>

Газобетон на кварцевому піску		Арболітобетон на кострі коноплі	
Сировина	Кількість, кг	Сировина	Кількість, кг
Цемент	260	Гіпс	303,3
Пісок	167	Цемент	80,7
Вапно	26	ВМК	8,1
Газоутворювач	0,69	МКР	4
		Мікроластоніт	8
		Рідке скло	8,7
		Sika 520	5,8
		White	5,8
		Костриця коноплі	175

Таблиця 5.13

## Витрата і вартість сировини на річну програму 2020 в рік

Найменування	Од. вим.	Кількість	Ціна за одиницю грн.	Вартість млн.грн.
Арболітобетон на основі костриці коноплі				
Гіпс	т	1521,35	1165	1.772
Цемент ПЦ 500 Д0	т	404,79	2720	1.101
ВМК	т	40,63	5380	0.219
МКР	т	20,06	1823,98	0.037
Мікроволастоніт	т	40,13	5620	0.226
Рідке скло	т	43,64	3895	0.170
Sika 520	т	29,09	34200	0.995
White	т	29,09	-	-
Костриця коноплі	т	877,8	1800	1.580
Разом				6.099
Допоміжні матеріали 3% від всього				0.183
Всього				6,282
Газобетон на кварцевому піску				
Портландцемент ПЦ 400	т	1304,16	2720	3.547
Кварцевий пісок	т	897,67	2500	2.244
Вапно	т	130,42	3700	0.483
Газоутворювач	т	3,461	170000	0.588
Разом				6.862
Допоміжні матеріали 3% від всього				0,206
Всього				7,068

Розрахунок витрат та вартості енергоносіїв складається з кількості часу роботи устаткування і вартості 1кВт електроенергії, кількості споживання води та її вартості за 1 м<sup>3</sup>.

Нижче приведені витрати і вартість енергоресурсів на виробництво арболітобетона на кострі коноплі та газобетону на кварцевому піску (таблиця. 5.14).

Фонд заробітної плати - об'єм грошових коштів, з якого здійснюється оплата праці співробітникам підприємства. Цей показник впливає на собівартість продукції, тобто на доходність. Витрати на оплату праці наведені в таблиці 5.15.

Таблиця 5.14

## Витрата і вартість енергоресурсів

Найменування енергоресурсів	Од. вим.	Кількість	Ціна за одиницю, грн.	Вартість млн. грн.
Арболітобетон на костриці коноплі технічної				
Електроенергія	МВтч	46,147	692,46	0,032
Водопостачання	м <sup>3</sup>	17043	14,472	0,247
Каналізація	м <sup>3</sup>	407,6	12,252	0,005
Разом:				0,284
Газобетон на кварцевому піску				
Електроенергія	МВтч	148,975	692,46	0,103
Водопостачання	м <sup>3</sup>	14032	14,472	0,203
Каналізація	м <sup>3</sup>	407,6	12,252	0,005
Разом:				0,311

Таблиця 5.15

## Витрати на оплату праці

Показники	Од. вим.	Значення
Чисельність усього, в т.ч.:		
- робітники	чол.	6
- ИТР і службовці	чол.	3
Середня з/п: робітників, ИТР та службовців	грн./місяць	8500
Витрати на оплату праці:		
- робітників	млн. грн.	0,396
- ИТР і службовців	млн. грн.	0,198
Всього:		0,594

Амортизаційні відрахування - це відрахування, призначені для відшкодування вартості зношеній частині основного капіталу, оскільки з часом капітал поступово «робиться непридатним», його необхідно поновлювати у вигляді нових капіталовкладень.

Витрати на виробництво товарної продукції (собівартість) приведені в таблиці 5.17.

Таблиця 5.16

## Амортизація основних фондів

Показники	Од. вим.	Значення
Основні фонди, усього в т.ч.:		
-будівлі і споруди	млн. грн.	3,168
-устаткування		4,164
Середній % амортизації:		
-будівлі і споруди	%	3,5
-устаткування		12,5
Сума амортизації :		
-будівлі і споруди	млн. грн.	0,1104
-устаткування		0,516
Всього:		0,626

Таблиця 5.17

## Собівартість продукції

Найменування показників	Значення, млн.грн.
Арболітобетон на кострі коноплі	
Матеріальні витрати:	
-сировина і матеріали	6,282
-енергоресурси	0,284
Витрати на оплату праці	0,594
Відрахування податку на доходи фізичних осіб, 18% (від витрат на оплату праці)	0,107
Відрахування на військовий збір, 1,5% (від витрат на оплату праці)	0,01
Амортизаційні відрахування	0,626
Всього:	7,277
Газобетон на кварцевому піску	
Матеріальні витрати:	
-сировина і матеріали	7,068
-енергоресурси	0,311
Витрати на оплату праці	0,594
Відрахування податку на доходи фізичних осіб, 18% (від витрат на оплату праці)	0,107
Відрахування на військовий збір, 1,5% (від витрат на оплату праці)	0,01
Амортизаційні відрахування	0,626
Всього:	8,09



Виробнича собівартість річної продукції з арболітобетона на кострі коноплі складає 7,277 млн.грн. при продуктивності 5015 м<sup>3</sup> в рік. Середня вартість отриманого арболітобетона на основі МКГВ та кострі коноплі технічної - 1451 грн./м<sup>3</sup>, ринкова вартість газобетонних блоків - 1613 грн./м<sup>3</sup>, пінобетонних блоків - 1520 грн./м<sup>3</sup> на 2020 рік.

### **Висновки за розділом 5**

1. Проаналізовано особливості виробництва арболітобетона на композиційному гіпсовому в'язучому.

2. Проведена оптимізація полікомпонентного органо-мінерального комплексу по ЕС моделям, по показникам міцності та щільності. Органо-мінеральний комплекс який включає гідрофобізатор White, суперпластифікатор Sika 520, та лучний компонент використан для мінералізації КГВ та костриці коноплі технічної. Показаний що, розроблений органо-мінеральний комплекс, який застосований в якості мінералізатора костриці коноплі, забезпечує захист від проникнення лігнінів та цукрів з костриці до в'язучого. Мінералізація сприяє нормальній гідратації в'язучого і не знижує терміни схоплювання, покращує якість виробів.

3. Проведен вибір оптимального співвідношення в системі «органічний заповнювач-в'язуче» кількості органічного заповнювача та композиційного гіпсового в'язучого. Показано, що оптимальним є співвідношення «органічний заповнювач-в'язуче» рівне 1:1,5. Такий склад забезпечує отримання арболітобетона щільністю 300 кг/м<sup>3</sup>, міцністю при стиску не менше 0,5 МПа.

4. Проведена оптимізація фракційного складу органічного заповнювача для арболітобетона за показниками міцності та середньої щільності по ЕС моделям. Оптимальні склади забезпечують отримання арболітобетону міцністю на стиск  $f_{ct} \geq 0,5$  МПа щільністю 300 кг/м<sup>3</sup>.

5. Послідовна поетапна оптимізація дозволила провести поглиблений

аналіз впливу на властивості арболітобетона трьох різних за масштабним показником компонентів складної дисперсної системи виду «КГВ-ПОМК-ККТ/КГВ-Фр.с. ККТ-АРБ», де: КГВ - композиційне гіпсове в'язуче, ПОМК - полікомпонентний орґано-мінеральний комплекс, ККТ/КГВ – система «орґанічний заповнювач-в'язуче», Фр.с. КК - фракційний склад костриці коноплі технічної, АРБ - арболітобетон. Використання технологічних прийомів, таких як збільшення вмісту КГВ та застосування додаткового вібропресування, забезпечує підвищення міцності та щільності арболітобетона. Рекомендовано склади, які забезпечують наступні рівні критеріїв якості стінних блоків: класи по  $f_{cm}$  – В 0,35, В 0,75, В1, середньої густини  $\rho=300-500$  кг/м<sup>3</sup>, теплопровідністю  $\lambda = 0,06-0,10$ Вт/м·К.

6. За своїми експлуатаційними і техніко-економічними показниками малоповерхове будівництво з арболітових блоків не має собі рівних, при зведенні будинків з такого матеріалу повітря в приміщенні зберігає екологічність, тепло-та звукоізоляцію, сухість і свіжість. Розробка композиційних матеріалів з поліпшеними теплоізоляційними властивостями і їх застосування у будівництві в умовах економії теплоенерґетичних ресурсів мають у край важливе значення. Цим вимогам відповідає арболітобетон на композиційному гіпсовому в'язучому та орґанічному заповнювачі у вигляді костриці коноплі технічної. За показниками вогнестійкості арболітобетон відноситься до матеріалів зі слабкою горючістю, трудно займистім та тим, що не поширюють полум'я. Таким чином, серед безлічі сучасних композиційних матеріалів арболітобетон на орґанічному дешевому і легко поновлюваному заповнювачі у вигляді костриці коноплі технічної та композиційному гіпсовому в'язучому яке відрізняється мінімальними викидами CO<sub>2</sub> в процесі приготування Ca<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>O, може бути віднесений до найбільш екологічно чистих, економічно вигідних матеріалів для індивідуального і сільськогосподарського будівництва.

7. Розроблена технологічну схему виробництва теплоізоляційних арболітобетонних блоків для внутрішнього і зовнішнього застосування в

малоповерховому будівництві. Технологічна схема складається 5 етапів. Технологія проста для реалізації і може отримати більше поширення на малих підприємствах та приватних фірмах. Для зберігання костриці коноплі ефективними є складські приміщення з арболітобетонів не опалювані з активним вентиляванням.

8. Виробнича собівартість річної продукції з арболітобетона на кострі коноплі складає 7,277 млн.грн. при продуктивності 5015 м<sup>3</sup> в рік. Середня вартість отриманого арболітобетона на основі МКГВ та костриці коноплі технічної - 1451 грн./м<sup>3</sup>, ринкова вартість газобетонних блоків - 1613 грн./м<sup>3</sup>, пінобетонних блоків - 1520 грн./м<sup>3</sup> на 2020 рік. Випущена дослідна партія об'ємом 60м<sup>3</sup> стінних блоків на підприємстві ТОВ «Consulting Engeneering» м. Києва яка була використана у облаштуванні стінових перегородок при будівництві технічної споруди на території підприємства із заданим замовником температурним режимом.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Теоретично обґрунтовано і експериментально підтверджено можливість одержання теплоізоляційних арболітобетонів на органічному заповнювачі костриці коноплі технічної, композиційному гіпсовому в'язучому, модифікованому комбінованою двокомпонентною мікропуццолановою добавкою підвищеної гідравлічної активності, армуючою добавкою мікроволастоніта та полікомпонентним органічно-мінеральним комплексом, який включає суперпластифікатор, гідрофобізатор нового покоління та суміш лужних компонентів, що дозволило підвищити деформаційні, біофізичні, гідрофізичні та адгезійні властивості арболітобетонів для зовнішнього та внутрішнього застосування.

2. Розроблено оптимальні склади композиційного гіпсового в'язучого для арболітобетона на органічному заповнювачі костриці коноплі технічної. Проведено дослідження взаємовпливу двох видів мікропуццоланових добавок підвищеної гідравлічної активності високоактивного метакаоліну та мікрокремнезему, армуючої добавки мікроволастоніта і суперпластифікатора Sika 520. Взаємовплив добавок супроводжується загальним поліпшенням властивостей. Показано позитивний вплив мікроволастоніта на міцність на розтяг при згині:  $f_{ctfm}$  з 4 до 6,8 МПа тобто у 1,7 раза при міцності при стиску 15 МПа, тріщиностійкість -  $0,88 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{1/2}$ , та мікротвердість по Брінелю 3,5НВ. Взаємовплив добавок супроводжується поліпшенням: водостійкості  $K_p=0,85-0,92$ ;  $\rho=1400 \div 1450 \text{ кг/м}^3$ ; водопотреба складає 0,55-0,60;  $W_m=1-8\%$ ;  $P_{відк}=1-15\%$ .

3. Проведена оцінка властивостей арболітобетона: адгезійна міцність  $f_a=0,17 \div 0,22 \text{ МПа}$ , середня густина  $\rho=300 \div 500 \text{ кг/м}^3$ ; міцність при стиску  $f_{cm}=0,53 \div 0,95 \text{ МПа}$ . Проведена оцінка додаткових показників якості арболітобетона: теплопровідність  $\lambda \geq 0,06-0,10 \text{ Вт/м} \cdot \text{К}$ , звукоізоляція - 38 дБ, що нижче норми на 37%. Результати фізико-хімічних досліджень показали формування рівномірно розподілених нанокристалічних утворень у

мікроструктурі в'язучого та на поверхні органічного заповнювача. Показана можливість підвищення біостійкості арболітобетона шляхом введення колоїдного срібла в кількості 2% від маси мікрокремнезему, що забезпечує високу біостійкість арболітобетону.

4. Розроблено та проведена оптимізація складу полікомпонентного органо-мінерального комплексу, який містить гідрофобізатор нового покоління White, суперпластифікатор та суміш лужних компонентів. Показано доцільність застосування полікомпонентного органо-мінерального комплексу окремо як для модифікації композиційного гіпсового в'язучого так і для мінералізації костриці коноплі технічної. Застосування полікомпонентного органо-мінерального комплексу забезпечує приріст міцності модифікованого композиційного гіпсового в'язучого на 25% - з 15 до 18,5 МПа; за рахунок створення лужного середовища у арболітобетонній суміші з  $pH = 12-12,1$  і наявності в складі органо-мінерального комплексу колоїдного срібла забезпечується підвищення біостійкості арболітобетона.

5. Проведена поетапна оптимізація складів арболітобетона: розроблено оптимальний склад модифікованого композиційного гіпсового в'язучого, розроблено та оптимізовано склад полікомпонентного органо-мінерального комплексу, підібрано оптимальний фракційний склад органічного заповнювача та оптимальне співвідношення компонентів в системі «органічний заповнювач-в'язуче». Рекомендовано склади, які забезпечують наступні рівні критеріїв якості стінних блоків: класи по  $f_{cm}$  – В 0,35, В 0,75, В1, середньої густини  $\rho=300-500$  кг/м<sup>3</sup>, теплопровідністю  $\lambda=0,06-0,10$ Вт/м·К.

6. Розроблено технологічна схема виробництва арболітобетонної суміші та стінних блоків для внутрішнього та зовнішнього застосування. Випущена дослідна партія об'ємом 60м<sup>3</sup> стінних блоків на підприємстві ТОВ «Consulting Engeneering» м. Києва, яка була використана при будівництві технічної споруди на території підприємства. Проведено впровадження в навчальний процес Одеської державної академії будівництва та архітектури

при підготовці здобувачів вищої освіти ступеня магістр по спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія».

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Айлер Р. Химия кремнезема. М.: Мир. 1982. 1543 с.
2. Айрапетов Г.А., Панченко А.И., Несветаев Г.В., Нечушкин А.Ю. Многокомпонентное бесклинкерное водостойкое гипсовое вяжущее. Строительные материалы, 1996. № 1. С. 28-29.
3. Ахвердов И.Н. Основы физики бетона. М.: Будвидав, 1981. 464 с.
4. Ашкенази Е.К. Анизотропия древесины и древесных материалов. М.: Лесная пром-ть, 1978. 224 с.
5. Бабушкина Н.И. Жидкое стекло в строительстве. Кишинев.: Карты Молдовеняскэ, 1971. 215 с.
6. Баженов Ю.М. Технология бетонов. М.: АСВ, 2007ю 528 с.
7. Бактеріологічний контроль поживних середовищ. Інформаційний лист МОЗ України № 05.4.1/1670. Київ. 2001.
8. Балдин В.П. Производство гипсовых вяжущих веществ. М.:1983. 135 с.
9. Бобрышев А.Н., Калашников В.И., Квасов Д.В., Марин Д.Е., Голикова И.Н. Эффект усиления свойств в дисперсно-наполненных композициях / Вес. вузов. Строительство. 1996. №2. С.48-52.
10. Брюкнер Х., Дейлер Е. и др. Гипс. Изготовление и применение гипсовых материалов. М.: Стройиздат, 1981. 210 с.
11. Бужевич А. Арболит М.: Изд-во лит. по д-ву, 1968. 244с.
12. Бурковская Н.М., Пичугин А.П. Технология производства арболита улучшенного качества. Сб. научных трудов "Технология строительства с/х зданий и сооружений из местных материалов ". Новосибирск.: 1997. С.79-80.
13. Бухаркин В.Н., Свиридов С., Рюмина З.П. Производство арболита в лесной промышленности. М.: 1969. 66 с.
14. Величко В.П., Машкин Н.А., Петяшкин И.А., Шегай Н.Ю. технология атмосферостойкого арболита с автоматизированной обработкой древесного наполнителя. Вес. вузов. Строительство. 1994. №3. С. 53-56.

15. Вербестель Д., Корнблум Г. Плиты из льняных частиц. Тез. докл. межн. конф. по ДСП и ДВП - Женева-1957. - Пер. №7285. 7 ВИНТИ, 1960. 28 с.
16. В.И. Винниченко, Н.Н. Супряга Переработка фосфогипса в полугидрат сульфата кальция. Вісник НТУ «ХПІ», Х.: НТУ «ХПІ», 2016. № 35(1207). С. 23–29.
17. В.М. Богатырев, Е.И. Оранская, В.М. Гунько, Р. Лебода, Я. Скубишевская-Зиеба Влияние содержания металлов на структурные характеристики неорганических нанокompозитов  $M_xO_y/SiO_2$  и  $C/M_xO_y/SiO_2$  / ЖХФТП. 2011, Т.2, № 2. С. 135-146.
18. Вознесенский В.А. Статистические методы планирования эксперимента в технико-экономических исследованиях. 2-ое изд. М.: Финансы и статистика, 1981. 263 с.
19. Вознесенский В.А., Выровой В.Н., Керш В.Я. и др. Современные методы оптимизации композиционных материалов. Киев.: Стройиздат, 1983. 144 с.
20. Вознесенский В.А., Ляшенко Т.В., Огарков Б.Л. Численные методы решения строительно-технологических задач на ЭВМ. К.: Вища школа, 1989. 327 с.
21. Волженский А.В. Минеральные вяжущие вещества. М.: 1986. 464 с.
22. Воробьев Х.С. Гипсовые вяжущие и изделия (зарубежный опыт). М.: 1983. 200 с.
23. Вінниченко В.І., Буцький В.О., Костюк Т.О. Вплив фосфогіпсу на активність шлакового в'язучого. Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту, Харків: 2017. Вип. 171. С. 30-37.
24. Гмурман В. Е. Теория вероятностей и математическая статистика. М.: ЮРАЙТ, 2012. 479 с.



25. Гольцева Л.В., Кудрявый В.И., Бутерин В.Л. Строительные материалы на основе соломы и известково-хлоркальциевого вяжущего. Науч. труды Моск. лисотехн. институту. 1988. №204. С.126-129.
26. Горлов Ю.П., Меркин А.П., Устенко Л. Технология теплоизоляционных материалов. М.: Стройиздат, 1980. 400 с.
27. Данченко Ю. М., Яковлева Р. А., Андронов В. А. Бактерицидні епоксидні олігомери-олігомерні композиції для будівництва / Науковий вісник будівництва, 2010. Вип.60. С. 59-65.
28. Дворкин Л.И., Дворкин А.Л. Строительные минеральные вяжущие материалы. М.: Инфра-инженерия, 2011. 544 с.
29. Дворкин Л.С., Дворкин А.Л. Строительное материаловедение. 2013. 832 с.
30. Дворкин М.Н., Мироненко А.В., Ковтун А.М. Бесцементный арболит на костре льна / Научн. техн. Сб. ЦНИИЕПСЕЛЬСЬКБУД, 1989. вып. II. С.32-33.
31. ДСТУ Б.В. 2.7-42-97 Будівельні матеріали. Методи визначення водопоглинення, густини і морозостійкості будівельних матеріалів і виробів. К.: Держкомбуд України, 1997. 34 с.
32. ДСТУ Б.В.2.7-271:2011. Арболіт та вироби з нього. Загальні технічні умови. Київ.: Мінрегіон України, 2012. 26 с.
33. Шинкевич Е.С., Тымняк А.Б., Юсипчук В.И., Линник Д.С. Оптимизация состава и свойств штукатурных растворов на композиционном известьсодержащем вяжущем. Мат-ли міжнар. науково-техн. семінару «Моделювання та оптимізація будівельних композитів». Одеса. ОДАБА, 2014. С. 106-108.
34. Жилин А.И. Растворимое стекло. Свердловск.: Олвид, 1933. 270 с.
35. Завадский В., Белозерова Н.Г. Исследования композиционного материала на основе растворимого стекла. Вест. вузов. Строительство и архитектура, 1985. №4 С. 61-64.

36. Ильченко Л. Технология и свойства строительных плит из отходов производства табака и хлопчатника. Авт. дисс. канд. техн. наук. Новосибирск. 1995. 21 с.
37. Вознесенский В.А., Довгань П.М., Ляшенко Т.В. и др. Использование СОМРЕХ-99 при моделировании параметров кривых пластической прочности цементно-полимерных композиций с фиброй Куралон. Наук. вісник будва: ХДТУБА, ХОТВ АБУ. Вип.8. Харків. 1999. С.21-28.
38. В.М. Богатырев, Л.И. Борисенко, В.И. Юсипчук. Исследование влияния добавок на скорость гидратации оксида кальция методом рентгенофазного анализа. / «Поверхность» сборник науч. трудов. института Химии поверхности НАНУ. Киев: 2014. вып. 6(21).
39. Карери Дж. Порядок и беспорядок в структуре материи. М.: Мир, 1985. 228 с.
40. И.И. Карпунин, И.А. Голуб, П.П. Казакевич. Химия льна и перспективные технологии его углубленной переработки. Минск: Беларусь. наука, 2013. 96 с.
41. Киения М.А. Деревобетонные кессоны. М.: ОГИЗ, 1931. 72 с.
42. Клименко М.И. Легкие бетоны на органических заполнителях. Издательство Саратовского университета, 1977 160 с.
43. Козлов Ю.Д., Малый В.Т., Усаченко А.Н. Волокнистые плиты из отходов с/х и макулатуры. Строй. материалы и конструкции. 1994. №32. С. 9-10.
44. Комплексное использование древесины при производстве древесно-цементных материалов. М.: Лесов. пром-ть, 1990. 178 с.
45. Корнеев В.И., Данилов В.В. Жидкое и растворимое стекло. Санкт Петербург. Стройиздат, 1996. 215 с.
46. Котенко В.Д. Композиционные материалы из древесины: Современные тенденции развития. Вестник МГУЛ. 2000. №1. С.51-53.

47. Крутов П.И., Наназашвили И.Х., Склизков Н.Н., Савин В.И. Справочник по производству и применению арболита. М.: Стройиздат, 1987. 208 с.
48. Крутов П.И., Склизьков Н.И., Терновский А.Д. Строительные материалы из местного сырья в сельском строительстве. М.: Стройиздат, 1978. 284 с.
49. Кудрявый В.И. Физико-механические свойства соломы. Науч. труды Моск. лесотехн. института. 1988. №204. С. 79-84.
50. Курдюмова В.М. Исследования и разработка технологии изготовления плит из стеблей хлопчатника. Автореф. дис. канд. техн. наук. Л., 1981. 21 с.
51. Курдюмова В.М. Строительные материалы и изделия из отходов растительного сырья. Фрунзе: Кыргызстан, 1990. 132 с.
52. Курдюмова В.М. Структурная модель композиционных плит с дискретными частями, армированными лубяных волокном / Информ. листок Бишкек. Кирг НИИНТИ. 1993. №39. 3 с.
53. Курдюмова В.М., Гончаров Н.А., Ильченко Л. Плиты многокомпонентные из отходов растительного сырья. Сборник "Технология и оборудованием деревообрабатывающих производств". Л: труда ЛТА, 1987. С. 31-38.
54. Курдюмова В.М., Ильченко Л. Композиционные древесные плиты с новыми наполнителями. Деревообработка. 1991. №2. С.9-11.
55. Курдюмова В.М., Хрулев В.М. Комплексное использование древесных отходов / Обзор информ. М.: ВНИИлисовпром. 1987. вып. 2. С.9-18.
56. Левбок В.А., Нехорошев А.В., Соломатов В.И., Чошников Р.Ч. Композитные строительные материалы стереорегулярных структуры. Ашхабад: Термен НИИНТИ, 1989. 59 с.
57. Ливерова В.А. Строительные материалы из древесных отходов. Алма-Ата: Лесн. пром-ть, 1960. 68 с.

58. Сурков А.И., Стрелецкий А.И., Линник Д.С., Шинкевич Е.С. Оптимизация свойств арболитобетона по теплофизическим показателям. Збірка тез доповідей всеукр. наук.-практ. конф. «Фізичні процеси в енергетиці, екології та будівництві», Одеса: ОДАБА, 2018. С. 56-59.

59. Линник Д.С., Шинкевич Е.С., Петренко А.Л, Нововсельский Д.В. Подбор гранулометрического состава органического заполнителя для арболитобетона. Матеріали міжнародного науково-технічного семінару «Моделювання і оптимізація будівельних композитів», Одеса: ОДАБА, 2016. С. 79-81.

60. Линник Д.С., Шинкевич Е.С. Арболитобетон на композиционном гипсовом вяжущем. Матеріали міжнародного науково-технічного семінару «Моделювання і оптимізація будівельних композитів», Одеса: ОДАБА, 2019. С. 94-96.

61. Лобанова А.В., Казімагомедов І.Е. Казімагомедов І.Е. Влияние шламов мокрой газоочистки производства ферросилиция на основе костры льна. Матеріали VII міжнародної наукової конференції «Ресурс і безпека експлуатації конструкцій, будівель та споруд». Харків: ХНУБА, 2015. С. 133-135.

62. Лобанова А.В., Казімагомедов І.Е. Вплив віку шламу мокрого газоочищення виробництва феросиліцію на водостійкість арболіту. Матеріали 72-ї науково-технічної конференції Харківського національного університету будівництва та архітектури. Харків: ХНУБА, 2017. С.26-27.

63. Лобанова А.В., Казімагомедов І.Е. Исследование влияния химических добавок на прочность арболита с заполнителем из костры льна. Збірник наукових праць Української державної академії залізничного транспорту, за заг. ред. к.т.н. А. О. Каграманяна. – Харків: УкрДУЗТ, 2015. Вип.152 с. 193-199.

64. Логвиненко А.Т., Урваева Т.Д., Третьякова А.С. Влияние органических добавок на гидратацию, портландцемента. Известия СО АН СССР. 1970. № 3. Вып. 5. С. 125– 133.

65. Ляшенко Т.В., Вознесенский В.А. Методология рецептурно технологических полей в компьютерном строительном материаловедении. Одесса: Астропринт, 2017. 168 с.

66. Малый В.Т., Усаченко А.Н., Козлов Ю.Д. Волокнистые плиты на основе отходов хлопчатника. Вест. вузов. Строительство. 1992. №5,6. С. 96-98.

67. Матвеев М.А. Строении щелочных силикатов, гидратированных в стекловидном состоянии. Сб.трудов по химии и технологии силикатов. М.: Промиздат, 1957. 373 с.

68. Матвеев М.А., Рабухин А.И. О строении жидкого стекла. Ж. ВХО им. Менделеева. 1963. №2. С. 208-210.

69. Матвеев М.А., Смирнов Р.А. Новый теплоизоляционный материал на основе жидкого стекла. Труды МХТИ им. Д. И. Менделеева. 1954. Вип.19. С. 205-206.

70. Л.И. Дворкин, Н.В. Лушникова, Р.Ф. Рунова и др. Метакаолин в строительных растворах и бетонах. Киев: Изд-во КНУБіА, 2007. 215 с.

71. Минас А.И., Склизьков Н.И., Наназашвили И.Х. Влияние специфических свойств древесного наполнителя на структурную прочность арболита. Труды ЦНИИЭП сельстроя. 1975. №12. С. 98-105.

72. Наназашвили И.Х. Адгезия ранней и поздней древесины с цементным камнем. Труды ЦНИИЭПсельстроя. 1980. №7. С. 79-84.

73. Наназашвили, И.Х. Ресурсосбережение в строительстве: справочное пособие. Москва: Издательство Ассоциации строительных вузов (АСВ), 2012. 488 с.

74. И.Х. Наназашвили, А.А. Соколов, Р. Марченков. Древесным отходам - вторую жизнь. Арболитовые стеновые блоки. Строительные материалы, оборудование и технологии XXI века. 2011. №7. С. 24-25.

75. Наназашвили И.Х. Строительные материалы из древесно-цементной композиции. Л: Будиздат, 1990. 415 с.

76. Наназашвили И.Х. Арболит - эффективный строительный материал. М.: Стройиздат, 1984. 122 с.

77. Наназашвили И.Х. Влияние давления набухания древесного заполнителя из лиственницы и других хвойных пород на процесс структурообразования арболита. М.: Псельск буд, 1981. С.79-84.

78. Наназашвили И.Х. Получение строительных материалов на базе глубокой переработки древесины. Строительные материалы, оборудование и технологии XX столетия. 2004. №10. С. 16-17.

79. Богатырев В.М., Борисенко Л.И., Оранская Е.И., Галабурда М.В. Наноккомпозиты  $M_xO_y/SiO_2$  на основе ацетатов Ni, Mn, Cu, Zn, Mg. Межведомств. сборник научн. трудов «Химия, физика и технология поверхности» Киев: Наукова думка, 2009. вып. 15. С. 294-302.

80. Петров, А.Н. Теплоизоляционные материалы на основе соломы и неорганических связующих. Дис. канд. техн. наук: 05.23.05 Казань, 1998. 178с.

81. Шинкевич О.С. та ін. Сучасні будівельні матеріали та їх технології: монографія. Кривий Ріг: Залозний В.В., 2017. 282 с.

82. Подчуфарова В.С. Некоторые вопросы теории формирования оптимальной структуры арболита. Наук. труда Моск. лесотехнического института. 1988. №204. С. 119-129.

83. Пономаренко, Б.Н. Арболит в сельском строительстве. Краснодар, 1973. С. 120.

84. Порошин А.П., Береговой А.М., Солдатов С.Н. Теплоизоляционный арболитовый бетон на основе гипсоцементно-пуццоланового вяжущего и растительного сырья. 6-е Академические чтения РААСН «Современные проблемы строительного материаловедения». 2000. С. 65-68.

85. Ратинов В.Б., Розенберг Т.И. Добавки в бетон. Москва: Стройиздат, 1989. 188 с.

86. Рыбьев И.А. Строительные материалы на основе вяжущих веществ. М.: Высшая школа, 1978. 309 с.

87. Рунова Р.Ф., Носовский Ю.Л. Технология модифицированных строительных растворов: учебник. М.: КНУСиА, 2007. 256 с.

88. Рыбьев И.А., Клименко М.И. Исследование общих закономерностей в структуре и свойствах арболита. Вес. вузов. Строительство и архитектура. 1972. №2. С. 21-24.

89. Рыбьев И.А., Рыбьев Т.Г. Вопросы изучения долговечности искусственных строительных конгломератов. Тез. научн. всес. конф. по производству и применению искусственных строительных материалов в сельскохозяйственном строительстве. Брест. 1979. 193 с.

90. Рыскин Я.К. Водородная связь и структура гидросиликатов. Л.: Наука, 1972. 165 с.

91. Савин В.И., Колосов Г.Е., Соколов Б.А. Стеновые панели из поризованного арболита. Лёгкие бетоны на основе отходов промышленности и конструкции из них. М.: НИИЖБ, 1983. С. 8–14.

92. Савицький М. В. Світовий досвід енергоефективного будівництва з місцевих матеріалів та доцільність його використання в умовах України. Сб. науч. труд. Строительство, материаловедение, машиностроение. Д.: ПГАСА, 2011. Вып. № 61. С. 375–382.

93. Савицький Н.В., Бендерський Ю.Б., Бабенко М.М. Теплотехнічні характеристики органічних утеплителів з місцевих матеріалів для будівництва екологічних будівель. Зб. наук. праць. «Теоретичні основи будівництва». Варшава, 2012. С. 37 –376.

94. Садуакасов М.С., Румянцев Б.М., Аасад М. Регулирование структурообразования камня из ГВНВ добавкой портландцемента. Изв. вузов. Строительство, 1993. № 5-6. 19 с.

95. Саркисов Ю.С. Кинетические аспекты процессов структурообразования дисперсных систем. Вес. вузов. Строительство. 1994. №1. С. 38-42.

96. Семенов А.Т. Арболит - универсальный материал. Строй. материалы и конструкции. 1994. №2. - С. 16-20.

97. Смирнова О.Е. Исследование адгезии в структуре конструкционного материала на основе растительных отходов. Матер. Всеросс. НТК «Актуальные проблемы в строительстве и архитектуре. Образование. Наука. Практика». Самара. 2007. С. 216-224.

98. Смирнова О.Е. Использование отходов льнопереработки для производства теплоизоляционных изделий. Изв. вузов. Строительство. 2007. №3. С. 42-46.

99. Соломатов В.И. Элементы общей теории композиционных строительных материалов. Вес. вузов. Строительство и архитектура. 1980. №8. С. 61-70.

100. Соломатов В.И., Бобрышев А.Н. Порядок "беспорядок" в структуре композиционных строительных материалов. Вес. вузов. Строительство и архитектура. 1988. №1. С. 47-54.

101. Соломатов В.И., Выровой В.Н. Физические особенности формирования структуры композиционных строительных материалов. Вес. вузов. Строительство и архитектура. 1984. №8. С. 17-23.

102. Стоянов В.В. Лозолитовые материалы и конструкции. Одесса: Город мастеров, 2001. 133 с.

103. Танский В.В. Строительные материалы из костры. Обзор. информ. ВНИТЕСПРОМ. М.: 1961. 48с.

104. Тейлор Х. Химия цемента. М.: Мир, 1996. 560 с.

105. Тотурбаев Б.Д. Строительные материалы на основе силикат натриевых композиций. М.: Химия. 1970. 107 с.

106. Троян В.В. Сухие смеси и растворы на их основе для устройства полов промышленных зданий. Автореф. дис. канд. техн. наук: 05.23.05. К.: 2007. 22 с.

107. Тымняк А.Б., Линник Д.С., Юсипчук В.И., Шинкевич Е.С. Оптимизация составов и свойств мелкозернистых бетонов на композиционном вяжущем. Сборник Bulletin incercom scientific research institute of construction.



Chisinau, Republic Moldova: "INTERCOM", 2015. Nr.6 С. 136-140. ISSN 1857-3762.

108. Бутерин В.М., Щербаков А.С., Силина Н.Н. и др. Ускорение твердения арболита химическими добавками. Научные труды Московского лесотехнического института. 1976. № 93. С. 106-112.

109. Ушеров-Маршак А.В. Добавки нового поколения. Харьков: Колорит, 2005. С. 45–50.

110. Фаликман В.Р. Поликарбосилаты: вчера, сегодня, завтра. IX Междунар. науч.-практ. конф. Запорожье: Будиндустрия ЛТД, 2008. С. 72–76.

111. Ферронская, А.В. Гипсовые материалы и изделия. М.: АСВ, 2004. 485 с.

112. Халиуллин М.И., Алтыкис М.Г., Рахимов Р.З. Композиционное гипсовое вяжущее на основе местного сырья. Материалы Всероссийской научно-технической конференции. Актуальные вопросы строительства. Вторые Соломатовские чтения. Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2003. С. 156-157.

113. Л.П. Хорошун, А.С. Щербаков. Прочность и деформативность арболита. Киев: Наук. думка, 1979. С. 192.

114. Ходжаев Ш.А. Модифицированный арболит на основе отходов сельского хозяйства. Автореф. дис. канд. техн. наук: 05.23.05. Алма-Ата. 1990. 22 с.

115. Хоменко З.С., Бухарева Б.В. Строительные волокнистые плиты из камыша и соломы. М.: Госбудиздат, 1963. 51 с.

116. Хрулев В.М. Композиционные строительные материалы на органической основе. Новосибирск: НГАСУ, 1998. 20 с.

117. Цепяев, В.А. Легкие конструкционные бетоны на древесных заполнителях. Орджоникидзе: Ир, 1990. 134 с.

118. Черемис Н.Н., Муська Н.П., Комарова Н., Салин Б.Н., Шакин Н.Г. Композиционные материалы на основе продуктов Химической модификации отходов с/х производств. Вес. вузов. Строительство. 1995. №2. С. 17-22.

119. Чернышов Е.М., Коротких Д.Н. Модифицирование структуры цементного камня микро- и наноразмерными частицами кремнезема. Строительные материалы, оборудование и технологии XXI века. 2008. № 5. С. 30–32.

120. Шевляков А.А. производство композиционных материалов с использованием вторичных отходов в качестве исходного сырья. Вестник МГУЛ-2011. №5 С.79-84.

121. Шинкевич Е.С., Линник Д.С., Закаблук С.С. Арболитобетон пониженной плотности на композиционном гипсовом вяжущем. Проблемы современного бетона и железобетона. Сборник научных трудов. Минск: 2019. Вып. 11. С. 331–347.

122. Шинкевич Е.С., Тымняк А.Б., Линник Д.С., Тертичный А.А. Оптимизация составов сухих строительных смесей на основе экспериментально-статистических моделей. Наук.-тех. збірник "Будівельні матеріали, вироби та санітарна техніка". Київ: 2013. Вип. 48. С. 179-183.

123. Шинкевич Е.С., Линник Д.С. Оптимизация фракционного состава органического заполнителя для арболитобетона. Тезисы докладов 6й междунар. науч.-тех. конференции «Проблемы надежности и долговечности инженерных сооружений и зданий на железнодорожном транспорте». Харьков: УкрДЗУТ, 2017 С. 28-29.

124. Шинкевич Е.С., Линник Д.С. Подбор состава арболитобетона на композиционном гипсовом вяжущем по показателям прочности и средней плотности. Збірник тез доп. міжнар. конф. «Структуроутворення, міцність та руйнування композиційних будівельних матеріалів і конструкцій». Одеса: ОДАБА, 2018. С. 88-89.

125. Шинкевич Е.С., Линник Д.С., Закаблук С.С., Юсипчук В.И. Подбор состава арболитобетона по экспериментально-статистическим моделям. Науковий вісник будівництва. Харків: 2017. №4(90). С. 86-92.

126. Шинкевич Е.С., Тымняк А.Б., Линник Д.С., Мироненко И.Н., Юсипчук В.И. Подбор состава матричного материала для костробетона на

основе известкового вяжущего, модифицированного добавками и наполнителями. Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури, 2014, №55. С. 294-300

127. Шинкевич Е.С., Линник Д.С., Юсипчук В.И. Экостроительство из арболитобетона на основе композиционного гипсового вяжущего. Наук.-тех. Збірник "Будівельні матеріали, виробы та санітарна техніка". Київ: 2014. Вип. 52. С. 112-116.

128. Шинкевич Е.С., Линник Д.С., Юсипчук В.И. Возможности арболитобетона. Исследования одесских ученых. Будівельний журнал. 2018. №5-6 (135-136). С. 33.

129. Шинкевич Е.С., Линник Д.С. Повышение биостойкости арболитобетона добавками наномодификаторами. Збірник тез доп. VI Міжнар. наук.-практ. конф. «Актуальні проблеми інженерної механіки». Одеса: ОДАБА, 2019. С. 311-314.

130. Шинкевич Е.С., Линник Д.С., Юсипчук В.И. Влияние высокоактивной пуццолановой добавки на свойства композиционного гипсового вяжущего и арболитобетона на его основе. Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури, 2015, №57. С. 273-278.

131. Шинкевич О.С., Ліннік Д.С. Багатопараметрична оптимізація складу арболітобетону. Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту. Харків: УкрДУЗТ, 2017. Вип.174 С.81-88.

132. Шпакельберг Д.И. Влияние коллоидно-химических явлений на развитие деструкции при твердении минеральных вяжущих веществ. Технология, механика бетона. 1978. №12. С. 127-138.

133. Щербаков, А.С. Арболит. Повышение качества и долговечности. М.: Лесная промышленность, 1979. 160 с.

134. Щербаков, А.С. Влажностные деформации арболита. Бетон и железобетон. 1976. № 10. С. 51.

135. Шумейко В.Н., Шабанова Г.Н., Ткачева З.И., Бондаренко Т.С. Эффективность влияния поликарбоксилатных добавок на гидратационную активность портландцемента. *Керамика: наука и жизнь*. К.: ПП “Укрпринтком”. 2011. №1(11). С. 23–30.

136. Юсипчук В.И., Линник Д.С., Шинкевич Е.С. Повышение биостойкости костробетона добавкой пирогенного микрокремнезема, модифицированного соединениями серебра, меди и цинка. *Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури*, 2015, № 60. С. 370-376.

137. Ягубкина А.Н. Влияние влажности на водостойкость и долговечность арболитовых изделий. *Вестник Полоцкого государственного университета*, 2012, Серия F. С. 60-63.

138. Ashori A., Nourbakhsh A., Bio-based composites from waste agricultural residues, *Waste Management* 30, 2010, p. 680.

139. Allin S. *Building with Hemp*. Kenmare: Seed press; 2005.

140. Boldyrev V.V. The control Reactivity of Solids. *Annual Review of Material Sci.* California USA: Palo Alto, 1979. v.9, p. 455–469.

141. Brencis R, Skujans J, Iljins U, Ziemelis I, Osits O. Research on foam gypsum with hemp fibrous reinforcement. *Chem Eng Trans* 2011; 25:159-164.

142. Bydzovsky J. Utilization of rapidly renewable raw materials in building materials. In: *Proceedings of the 12th International Scientific Conference*, Brno: Brno Technical University; 2009, p. 43-46.

143. Derevianko V.N. Impact of granulometric composition on mineral binder hydration processes. *Journal of Engineering Science*. Moldova: Publishing House Tehnica UTM, 2018. Vol. XXV. No. 3 (2018). P. 74 – 84.

144. Derevianko V.N. Investigation of hydration processes of nanomodified calcium sulfate hemihydrate. *Journal of Technical University of Moldova and Moldavian Engineering Association*. Moldova: Technical University of Moldova, 2016. Vol. 4. P. 3–41.

145. Derevianko V.N. Modelling the Mechanism of Mineral Binders Hydration Processes in a Macro-Micro-Nanosystem. *Наносистеми,*

наноматеріали, нанотехнології. Київ: РВВ ІМФ, 2020. Том. 18. Вип. 1. С. 107-124.

146. Derevianko V. N. Study of polymer-modified powder dry mix produced from magnesia-bischofit composition with additives. Meridian Ingineresc. Journal of Technical University of Moldova and Moldavian Engineering Association. – Moldova: Technical University of Moldova, 2015. Vol. 4. P. 35-39.

147. Derevianko V. Kondratieva N., Hryshko H. Study of impact factors and the mechanism of process of gypsum binder hydration in the presence of nanomodifiers. French-Ukrainian Journal of Chemistry. Kyiv: Taras Shevchenko National University of Kyiv, 2018. Vol.6(1). No1. P.92-100.

148. Shinkevich E.S., Linnik D.S. Selection and optimization fractional composition of organic filler for arbolite. Fundamental and applied science. England: Sheffield, 2017. Vol.7 pp. 40-42.

149. Shinkevich E.S., Linnik D.S., Ysypchuk V.I. Improvement of Arbolit Concrete Bio-Resistance with Additives by Nanomodificators. Materials Science Forum. Switzerland: Trans Tech Publications Ltd, 2019, Vol 968, pp. 76-81. ISSN: 1662-9752

150. Finn R Equilibrium capillary surface. NY: Springer-Verlag, 1986. p 245

151. Geffert A, Geffertova J. Hemp shive as waste and raw material. In: Proceedings of IX. International Symposium: Selected Processes at the Wood Processing, Zvolen: Technical University of Zvolen; 2011, p. 287-292.

152. Kidalova L., Terpakova N.E., Sicakova A., Use of magnesium oxide-cement binder in composites based on hemp shives, Journal of Environmental Science and Engineering 5, 2011, p. 736-741.

153. Arnaud L., Gourlay E., Experimental study of parameters influencing mechanical properties of hemp concretes, Construction and Building Materials 28, 2012, p. 50.

154. Linnik D.S., Shinkevich E.S. Optimization of composition and properties of arbolit concrete on composite gypsum binder. Матеріали междунар. науч.-тех.

семинара «Моделирование и оптимизация строительных композитов». Одеса: ОДАБА, 2017. С. 64-66.

155. Peyratout M.C., Smith A., Influence of various chemical treatments on the interactions between hemp fibres and a lime matrix, *J. Eur. Ceram. Soc.* 29, 2009, p. 1861.

156. Matyeva A.K. The research of the wether resistant gypsum- ash- alkaline arbolit structure by scanning electron microscopy. Proceeding of the IInd International Scientific and Practical Conference «The goals of the World Science» №3(7), VoL.1, March 2016 (February 25–26, 2016, Dubai, UAE)». P. 98–102.

157. Ouajai S., Shanks R.A. Preparation, structure and mechanical properties of all-hemp cellulose biocomposites. *Compos Sci Technol* 2009; 69:2119-2126.

158. Dalmay P., Smith A., Chotard T., Sahay-Turner P., Gloaguen V., Krausz P., Properties of cellulosic fibre reinforced plaster: influence of hemp or flax fibers on the properties of set gypsum, *J. Mater. Sci.* 45, 2010, p. 793.

159. Bruijn P.B., Jeppsson K.H., Sandin K., Nilsson CH., Mechanical properties of lime-hemp concrete containing shives and fibres, *Biosystems Engineering* 103, 2009, p. 474.

160. Potapova E., Manushuna A., Urbanov A. Einflussverschiedener Fasern bei Anwendung von Gips-Zement-Puzzolan-Binden. Weimar Gypsum Conference. Weimar, 2017, P. 54–63.

161. Ahankari S.S., Mohanty A.K., Misra M., Mechanical behaviour of agro-residue reinforced poly(3-hydroxybutyrate-co-3-hydroxyvalerate), (PHBV) green composites: comparison with traditional polypropylene composites, *Compos. Sci. Technol.* 71, 2011, p. 653.

162. Stevulova N, Kidalova L, Terpakova E, Junak J. Utilization of hemp concrete as building material. In: Ural O, Sahin M, Ural D, editors. Proceedings of the XXXVIII IAHS World Congress “Visions for the Future of Housing – Mega Cities”, Istanbul: Istanbul Technical University; 2012, p. 358-364.

163. Stevulova N, Terpakova E, Kidalova L, Priganc S, Estokova A, Helcman M. Hemp as potential component in sustainable construction. In: Proceedings of Matbud, Krakow: Politechnika Krakowska; 2011, p. 387-394.

164. Colinart T., Glouannec P., Chauvelo P., Influence of the setting process and the formulation on the drying of hemp concrete, *Construction and Building Materials* 30, 2012, p. 372.

165. Placet V., Characterization of the thermo-mechanical behaviour of hemp fibres intended for the manufacturing of high performance somposites, *Compos. Part A* 40, 2009, p. 1111.

166. Varvara Vinnichenko, Alexander Ryazanov 2018 Energy Efficiency of Binder Application in Concrete. *International Journal of Engineering Technology*. Vol 7, No 4.3 pp 335-338.

167. Vinnichenko V, Ryazanov A 2019 Influence of Organic Matters on the Calcium Carbonate Decarbonization Process. *Materials Science Forum*. Switzerland: Trans Tech Publications Ltd, 2019, Vol 968, pp 35-43.

168. Vinnichenko V., Krot A., Vitsenko N. Theoretical and experimental research into manufacturing of silicate products without thermal treatment. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. Technology organic and inorganic substances, 2016. Vol 5, N 6 (83). P. 29-36.

169. Whyman G Bormashenko E 2009 Oblate spheroid model for calculation of the shape and contact angles of heavy droplets. *Journal of Colloid and Interface Science* 331(1) 74-177.

170. Azwa Z.N., Yousif B.F., Manalo A.C., Karunasena W., A review on the degradability of polymeric composites based on natural fibres, *Materials and Design* 47, 2013, p. 424.

**Список публікацій здобувача за темою дисертації  
та відомості про апробацію результатів дисертації**

Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації:

*Статті у наукових фахових виданнях України*

1. Шинкевич Е.С., Тымняк А.Б., Линник Д.С., Тертичный А.А. Оптимизация составов сухих строительных смесей на основе экспериментально-статистических моделей. Науково-технічний збірник "Будівельні матеріали, виробы та санітарна техніка". Київ: 2013. Випуск 48. С. 179-183.

2. Шинкевич Е.С., Линник Д.С., Юсипчук В.И. Экостроительство из арболитобетона на основе композиционного гипсового вяжущего. Науково-технічний збірник "Будівельні матеріали, виробы та санітарна техніка". Київ: 2014. Випуск 52. С. 112-116.

3. Шинкевич Е.С., Тымняк А.Б., Линник Д.С., Мироненко И.Н., Юсипчук В.И. Подбор состава матричного материала для костробетона на основе известкового вяжущего, модифицированного добавками и наполнителями. Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури, 2014, №55. С. 294-300.

4. Шинкевич Е.С., Линник Д.С., Юсипчук В.И. Влияние высокоактивной пуццолановой добавки на свойства композиционного гипсового вяжущего и арболитобетона на его основе. Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури, 2015, №57. С. 273-278.

5. Юсипчук В.И., Линник Д.С., Шинкевич Е.С. Повышение биостойкости костробетона добавкой пирогенного микрокремнезема, модифицированного соединениями серебра, меди и цинка. Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури, 2015, № 60. С. 370-376.



6. Шинкевич Е.С., Линник Д.С., Закаблук С.С., Юсипчук В.И. Подбор состава арболитобетона по экспериментально-статистическим моделям. Научный вестник строительства. Харьков: 2017. №4(90). С. 86-92.

7. Шинкевич О.С., Линник Д.С. Багатопараметрична оптимізація складу арболитобетону. Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту. Харків: УкрДУЗТ, 2017. Вип.174 С. 81-88. (*індексується наукометричною базою Index Copernicus*).

*Статті у наукових періодичних виданнях інших держав*

8. Тымняк А.Б., Линник Д.С., Юсипчук В.И., Шинкевич Е.С. Оптимизация составов и свойств мелкозернистых бетонов на композиционном вяжущем. Сборник Bulletin incercom scientific research institute of construction. Chisinau, Republic Moldova: "INTERCOM", 2015. Nr.6. С. 136-140. ISSN 1857-3762.

9. Шинкевич Е.С., Линник Д.С., Закаблук С.С. Арболитобетон пониженной плотности на композиционном гипсовом вяжущем. Проблемы современного бетона и железобетона. Сборник научных трудов. Минск: БелНИИС, 2019. Выпуск 11. С. 331–347.

10. Shinkevich E.S., Linnik D.S., Ysypchuk V.I. Improvement of Arbolit Concrete Bio-Resistance with Additives by Nanomodifiers. Materials Science Forum. Switzerland: Trans Tech Publications Ltd, 2019, Vol 968. pp. 76-81. ISSN: 1662-9752. (*індексуються наукометричною базою Scopus*).

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації

11. Shinkevich E.S., Linnik D.S. Selection and optimization fractional composition of organic filler for arbolite. Materials of the XIII International Scientific practical conference «Fundamental and applied science». England: Sheffield, 2017. Vol.7 pp. 40-42.

12. Шинкевич Е.С., Линник Д.С. Повышение биостойкости арболитобетона добавками наномодификаторами. Тези доповідей VI Міжнародної науково-практичної конференції «Актуальні проблеми інженерної механіки». Одеса: ОДАБА, 2019. С. 311-314.

13. Линник Д.С., Шинкевич Е.С. Арболитобетон на композиционном гипсовом вяжущем. Матеріали міжнародного науково-технічного семінару «Моделювання і оптимізація будівельних композитів», Одеса: ОДАБА, 2019. С. 94-96.

14. Шинкевич Е.С., Линник Д.С. Подбор состава арболитобетона на композиционном гипсовом вяжущем по показателям прочности и средней плотности. Збірник тез доповідей міжнародної конференції «Структуроутворення, міцність та руйнування композиційних будівельних матеріалів і конструкцій». Одеса: ОДАБА, 2018. С. 88-89.

15. Linnik D.S., Shinkevich E.S. Optimization of composition and properties of arbolit concrete on composite gypsum binder. Матеріали міжнародного науково-технічного семінару «Моделювання і оптимізація будівельних композитів». Одеса: ОДАБА, 2017. С. 64-66.

16. Шинкевич Е.С., Линник Д.С. Оптимизация фракционного состава органического заполнителя для арболитобетона. Тези доповідей бй міжнародної науково-технічної конференції «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд та будівель на залізничному транспорті». Харків: УкрДЗУТ, 2017 С. 28-29.

17. Линник Д.С., Шинкевич Е.С., Петренко А.Л., Нововсельский Д.В. Подбор гранулометрического состава органического заполнителя для арболитобетона. Матеріали міжнародного науково-технічного семінару «Моделювання і оптимізація будівельних композитів», Одеса: ОДАБА, 2016. С. 79-81.

18. Шинкевич Е.С., Тымняк А.Б., Юсипчук В.И., Линник Д.С. Оптимизация состава и свойств штукатурных растворов на композиционном известьсодержащем вяжущем. Матеріали міжнародного науково-технічного

семінару «Моделювання і оптимізація будівельних композитів», Одеса: ОДАБА, 2014. С. 106-108.

19. Сурков А.И., Стрелецкий А.И., Линник Д.С., Шинкевич Е.С. Оптимизация свойств арболитобетона по теплофизическим показателям. Тези доповідей I Всеукраїнської науково-практичної конференції здобувачів вищої освіти і молодих вчених «Фізичні процеси в енергетиці, екології та будівництві», Одеса: ОДАБА, 2018. С. 56-59.

20. Шинкевич Е.С., Линник Д.С., Загинайло И.В., Бондаренко Г.Г. Полиминеральная микропуццолановая добавка для композиционного гипсового вяжущего повышенной водостойкости. Тези доповідей IV міжнародної науково-практичної конференції «Інноваційні технології в архітектурі і дизайні», Харків: ХНУБА, 2020. С. 184-185.

Наукові праці, які додатково відображають наукові результати дисертації

21. Ліннік Д.С. Підбір складів екобетонів на органічних заповнювачах. Розділ в колективній монографії. Сучасні будівельні матеріали та їх технології. / за редакцією О.О. Шишкіна. Кривий Ріг: Залозний В.В., 2017. С. 261-281.

**Продовження додатку А****Відомості про апробацію результатів дисертації:**

- міжнародний науково-технічний семінар «Моделювання та оптимізація будівельних композитів» (Україна, м. Одеса, 22-23 квітня 2014 р. – очна участь);
- міжнародний науково-технічний семінар «Моделювання та оптимізація будівельних композитів» (Україна, м. Одеса, 27-28 жовтня 2016 р. – очна участь);
- 6-а Міжнародна науково-технічна конференція «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд та будівель на залізничному транспорті» (Україна, м. Харків, 19-21 квітня 2017 р. – очна участь);
- XIII International Scientific practical conference «Fundamental and applied science» (Великобританія, 30 жовтня - 7 листопада 2017 р. – заочна участь);
- міжнародний науково-технічний семінар «Моделювання та оптимізація будівельних композитів» (Україна, м. Одеса, 16-17 листопада 2017 р. – очна участь);
- I Всеукраїнська науково-практична конференція здобувачів вищої освіти і молодих вчених «Фізичні процеси в енергетиці, екології та будівництві» (Україна, м. Одеса, 17-18 листопада 2017 р. – заочна участь);
- міжнародна конференція «Структуроутворення, міцність та руйнування композиційних матеріалів і конструкцій» (Україна, м. Одеса, 11-13 квітня 2018 р. – очна участь);
- міжнародний науково-технічний семінар «Моделювання та оптимізація будівельних композитів» (Україна, м. Одеса, 21-22 листопада 2019 р. – очна участь);
- VI Міжнародна конференція «Актуальні проблеми інженерної механіки» (Україна, м. Одеса, 20-24 травня 2019 р. – заочна участь);

– IV міжнародна науково-практична конференція «Інноваційні технології в архітектурі і дизайні» (Україна, м. Харків, 21-22 травня 2020 р. – заочна участь).

**Акт**

про впровадження результатів наукових досліджень  
у ТОВ «Інжиніринг Консалдінг»

Цей акт підтверджує, що результати наукових досліджень аспіранта Лінніка Дмитра Сейргійовича, виконані під керівництвом д.т.н. проф. Шинкевич Олени Св'ятославівни були використані у ТОВ «Інжиніринг Консалдінг» в рамках дисертаційної роботи та хоздоговірних тем «Розробка наукових основ отримання вапняно-кремнеземистих композитів неавтоклавного твердіння на основі енергозберігаючих технологій» (№ гос. рег. 0109U005436), «Розробка науково-теоретичних основ отримання низькоенергоємних екологічних композитів з використанням комп'ютерного матеріалознавства» (№ гос. рег. 0115U000573), «Комп'ютерне моделювання та оптимізація технологічних процесів, складу, структури і властивостей багатокомпонентних будівельних матеріалів» (№ гос. рег. 0111U001248), проваджені у ТОВ «Інжиніринг Консалдінг» при будівництві технічної споруди на території підприємства. Також була виготовлена дослідна партія арболітобетонних блоків розмірами 200×300×600 мм в кількості 60 м<sup>3</sup>, яка була використана у облаштуванні стінових перегородок.

Акт не має фінансової складової і засвідчує використання результатів наукових досліджень.

Генеральний директор  
ТОВ «Інжиніринг Консалдінг»  
Закаблук С.С.



17.11.2019



МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

ОДЕСЬКА ДЕРЖАВНА АКАДЕМІЯ БУДІВНИЦТВА ТА АРХІТЕКТУРИ

вул. Дітріхсона, 4, м. Одеса, 65029, тел./факс: (048) 723-69-04, тел. (048) 723-43-53,  
E-mail: list@ogasa.org.ua, веб-сайт: www.odaba.edu.ua, код ЄДРПОУ 02071033

18.12.2020

№ 28-1421

Г

Г

На №

від

### ДОВІДКА

#### про впровадження результатів наукових досліджень

Довідка підтверджує, що результати наукових досліджень, викладених в дисертаційній роботі на тему «Арболітобетон на комплексно модифікованому композиційному гіпсовому в'язучому», виконаної в Одеській державній академії будівництва та архітектури на кафедрі «Процесів та апаратів в технології будівельних матеріалів» здобувача Лінніка Д.С. під керівництвом проф. Шинкевич О.С. впроваджені в навчальний процес. Вони використовуються:

- при виконанні розрахунково-графічних робіт з дисципліни «Основи модифікації бетонів» для студентів ступеня вищої освіти «Магістр» зі спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія» за освітньо-науковою програмою «Технологія будівельних конструкцій, виробів і матеріалів»
- при підготовці дипломних робіт магістрів зі спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія»

Проректор з НІР, д-т.н., проф.



Ю. Крутій