

Вінницький національний технічний університет
Міністерство освіти і науки України

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

БОНДАР АЛЬОНА ВАСИЛІВНА

УДК 691.535: 666.973.6

ДИСЕРТАЦІЯ

**ЕФЕКТИВНІ СУХІ БУДІВЕЛЬНІ СУМІШІ ДЛЯ ЕЛЕМЕНТІВ ПІДЛОГ
ЦИВІЛЬНИХ БУДІВЕЛЬ**

05.23.05 – будівельні матеріали та вироби
Технічні науки

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

_____ А. В. Бондар

Науковий керівник Очеретний Володимир Петрович,
кандидат технічних наук, доцент

Вінниця – 2019

АНОТАЦІЯ

Бондар А. В. Ефективні сухі будівельні суміші для елементів підлог цивільних будівель. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.23.05 «Будівельні матеріали та вироби». – Вінницький національний технічний університет, Вінниця, 2019.

Робота присвячена вирішенню питання створення ефективних сухих будівельних сумішей для елементів підлог цивільних будівель, шляхом виконання направленої поризації сумішей та активації її компонентів, використання відходів промисловості.

Наукова новизна отриманих результатів:

- одержали подальший розвиток положення про залежність стійкості та кратності піни аніонних піноутворювачів при їх поєднанні із тонкодисперсними мінеральними порошками з позитивним поверхневим зарядом часток;

- теоретично доведено та експериментально підтверджено можливість отримання оптимальної пористої структури розчину за рахунок введення тонкодисперсного мінерального порошку як стабілізатора, пластифікатора і водоутримуючого компоненту, що дозволяє знизити водотверде відношення (В/Т) та максимально використати активність в'язучого за рахунок залишкової води, яка вивільняється внаслідок диспергуючої здатності мікронаповнювачів;

- установлені та кількісно оцінені за допомогою двох- та трьохфакторних неповних кубічних ЕС-моделей закономірності спільного впливу виду, кількості і гранулометрії мінерального наповнювача, витрат портландцементу та відношень водотвердого (В/Т) і Ц/З (Н – наповнювач) на параметри середньої густини та міцності отриманих поризованих розчинів на основі СБС;

– виявлено вплив механічної активації мінеральних тонкомолотих компонентів на реологічні, а також фізико-механічні властивості поризованих розчинів.

Практичне значення отриманих результатів полягає у:

– розширенні номенклатури сухих будівельних сумішей на основі цементного в'язучого та активованих мінеральних наповнювачів для влаштування звукоізоляційних стяжок і прошарків підлог цивільних будівель;

– оптимізації рецептури ефективних цементних сухих будівельних сумішей з активованими мінеральними та комплексними хімічними добавками та поризованих розчинів на їх основі;

– розробці технології активації компонентів сухої будівельної суміші для поризованих розчинів, отриманих на їх основі;

– підвищенні екологічної і економічної ефективності поризованих розчинів на основі СБС на активованих мінеральних наповнювачах;

– впровадженні у промислове виробництво розроблених поризованих розчинів для влаштування звукоізоляційного прошарку міжповерхового перекриття та вирівнюючої стяжки при будівництві багатопверхового житлового будинку у м. Києві.

В роботі розглянуто сучасний ринок сухих будівельних сумішей України, зокрема для тепло-, звукоізоляційних робіт та підлог, проведено аналіз сировинної бази України для випуску СБС. Відзначено, що актуальним залишається проектування та розробка ефективних складів сумішей з використанням відходів та побічних продуктів промисловості. Проблему створення СБС із покращеними тепло-, звукоізоляційними характеристиками дозволить розв'язати направлена поризація сумішей з використанням активованих наповнювачів, а також використання мікроармування розчину поліпропіленовою фіброю. Проведено аналіз публікацій вітчизняних і зарубіжних вчених у цій галузі.

Вагомий вклад у розвиток основ проектування сухих будівельних сумішей та технології отримання на їхній основі розчинів різного призначення, в тому числі для влаштування підлог, внесли такі вчені: Баженов Ю. М., Вировий В. М., Дворкін Л. Й., Дворкін О. Л., Житковський В. В., Карапузов Є. К., Ляшенко Т. В., Максименко А. А., Мироненко А. В., Налімова О. В., Носовський Ю. Л., Піщева Т. І., Поліщук-Герасимчук Т. О., Пушкарьова К. К., Рунова Р. Ф., Теліцина Н. Є., Саламаха Л. В., Степасюк Ю. О., Троян В. В., Шептун С. Ю.

Сучасний напрямок досліджень стосується вивчення питань впливу на властивості СБС тонкодисперсних мінеральних добавок, а також розробки нових комплексних добавок до сухих сумішей на основі різних відходів промисловості.

Висуното гіпотезу щодо отримання ефективних сухих будівельних сумішей для елементів підлог цивільних будівель за рахунок введення тонкодисперсних мінеральних порошоків, як комплексних добавок-модифікаторів і стабілізаторів властивостей СБС. З цією метою можна застосовувати золу-винесення та відходи камернізації карбонатних вапняків при комплексній їхній активації разом з іншими компонентами суміші.

Актуальність використання відходів промисловості у виробництві цементних в'язучих, розчинів і бетонів та активації їхніх складових підтверджують дослідження таких вчених: Барабаша І. В., Гоца В. І., Дворкіна Л. Й., Дворкіна О. Л., Кривенка П. В., Ковальського В. П., Пушкарьової К. К., Рунової Р. Ф., Саницького М. А. та інших.

Далі наведено характеристики застосованих сировинних матеріалів та методів досліджень, які використовувались у роботі.

У дисертаційній роботі наведені теоретичні передумови отримання поризованих розчинів на основі сухих будівельних сумішей та експериментальні дослідження щодо визначення впливу мінеральних добавок на підвищення технічних характеристик піни, на параметри приготування суміші та на реологічні і фізико-механічні властивості поризованого розчину.

Подано теоретичне обґрунтування механізму взаємодії поверхнево-активних речовин і мінеральної складової суміші, між якими відбувається електростатична взаємодія, що впливає на кратність і стійкість піни. Зниження чутливості до точності дозування повітровтягуючих добавок і забезпечення їхнього рівномірного введення в суху суміш можливо шляхом їхнього попереднього з'єднання з мінеральними тонкодисперсними матеріалами.

В роботі встановлено, що введення мінеральних добавок дозволяє підвищити технічні характеристики піни. Так, кратність піни без мінеральної добавки становить 15, а стійкість – 210 с. Під час додавання порошку тонкомеленого карбонатного вапняку стійкість піни зростає до 468 с, а кратність падає до 13,5. Це пояснюється тим, що тонкодисперсні частки наповнювачів насичують пінний розчин, утворюючи піннодисперсну систему та збільшуючи густину рідини. Стійкість піни зростає через підвищення сил поверхневого натягу водних оболонок піноутворювача навколо бульбашок повітря, що досягається за рахунок дисоціації мінеральної речовини на їхній поверхні.

В роботі наведено результати дослідження щодо впливу введення тонкоподрібнених мінеральних порошоків на міцність на стиск та середню густину поризованих розчинів. Дослідження показали, що поризовані розчини з вмістом мінерального порошку 10-18 %, при витраті цементу 45 % зберігають водотверде відношення у межах $V/T = 0,26-0,37$, характеризуються рухомістю розчинової суміші 6-14 см та водоутримуючою здатністю 95-98 % і наступними параметрами затверділого розчину у віці 28 діб: середня густина $\rho_m = 560-1380 \text{ кг/м}^3$, пористість – $P_{\text{зар.}} = 23-66 \%$, закрита – $P_{\text{з.}} = 12-41 \%$, міцність на стиск $R_{\text{ст.}} = 2,85 - 8,87 \text{ МПа}$, коефіцієнт розм'якшення $k_p = 0,81-0,91$.

Після проведення серії досліджень, обробки і статистичного аналізу експериментальних даних отримані рівняння регресії, які дозволяють провести оптимізацію параметрів технологічного процесу виготовлення поризованих розчинів із СБС. Визначено, що середня густина для проєктованих ефективних

СБС залежить від концентрації піноутворюючої добавки, водотвердого відношення (В/Т) та співвідношення витрат заповнювачів (наповнювачів) до витрат цементу (Ц/З). Визначено, що суттєву роль у зростанні міцності відіграє саме відношення Ц/З: міцність 6-10 МПа можна отримати, коли $\text{Ц/З} = 0,4-1$.

Подальші еспериментальні дослідження стосуються рецептури поризованих звукоізоляційних складів СБС з використанням місцевих мінеральних добавок та відходів виробництва у якості активної складової суміші поряд з в'язучим компонентом та функціональними добавками.

Показано, що під час використання у технології поризованих СБС не відсіву дроблення карбонатних порід, а тонкодисперсного вапнякового наповнювача, можливо підвищити ефективність і експлуатаційні властивості поризованих розчинів на основі СБС. Активація за допомогою спільного механічного подрібнення та змішування у бігунах впродовж 5-10 хвилин вапнякових відходів із в'язучим та іншими компонентами суміші дозволяє отримати зменшення середньої густини затверділого розчину на $\Delta\rho_m = 19-61\%$ без збільшення В/Ц та В/Т, збільшення міцності при стиску на $\Delta R_{28} = 6-29\%$, знизити витрату цементу на $\Delta\text{Ц} = 20-37\%$. Регулювання реологічних властивостей поризованих розчинів відбувалось за рахунок введення полімерних добавок. Збільшення міцності на згин та усадкових явищ здійснювалось введенням поліпропіленової фібри розміром 2-6 мм.

Встановлено, що спільна механічна активація сухим методом мінеральних наповнювачів, в'язучого та полімерних добавок дозволяє покращити реологічні та технологічні властивості поризованих розчинових сумішей, підвищити міцність поризованих розчинів, виготовлених на основі розроблених СБС. Результатом є отримання складів зі зниженою середньою густиною до 800 кг/м^3 із високою реологічною активністю (рухомість – більше 8 см, розтічність – до 21 см, термін придатності – 45 хв і більше), міцністю до 15 МПа, покращеними тепло- та звукоізоляційними характеристиками, зниженою водопотребою, економією

цементу та хімічних добавок. Встановлено порядок механічної активації сухих будівельних сумішей спільним сухим помелом (I етап) та подальшим додатковим ретельним змішуванням (II етап) мінеральних та органічних складових суміші.

Дослідження акустичних впливів показали, що в діапазоні середньгеометричних частот від 31,5 до 1000 Гц звукоізоляційна здатність поризованих розчинів на основі СБС вища, ніж у пінопласту або металевого екрану. Експериментально встановлено, що звукоізолювальна властивість перешкоди товщиною 3 см, виготовленої із розроблених СБС, становить $\Delta L=15-35$ дБ. Спостерігається майже лінійна залежність зміни звукоізолюючої спроможності перешкоди із СБС від її середньої густини.

Далі в роботі наведено рекомендації щодо виготовлення та рецептура поризованих сумішей для елементів підлог, технологічні схеми проведення механічної активації та виготовлення СБС. Приведено розрахунок економічного ефекту від застосування результатів роботи.

Ключові слова: сухі будівельні суміші, стяжки і прошарки підлог, заповнювач, наповнювач, карбонатні породи, зола-винесення, пісок, мінеральна добавка, активація, поризований розчин, поверхнево-активні речовини, глина, модифікуючі добавки, відходи промисловості, звукоізоляція, пориста структура.

ABSTRACT

Bondar A. V. Effective dry mixes for civil engineering floors. – Qualifying scientific work on the rights of manuscripts.

Thesis for a Candidate Scientific Degree of Technical Sciences. Speciality 05.23.05 «Building materials and wares». – Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, 2019.

The work is devoted to solving the problem of creating effective dry building mixtures for the elements of floors of civil buildings, by performing directional porousing of mixtures and activation of its components, using industrial wastes.

Scientific novelty of the obtained results:

- further development of the provision on the dependence of the stability and multiplicity of foam of anionic foaming agents when combined with fine mineral powders with a positive surface charge of particles;

- theoretically proved and experimentally confirmed the possibility of obtaining the optimum porous structure of the solution due to the introduction of fine mineral powder as a stabilizer, plasticizer and water-retaining component, which allows to reduce the water-hard ratio (V/T) and to maximize the activity of the binder due to residual water, which is due to the dispersing ability of microfillers;

- established and quantified by two- and three-factor incomplete cubic EC-models of patterns of joint influence of the type, amount and particle size of the mineral filler, the cost of Portland cement and the ratio of water-hard (V/T) and C/F (F – filler) on the parameters of average density and the strength of the obtained porous solutions based on dry mixes;

- the influence of mechanical activation of mineral fine-milled components on rheological and physical-mechanical properties of porous solutions is revealed.

The practical significance of the results obtained is:

- expanding the nomenclature of dry mixes based on cement binder and activated mineral fillers for the installation of sound insulation screeds and layers of floors of civil buildings;

- optimization of formulation of effective cement dry building mixtures with activated mineral and complex chemical additives and porous solutions based on them;

- development of technology of activation of components of dry building mix for porous solutions obtained on their basis;

- increase of ecological and economic efficiency of porous solutions based on dry mixes on activated mineral fillers;

- introduction into the industrial production of developed porous solutions for arrangement of sound insulation layer of interfloor flooring and leveling screed during construction of multi-storey residential building in Kyiv.

The paper examines the modern market of dry building mixtures of Ukraine, in particular for thermal, sound insulation works and floors, analyzes the raw material base of Ukraine for the production of dry mixes. It is noted that design and development of effective mixtures of mixtures using waste and by-products of industry remains relevant. The problem of creating dry mixes with improved thermal, sound insulation characteristics will allow to solve directional porousing of mixtures using activated fillers, as well as the use of micro-reinforcement of the solution with polypropylene fiber. The analysis of publications of domestic and foreign scientists in this field is carried out.

The following scientists have made a significant contribution to the development of the basics of designing dry building mixtures and the technology of obtaining solutions based on them for various purposes, including for the arrangement of floors: Bazhenov Yu. M., Virovyi V. M., Dvorkin L. Y., Dvorkin O. L., Zhitkovsky V. V., Karapuzov E. K., Lyashenko T. V., Maksimenko A. A., Mironenko A. V., Nalimova O. V., Nosovsky Y. L., Pischeva T. I., Polishchuk-Gerasimchuk T. O., Pushkaryova K. K., Runova R. F., Telitsina N. E., Salamakha L. V., Stepasyuk Y. O., Troyan V. V., Sheptun S. Y.

The current area of research relates to the study of the effects on the properties of dry mixes fine fine additives, as well as the development of new complex additives to dry mixtures based on various industrial wastes.

The hypothesis for obtaining effective dry building mixtures for elements of floors of civil buildings by the introduction of fine mineral powders, as complex additives-modifiers and stabilizers of the properties of dry mixes. To this end, ash removal and carbonate limestone wastes can be applied with their complex activation together with other components of the mixture.

The urgency of using industrial waste in the production of cement binders, concrete solutions and the activation of their components is confirmed by studies of the following scientists: Barabash I. V., Gots V. I., Dvorkin L. Y., Dvorkin O. L., Kryvenko P. V., Pushkaryova K. K., Runova R. F., Sanitsky M. A. and others.

The following are the characteristics of the raw materials used and the research methods used in the work.

The dissertation deals with theoretical prerequisites for the preparation of porous solutions based on dry building mixtures and presents experimental studies to determine the effect of mineral additives on the increase of foam technical characteristics, on the preparation parameters of the mixture, and on the rheological and physical and mechanical properties of the porous solution.

The theoretical substantiation of the mechanism of interaction of surfactants and mineral constituent mixture, between which there is an electrostatic interaction that affects the multiplicity and stability of foam, is given. Reducing the sensitivity to precision of dosing air-tightening additives and ensuring their uniform introduction into the dry mixture is possible by pre-combining them with mineral fine materials.

In the work it is established that the introduction of mineral additives allows to increase the technical characteristics of foam. Thus, the multiplicity of foam without mineral additive is 15, and the resistance is 210 s. When adding fine-grained carbonate limestone powder, the foam stability increases to 468 s and the multiplicity drops to 13,5.

This is because the fine particles of the fillers saturate the foam solution, forming a foam system and increasing the native density. Foam resistance increases due to the increase in surface tension of the water membranes of the foaming agent around the air bubbles, due to the dissociation of mineral matter on their surface.

The results of the study on the effect of the introduction of finely ground mineral powders on the compressive strength and average density of porous solutions are presented in the paper. Studies have shown that porous solutions with a mineral powder content of 10-18 %, with a cement consumption of 45 % retain a water-hardening ratio within $W/S = 0,26-0,37$, are characterized by the mobility of the solution mixture 6-14 cm and water-holding capacity of 95-98 % and the following parameters of the solidified solution at the age of 28 days: average density $\rho_m = 560-1380 \text{ kg/m}^3$, porosity – $P = 23-66 \%$, closed – $P_c = 12-41 \%$, compressive strength $R_{st.} = 2, 85 - 8,87 \text{ MPa}$, the coefficient of softening $k_s = 0,81-0,91$.

After a series of researches, processing and statistical analysis of the experimental data, regression equations are obtained, which allow optimization of the parameters of the technological process of manufacturing porous dry mixes. It is determined that the average density for the designed effective dry mixes depends on the concentration of the foaming additive, water-solid ratio (W/S) and the ratio of the cost of aggregate (fillers) to the cost of cement (C/F). It is determined that the C/F ratio plays a significant role in the growth of strength: strengthen 6-10 MPa can be obtained when $C/F = 0,4-1$.

Further experimental studies address the formulation of porous dry mixes sound insulation formulations using local mineral additives and production wastes as the active ingredient mixture along with the binder and functional additives.

It is shown that when used in the technology of porous SBS is not elimination of crushing of carbonate rocks, but fine particulate limestone filler, it is possible to increase the efficiency and operational properties of porous solutions based on SBS. Activation by joint mechanical grinding and mixing in runners for 5-10 minutes of limestone waste with binder and other components of the mixture allows to obtain a decrease in the

average density of the solidified solution by $\Delta\rho_m = 19-61\%$ without increasing W/C and W/S, increase in compressive strength by $\Delta R_{28} = 6-29\%$, reduce cement consumption by $\Delta C = 20-37\%$. Regulation of the rheological properties of porous solutions was due to the introduction of polymer additives. The flexural strength and shrinkage were increased by the introduction of 2-6 mm polypropylene fiber.

Joint mechanical activation by the dry method of mineral fillers, binders and polymer additives has been found to improve the rheological and technological properties of porous mortar mixtures and to increase the strength of porous mortars made on the basis of developed dry mixes. The result is the production of compounds with a low average density up to 800 kg/m^3 with high rheological activity (mobility – more than 8 cm, flowability – up to 21 cm, shelf life – 45 min and more), strength up to 15 MPa, improved thermal and sound insulation characteristics, reduced water demand, savings in cement and chemical additives. The order of mechanical activation of dry mixes by joint dry grinding (I stage) and subsequent additional thorough mixing (II stage) of mineral and organic components of the mixture was established.

Acoustic studies have shown that in the range of geometric frequencies from 31,5 to 1000 Hz, the sound insulation ability of porous solutions based on SBS is higher than that of foam or metal screen. It is experimentally established that the sound insulation capacity of an obstacle, 3 cm thick, made from the developed dry mixes, is $\Delta L = 15-35 \text{ dB}$. There is an almost linear dependence of the change in the sound insulation ability of an obstacle with dry mixes from its average density.

Below are the recommendations for the manufacture and formulation of porous mixtures for floor elements, technological schemes for mechanical activation and manufacture of dry mixes economic effect of the application of the results of work is given.

Keywords: dry mixes, screeds and floor layers, aggregate, filler, carbonate rocks, ash-bearing, sand, mineral additive, activation, porous solution, surfaceactive substances, clay, modifying additives, industrial wastes, sound insulation, porous structure.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Публікації у наукових фахових виданнях України та у виданнях, включених до міжнародних наукометричних баз:

- [1] В. П. Очеретний, В. П. Ковальський, та А. В. Бондар, «Використання відходів вапняку та промислових відходів у виробництві сухих будівельних сумішей», *Науково-технічний збірник «Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві»*, № 1, с. 36-40, 2009.
- [2] В. П. Очеретний, В. П. Ковальський, М. П. Машницький, та А. В. Бондар, «Залежність теплотехнічних та фізико-механічних властивостей ніздрюватих бетонів від параметрів виготовлення», *Науково-технічний збірник «Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві»*, № 2, с. 34-39, 2009.
- [3] В. П. Очеретний, В. П. Ковальський, В. В. Смоляк, та А. В. Бондар, «Проектування складів сухих будівельних сумішей з мінеральними добавками», *Науково-технічний збірник «Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві»*, № 1, с. 48-54, 2010.
- [4] В. П. Очеретний, В. П. Ковальський, та А. В. Бондар, «Використання поверхнево-активних речовин як поризуючої добавки до сухих будівельних сумішей», *Науково-технічний збірник «Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві»*, № 1, с. 33-40, 2011.
- [5] В. П. Очеретний, та А. В. Бондар, «Перспективи виробництва і використання поризованих сухих будівельних сумішей», *Науково-технічний збірник «Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві»*, № 2, с. 36-39, 2011.
- [6] А. В. Бондар, «Технологічні аспекти виготовлення поризованих складів сухих будівельних сумішей», *Науково-технічний збірник «Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві»*, № 1, с. 24-27, 2013.

- [7] В. П. Очеретный, В. П. Ковальский, та А. В. Бондарь, «Поризованные сухие строительные смеси: эффективность получения сухого пенообразователя методом сорбции и выпаривания», *Приволжский научный вестник*, № 10 (26), с. 36-40, 2013.
- [8] В. П. Ковальський, М. С. Лемешев, В. П. Очеретний, та А. В. Бондар, «Обгрунтування доцільності використання золошламового в'язучого для приготування сухих будівельних сумішей», *Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди*, Вип. 26, с. 186-193, 2013.
- [9] В. П. Очеретний, В. П. Ковальський, та А. В. Бондар, «Вплив мінеральних мікронаповнювачів на властивості поризованих сухих будівельних сумішей», *Вісник Сумського національного аграрного університету. Серія: «Будівництво»*, Випуск 10 (18), с. 44-47, 2014.
- [10] В. П. Ковальський, В. П. Очеретний, А. В. Бондар, та А. С. Кузьмич, «Використання глиняного порошку як мінерального мікронаповнювача у сухих будівельних сумішах», *Международное периодическое научное издание «Научные труды SWorld»*, Випуск 2 (43). Том 7, с. 86-92, 2016.
- [11] А. В. Бондар, В. П. Ковальський, В. П. Бурлаков, та Є. Р. Матвійчук, «Утилізація відходів промисловості шляхом виготовлення на їх основі сухих будівельних сумішей», *Екологічні науки: науково-практичний журнал*, № 3 (22), с. 21-24, 2018.
- [12] А. В. Бондар, «Вплив технологічних факторів на властивості поризованих будівельних розчинів на основі сухих будівельних сумішей» *Науково-технічний збірник «Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві»*, № 2, с. 31-36, 2018. DOI: 10.31649/2311-1429-2018-2-31-36.
- [13] А. В. Бондар, «Вплив карбонатних добавок на властивості поризованих сухих будівельних сумішей», *Науково-технічний журнал «Нові технології в будівництві»*, Випуск № 35, с. 63-67, 2018.

- [14] А. В. Бондар, «Технологія виготовлення полегшених складів цементних сухих будівельних сумішей з мінеральними добавками», *International Academy Journal Web of Scholar: Multidisciplinary Scientific*, Edition 2 (32), pp. 3-9, 2019. (Index Copernicus).
DOI: https://doi.org/10.31435/rsglobal_wos/28022019/6339.
- [15] А. В. Бондарь, В. П., Ковальский, В. П. Очеретный, и В. П. Бурлаков, «Цементные сухие строительные смеси с улучшенными теплозвукоизоляционными свойствами для устройства элементов полов гражданских зданий», *Международный периодический рецензируемый научный журнал «International periodic scientific journal SWorldJournal»*, Issue № 1, pp. 46-52, 2019. DOI: 10.30888/2410-6615.2019-01-01-043.
- [16] А. В. Бондар, В. П. Ковальський, В. П. Очеретний, Д. В. Мороз, та І. М. Вознюк, «Вплив механічної активації мінеральних складових на властивості полегшених складів цементних сухих сумішей для підлог», *Наукове видання «Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури»: збірник наукових праць*, Випуск № 74 (березень 2019), с. 82-94, 2019. DOI: 10.31650/2415-377X-2019-74-82-96.

Публікації апробаційного характеру:

- [17] В. П. Очеретний, В. П. Ковальський, А. В. Бондар, та А. Ф. Діденко, «Технологічні особливості введення піноутворювачів при виготовленні ніздрюватих бетонів», на *IV Міжнародній конференції молодих вчених GAC-2011 «Геодезія, архітектура та будівництво»*, Львів: Львівська політехніка, 2011, с. 126-129.
- [18] А. В. Бондарь, В. П. Ковальский, и В. П. Очеретный, «Использование карбонатных пород как микронаполнителей в сухих строительных смесях пористой структуры», на *Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы архитектуры, строительства,*

- энергоэффективности и экологии – 2016*», Тюмень: Тюменский индустриальный университет, 2016, с. 207-213.
- [19] А. В. Бондарь, В. П. Ковальский, и В. П. Очеретный, «Звукоизоляционные сухие строительные смеси на основании отходов производства», на *IV Междунар. науч.-практ. конф. Инновационное развитие территорий*, Череповец: ЧГУ, 2016, с. 73-78.
- [20] В. П. Ковальський, А. В. Бондар, В. П. Бурлаков, А. О. Бричанський, та А. В. Ковальський, «Сухі будівельні суміші для підлог цивільних будівель», in *The development of technical sciences: problems and solutions: Conference Proceedings*, Brno: Baltija Publishing, pp. 65-68, 2018.
- [21] А. В. Бондарь, и В. П. Ковальский, «Использование отходов для производства строительных материалов», *IX Молодежной экологической конференции «Северная Пальмира»*, Санкт-Петербург: НИЦЭБ РАН, 2018, с. 148-151.
- [22] А. В. Бондар, «Вплив гранулометрії глиняного мікронаповнювача на властивості сухих будівельних сумішей», на *III Міжнародній науково-практичній конференції «Теорія і практика актуальних наукових досліджень»*, м. Запоріжжя, 2018, Ч. 2, с. 25-27.
- [23] А. В. Бондар, «Вплив мінеральних мікронаповнювачів і полімерних добавок на властивості сухих будівельних сумішей», на *Міжнародній науково-технічній конференції «Інноваційні технології в будівництві»*, Вінниця: ВНТУ, 2018, с. 215-218.

Патенти:

- [24] В. П. Очеретный, В. П. Ковальський, і А. В. Бондар, «Суха будівельна суміш», *МПК С 04 В 28/02, С 04 В 14/10. № UA 76518 U*, 10.01.2013, Бюл. №1.

[25] В. П. Очеретний, В. П. Ковальський, і А. В. Бондар, «Суха будівельна суміш», *МПК С 04 В 28/02, С 04 В 14/10, С 04 В 14/16, С 04 В 14/26, С 04 В 18/10, № UA 91008 U*, 25.06.2014, Бюл. №12.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ	22
ВСТУП	24
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ СТАНУ ПИТАННЯ І ОБҐРУНТУВАННЯ НАПРЯМІВ ДОСЛІДЖЕННЯ	32
1.1 Аналіз сучасного стану ринку сухих будівельних сумішей	32
1.2 Актуальні питання стосовно створення, виробництва і використання ефективних сухих будівельних сумішей	36
1.3 Аналіз літературних джерел щодо розробки та проектування складів сухих будівельних сумішей	39
1.4 Висновки до розділу 1	45
РОЗДІЛ 2 МАТЕРІАЛИ, ОБЛАДНАННЯ І МЕТОДИ, ВИКОРИСТАНІ В РОБОТІ	47
2.1 Характеристика матеріалів, що використовувались в дослідженнях	47
2.2 Методи досліджень, що застосовувались в роботі	63
2.3 Методика підбору складу сухих будівельних сумішей з використанням математичного апарату	72
2.4 Методи визначення звукоізолювальної здатності сухих будівельних сумішей	76
РОЗДІЛ 3 ТЕОРЕТИКО-ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ОСНОВИ ОТРИМАННЯ ПОРИЗОВАНИХ РОЗЧИНІВ З СУХИХ БУДІВЕЛЬНИХ СУМІШЕЙ З ВИКОРИСТАННЯМ ПОВЕРХНЕВО-АКТИВНИХ РЕЧОВИН ТА МІНЕРАЛЬНИХ ДОБАВОК	78
3.1 Особливості структуроутворення цементного каменю на основі сухих будівельних сумішей	78
3.2 Теоретичні передумови використання поверхнево-	

	активних речовин та їх роль у отриманні оптимальних реологічних властивостей будівельних сумішей	81
3.3	Передумови використання мінеральних заповнювачів, наповнювачів та мікронаповнювачів у сухих будівельних сумішах	86
3.4	Експериментальне дослідження впливу технологічних параметрів приготування та введення полімерних добавок на властивості пін та поризованих розчинів	87
3.5	Експериментальне дослідження механізму впливу мінеральних добавок на властивості пін та поризованих розчинів	101
3.6	Дослідження впливу температури висушування мінеральних добавок на властивості піноутворювачів	106
3.7	Вплив мінеральних заповнювачів і наповнювачів на властивості сухих будівельних сумішей для поризованих розчинів	113
3.8	Вплив технологічних факторів виготовлення на властивості поризованих розчинів на основі сухих будівельних сумішей	125
3.9	Висновки до розділу 3	134
РОЗДІЛ 4	РЕГУЛЮВАННЯ І ОПТИМІЗАЦІЯ СКЛАДІВ СУХИХ БУДІВЕЛЬНИХ СУМІШЕЙ ДЛЯ ЕЛЕМЕНТІВ ПІДЛОГ	138
4.1	Вплив наповнювачів із відходів виробництва на властивості сухих будівельних сумішей та поризованих розчинів на їх основі	139
4.1.1	Ефективність використання карбонатних наповнювачів	139
4.1.2	Вплив гранулометрії і кількості вапняку та вмісту	

		20
	золи-винесення на властивості поризованого розчину	142
	4.1.3 Вплив співвідношення цементу і карбонатної добавки в суміші властивості поризованого розчину	152
4.2	Вплив функціональних добавок та поліпропіленової фібри на властивості поризованих розчинів	157
	4.2.1 Вплив суперпластифікаторів на властивості суміші	159
	4.2.2 Вплив поліпропіленової фібри на властивості суміші	161
	4.2.3 Вплив ефірів целюлози та редиспергуєчих порошоків на властивості суміші	163
4.3	Вплив механічної активації складових сухої будівельної суміші та її властивості	166
	4.3.1 Теоретичні передумови проведення механоактивації сухих будівельних сумішей	166
	4.3.2 Експериментальне дослідження впливу механоактивації на властивості сухих сумішей та отриманих із них поризованих розчинів	169
4.4	Висновки до розділу 4	177
РОЗДІЛ 5	ВПРОВАДЖЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ І ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ	179
	5.1 Рекомендації щодо виготовлення сухої будівельної суміші для елементів підлог цивільних будівель	179
	5.2 Дослідження ефективності сухої будівельної суміші щодо звукоізоляційних властивостей	182
	5.3 Розрахунок економічної ефективності	187
	5.4 Висновки до розділу 5	191
	ВИСНОВКИ	192
	СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ	195
	ДОДАТКИ	219

	21
Додаток А Список опублікованих праць за темою дисертації та відомості про апробацію результатів дисертації роботи	220
Додаток Б Акт впровадження дисертаційної роботи у начальний процес	226
Додаток В Акти дослідно-промислового впровадження результатів дослідження	227
Додаток Г Матриці планування експерименту	232
Додаток Д Патенти на корисну модель	237

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

- В/Ц – водоцементне відношення;
В/Т – водотверде відношення;
ВП – вапняковий пісок (порошок);
ГП – глиняний порошок;
ДШ – джерело шуму;
ЕЦ – ефіри целюлози;
З – заповнювач;
ЗВ – зола-винесення теплоелектростанцій (ТЕС);
КД – карбонатна добавка;
МД – мінеральна добавка;
М_к – модуль крупності;
МН – мікронаповнювач;
Н – наповнювач;
П – пісок кварцовий;
ПАР – поверхнево-активні речовини;
ПВА – полівінілацетатна добавка;
ПД – піноутворююча добавка;
ПЩ, Ц – портландцемент;
РП – редиспергуючі порошки;
РС – рідке скло;
СБС – сухі будівельні суміші;
СДО, SDO-L – смола деревна омилена;
СП – суперпластифікатор;
СПБ – піноутворювач «СОФІР-ПБ»;
ФП – фібра поліпропіленова;
Ц/З (Н) – відношення цементу до заповнювача (наповнювача);

BERMOCOLL – марка ефіру целюлози;

ELOTEX – марка редиспергуючих полімерних порошоків;

«LORI» – вид піноутворювача;

«UNISELL» – вид піноутворювача;

L_p – звуковий тиск, дБ;

λ – коефіцієнт теплопровідності, Вт/(м \times °C);

ρ – густина, г/см³;

R – міцність, МПа;

$S_{пит}$ – питома поверхня, см²/г, м²/кг.

ВСТУП

Обґрунтування вибору теми дослідження. Висока якість та стабільність характеристик сухих будівельних сумішей, у порівнянні із традиційними розчинами і бетонами, визначили їх широке застосування в останні десятиріччя при виконанні будівельних та ремонтних робіт. Одночасно сучасний будівельний комплекс України потребує ефективних будівельних матеріалів з урахуванням підвищених вимог як до ресурсо- та енергозбереження при виробництві матеріалів, так і до звукозахисту цивільних будівель при їх будівництві або реконструкції.

Сучасний ринок та звукоізоляційних сухих сумішей базується на ізолюючих сумішах на основі дорогих полімерних матеріалів з використанням пористих заповнювачів. Дані суміші при найменшому порушенні технології виготовлення втрачають заявлені виробником властивості. Виробництво таких сухих будівельних сумішей в Україні відбувається з перевитратою в'язучого, використанням хімічних добавок закордонного виробництва. Отримання пористих заповнювачів з природної сировини, наприклад, перліту, є також енергозатратним процесом, що відображається на кінцевій вартості сумішей. У той же час сировинна база країни багата на природні мінеральні компоненти, які добуваються відкритим способом з утворенням великої кількості побічних, часто тонкодисперсних, продуктів виробництва, та техногенні відходи промисловості, що при довгостроковому зберіганні у відвалах негативно впливають на екологічну ситуацію регіону та країни. Використання саме цих матеріалів у якості мінеральних наповнювачів та пористих заповнювачів є економічно вигідним для організації виробництва сухих сумішей. Однак дослідження сухих сумішей для підлог на місцевій сировині обмежене розробкою складів для наливних підлог та покриття з підвищеними показниками міцності та зносостійкості промислового призначення.

У зв'язку з цим, актуальною залишається розробка ефективних сухих будівельних сумішей для поризованих розчинів при влаштуванні стяжок та прошарків підлог цивільних будівель з покращеними фізико-механічними та звукоізоляційними характеристиками на основі активованих мінеральних наповнювачів.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконана згідно з пріоритетними напрямками розвитку науки і техніки, визначеними в Законі України від 01 липня 1994 року № 74/94-ВР «Про енергозбереження», згідно з державною Галузевою програмою підвищення енергоефективності у будівництві на 2010-2014 рр. (наказ Міністерства регіонального розвитку та будівництва України від 30 червня 2009 р. N 257) та згідно з пріоритетними напрямками розвитку науки і техніки, визначеними в Законі України від 11 липня 2001 р. № 2623-III «Про пріоритетні напрями розвитку науки і техніки» (напрямок № 3 «Енергетика та енергоефективність» та напрямок № 6 «Нові речовини і матеріали»), а також в рамках проекту «Енергоефективність у житловому секторі України», програми «Уряду у сфері енергоефективності та енергозбереження», «Національного плану дій з енергоефективності на період до 2020 року» (Розпорядження Кабінету Міністрів України від 25 листопада 2015 р. № 1228-р) та Національної стратегії управління відходами в Україні до 2030 р. (Розпорядження Кабінету Міністрів України від 8 листопада 2017 р. № 820-р). Тема дисертації також відповідає науковому напрямку «Використання відходів промисловості у виробництві будівельних матеріалів» кафедри Будівництва, міського господарства та архітектури Вінницького національного технічного університету.

Мета та завдання дослідження. Теоретичне обґрунтування та експериментальне підтвердження введення активованих мінеральних наповнювачів на основі відходів промисловості на підвищення реологічних, фізико-механічних

та спеціальних властивостей цементних сухих будівельних сумішей для влаштування поризованих стяжок і прошарків підлог цивільних будівель.

Для досягнення поставленої мети вирішувались наступні **завдання**:

– вивчення сучасного стану питання створення, виробництва і використання сухих будівельних сумішей для виготовлення поризованих розчинів на їх основі при влаштуванні підлог;

– дослідження сумісного впливу поверхнево-активних речовин та мінеральних наповнювачів на властивості піни;

– визначення впливу кількісного складу компонентів суміші, виду і гранулометрії мінеральних наповнювачів на фізико-механічні властивості поризованого розчину;

– обґрунтування вибору, типу і вмісту модифікуючих добавок з метою регулювання і оптимізації властивостей поризованого розчину з використанням СБС;

– оцінення впливу механічної активації компонентів СБС на властивості поризованого розчину;

– дослідження звукоізоляційних властивостей поризованих розчинів з використанням СБС;

– проведення дослідно-промислової перевірки одержаних експериментальних результатів з визначенням техніко-економічної ефективності виготовлення поризованих розчинів і використання їх при влаштуванні підлог цивільних будівель.

Об'єктом дослідження є поризовані розчини на основі сухих будівельних сумішей, модифіковані активованими мінеральними наповнювачами із відходів промисловості, для влаштування елементів підлог цивільних будівель.

Предметом дослідження є реологічні, фізико-механічні та спеціальні властивості поризованих розчинів, отриманих на основі сухих сумішей з активованими наповнювачами, для елементів підлог цивільних будівель.

Методи дослідження. Основні експериментальні дослідження виконано за допомогою стандартних методів визначення фізико-механічних та експлуатаційних властивостей поризованих розчинів для елементів підлог на основі СБС. Дослідження структури поризованих розчинів здійснювали за допомогою оптичної мікроскопії. Підбір раціональних складів сумішей та їх оптимізацію проведено за допомогою методів експериментально-статистичного моделювання. Визначення звукоізолюючої здатності виконано експериментальним шляхом за допомогою лабораторної установки вимірювання шуму та вібрації. У теоретико-експериментальних дослідженнях застосовані фундаментальні положення і закономірності фізико-хімічної механіки дисперсних систем і матеріалів та колоїдної хімії.

Наукова новизна отриманих результатів:

– одержали подальший розвиток положення про залежність стійкості та кратності піни аніонних піноутворювачів при їх поєднанні із тонкодисперсними мінеральними порошками з позитивним поверхневим зарядом часток;

– теоретично доведено та експериментально підтверджено можливість отримання оптимальної пористої структури розчину за рахунок введення тонкодисперсного мінерального порошку як стабілізатора, пластифікатора і водоутримуючого компоненту, що дозволяє знизити водотверде відношення (В/Т) та максимально використати активність в'язучого за рахунок залишкової води, яка вивільняється внаслідок диспергуючої здатності мікронаповнювачів;

– установлені та кількісно оцінені за допомогою двох- та трьохфакторних неповних кубічних ЕС-моделей закономірності спільного впливу виду, кількості і гранулометрії мінерального наповнювача, витрат портландцементу та відношень водотвердого (В/Т) і Ц/З (Н – наповнювач) на параметри середньої густини та міцності отриманих поризованих розчинів на основі СБС;

– виявлено вплив механічної активації мінеральних тонкомолотих компонентів на реологічні, а також фізико-механічні властивості поризованих розчинів.

Практичне значення отриманих результатів полягає у:

– розширенні номенклатури сухих будівельних сумішей на основі цементного в'язучого та активованих мінеральних наповнювачів для влаштування звукоізоляційних стяжок і прошарків підлог цивільних будівель;

– оптимізації рецептури ефективних цементних сухих будівельних сумішей з активованими мінеральними та комплексними хімічними добавками та поризованих розчинів на їх основі;

– розробці технології активації компонентів сухої будівельної суміші для поризованих розчинів, отриманих на їх основі;

– підвищенні екологічної і економічної ефективності поризованих розчинів на основі СБС на активованих мінеральних наповнювачах;

– впровадженні у промислове виробництво розроблених поризованих розчинів для влаштування звукоізоляційного прошарку міжповерхового перекриття та вирівнюючої стяжки при будівництві багатоповерхового житлового будинку у м. Києві.

Особистий внесок здобувача. Основні результати роботи, які виносяться на захист, отримані здобувачем самостійно і полягають у оптимізації технології виготовлення поризованих розчинів на основі сухих будівельних сумішей, дослідженні методів активації та модифікації мінеральних наповнювачів, узагальненні даних щодо впливу тонкодисперсних мінеральних добавок на реологічні, фізико-механічні та спеціальні властивості поризованих розчинів із СБС, виконанні експериментальних досліджень, обробці отриманих результатів. Особистий внесок автора у наукових працях, опублікованих у співавторстві, полягає у наступному: у [1] досліджено вплив механічної активації складів сухих будівельних сумішей з використання золи-винесення ТЕС та некондиційних

відходів вапняку; у [2] виконано аналіз основних технологій виготовлення пінобетонів та визначено залежність зміни водотвердого відношення від прийнятої технології виготовлення; у [3] визначено за результатами експериментальних досліджень вплив кількісного співвідношення мінеральних добавок та їх гранулометрії на фізико-механічні властивості розчину з сухої будівельної суміші; у [4], [5] та [8] проведено теоретико-експериментальні дослідження щодо отримання ефективних сухих будівельних сумішей пониженої густини при мінімальному вмісті в'язучого з місцевої сировини та відходів промисловості; у [7] запропоновано та досліджено технологію отримання сухого піноутворювача із рідких синтетичних концентратів на основі сорбційних властивостей мінеральних наповнювачів із розвинутою питомою поверхнею; у [9], [10] та [18] встановлено залежності основних фізико-механічних властивостей поризованих розчинів із СБС від типу мінерального мікронаповнювача; у [11] та [16] проведені експериментальні дослідження, виявленні закономірностей спільного впливу виду, гранулометрії та співвідношення вмісту мінеральних наповнювачів до та після їх активації на властивості поризованих розчинів на основі сухих будівельних сумішей, розроблено ефективну технологію механоактивації компонентів СБС; у [15] та [19] експериментально досліджено звукоізолюючу здатність поризованих розчинів із СБС, проаналізовано результати, визначено сферу застосування даних сумішей; у [17] проведено експериментальні дослідження впливу полімерних добавок на стійкість і кратність піноутворювачів та властивості затверділої поризованої суміші; у [20], [21], [24] та [25] проведено експериментальні дослідження, проаналізовані їх результати.

Роботи [6], [12], [13], [14], [22], [23] виконані здобувачем самостійно.

Апробація матеріалів дисертації проводилась на XXXVIII, XXXIX, XL, XLV регіональних науково-технічних конференціях професорсько-викладацького складу, співробітників та студентів університету з участю працівників науково-дослідних організацій та інженерно-технічних працівників підприємств

(м. Вінниця, ВНТУ, 2009 р., 2010 р., 2011 р., 2016 р.); XLVII Науково-технічній конференції факультету будівництва, теплоенергетики та газопостачання (м. Вінниця, ВНТУ, 21.03.2018 – 23.03.2018); IV Міжнародній конференції молодих вчених GAC-2011 «Геодезія, архітектура та будівництво» (м. Львів, Львівська політехніка, 2011 р.); VIII науково-практичному семінарі «Низькоенергоємні в'язучі, бетони і розчини» (м. Рівне, НУВГП 30-31 жовтня 2013 р.); Міжнародній науково-технічній конференції «Інноваційні технології в будівництві» (м. Вінниця, ВНТУ, 18-20 листопада 2014 р.); XXIV міжнародній науково-практичній конференції «Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я» (Харків, НТУ «ХП», 18-20 травня 2016 р.); Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы архитектуры, строительства, энергоэффективности и экологии – 2016» (Россия, г. Тюмень, РИО ФГБОУ ВО Тюменский индустриальный университет, 2016 г.); IV Международной научно-практической конференции «Инновационное развитие территорий» (Россия, г. Череповец, ЧГУ, 26 февраля 2016 г.); Международной научно-практической Интернет-конференции «Современные проблемы и пути их решения в науке, транспорте, производстве и образовании 2016» (Россия, г. Иваново, 7-14 июня 2016 г.); Міжнародній науково-технічній конференції «Екологічна безпека та відновлювальні джерела енергії» (Вінниця, ВНТУ, 24-25 травня 2017 р.); Міжнародній науково-практичній Интернет-конференції «Молодь в технічних науках: дослідження, проблеми, перспективи/ Технології, матеріали і конструкції в будівництві та теплоенергетиці» (м. Вінниця, ВНТУ, 2017); The international research and practical conference «The development of technical sciences: problems and solutions» (Czech Republic, Brno, April 27–28, 2018); II міжнародній науково-практичній конференції «Прикладні науково-технічні дослідження» (м. Івано-Франківськ, Академія технічних наук України, 3-5 квіт. 2018 р.); IX Молодежной экологической конференции «Северная Пальмира» (г. Санкт-Петербург, НИЦЭБ РАН, 22-23 ноября 2018 г.); III Міжнародній науково-практичній конференції

«Теорія і практика актуальних наукових досліджень» (м. Запоріжжя, 28-29 вересня 2018 року); Міжнародній науково-технічній конференції «Інноваційні технології в будівництві» (Вінниця: ВНТУ, 13-15 листопада 2018 р.); III міжнародній науково-практичній конференції «Прикладні науково-технічні дослідження: матеріали» (м. Івано-Франківськ, Академія технічних наук України, 3-5 квіт. 2019 р.); Международной научно-практической конференции «Инновации вокруг нас '2019» (Bulgaria, Svishtov, Tsenov Academy of Economics, 27 February 2019).

Публікації. Основний положення дисертації опубліковано у 25 наукових працях, з них: 12 – статті в фахових збірниках і виданнях, рекомендованих Міністерством освіти і науки України (із них 5 – статті у збірниках, включених до міжнародних науково-метричних баз даних Index Copernicus), 4 – статті у закордонних періодичних виданнях, включених до міжнародних науково-метричних баз даних РИНЦ, Index Copernicus та ін., 2 патенти на корисну модель України і 7 – робіт апробаційного характеру у матеріалах доповідей міжнародних та закордонних конференцій.

Структура та обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається зі вступу, п'яти розділів та загальних висновків, списку використаних джерел із 202 найменувань і 5 додатків. Робота викладена на 163 сторінках основного тексту, містить 48 рисунків, 67 таблиць. Загальний обсяг дисертації складає 238 сторінок.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ СТАНУ ПИТАННЯ І ОБҐРУНТУВАННЯ НАПРЯМІВ ДОСЛІЖДЕННЯ

1.1 Аналіз сучасного стану ринку сухих будівельних сумішей

Сухі будівельні суміші (СБС) – це виготовлений в заводських умовах, оптимізований за складом, чітко дозований відповідно до рецепту набір інгредієнтів (в'язучих речовин, заповнювачів, наповнювачів і функціональних добавок), призначений для використання під час ведення окремих видів будівельних і ремонтних робіт [1].

Сучасний ринок сухих будівельних сумішей представлений складами для більшості видів загальнобудівельних та спеціальних робіт: кладка стін, штукатурні та шпаклювальні роботи, виконання і влаштування підлог і покрівель, наклеювання плитки на стіни та підлоги, забезпечення тепло- та гідроізоляції. Галузь застосування цих матеріалів у будівництві з кожним роком розширюється, охоплюючи нові напрямки і технологічні процеси. Це пов'язано із перевагами використання СБС поряд з традиційними розчинними сумішами, що забезпечується саме технологією їхнього заводського отримання: транспортні витрати зменшуються на 10-15 %; в 1,5-3 рази збільшуються якість робіт і продуктивність праці при одночасному зниженні трудомісткості технологічних процесів; знижуються на 5-7 % відходи розчинів без втрати стабільних показників якості СБС і розчинів на їхній основі [2].

В Україні виробництво СБС почалось лише у 1997 р. [3]. Проте на сучасному ринку дана група будівельних матеріалів має широкий асортимент і номенклатуру. Розвиток виробництва сухих будівельних сумішей в Україні за останні роки, починаючи із часу підйомів виробництва, представлений на рис. 1.1 [4], [5], [6].

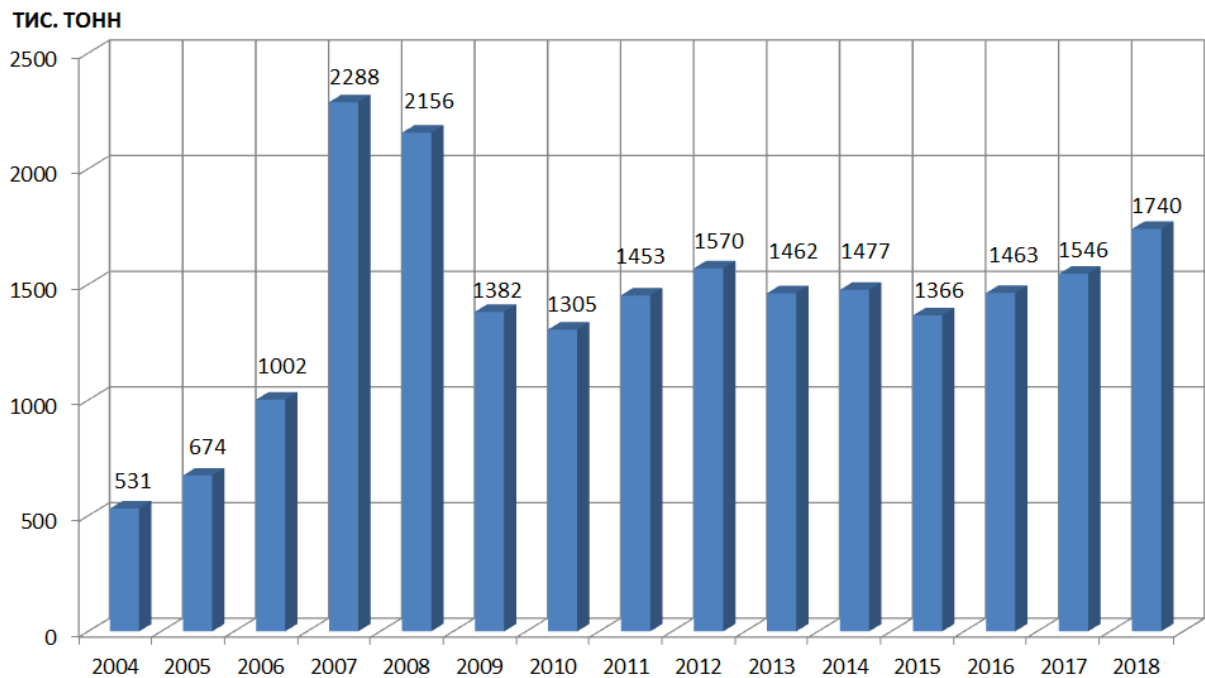
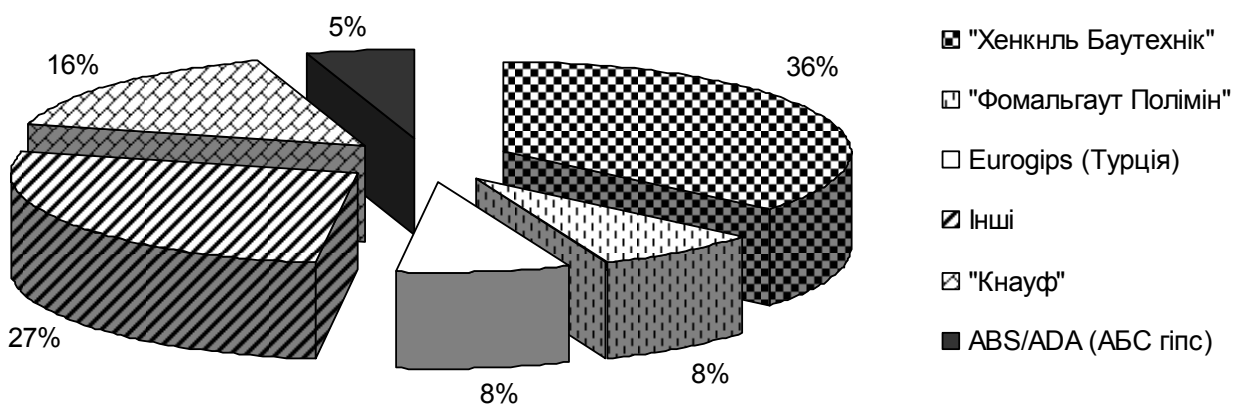


Рисунок 1.1 – Динаміка виробництво СБС в Україні

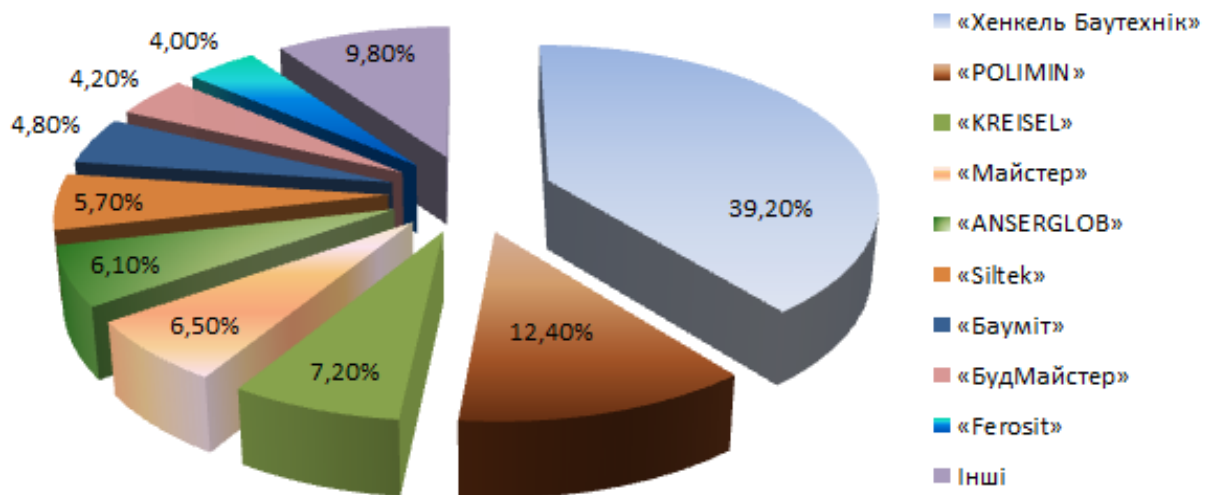
З рис. 1.1 видно, що тенденції змін обсягів виробництва СБС в значній мірі залежать від росту і падіння обсягів будівництва в країні. Різке зростання виробництва СБС пояснюється аоявою на українському ринку закордонних виробників, які створили в свої дочірні підприємства в Україні [2].

Розподіл ринку виробництва СБС в Україні преставлений на рис. 1.2.



*Інші: «Будмайстер», «Аскона-Південь» (ТМ Anserglob), «Артісан», «Бауміт-Україна», «Свромікс», «АЛІТ-БУД», «Стройиндустрия», Мамалігівський гіпсовий завод

а)



*Інші: «Лідер», «POLIMIN»; «Артісан»; «SCANMIX»; «Момент»; «Токан»; «Polirem»; «Будмікс»; «Поліпласт»; «CORAL»; «ХСМ»

б)

Рисунок 1.2 – Розподіл ринку виробництва СБС в Україні:

а) за 2010-2012 рр.; б) за 2016-2018 рр.

Таким чином, не зважаючи на те, що за останні 10 років в Україні з'явилося більше 100 фірм-виробників сухих сумішей, 97 % ринку поставок і виробництва СБС належить 30-40 компаніям. Близько 71,5-75 % всієї споживчої продукції на ринку припадає на 4-5 провідних виробників, в основному іноземного походження [3], [4], [7].

Ринок СБС поділяється на два субринки: ринок сухих цементних сумішей і ринок сухих гіпсових сумішей [2] – [4]. Окремою групою виділяються сухі суміші на полімерних в'язучих. За даними останніх конференцій Асоціації виробників сухих будівельних сумішей [5], [6] на цементні СБС припадає 55 % ринку, на гіпсові – 15 %, на полімерні – 30 %. Приріст випуску СБС в основному відбувається за рахунок клеїв для плиток та сумішей для фасадної теплоізоляції. Також 68 % ринку виробництва модифікованих СБС також припадає на сухі суміші на основі цементних в'язучих. Споживання сухих будівельних сумішей на основі цементу в Україні за останні роки зображено на рис. 1.3.

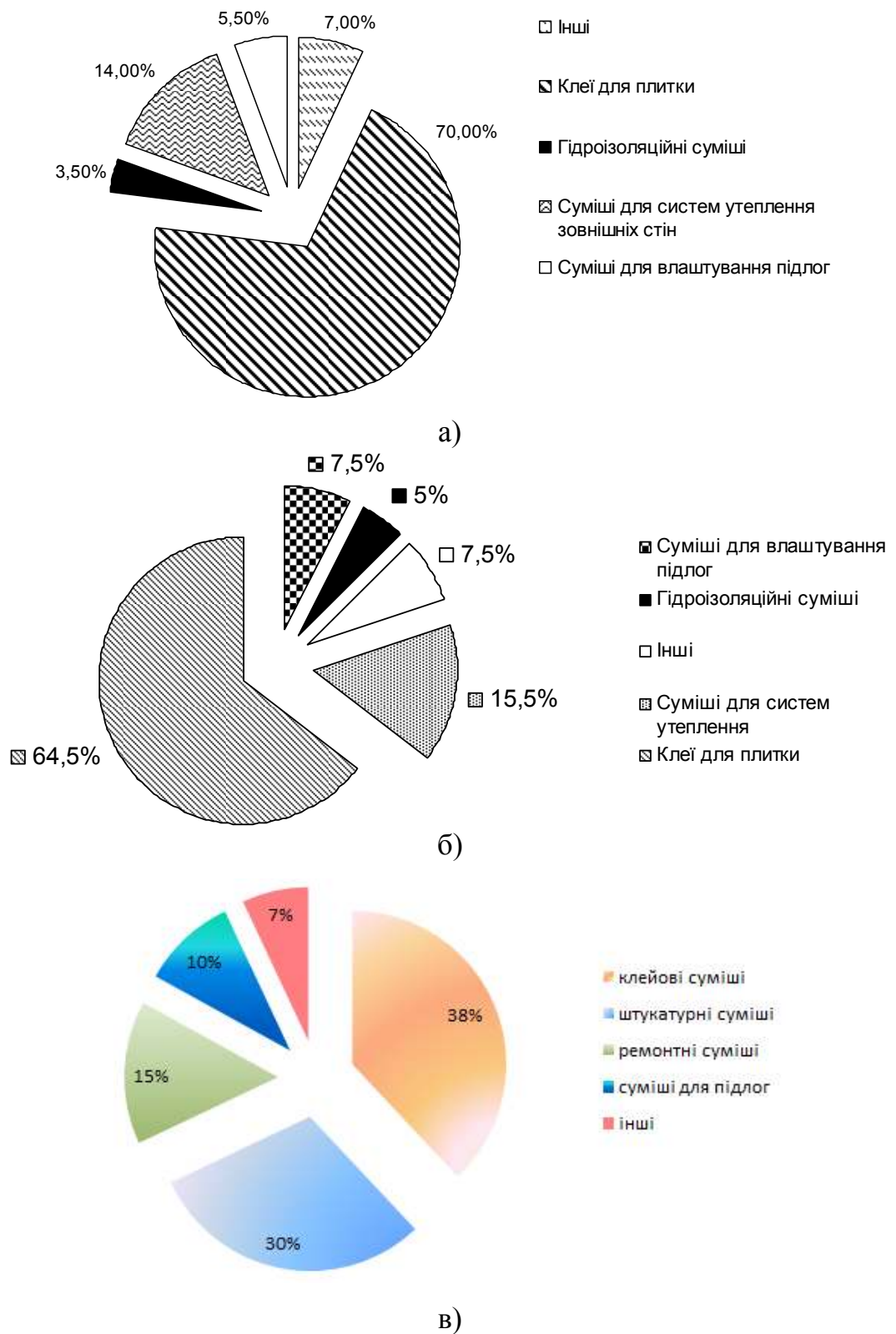


Рисунок 1.3 – Споживання СБС на основі цементу в Україні:

а) за 2010 р.; б) за 2012 р.; в) за 2016-2018 рр.

Варто зазначити, що в номенклатурі сумішей для фасадної теплоізоляції в основному представлені клейові, шпаклювальні та штукатурні сухі суміші. Для теплоізоляційних робіт номенклатура СБС обмежується оздоблювальними і вирівнюючими складами з пониженою густиною [8]. Сухі суміші для звукоізоляції чи з покращеними звукоізоляційними характеристиками почали випускатись лише в останні кілька років.

Суміші для підлог виготовляються переважно для влаштування наливних покриттів та теплих підлог з електропідігрівом. Усі перераховані СБС не знайшли широкого розповсюдження і попиту серед споживачів, оскільки відзначаються високою вартістю. Таким чином, можна зробити висновок, що актуальним напрямом розвитку виробництва СБС є розробка ефективних складів сумішей для теплозвукоізоляції та влаштування підлог.

1.2 Актуальні питання щодо створення, виробництва і використання ефективних сухих будівельних сумішей

Перспективним напрямом використання сухих будівельних сумішей є теплоізоляція приміщень, утеплення та звукоізоляція підлог і міжповерхових перекриттів, виготовлення на їх основі теплоізоляційних виробів. Проте ринок сучасних теплоізоляційних та утеплюючих СБС представлений ізолюючими сумішами на основі полімерних матеріалів і складами полегшеної густини, що досягається внаслідок використання пористих заповнювачів (перліт, вермикуліт, кульки пінополістиролу, пемза тощо). Майже не використовуються сухі суміші для виготовлення пінобетонів неатоклавного тверднення і заповнення багат шарових огорожувальних конструкцій під час проведення теплоізоляційних робіт в умовах будівельного майданчика [9] – [11], а також для влаштування теплих підлог або їхніх прошарків та виготовлення ніздрюватих бетонів. Склади СБС для влаштування підлог розробляють в основному для стяжок та покриттів наливних

підлог, а в якості теплозвукоізоляційних прошарків підлог цивільних будівель використовуються недовговічні матеріали на зразок прокладок із деревоволокнистих, гіпсових чи пінополістирольних плит, засипки із пісків, керамзитового гравію тощо.

Поризовані СБС мають ряд істотних переваг серед давновідомих теплоізоляційних матеріалів (пінополістирол, мінераловатні та скловатні утеплювачі): не потребують попереднього вирівнювання, створюють суцільний теплоізоляційний шар без містків холоду, пластичні, мають високі показники вогнестійкості та стійкості щодо ураження організмами, екологічні, довговічні, технологічні, економічні [10].

Сучасні теплоізоляційні сухі будівельні суміші складаються з суміші в'язучого (цемент, гіпс, вапно або полімерні в'язучі), спеціальних легких мінеральних заповнювачів та наповнювачів строго фіксованої дисперсності (керамзит, перліт, вермикуліт, пемза, полістирольний заповнювач) та/або спеціальних поризуючих полімерних добавок [1], [9], [10]. Для управління технологічними, фізико-механічними та експлуатаційними властивостями сухих сумішей їх модифікують спеціальними добавками чітко визначеного призначення. Модифіковані сухі суміші – це полімермінеральні композиції, фізико-хімічні процеси в яких обумовлені взаємодією в системі «мінеральне в'язуче – полімерний зв'язуючий наповнювач – добавки – вода» [1]. Модифікуючі добавки активно впливають на процес гідратації цементу і на утворення структури цементного каменю. З цією метою в основному використовуються ефіри целюлози та полімерні дисперсійні редиспергуємі порошки різної хімічної природи [12].

Одним із основних визначальних факторів вартості СБС є транспортні витрати на перевезення готових сумішей (до 15 %) та сировини для СБС. Останні можуть збільшувати вартість сухих будівельних сумішей на 5-15 %. Майже 98 % (за масою) сировинних компонентів СБС складають цемент, гіпс, вапно, пісок, крейда тощо, які є досить дешевими і виготовляються з сировинних матеріалів,

родовища яких є в кожній країні. Це значно підвищує залежність ціни СБС від транспортних витрат. Іншим фактором, що впливає на ціну СБС, є використання модифікуючих добавок. Більшість сучасних добавок-модифікаторів СБС – полімерні порошки: хімічно складні сполуки, що виробляються переважно в Європі (Німеччина, Італія, Швеція, Фінляндія, Франція) і складають 30-60 % вартості СБС.

Досягти зниження вартості сухих сумішей можливо використовуючи вторинні матеріальні ресурси, залишки сировини, які втратили споживні властивості, промислові відходи та подібні їм матеріали. Це дозволяє зменшити потреби у природній сировині та на 10-30 % знижує витрати на виробництво будівельних матеріалів та виробів [13] – [16].

Однак існують такі основні невирішені питання щодо створення СБС для поризованих розчинів при влаштуванні підлог:

1) суміші на основі пористих заповнювачів мають підвищену крихкість і низькі механічні властивості, високу паропроникність;

2) технологічні недоліки під час приготування розчинів: складність перемішування розчинів з пористими заповнювачами природнього походження, нерівномірний розподіл легких полімерних заповнювачів у шарі розчину;

3) суміші для неавтоклавних пінобетонних сумішей не є закінченою композицією через відсутність у їхньому складі піноутворювача (він додається безпосередньо на стадії замішування суміші з водою, так як є рідкою чи пастоподібною речовиною);

4) суміші для підлог мають високу вартість та/або не відповідають вимогам тепло- та звукоізоляції;

5) висока вартість звукоізоляційних сумішей для підлог чи спеціальних хімічних добавок для виготовлення розчинів із СБС даної групи;

6) висока вартість пористих заповнювачів типу перліту та вермикуліту через енергозатратність технології їх отримання.

1.3 Аналіз літературних джерел щодо розробки та проектування складів сухих будівельних сумішей

Оскільки сухі будівельні суміші багатоконтентні складні композиції, що постійно оновлюються залежно від вимог споживача під певний вид робіт, то розробити загальну теорію проектування оптимальних складів СБС вкрай важко.

В Україні сухі будівельні суміші нормуються згідно державних стандартів ДСТУ-П Б В.2.7-126:2011 [1] та ДБН В.2.6-22-2001 [17], у яких приведені вимоги до основних фізико-механічних та технологічних характеристик СБС, розчинових сумішей і розчинів на їх основі та крупності заповнювачів для сумішей залежно від призначення та умов застосування.

Існуючі розрахунково-експериментальні методики проектування складів будівельних розчинів на мінеральних в'язучих (Фере Р. [18]), в основі яких задані показники рухомості розчинової суміші та/або міцності розчину на стик, не враховують якість заповнювачів та вплив вмісту води на властивості розчинів, отриманих із СБС.

Особлива увага при проектуванні складів сухих сумішей приділяється підбору компонентів та їхньому дозуванню, якості матеріалів, визначенні залежності рухомості та міцності розчинів із СБС від водоцементного (В/Ц) або водотвердого (В/Т) відношення та традиційно від витрат цементу і його активності.

В роботах таких вчених як Баженов Ю. М. [19], Карапузов Є. К. [20], [21], Корнеєв В. І. [22], Нікіфоров Ю. В. [23], Носовський Ю. Л. та Рунова Р. Ф. [24], [25] сформульовані основні вимоги до мінеральних в'язучих для виготовлення на їх основі сухих будівельних сумішей. Найкращі показники якості СБС досягаються за умови використання цементів з низьким вмістом лугів та обмеженні використання глиноземистих цементів. Розробки ефективних в'язучих для сухих сумішей та пінобетонів з використанням відходів промисловості представлені у

роботах Гоца В. І. [26], Дворкіна Л. Й. та Дворкіна О. Л. [27], Пушкарьової К. К. [27], Рунової Р. Ф. [28] – [29], Саницького М. А. [30].

Для визначення впливу гранулометрії наповнювачів на властивості СБС можна використовувати загальні положення їх підбору, сформульовані Фере Р.: раціональними будуть суміші наповнювачів з переривчастим гранулометричним складом [18]. Інші дослідники вважають, що існує визначена закономірність зміни кількісного співвідношення зерен різних розмірів у суміші залежно від граничної крупності зерен [31] – [35].

В роботі Макаревич М. С. [36] встановлено закономірності зміни властивостей сухих сумішей з використанням карбонатних мікронаповнювачів залежно від їхнього хімічного складу, дисперсності (питомої поверхні). Також досліджено вплив кількісного вмісту тонкодисперсних мінеральних добавок та їхньої міжзернової пористості на властивості сумішей.

Дисертаційна робота Трояна В. В. присвячена теоретико-експериментальним дослідженням щодо розробки ефективних модифікованих сухих будівельних сумішей для покриттів підлог промислових будівель. Високі показники міцності та розтічності досягаються завдяки комплексній модифікації цементуючої матриці термоактивованим каоліном при регулюванні мезоструктури [37].

Дружинкін С. В. встановив зміни реологічних і технологічних характеристик СБС від складу та фізико-хімічних властивостей компонентів сухої суміші [38]. Як основний компонент використовуються породи, що містять цеоліт.

В роботі Аубакірової Б. М. запропоновано нове поняття – «комплексна пластифікація» сухих будівельних сумішей на основі високодисперсного активного метакаоліну. Обґрунтовано, що в основі отримання модифікуючих добавок та ефективних сухих будівельних сумішей лежить синергізм процесів механоактивації, комплексної пластифікації і гідрофобізації [39].

Смірнов М. О. дослідив закономірності упаковки зернисто-дисперсних систем з урахуванням впливу поверхневих сил, запропонував методику визначення

оптимального гранулометричного складу сухих сумішей та оптимальної добавки високодисперсних мінеральних наповнювачів [40].

Пучков Р. Ю. розробив сухі суміші для оздоблювання стін будівель з використанням місцевих матеріалів: дегідратованої глини, меленого негашеного вапна, річного піску, кальцинованої соди [41].

Теоретично-практичні основи використання мінеральних добавок у розчинах та фізико-хімічні основи введення хімічних добавок в розчинів суміші з метою отримання матеріалів із заданими показниками якості висвітлено в роботах Дворкіна Л. Й. та Дворкіна О. Л. [42], Ковалю С. В. [43], Ушерова-Маршака А. В. [44], Циака М. [45]. Наприклад, Дворкін Л. Й. пропонує підвищувати водоутримувальну здатність розчину шляхом зниження водотвердого відношення (В/Т), що досягається правильним підбором основного мінерального складу суміші і додаванням тонкодисперсного мінерального наповнювача та пластифікатора.

Подкоритова Г. О. пропонує регульовано підвищувати технологічні, фізико-механічні та експлуатаційні властивості СБС за допомогою модифікування їх введенням пластифікуючих добавок комплексної дії або полімерних добавок, адсорбованих на заповнювачі [46].

У роботі Бондаренко А. І. показана ефективність застосування механоактивації кремнеземистого компоненту при проектуванні СБС для наливних підлог, здатних до самовирівнювання [47]. Механоактивація являлась інструментом управління гранулометриєю та фазовими і реакційними параметрами кварцового матеріалу як компоненту композиційного в'язучого на основі портландцементу, дозволяла змінювати реологічні та технологічні властивості розчинової суміші.

Наукові уявлення про процеси структуроутворення модифікованих полімерцементних в'язучих і СБС на їх основі для наливних підлог з метою управління міцністю і власними деформаціями за допомогою рецептурного регулювання описані Налімовою О. В. [48].

Піщева Т. І. встановила, що на реологічні та експлуатаційні властивості сумішей чинять вплив фактори складу та закономірності його зміни. Дослідження проводились для вітчизняних базових компонентів СБС і ряду редиспергованих полімерних порошоків, метилцелюлози і полімерної фібри [49].

Риженко І. М. отримав композиційні мурувальні сухі будівельні суміші для тонкошарової кладки шляхом поєднанням золи-винесення з комплексом хімічних добавок [50].

Акжигітова Е. Р. запропонувала застосовувати органо-мінеральну добавку з глини як тиксотропну добавку в вапняних сухих будівельних сумішах. Запропоновану добавку отримано на основі фізико-хімічних понять процесу адсорбції аніонних і неіоногенних ПАР на поверхні глин [51].

Хіміч Т. С. розвинула використання глин у технології СБС, а саме використала бентонітову глину як модифіковану добавку до штукатурних розчинів на основі портландцементу [52].

Вимоги до хімічних добавок для бетонів і будівельних розчинів та правила їх застосування відображено ДСТУ Б В.2.7-171:2008 [53]. Відсутність у складі СБС сучасних хімічних добавок вимагає модифікації таких сумішей. Визначені склади сухих будівельних сумішей для певних видів робіт визначені Карапузовим Є. К. [20], [21,] та Корпеевим В. І. [22].

Використання математичних методів моделювання, а саме – теорії планування активного експерименту, дозволило розвинути та вдосконалити існуючу методологію проектування складів сухих будівельних сумішей.

Основні методи математичного моделювання в будівельному матеріалознавстві та методи оптимізації композиційних будівельних матеріалів відображені в роботах Вирового В. М. [54], Вознесенського В. А. [54] – [56], Дворкіна Л. Й. і Дворкіна О. Л. [57] – [58], Житковського В. В. [58], Ляшенко Т. В. [56]. Комплексну методику проектування складів сухих будівельних сумішей

загальнобудівельного призначення розробили Пушкарьова К. К. [59], Дергунов С. О. [35], [60], а експертний метод – Теліцина Н. Є. [61].

Дослідження та розробки, присвячені теплоізоляційним СБС стосуються в основному сумішей на пористих заповнювачах. Тут слід відмітити роботу українського вченого Бондаренка Д. О. [62] про перлітоцементну теплоізоляційну штукатурку зниженої паропроникності.

Ширіною Н. В. виявлені особливості кінетики структуроутворення цементних та цементно-перлітових композицій за наявності модифікуючих добавок (ефіри целюлози, редиспергуємі порошки, пороутворювач, гідрофобізатори), що дозволяє широко регулювати структурно-механічні властивості сухих сумішей і на їхній основі створювати матеріали з необхідними технічними параметрами [63].

Ефективні сухі будівельні суміші з вермикулітовим зповнювачем та полімерними добавками, призначені для обробки зовнішньої поверхні стін з ніздрюватобетонних блоків, розроблені Ахмедьяновим Р. М. [64].

Удодов С. О. запропонував методику визначення оптимального гранулометричного складу пористого заповнювача з відходів пористого бетону з врахуванням особливостей його властивостей; розробив штукатурні та мурувальні склади пониженої середньої густини для пористого бетону [65].

Ємельянов О. І. обґрунтував можливість отримання пінобетону з сухих сумішей, виявив закономірність формування структури пористого бетону з сухим білковим піноутворювачем, отримав кінетичні залежності набору міцності пінобетону з сухих сумішей, а також встановив залежність властивостей пінобетону від технологічних параметрів [66].

Метою роботи Погорелової І. О. є розробка складів СБС для неавтоклавних пористих бетонів на основі в'язучих низької водопотреби і комплексного піноутворювача [67]. Поставлене завдання вирішується постадійним формуванням порової структури за рахунок механохімічної поризації суміші з пониженим В/Ц.

Формувальна суміш на першому етапі поризується за рахунок дії піноутворювача. Потім в хімічну реакцію вступає газоутворювач.

Бородуля О. В. встановив, що для поліпшення теплозахисних властивостей затверділих сухих будівельних сумішей в однакових умовах слід розглядати відношення радіуса катіона до радіусу аніону складових суміші; найкращим заповнювачем є мелений ніздрюватий бетон [68].

Красініковою Н. М. реалізовано принцип отримання неавтоклавного пінобетону з сухої суміші, що включає процеси переводу водного розчину піноутворювача в тверду фазу гідратаційним способом і механоактивації в'язучого шляхом спільного помелу всіх компонентів, що дозволяє підвищити міцність і знизити вологісну усадку під час тверднення [69].

Актуальність використання відходів промисловості у виробництві цементних в'язучих, розчинів, бетонів і сухих сумішей та активації їхніх складових підтверджують дослідження таких вчених: Беррі Е. [70] Барабаша І. В. [71] – [73], Вирового В. М. [73], Гоца В. І. [74], [75], Дворкіна Л. Й., Дворкіна О. Л. [31], [32], [76], Ковальського В. П. [77], Кривенка П. В. [75], [78], Малхотра В. М. [79], [80], Офранової М. М. [81], Пушкарьової К. К. [75], [79], [82], Рунової Р. Ф. [83], Саницького М. А. [30] та інших.

В даний час ведуться розробки складів сухих будівельних сумішей для поробетону на основі вторинної сировини і відходів промисловості, з застосуванням високодисперсних цементів і активних наповнювачів [84] – [86]. Так, Степасюком Ю. О. розроблені склади модифікованих сухих сумішей на основі малоклінкерного шлакопортландцементу для розчинів, що за нормативними вимогами можуть бути використані для покриттів підлог [86], а Шептун С. Ю. розробив цементні СБС з мінеральними добавками для наливних підлог підвищеної зносостійкості [87]. У процесі роботи [88] – [90] встановлено, що для отримання неавтоклавного поробетону середньої густини 400-500 кг/м³ з якісними показниками, аналогічними автоклавному, необхідно використовувати мінерально-

однорідні компоненти відповідної дисперсності, що мають високу поверхневу активність і енергію взаємодії у водному середовищі, що виділяють велику кількість тепла та ущільнюють структуру цементного каменю. Для покращення технологічних характеристик поробетонних сухих сумішей до їхнього складу ефективно включати дисперсно-армуючі добавки [91], [92]. У той же час в літературних джерелах немає даних стосовно розробки СБС з використанням техногенних вторинних ресурсів та поризованих розчинів на їхній основі для підлог з достатніми фізико-механічними властивостями.

Останні наукові розробки щодо сухих сумішей для влаштування елементів підлоги відображені у роботах [86], [87], [93], [94]. Робота Самалахи Л. В. стосується питання розробки та дослідження сухих будівельних сумішей, що містять базальтові волокна [93], а Максименком А. А. досліджено проблему розробки сухих будівельних сумішей для елементів підлоги, виготовлених на основі магнезіально-бішофітного в'язучого та техногенних домішок, модифікованих редиспергуючими полімерними порошками [94].

1.4 Висновки до розділу 1

1. Проаналізовано стан та динаміку розвитку українського ринку сухих будівельних сумішей. Сучасний ринок СБС в Україні представлений в основному клеючими та штукатурно-оздоблювальними сумішами, більша частина яких випускається іноземними компаніями. Теплоізоляційні СБС складають близько 14 % від виробництва сухих сумішей на цементній основі та близько 8 % від загального обсягу випуску СБС і представлені складами, у яких використовуються перліт і вермикуліт. Загальна частка сумішей для підлог різного призначення на ринку України не перевищує 10 %, що пов'язано з їх високою вартістю та низькими фізико-механічними характеристиками.

2. Визначено, що в основі формування вартості сухих будівельних сумішей

закладено такі витрати: ціна функціональних добавок та в'язучого – 30-60 % вартості СБС; транспортні витрати на доставку сировинних матеріалів – 5-15 %, готових сумішей – до 15 %. Налагоджене виробництво цементних в'язучих, великий запас будівельних корисних копалин (вапняк, глина, каолін, пісок), а також відвали техногенних вторинних ресурсів (золи ТЕС, побічні продукти видобутку мінеральної сировини) дозволяють зробити висновок про можливість виготовлення в Україні ефективних сухих сумішей з місцевої сировини.

3. Наукові розробки стосовно проектування складів сухих будівельних сумішей стосуються насамперед пошуків ресурсо- та енергозберігаючих технологій, що досягається зниженням витрат в'язучого та хімічних добавок шляхом часткової заміни їх у складі активними мінеральними добавками, використанням відходів промисловості як заповнювачів та активних наповнювачів, використання математичних методів моделювання для підбору складів сумішей та прогнозування їхніх властивостей, механохімічною активацією інертних мінеральних компонентів сумішей.

4. Проведений аналіз літературних джерел підтверджує актуальність проведення досліджень щодо розробки ефективних складів СБС для підлог, а також дозволяє сформулювати **наукову гіпотезу досліджень**: можливість отримання ефективних сухих будівельних сумішей для підлог та поризованих розчинів на їхній основі при використанні поверхнево-активних речовин (ПАР) за рахунок введення тонкодисперсних мінеральних порошоків, як комплексних добавок-модифікаторів властивостей СБС, так і стабілізаторів піни, регулюючи цим характер і ступінь пористості та коефіцієнт конструктивної якості, застосовувати також при комплексній активації золу-винесення та відходи камеренізації карбонатних вапняків.

Результати досліджень, наведені у даному розділі, опубліковано в [1], [5], [6], [8] – [10], [13], [16], [18].

РОЗДІЛ 2

МАТЕРІАЛИ, ОБЛАДНАННЯ І МЕТОДИ, ВИКОРИСТАНІ В РОБОТІ

2.1 Характеристика матеріалів, що використовувались в дослідженнях

Вихідним в'язучим компонентом для розробки сухих будівельних сумішей та дослідженні поризованих розчинів на їх основі слугував загальнобудівельний бездомішковий портландцемент ПЦ І-500 Кам'янець-Подільського цементного заводу, відібраний із ряду цементів вітчизняних заводів-виробників такої ж марки як цемент, який показав найвищу активність при заявленій марці 500 при використанні у технології сухих будівельних сумішей. В якості заповнювачів та наповнювачів використовували відходи каменерізання карбонатних гірських порід (карбонатні вапняки Джуринського-1 та Сапіжанського-ІІ родовищ) та дрібні піски кварцові з розміром часток до 1,2 мм Жеребелівського родовища Вінницької області. Як наповнювачі застосовувались також відходи енергетичної промисловості у вигляді золи-винесення Ладижинської ТЕС. Шляхом додаткового механічного подрібнення з них отримували активовані наповнювачі та мікронаповнювачі. Як добавки для створення пористої структури затверділого розчину на основі СБС застосовували поверхнево-активні речовини (ПАР) та піноутворюючі добавки. У якості добавок регуляторів властивостей пінодисперсних систем поризованих розчинів та окремо технічних пін використовувались добавки: рідке скло, полівінілацетат (ПВА) та мінеральні тонкодисперсні порошки вапняку, глини, піску, крейди, золи-винесення. У якості добавок-модифікаторів властивостей розроблених СБС були використані неіонні водорозчинні ефіри целюлози марки BERMOCOLL, редиспергуючі полімерні порошки марки ELOTEX, суперплатифікатори. Для отримання армованих поризованих розчинів застосовані армуючі волокна – поліпропіленова фібра довжиною 2, 4 та 6 мм.

В'язуче. Характеристики якості портландцементу марки І-500 Кам'янець-Подільського цементного заводу наступні:

- нормальна густина цементного тіста – 23,6 %;
- термін тужавлення: початок – 1,5 год., кінець – 3,8 год.;
- істинна густина 3,1 г/см³;
- активність 49,4 МПа;
- насипна густина 1200 кг/м³.

Властивості портландцементу відповідають ДСТУ Б В.2.7-46:2010 та ДСТУ Б EN 197-1:2015 [95], [96]. Склад цементу наведено у табл. 2.1-2.2.

Таблиця 2.1

Хімічний склад цементу

Вид цементу	Вміст оксидів, %						
	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	SO ₃	MnO	MgO
ПЦ І-500 Кам'янець-Подільський	66,29	25,9	3,4	2,17	0,21	0,52	1,51

Таблиця 2.2

Мінералогічний склад клінкеру

Вид цементу	Вміст мінералів			
	C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF
ПЦ І-500 Кам'янець-Подільський	49,12	39,24	5,3	6,43

Вода для затворення сухої будівельної суміші відповідала вимогам ДСТУ Б В.2.7-176:2008 [97]: вміст розчинних солей не більше 5000 мг/л; іонів SO₄ не більше 2700 мг/л; водневий показник рН не менше 4.

Заповнювачі, наповнювачі, мінеральні добавки. Заповнювачами у технології сухих будівельних сумішей слугують сипучі мінеральні матеріали із крупністю зерен 0,2-2,5 мм (для стяжок – 0,2-1,25 мм, для прошарків підлог – 0,2-0,63 мм [1]), наповнювачами – із крупністю зерен 0,14-1,25 мм та мікронаповнювачами – із

крупність зерен менше 0,16 мм. Із відходів каменерізання карбонатних гірських порід шляхом подрібнення, розсіву отримували ефективний карбонатний заповнювач для СБС.

Карбонатний пісок, будучи техногенним відходом, характеризується непостійним гранулометричним складом навіть в межах одного родовища. Вміст дисперсних карбонатних частинок (< 0,14 мм), які беруть активну участь у процесах структуроутворення і суттєво впливають на властивості матеріалу, коливається в межах 10-30%.

Основні властивості карбонатів кар'єрів Вінницької області наступні:

- насипна густина фракції 0-5 мм – $\rho_n = 1342 \text{ кг/м}^3$;
- істина густина $\rho = 2,38 \text{ г/см}^3$;
- густина в шматку $\rho_{ш} = 1,85 \text{ г/см}^3$;
- пористість в шматку $\Pi_{ш} = 22 \%$;
- пустотність фракції 0-5 мм $V_n^{0-5} = 31 \%$;
- масове водопоглинання $W_m = 12 \%$;
- коефіцієнт розм'якшення $K_p = 0,7$;
- кубикова міцність на стиск $R_{cm}^{куб} = 3,0-5,0 \text{ МПа}$;
- циліндрична міцність $R_{cm}^{цил} = 1,5-3,5 \text{ МПа}$.

Використаний у дослідженнях карбонатний відсів із відходів каменерізання родовища Джуринське-1 характеризується таким хімічним складом, мас. %: CaCO_3 – 90,7-95,8; MgCO_3 – 1,4-4,3; SiO_2 – 0,4-7,15; Al_2O_3 – 0,08-1,08.

Гранулометричний склад карбонатних пісків після відсіву фракцій менше 0,14 мм та їх основні фізико-механічні властивості наведено в табл. 2.3.

Властивості карбонатних відходів Джуринського-1 родовища

Часткові залишки, % на ситах розміром, мм					A _{1,25} , %	S _{пит} , см ² /Г	M _{кр}	П _{уш} , %	ρ _{н,уш} , кг/м ³	ρ _н , кг/м ³
2,5	1,25	0,63	0,315	0,14						
3,5	4,5	18,5	50	23,5	8	95,74	2,15	37,8	1480	1200
12	8	15	46	19	20	85,21	2,48	39,1	1450	1185
21	11	11,5	42	14,5	32	74,65	2,82	39,1	1480	1190

Для отримання мінеральних добавок використовувались також відходи пиляння породи Сапіжанського-II родовища, що представляє досить однорідну карбонатну породу та відноситься до групи порівняно чистих або помірномергелистих вапняків. Вміст оксидів кремнію SiO₂ – 1,12-13,5 %, оксидів калію K₂O – 42,5-52,0 %. Втрати при прожарюванні складають 35,07-42,33 %.

Фізико-механічні властивості виділеної пиляної товщі вапняків Сапіжанського-II родовища наступні:

- густина в шматку ρ_ш = 1,55-1,94 г/см³; водопоглинання 4,92-12,16 %;
- кубикова міцність на стиск у повітряно-сухому стані R_{ст}^{куб} = 1,1-7,8 МПа, у водонасиченому стані – 0,9-5,0 МПа;
- коефіцієнт розм'ягчення 0,62-0,93;
- марка каміння від 15 до 100, переважають (79,4 %) марки 25, 35, 40.

В пиляній товщі наявні тонкі перекристалізаційні прошарки густина в шматку ρ_ш = 2,1-2,3 г/см³. Наведені властивості карбонатного відсіву відповідають технічним вимогам ДСТУ Б В.2.7-27-95 [98], [99].

За радіаційною оцінкою, активність карбонатної породи не перевищує нормативів для будівельних матеріалів [100] (дані досліджень ПАТ «Укргеолбудм»).

Для виготовлення сухого піноутворювача використовувався також кримський вапняк-черепашник Євпаторійського родовища, що має наступні характеристики:

- міцність на стиск $R_{cm}^{куб} = 0,59-1,33$ МПа;
- середня густина $\rho_m = 1120-1500$ кг/м³;
- водопоглинання – 7,53-27 %.

Кримський черепашник являє собою ніздрювату породу жовтого кольору, складену раковинами молюсків, зцементованих вапняним або глинисто-вапняним цементом. Природний радіаційний фон черепашника – 6-9 мкрґ/год (допустимий для України – 25 мкрґ/год) [101].

В роботі використовувався кварцовий пісок місцевих родовищ Вінницької області. Даний пісок являє собою чистий дрібнозернистий кварцовий пісок світло-жовтою або сірувато-жовтого забарвлення. Природна вологість складала 2,43-2,65 %, густина – 1780-1800 кг/м³, пористість – 34,9-35,1 %.

Лабораторні випробування пісків Жеребилівського родовища проводились у відповідності до вимог діючих нормативів [102], [103].

За гранулометричним складом, який наведено у табл. 2.4, піски відносяться до дуже дрібних та можуть бути використані у технології виробництва сухих будівельних сумішей.

Таблиця 2.4

Гранулометричний склад пісків Жеребилівського родовища

Назва показників	Од. вимірювання	Результати просіювання		
		від	до	переважають
1	2	3	4	5
Модуль крупності	–	1,0	2,1	1,0-1,5 (70 %)
Кількість пилюватих і глинистих часток	%	1,2	10,4	5,0-7,0 (80 %)

Продовження таблиці 2.4

1	2	3	4	5
Глина в грудках	%	–	–	–
Повний залишок на ситах:				
- 2,5;	%	0,0	3,2	0,0-1,0 (80 %)
- 1,25;	%	0,1	17,4	0,1-0,5 (31%), 1,0-2,5 (25%)
- 0,63;	%	0,3	25,4	0,3-10,0 (84 %)
- 0,315;	%	16,8	77,5	35,0-75,0 (74 %)
- 0,16.	%	69,3	91,7	80,0-90,0 (75 %)
Прохід крізь сито 0,16	%	6,2	30,7	10-20 (75 %)
Наявність зерен крупніше:				
- 5 мм;	%	0,0		в 92 % проб відсутні
- 10 мм	%	0,0		в 90 % проб відсутні

Вміст органічних домішок в піску не перевищує норми, тому вони можуть бути використані в природньому вигляді для виготовлення штукатурних розчинів та розчинів для влаштування підлог. За мінералогічним складом піски кварцові: кварц – 80-95 %; польові шпати – 5-7 %; глинисті частки – 0-10 %.

За радіаційною оцінкою, активність пісків не перевищує нормативів для будівельних матеріалів [100] (дані досліджень ПАТ «Укргеолбудм»).

В дослідженнях використовувати золу-винос (ЗВ) Ладижинської ТЕС, яка являє собою дрібнодисперсний матеріал, що складається з часток розмірами від декількох мікронів до 0,14 мм. Властивості золи-винос такі:

- гідравлічна активність $R_{ct}^{3B} = 0,4$ МПа;
- насипна густина $\rho_n^{3B} = 1150$ кг/м³;
- істинна густина $\rho^{3B} = 1,95$ г/см³;
- питома поверхня $S_{пит} = 2000-3000$ см²/г;
- м'якість млива $T_{зв} = 10$ %;
- вміст ВНЧ менш 15 %.

Хімічний та мінералогічний склади відповідають основним вимогам [99], [104], що висуваються до зол для бетонів. Хімічний склад золи-винесення Ладжинської ТЕС наступний [77]: SiO_2 – 55,5%; Al_2O_3 – 24,7%; $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO}$ – 10,4%; TiO_2 – 0,9%; CaO – 2,5%; MgO – 1,3%; SO_3 – 0,5%; K_2O – 2,7%; Na_2O – 1,5%; НВЧ – 0,5%.

В роботі використовувались глинисті мінерали (глини – Вендичанське родовище, суглинки – Северинівське родовище) родовищ Вінницької області.

Групи фізичних властивостей глин наступні [105]:

1. властивості, що визначають міцність, тривкість, крихкість (густина, середня густина, опір зсуву, пластичність, структурна в'язкість);
2. властивості, що визначають гідростійкість глин (пористість, водопроникність, розмокання, набування, природна вологість).

Основною технологічною властивістю глини виступає пластичність – здатність глини утворювати при певному зволоженні тісто, яке під впливом зовнішніх сил здатне приймати певну задану форму і зберігати її без тріщин і розривів під час висушування. На ступінь пластичності глин впливають мінералогічний і зерновий склад, форма і характер поверхні зерен, вміст домішок і води. Природні глини володіють адсорбцією та високою дисперсністю.

Глини Вендичанського-2 родовища за своїми фізико-механічними властивостями відносяться в основному до помірно- і середньопластичної, середньодисперсної сировини з низьким вмістом карбонатних включень (до 0,71 %). Середнє число пластичності – 10,67-13,53, максимальне – до 16-28. Густина породи природної вологості – 2000 кг/м^3 .

Хімічний склад глин, що використовувались у дослідженнях, характеризується показниками, наведеними в табл. 2.5.

Таблиця 2.5

Хімічний склад глин Вендичанського-2 родовища

Вид глин	Вміст оксидів, %								
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO	K ₂ O	SO ₃	Na ₂ O
Глина зелено-жовта, зелено-сіра, темно-сіра	47,33-58,07	12,94-14,72	4,71-5,85	0,56-0,76	5,04-12,12	2,49-3,14	2,42-2,89	0,09-1,91	0,45-0,84

Браїлівське родовище представлено суглинками буро-жовтими, жовтуватими, сірими, палево-жовтими та пісками світло-сірими, де зустрічаються проби некондиційної сировини з високим вмістом крупнозернистих включень карбонатних порід. Суглинки родовища відносяться до помірнопластичної, низькодисперсної сировини. Середнє число пластичності 13,36. Гранулометричний склад суглинків наведено в табл. 2.6.

Таблиця 2.6

Гранулометричний склад суглинків Браїлівського родовища

Гранулометричний склад зерен	Середнє значення, %
0,1-0,063	2,39
0,063-0,01	49,77
0,01-0,005	10,46
0,005-0,001	12,94
менше 0,001	22,80

За результатами вивчення радіаційно-гігієнічних властивостей глини і суглинки відносяться до 1-го класу будівельних матеріалів (ГН 6.6.1.-6.5.001-98 «Норми радіаційної безпеки України») [100] і можуть використовуватись для всіх видів будівництва без обмежень.

Результати лабораторних досліджень визначення фізичних властивостей мінеральних порошоків, що використовувались у якості заповнювачів, наповнювачів і добавок, наведено в табл. 2.7.

Таблиця 2.7

Фізичні властивості матеріалів, що використовувались¹

Властивості	Матеріал					
	ВП	ВП	ГП	ГП	П	ЗВ
Насипна густина ρ_n , кг/м ³	1110	940	910	1070	1410	1130
Крупність, мм, не більше	0,315	0,63	0,315	0,63	1,2	0,14
Вміст часток, розміром до 0,14 мм, %	до 30	до 30	80-90	80-90	до 30	95
Питома поверхня S , см ² /г	≈3000		1000-3500		≈2500-3000	2000-3000

¹ВП – вапняковий порошок; ГП – глиняний порошок; П – пісок кварцовий; ЗВ – зола-винесення

Поверхнево-активні речовини та піноутворювачі. При проведенні досліджень у якості піноутворювача використовували: смолу деревну омилену (СДО, SDO-LP), розчин «СОФІР-ПБ» (СПБ), робочий концентрат сухого піноутворювача «LORI», сухий порошок піноутворювача «UNISELL».

СДО (Росія, вартість – 80-90 грн. за 1 кг/л) є продуктом омилення лугом деревних пеків переробки хвойних і листяних порід на оцтову кислоту, у складі якого завжди присутня деяка кількість омилених жирних кислот. Разом з гідроокисом кальцію, шляхом заміщуючих реакцій по кальцію, вони переходять у водонерозчинні кальцієві мила, які додатково зміцнюють стінки пухирців піни. Витрата добавки СДО для забезпечення обсягу залученого в суміш повітря від 5 до 15 % складає від 0,1 до 0,3 % від ваги цементу в залежності від виду заповнювачів і типу змішувача. Тривалість перемішування суміші з добавкою в змішувачах повинна бути не менше 3-5 хв. Основні фізико-хімічні характеристики СДО (ТУ 2453-014-74438516-2004) [106]: речовина чорного кольору в'язкої або напівтвердої консистенції; піноутворююча здатність 62 см³; масова частка речовини не більше 4 %.

SDO-L (ТУ 2453-013-10644738-00) [106] – нова рідка (50%-ва) смола деревна омиленна або порошкоподібний піноутворювач SDO-L з вмістом смоли – 96 %, що виробляється тільки з одного виду деревної смоли (екстракційної) при добре регульованому технологічному процесі. Легко розчиняється у воді. Піноутворююча добавка SDO-L безпечна та сумісна з усіма марками цементу.

В залежності від необхідних властивостей кінцевої продукції та параметрів технологічного процесу, готується робочий водний розчин добавки SDO-L від 2 % до 10 %-ної концентрації (густина 1017 кг/м³), який, як вода замішування, вводиться в розчинову суміш з розрахунку 0,05 %-0,2 % добавки в перерахунку на суху речовину від ваги цементу. Визначення залежності густини водного розчину SDO-L від концентрації приведено у табл. 2.8.

Таблиця 2.8

Залежність густини водного розчину SDO-L від концентрації

Концентрація,	2	3	4	5	7	10
Густина, г/см ³	1,003	1,005	1,0065	1,008	1,012	1,017

SDO-L застосовується в якості комплексної (пластифікуючої, повітровтягувальної, морозостійкої та антисептичної) добавки, яка дозволяє зменшити витрати цементу на 5-7 %, знизити густину розчину на 100-150 кг/м³, поліпшити легкоукладальності розчинової суміші, скоротити тривалості формування виробів, поліпшити їх тепло звукоізоляційні властивості, підвищити довговічність.

Смола SDO-L, володіючи здатністю до повітровтягування, знижує поверхневий натяг води і цим сприяє утворенню дуже дрібних повітряних бульбашок-сфероїдів. При цьому SDO-L здатна до перетворення нерівномірно розподілених у цементній суміші великих повітряних включень (які знижують міцність та морозостійкість) в міриади дрібних повітряних бульбашок сферичної

форми розміром до 1 мкм. Ці бульбашки, розміщуючись між зернами цементу і піску, знижують внутрішню тертя в суміші, підвищують її рухомість. Поряд з цим, суміші з залученим повітрям, утримують воду, так як повітряні бульбашки закупорюють канали, по яких рухається вода, при цьому вода не може роздавити бульбашки, тиск в яких перевищує атмосферний через їх малий розмір.

Розчин «СОФІР-ПБ» (ТУ В 26.6-32440539-002:2005) – аналог піноутворювача для пожежогасіння, спеціально модифікований для виготовлення пінобетонів різних марок (м. Харків, вартість – 12-20 грн./1 л), який являє собою концентровану рідину. Витрата піноутворювача складає 0,9-1,2 л на виготовлення 1 м³ пінобетону. Основні характеристики піноутворювача «СОФІР-ПБ» (СПБ) [107], [108] приведені у табл. 2.9.

Таблиця 2.9

Технічні характеристики піноутворювача «СОФІР-ПБ»

Назва показників	Нормативні
Густина при 20 °С, кг/м куб. в межах	1000-1200
Показник концентрації водневих іонів (рН)	7,5-10,0 (8,5)
Кратність піни: – низька, не більше	18-20
Температура застигання, °С	-3-0
Стійкість піни, сек, не менше	240-254
Густина при 20 °С, кг/м ³	1080
Пори однорідні, мілкі, закритої структури	–
Осадка піни через 1 годину	8 мм
Відхід вологи, що накопичується під піною, через 1 год.	75 см ³

«LORI» – робочий 25-тивідсотковий розчин німецького гранульованого піноутворювача «LORI» (вартість 75 грн./1 кг або близько 20-25 грн./1 л робочого концентрату). Витрата піноутворювача складає 0,9 л на виготовлення 1 м³ пінобетону. Технічні характеристики «LORI» [109] наведені в табл. 2.10.

Технічні характеристики піноутворювача «LORI»

Назва показників	Нормативні значення
Густина при 20 °С, кг/м куб. в межах	1030
pH	7,3
Кратність піни: – низька, не більше	15
Температура застигання	-3
Стійкість піни, сек, не менше	360
Пори однорідні, мілкі, закритої структури	–

СПБ і «LORI» мають якісні характеристики, подібні властивості і приблизно однакову вартість, відносяться до біорозкладаних піноутворювачів, малотоксичні, відповідають 4 класу небезпеки, невибухонебезпечні, незаймисті, температура самозаймання 430 °С, мають аніонний характер.

Піноутворювач «UNISELL» отримують з білкового гідролізату. Він ефективніший, ніж синтетичні, оскільки при його використанні можна отримувати пінобетон з підвищеною на 20...30% міцністю, зменшити витрату портландцементу М500 більше, ніж на 50 кг на 1 куб. м пінобетону. Також «UNISELL» дозволяє застосовувати цемент М400 без втрати міцності виробу, не впливає на швидкість гідратації цементу в розчині. Піноутворювач «UNISELL» є водночас пластифікатором (підвищує рухомість, пластичну в'язкість, водоутримання розчинної суміші), що дозволяє знизити В/Ц відношення і підвищити міцність пінобетону [110]. Технічні характеристики піноутворювача [110] наведені в таблиці 2.11.

Таблиця 2.11

Технічні характеристики піноутворювача «UNISELL»

Назва показників	Нормативні значення
Густина при 20 °С, кг/м куб. в межах	1300
pH	6,7-7,2
Кратність піни	не менше 12
Стійкість піни, сек	не менше 60
Суха речовина, %	26-28
Пори однорідні, мілкі, закритої структури	–
Зовнішній вигляд	Сухий порошок/ Рідина темно-коричневого кольору, без сторонніх включень
Дозування	1,6% по сухій речовині до маси цементу

Ефіри целюлози марки BERMOCOLL (ТОВ «Будхім», м. Київ) дозволяють поліпшити водопоглинення, консистенцію, адгезію в цементних системах [111], технічні характеристики ефіру целюлози наведені в табл. 2.12.

Таблиця 2.12

Технічні характеристики ефіру целюлози Vermocoll САА

Найменування показників	Нормативні значення
Зовнішній вигляд	Білий сипучий порошок
Розмір часток 98%	< 300 μm
Залишкова вологість, max	4 %
Поверхнева активність	Слабка
Величина pH	Нейтральний
Склад	Модифікований високов'язкий тип метил етил гідроксиетил целюлози
Дозування	0,15-0,8 % від маси сухих компонентів суміші

Редиспергуючі полімерні порошки марки ELOTEX (ТОВ «Будхім», м. Київ) не токсичні, термопластичні, забезпечують відмінну реологію і легкість в застосуванні сухих сумішей, оптимальні самовирівнюючі властивості підлог, знижують витрати води, покращують зчеплення, знижують розтріскуваність [112]. Технічні характеристики даних порошків наведені в таблиці 2.13.

Таблиця 2.13

Технічні характеристики редиспергуючих порошків ELOTEX FX2320

Найменування показників	Нормативні значення
Зовнішній вигляд	Білий сипучий порошок
Густина насипна, кг/м ³	450-650
Залишкова вологість, max	1 %
Зольний залишок при 1000 ° C	10,5 % + / - 1,5 %
Величина рН	6,0 – 9,0 (10% дисперсія у воді)
Мінімальна температура утворення плівки	+ 0 °C
Властивості плівки	Матова, в'язкопластична
Склад	Сополімери вінілацетату та етилену; захисний колоїд – полівініловий спирт; мінеральні добавки, що перешкоджають злипанню
Дозування	За потребою

Суперпластифікатори, які використовувались у дослідженнях: SanPol (ООО «Санпол-Україна»), MasterTherm Coral (ТОВ «КОРАЛ, ГМБХ», м. Запоріжжя), Barwa Sam Бето-Пласт (ВТП «Вальдемар Сітек», Польща, представник ООО «Барвасам Україна»), Sika Mix Plus (Sika, Швейцарія).

Суперпластифікатор та пластифікатор SanPol додається у бетонні та розчинні суміші для стяжок або влаштування теплої підлоги. Дана добавка покращує пластичність, підвищує адгезійну міцність до основи, тріщиностійкість, знижує водопоглинання сумішей. Також використовується як добавка сповільнення

гідратації цементу в ранні строки набору міцності сумішей. Витрата: на 1 м² підлоги – 0,2 літра для стяжки товщиною 50 мм (2% від маси цементу на 1 м³) або 4-5 літри на 1 м³ розчину [113].

Суперпластифікатор MasterTherm Coral використовується для влаштування теплої підлоги, наливних підлог, стяжок, промислових підлог, плит перекриттів. Додається у кількості 1 л на 100 кг цементу (0,01% маси ПЦ). Основна дія: підвищує пластичність, рухомість, розтікання будівельної суміші, здатен утворювати комплексні сполуки з мінералами цементу, що підвищує міцність і прискорює твердіння, утворює на частинках водонепроникний шар підвищуючи опір до агресивних середовищ. Дозволяє робити однорідну стяжку товщиною від 3 мм, запобігає утворенню тріщин, зменшує водопотребу розчинної суміші на 10-20% та витрати цементу [114], [115].

Технічні характеристики суперпластифікаторів Barwa Sam Бето-Пласт [116] та Sika Mix Plus [117] наведені в табл. 2.14-2.15.

Таблиця 2.14

Технічні характеристики суперпластифікатора Бето-Пласт

Найменування показників	Нормативні значення
Колір	коричневий
Питома вага	1,005 г/см ³
pH	10,0-11,5
Добавки	Хлоридів до 0,07 % маси, лугів до 5,52 % маси
Призначення	Для горизонтальних і вертикальних монолітних бетонних і залізобетонних конструкцій, для стяжок підлог, міжповерхових перекриттів, настилів покрівель
Витрата	0,5 л на 50 кг цементу (0,9 % маси цементу)
Дія	Надає пластичність, покращує легкоукладальність, знижує В/Ц суміші без втрати міцності, перешкоджає появі тріщин в бетоні, пришвидшує набір міцності

Технічні характеристики суперпластифікатора Sika Mix Plus

Найменування показників	Нормативні значення
Колір	Темно-коричневий
Питома вага	$1,02 \pm 0,2 \text{ г/см}^3$
Основа	Тензиди (аніоноїдна ПАР)
Добавки	Хлоридів до 0,07% маси, лугів до 5,52% маси
Призначення	Повітровтягувальна і стабілізуюча добавка для будівельних розчинів і бетонів
Витрата	Від 75 до 150 мл / 50 кг цементу (0,05 – 0,20 % від маси цементу)
Дія	Повітровтягування, стабілізація та утворення дрібних замкнутих пор; збільшення пластичності та рухомості сумішей; запобігає появі усадочних тріщин на поверхні затверділих розчинів

Рідке скло натрієве та клей ПВА виробництва ТОВ Промислове Підприємство «ЗІП» (м. Кам'янське, Дніпропетровська обл.) використовувались для покращення стійкості пінно-дисперсних розчинових сумішей та для підвищення міцності затверділих цементних розчинів [118].

Усі добавки відповідають вимогам ДСТУ Б В.2.7-171:2008 [61] та ДСТУ-Н Б В.2.7-175:2010 [119].

Фібра поліпропіленова (фіброволокно) використовувалась для об'ємного армування поризованого розчину, для збільшення міцності на вигин при згині і зниження усадки при твердненні. У дослідженнях використовували поліпропіленову фібру типу «MicroArm» виробництва ТОВ «ДІФ» (м. Дніпро, Україна), що відповідає вимогам ТУ У 24.7-32781078-001 [120]. Рекомендоване дозування фібри від $0,6 \text{ кг/м}^3$ до $0,9 \text{ кг/м}^3$.

Технічні характеристики фібри наведені в табл. 2.16.

Технічні характеристики фібри «MicroArm»

Найменування показників	Нормативні значення
Діаметр окремого волокна	20 мкм
Довжина	2, 4, 6 мм
Колір	прозора-білий
Питома вага	0,91 т/м ³
Модуль Юнга	3500 Н/мм ²
Лінійна щільність	2,0 dtex
Міцність на розрив	350 Н/мм ²
Температура розм'якшення	145 °С
Рекомендований витрата	900 г/м ³ бетону
Матеріал	первинний поліпропілен 100 %
Кількість волокон	375 млн. шт. / м ³ бетону
Хімічна стійкість	повна до кислот, лугів, розчинників

2.2 Методи досліджень, що застосовувались в роботі

Методи випробувань піноутворювача.

Зовнішній вигляд – відсутність осаду і механічних забруднень визначають візуально в скляному циліндрі діаметром 3 см в прохідному світлі [108], [121].

Кратність піни показує, в скільки разів об'єм піни більше початкового об'єму водяного розчину піноутворювача. Кратність виходу піни визначають шляхом спінювання 100 мл розчину піноутворювача за допомогою лабораторного змішувача [108], [121].

Стійкість піни визначають кількістю часу, протягом якого зруйнується 50 % стовпа піни висотою 160 мм.

Осадка піни характеризується величиною руйнування нормованого по вологості стовпчика піни через 1 годину у мм і визначається за допомогою градуйованого мірного циліндра або металевої лінійки і мірного посуду.

Відхід вологи, який характеризує стійкість піни, виражається в кубічних сантиметрах вологи, що накопичується під піною, через 1 годину визначається за допомогою градуйованого мірного циліндра.

Конструкція змішувача (рис. 2.1) являє собою насадку для змішування, що відповідає вимогам ДСТУ Б В.2.7-126:2011 [1], приєднану до міксеру лабораторного.

Міксер лабораторний є установкою, яка підключена до лабораторного автотрансформатора (ЛАТР), що дозволяє змінювати швидкість обертання валу насадки змішувача в широких межах – від 0 до 3150 об/хв (рис. 2.2). Змішувачі, рекомендовані нормами для сухих сумішей – змішувач із насадкою з швидкістю валу (400-600) об/хв – не дозволяють дослідити у повній мірі властивості пінно-дисперсної системи, отриманої із розчину ПАР та мінеральних наповнювачів.

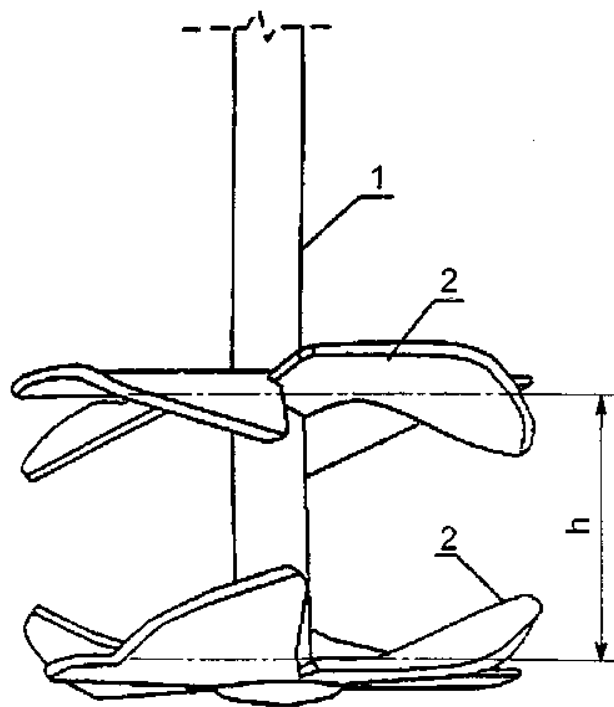


Рисунок 2.1 – Загальний вигляд насадки для змішувача: 1 – стрижень діаметром d_3 ;
2 – лопаті діаметром d_2 , товщиною від 1,0 мм до 2,0 мм, загнуті під кутом $(45 \pm 5)^\circ$;
 h – відстань між верхніми та нижніми лопатями



Рисунок 2.2 – Лабораторний автотрансформатор для регулювання швидкості обертання валу насадки змішувача

Методи випробувань сухих сумішей та розчинів на їх основі. Всі випробування проводились згідно рекомендацій і у відповідності вимогам ДСТУ Б В.2.7-126:2011 [1] та ДБН В.2.6-22-2001 [17]:

1. Випробування проводять у приміщеннях у повітряно-сухих умовах. Перед початком випробувань суміш і вода повинні мати температуру, що дорівнює температурі повітря у приміщенні.

2. Воду для проведення випробувань відміряють з точністю $\pm 1\%$.

3. Значення кожного показника визначають як середнє арифметичне значення результатів випробувань не менше трьох зразків, якщо інше не вказано в конкретних методиках.

4. Вологість та зерновий склад заповнювача сумішей визначають згідно з ДСТУ Б В.2.7-232 [103].

5. Рухомість, водоутримувальну здатність розчинових сумішей визначають згідно з ДСТУ Б В.2.7-239 [122].

6. Густина розчинів визначають згідно з ДСТУ Б В.2.7-239 [122].

7. Вміст повітряних пор у розчинах визначають за методикою ДСТУ Б В.2.7-170 [123] і ДСТУ Б В.2.7-126:2011 [1] із виготовленням зразків-балочок розмірами $40 \times 40 \times 160$ мм та використанням як рідини гасу, в який їх занурюють під час випробувань.

8. Зовнішній вигляд суміші визначають візуально. Наважку сухої суміші масою 10 г розміщують на скляну пластинку і розрівнюють шпателем шаром до найбільшої крупності частинок, але не менше 1 мм [1]. Суміш повинна бути однорідною за кольором і не містити сторонніх включень, які видно неозброєним оком [1].

9. Границю міцності розчину на гідравлічних в'язучих визначають згідно з ДСТУ Б В.2.7-239 [122] у віці трьох діб та 28 діб на зразках балочках розмірами $4 \times 4 \times 16$ см.

Дослідження міцності зразків-балочок на згин проводились на випробувальній машині МІІ-100, де зразки встановлювали на дві опори і завантажували посередині (рис 2.3). Опорні і передаючі навантажуючі елементи мають циліндричну форму і розміщуються строго паралельно.

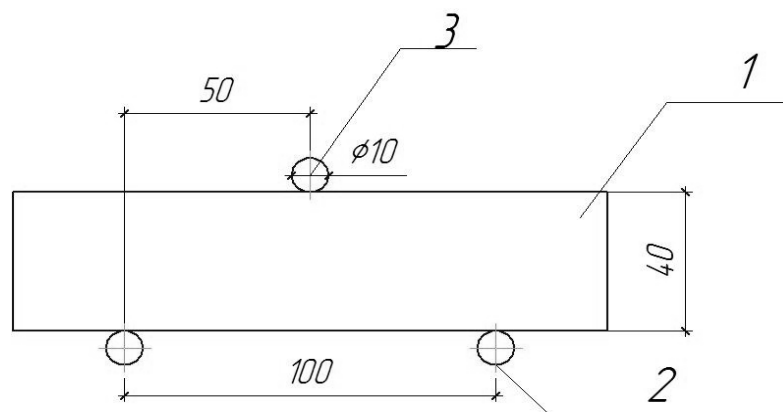


Рисунок 2.3 – Схема розміщення зразка на опорних елементах при випробуванні на згин: 1 – зразок; 2 – нижній опорний елемент; 3 – верхній опорний елемент

Зразок розміщується на опорних елементах приладу так, щоб його горизонтальні при виготовленні грані знаходились у вертикальному положенні. Випробовування зразків проведено відповідно до інструкції, яка додається до приладу. Межу міцності на згин вираховували як середнє арифметичне значення з двох найбільших результатів випробувань трьох зразків.

На стиск випробовували шість половинок балочок, отриманих після випробування на згин. Для передачі навантаження на половинки використано дві пластинки розмірами $40 \times 62,5$ мм, виготовлені з нержавіючої сталі. Половинку балочки було розміщали між двома пластинками так, щоб бокові грані, які при виготовленні прилягали до стінок форми, знаходились на площинах пластинок, а упори пластинок щільно прилягали до торцевої гладкої поверхні зразків. У такому випадку площа опирання зразків на пластини складає 25 см^2 .

Для визначення межі міцності на стиск використовували прес з граничним навантаженням 200 кН. Середня швидкість росту навантаження при проведенні випробувань була рівна $2 \pm 0,5$ МПа. Зразок разом з пластинками було розміщали на опорній плиті пресу, потім доведено його до руйнування і визначено руйнуюче навантаження за шкалою преса (рис 2.4).

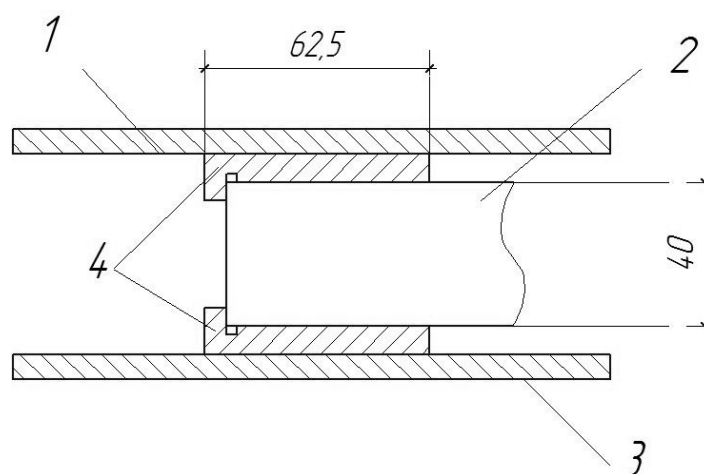


Рисунок 2.4 – Схема випробування зразків-балочок на стиск: 1 – верхня плита преса; 2 – половина балочки; 3 – нижня плита преса; 4 – пластинки

Середнє значення міцності на стиск обчислювали як середнє арифметичне чотирьох найбільших результатів шести випробуваних напівбалочок.

10. Методика приготування розчинових сумішей із сухих будівельних сумішей.

Засоби випробування та допоміжні пристрої: змішувач; секундомір; ємність пластикова або металева (співвідношення діаметрів ємності (d_1) та насадки (d_2) $d_2:d_1$ повинно бути не менше 1:3 і не більше 1:2 [1]).

Рекомендований нормативний порядок приготування розчинової суміші [1]:

- воду необхідної кількості виливають в ємність;
- в ємність з водою засипають суміш необхідної маси (вихід розчинової суміші має бути достатнім для проведення всіх запланованих випробувань);
- суміш з водою перемішують змішувачем впродовж (60 ± 5) с, фіксуючи час за допомогою секундоміра;
- після витримання розчинової суміші впродовж (180 ± 10) с її знову перемішують протягом (45 ± 5) с.

Якщо суха будівельна суміш має розроблені «Інструкції щодо використання», то необхідно враховувати спеціальні вказівки стосовно часових або інших параметрів приготування розчинової суміші для лабораторних випробувань також.

11. Розтічність розчинових сумішей визначають за діаметром розпливу суміші з кільця приладу Віка (далі – кільце), що визначають за наступною методикою.

Засоби випробування та допоміжні пристрої згідно [1]: ваги з похибкою зважування ± 1 г; ємність згідно з п. 10; шпатель пластинчастий; металева або пластикова пластинка шириною 15...20 мм; термометр; скло з розмірами $500 \times 500 \times 4$ мм; прилад Віка згідно з ДСТУ Б В.2.7-185 [124]; лінійка довжиною >300 мм; секундомір; змішувач згідно з п. 10 (рис. 2.1).

Порядок підготування до проведення випробувань [1]:

- воду в кількості, яка визначена «Інструкцією щодо використання» або зазначена на пакованні даної суміші, виливають в ємність;
- пробу суміші необхідної кількості висипають в ємність із водою;
- включають секундомір та перемішують змішувачем суміш із водою протягом (60 ± 5) с;
- залишають розчинову суміш без перемішування та знову перемішують її у відповідності з інструкцією на приготування продукту.

Для ручного приготування розчинової суміші використовують пластикову або гумову ємність із закругленим дном об'ємом не менше 400 см^3 . Суміш перемішують жорсткою металевою або пластиковою пластинкою з закругленим кінцем до отримання однорідної маси.

Порядок проведення випробування [1]:

- скло протерти вогкою ганчіркою і поставити на нього кільце, в яке вилити отриману розчинову суміш так, щоб воно було повністю заповнене;
- швидким рухом підняти кільце (одночасно включити секундомір) догори так, щоб розчинова суміш вільно розтікалася;
- кільце необхідно ретельно обчистити від залишків розчинової суміші та помістити їх в середину маси;
- діаметр розпливу маси заміряється лінійкою з точністю до $0,5 \text{ см}$ у двох взаємно перпендикулярних напрямках через 120 с з моменту підняття кільця.

Термін придатності визначають часом втрати рухомості або розтічності, термінами тужавлення або часом зміни інших показників розчинових сумішей до ступеня, за якого стає неможливим їх подальше застосування згідно з «Інструкцією щодо використання». Перевірку термінів придатності здійснюють згідно з методиками, що розроблені підприємством-виробником для кожної групи матеріалів.

Рухомість суміші визначали за допомогою стандартного конуса БудЦНІЛ (висота 145 мм , діаметр основи 75 мм , кут при вершині 30° , маса із штангою 300 г)

за значенням осадки конуса в сантиметрах як середнє арифметичне двох визнаень, що відрізняються один від одного не більше, ніж на 2 см [123].

Активация мінеральних наповнювачів виконувалась за допомогою розтиральної дії у бігунах лабораторних швидко оборотних (рис. 2.5), у яких подрібнення здійснюється між двома стираючими поверхнями котків (дисків). Бігуни дозволяють готувати суміші із пиловидними, волокнистими, рідкими і в'язкими добавками. Швидкість обертання валу бігунів регулюється в межах – від 35 до 120 об/хв. Бігуни застосовувались як для подрібнення порівняно великих шматків матеріалу, так і для тонкого розмелу зерен розміром 0,5 – 0,1 мм.



Рисунок 2.5 – Бігуни лабораторні

Робота бігунів заснована на механічному впливі важких котків, що катаються по розташованому в чаші бігунів шарі суміші. При цьому суміш в бігунах піддається одночасно роздавлюванню під дією сили тяжіння котків і розтиранню котками. Механічний вплив важких котків викликає зусилля стиснення, стирання, роздавлювання, зсуву, а для волокнистих матеріалів і вигину. При обробці в

бігунах маса суміші ущільнюється рівномірно і значно знижуються її пружні деформації.

Питома поверхня ($\text{см}^2/\text{г}$) мінеральних компонентів та сухої будівельної суміші визначали за методом повітропроникності згідно вимог ДСТУ EN 196-6:2007 [125] на приладі Liyatest Blaine air permeability apparatus UTCM-0240 (рис. 2.6).



Рисунок 2.6 – Прилад для визначення питомої поверхні цементу та аналогічних порошків Blaine UTCM-0240

Дослідження структури затверділого поризованого розчину на основі СБС проводили за допомогою оптичного мікроскопу на зразках розчину розміром $4 \times 4 \times 16$ см (рис. 2.7). Такий зразок поміщали під окуляр мікроскопа і проводили дослідження структури розчину під збільшенням $\times 60$ і $\times 150$ крат. Такі збільшені

дозволяють розглянути якомога ділянки структур поризованого розчину в об'єктиві мікроскопа та визначити величину пор. Структуру розчину фотографували через окуляр мікроскопа за допомогою компактної окулярної цифрової фотокамери SCMOS05000KPA-Special TOUPTEK.



Рисунок 2.7 – Дослідження структури розчину за допомогою оптичної мікроскопії

2.3 Методика підбору складу поризованих сухих будівельних сумішей з використанням математичного апарату

Проведення однофакторних експериментів пов'язаний із значними труднощами і об'ємами робіт, оскільки на властивості сухих будівельних сумішей для поризованих розчинів необхідно провести комплексне дослідження ряду факторів. Тому, на наш погляд, доцільно провести багатфакторний експеримент для отримання рівнянь регресії для функцій відгуку за допомогою повнофакторного експерименту виду 2^3 методом Бокса-Уілсона [54], [58], [126].

Поверхі відгуку даних функцій було отримано шляхом проведення операції кодування факторів, тобто лінійного перетворення факторного простору [54], [58]. Встановлено наступні значення рівнів факторів в умовному масштабі: мінімальний -1 , середній 0 , максимальний $+1$ та зіркові значення (варіативні).

Істинні значення факторів встановлюються на основі проведення пошукових експериментів.

Для проведення повнофакторного експерименту виду 2^3 складаються матриці планування експериментів. Планується отримати наступні регресійні моделі 2-го порядку:

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + b_{23}x_2x_3 + b_{11}x_1^2 + b_{22}x_2^2 + b_{33}x_3^2, \quad (2.1)$$

де y – одна із функцій ρ_m і R_{cm} ;

$b_0, b_1, \dots, b_3, b_{12}, \dots, b_{13}, b_{11}, \dots, b_{33}$ – коефіцієнти регресії.

Для визначення токових оцінок $b_0, b_1, \dots, b_3, b_{12}, \dots, b_{13}, b_{11}, \dots, b_{33}$ використовувався метод найменших квадратів [126]:

$$B = Y\Phi^{-1}, \quad (2.2)$$

де $B = \begin{bmatrix} b_0 \\ b_1 \\ \dots \\ b_k \end{bmatrix}$ – матриця, що містить коефіцієнти регресії;

$\Phi = F^T F$ – інформаційна матриця Фішера;

$$Y = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \dots \\ y_N \end{bmatrix} \text{ – матриця, що містить результати експериментів за матрицею}$$

планування;

$$F = \begin{bmatrix} 1 & x_{1,1} & \dots & x_{1,k} \\ 1 & x_{2,1} & \dots & x_{2,k} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1 & x_{N,1} & \dots & x_{N,k} \end{bmatrix} \text{ – матриця, що містить значення факторів } x_{i,j} \text{ (де } i \text{ –}$$

номер дослідів за матрицею планування, j – номер фактора);

k – кількість факторів;

N – кількість дослідів за матрицею планування.

Адекватність регресійних моделей перевірялася за критерієм Фішера [126]:

$$F = \frac{S_{ad}^2}{S_{vidm}^2} \leq [F(f_1, f_2)], \quad (2.3)$$

де S_{ad} – дисперсія адекватності;

S_{vidm} – дисперсія відтворюваності.

$[F(f_1, f_2)]$ – критичне значення критерію Фішера, яке рівне значенню розподілу

Фішера;

$f_1 = N - d$ – кількість ступенів вільності дисперсії адекватності;

$f_2 = n - 1$ – кількість ступенів вільності дисперсії відтворюваності;

d – кількість значимих коефіцієнтів регресії (4.2);

n – кількість попередніх повторних дослідів, які проведено для середнього (нульового) рівня факторів.

Розрахункове значення критерію F порівнювалося з критичним і при $F > [F(f_1, f_2)]$ регресійна модель вважалася неадекватною.

Дисперсія адекватності визначалася за формулою [126]:

$$S_{ad}^2 = \frac{1}{f_1} \sum_{i=1}^N (y_i - \tilde{y}_i)^2, \quad (2.4)$$

де y_i – результат i -го дослідження, проведеною за матрицею планування;

\tilde{y}_i – результат i -го значення дослідження, передбаченого за допомогою регресійної моделі (2.2), (2.4);

Значимість коефіцієнтів регресії проводилася за t -критерієм Стьюдента [126]:

$$t_i = \frac{b_i}{S_{\text{відм}} \sqrt{c_{i,i}}} > [t(f_2)], \quad (2.5)$$

де $[t(f_2)]$ – критичне значення t_i -критерію Стьюдента, яке рівне значенню розподілу Стьюдента;

$c_{i,i}$ – відповідний елемент матриці Φ^{-1} .

Для отримання адекватних моделей порівнюються розрахункове значення критерію t_i з критичним i при $t \leq [t(f_2)]$, а i -й коефіцієнт регресії при цьому вважається незначним.

Для обробки результатів досліджень та визначення достовірності та адекватності отриманих моделей застосовувалось програмне забезпечення РТС Mathcad та Python.

2.4 Методи визначення звукоізолювальної здатності сухих будівельних сумішей

Аналітична перевірка поризованих розчинів для підлог на звукоізолювальну здатність міжповерхового перекриття від повітряного і ударного шумів виконана згідно рекомендацій ДБН В.1.1-31:2013 [127] та ДСТУ-Н Б В.1.1-34:2013 [128].

Експериментальна перевірка ефективності захисту від шуму звукоізолювальними перешкодами виконувалась на лабораторній установці – вимірювачі шуму та вібрації ВШВ-003 (рис. 2.8) [129] на зразках розміром 300×300 мм, товщиною 15, 25, 30 мм.

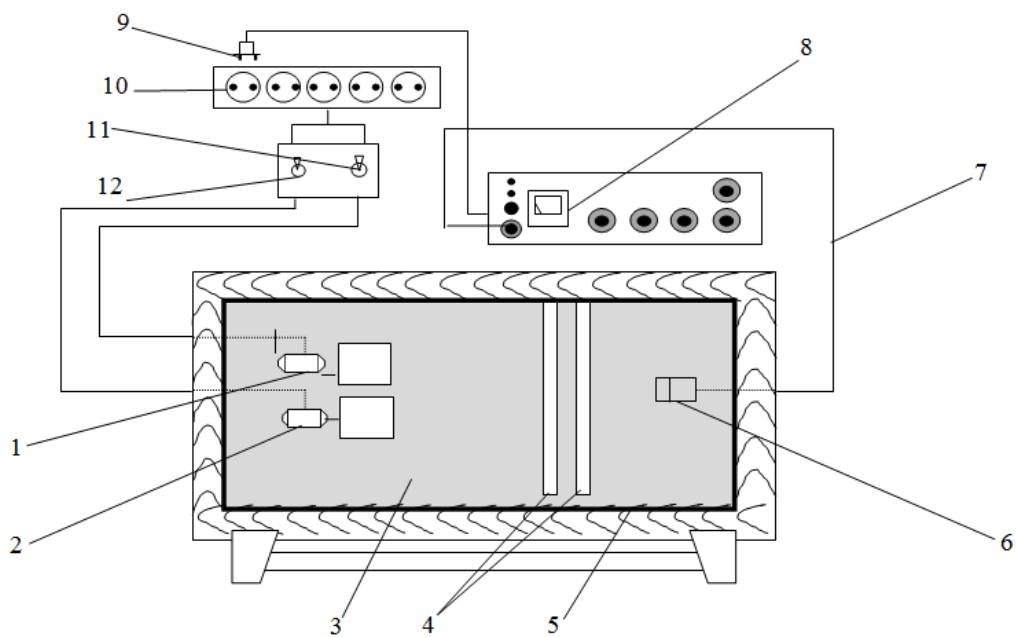


Рисунок 2.8 – Схема лабораторної установки ВШВ-003: 1, 2 – джерела шуму; 3 – камера, розміщена у дерев'яному столі; 4 – пази між джерелами шуму 1, 2 та мікрофоном 6 для звукових перешкод; 5 – облицювання камери звукопоглинальним матеріалом (повсть); 6 – мікрофон; 7 – елетрропровід; 8 – прилад ВШВ-003; 9 – вилка для підключення приладу 8 до електроживлення; 10 – розетки з напругою 220 В; 11 – тумблери, які вмикають електродвигуни джерел шуму 1, 2

Принцип роботи ВШВ-003, схема якого наведена на рис. 2.8. При вимірюванні шуму звукові коливання сприймаються мікрофоном та у ньому перетворюються в електричні сигнали, пропорційні звуковому тиску. Електричний сигнал підсилюється підсилувачем, проходить через середньоквадратичний детектор і реєструється стрілковим приладом. Якщо відбувається вимірювання рівня звукового тиску в октавних смугах, то електричний сигнал пропускається через вбудовані в прилад вимірювальні октавні фільтри [129].

Проводилось вимірювання рівнів звукового тиску в октавних смугах із середньгеометричними частотами 31,5; 63; 125; 250; 500; 1000; 2000; 4000; 8000 Гц для джерела шуму 1 (ДШ1 – робота мотору), для джерела шуму 2 (ДШ2 – дзвінок), для ДШ1 і ДШ2, що працюють одночасно, без звукоізолювальних перешкод, теж із звукоізолювальними перешкодами.

Перешкода із поризованого розчину на основі СБС порівнювались із перешкодами металевою і пінопластовою та їх поєднанням.

Ефективність захисту від шуму звукоізолювальними перешкодами визначається за різницею рівнів звуку в \mathcal{BA} та рівнів звукового тиску в октавних смугах, \mathcal{B} джерела шуму без перешкоди та рівнів заміряних з перешкодами. За даними досліджень будувалися в одній системі координат спектр шуму без перешкоди, з перешкодою і гранично допустимий спектр. По осі абсцис відкладались середньгеометричні частоти f_{cr} через рівні проміжки (в логарифмічному масштабі), а по осі ординат рівні звукового тиску L_p , в дБ.

Порівнювали експериментальні спектри шуму без перешкоди і з перешкодою з гранично допустимими залежно від призначення приміщення.

РОЗДІЛ 3

**ТЕОРЕТИКО-ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ОСНОВИ ОТРИМАННЯ
ПОРИЗОВАНИХ РОЗЧИНІВ З СУХИХ БУДІВЕЛЬНИХ СУМІШЕЙ З
ВИКОРИСТАННЯМ ПОВЕРХНЕВО-АКТИВНИХ РЕЧОВИН ТА
МІНЕРАЛЬНИХ ДОБАВОК**

3.1 Особливості структуроутворення цементного каменю на основі сухих будівельних сумішей

Процес тверднення – перехід безводних клінкерних мінералів у гідрати внаслідок реакцій гідролізу і гідратації – супроводжується загусанням цементного тіста і виникненням єдиного конгломерату з гідратованих і негідратованих частинок [26]. На склад гідратних новоутворень впливають температурні умови тверднення, співвідношення твердої і рідкої фаз, властивості заповнювача. Цементне тісто є пастоподібним тілом, в якому співвідношення між рідкою і твердою фазами постійно змінюється в часі [39]. В процесі гідратації воно поступово тужавіє і перетворюється на тверде тіло – цементний камінь. На фізичні процеси тверднення цементного тіста і його швидкість впливають мінералогічний склад цементу, тонкість помелу і водоцементне відношення.

Процес утворення пор (гелевих, контракційних, капілярних) відіграє важливу роль в процесі структуроутворення та формування фізико-механічних властивостей цементного каменю [130]. Кількість води у цементному тісті найбільше впливає на виникнення системи пор у затверділому цементному камені. Загальна пористість цементного каменю становить 25...50 % і залежить від величини водоцементного відношення (0,35...0,7).

Вода у цементному камені, який твердне, може бути в його структурі хімічно зв'язаною, адсорбційно зв'язаною, капілярною, вільною.

Заповнювачі можуть впливати на швидкість структуроутворення цементного каменю у розчині. Це відбувається через «відтягування» частини води замішування заповнювачем для змочення поверхні його зерен і залежить від питомої поверхні зерен і ступеня насичення заповнювачів у розчиновій суміші. Таким чином заповнювач здатен знизити В/Ц, підвищити водоутримання цементного тіста, а також впливати на реологічні властивості розчинової суміші. Структуруюча роль заповнювача проявляється в обмеженні, зв'язуванні об'ємних деформацій цементного тіста, яке твердне, і каменю [19], [131], [132].

Технічні властивості цементних розчинів залежать від складу і структури цементного каменю. Мікроструктура цементного каменю має значний вплив на його міцність. Цементи, що містять підвищену кількість дрібних та крупних кристалів, досягають абсолютної міцності в порівнянні з цементами, що містять однорідні за величиною кристали [132].

Структуру розчинів прийнято модифікувати добавками органічних поверхнево-активних речовин (ПАР), які знижують водопоглинання і капілярне всмоктування, підвищують морозостійкість і водонепроникність.

Особливістю процесів гідратації цементів в сухих будівельних сумішах є гідратація при недостатній кількості води. У таких умовах відбувається інтенсивне випаровування води з великої площі виробу і поглинання води пористою основою. Це призводить до неповного використання в'язучого потенціалу цементу, зниження довговічності затверділого матеріалу тощо.

Портландцемент рядового складу, що містить 50-55 мас. % $3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ і 6-9 мас. % $3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$, після повної гідратації зв'язує приблизно 0,23 кг води на 1 кг цементу. Ще приблизно 0,19 кг води на 1 кг цементу фізично адсорбується на поверхні утворених кристалогідратів. Частина води замішування може перебувати у вільному стані, заповнюючи пори цементного каменю [133].

При твердінні цементу в повітряно-сухих умовах деяка кількість пор внаслідок контракції заповнюється повітрям. Відносний обсяг кожної фази може

бути розрахований за формулами [133]:

гідратні фази:

$$V_r = 1,52 \times (1 - p) \times \alpha; \quad (3.1)$$

негідратований цемент:

$$V_{\text{ц}} = (1 - p) \times (1 - \alpha); \quad (3.2)$$

пори, заповнені водою:

$$V_{\text{п.вод.}} = p - 1,32 \times (1 - p) \times \alpha; \quad (3.3)$$

контракційні пори:

$$V_{\text{п.пов.}} = 0,2 \times (1 - p) \times \alpha; \quad (3.4)$$

фізично адсорбована вода:

$$V_{\text{а. вод.}} = 0,6 \times (1 - p) \times \alpha, \quad (3.5)$$

де α – ступінь гідратації цементу, відн. од.;

p – початкова пористість системи при $\alpha = 0$, яка дорівнює:

$$p = (B/C) / [B/C + \rho_{\text{ц}} \times 10^{-3}], \quad (3.6)$$

де B/C – водоцементне відношення;

ρ_c – густина цементу, кг/м^3 .

Згідно з теорією Пауерса в процесі гідратації може брати участь тільки вільна, краплинно-рідка вода, що заповнює пори цементного каменю. Адсорбована на гідратних фазах вода має специфічні властивості, зумовлені поверхневими дисперсійними силами, є зв'язаною і не бере участь в процесі гідратації безводних частинок цементу [133].

Найвідом методом запобігання негативних наслідків тверднення звичайних розчинів при недостатній кількості води затворення є використання пластифікаторів. Проте при цьому знижується загальна кількість води в системі.

Для сухих будівельних сумішей більш ефективним способом є введення в їхній склад полімерів у вигляді редиспергуючих полімерних порошоків та ефірів целюлози, які сповільнюють процес гідратації цементу. Крім ущільнення цементного розчину полімери, адсорбуючись на гранях кристалів гідратних новоутворень, які ростуть, створюють специфічну захистну оболонку і таким чином стабілізують гідратні фази [134].

3.2 Теоретичні передумови використання поверхнево-активних речовин та їх роль в отриманні оптимальних реологічних властивостей будівельних сумішей

Найчастіше для виготовлення будівельних розчинів та сумішей застосовують добавки органічних поверхнево-активних речовин (ПАР). Органічні ПАР можуть хімічно взаємодіяти з мінералами цементу (утворюють важкорозчинні сполуки, що впливають на процеси структуроутворення та гідратації) або адсорбційно взаємодіяти з твердою фазою та не взаємодіяти з в'язучою речовиною [135], [136].

Механізм дії добавок ПАР полягає в інтенсивному проникненні їхніх розчинів у місця фізичних ефектів часток в'язучого, що призводить до адсорбційного зниження їхньої твердості (розклинюючий ефект). При збільшенні

кількості ПАР на зернах в'язучого утворюється колоїдна адсорбційна плівка, яка утримує на їх поверхні відносно товстий шар води. У той же час ця плівка частково унеможлиблює фазові контакти у зв'язку з переорієнтацією дифільних молекул до гідрофільних поверхонь. Але за рахунок цього виникає ефект їхнього електростатичного відштовхування, що поліпшує зручновкладальність суміші або при рівній постійній зручновкладальності – зменшує потребу води (водоредуційний ефект) [136].

Добавки гідрофобного типу втягують у бетонну суміш дуже дрібні бульбашки повітря. Молекули ПАР, які входять до складу цих добавок, адсорбуючись на поверхні розділення фаз «повітря – вода», знижують поверхневий натяг води і стабілізують дрібні бульбашки повітря в цементному тісті, проявляючи при цьому помітний пластифікуючий ефект. Таким чином добавки ПАР здатні значно полегшити рівномірність розподілення води тонким шаром на поверхні твердих частинок розчинової суміші. Так досягається зменшення витрати води, а отже, і цементу (на 8-15 %), під час виготовлення розчинів.

Молекули ПАР дифільні: присутні гідрофільна полярна група і гідрофобний вуглеводневий радикал [26]. Це значить, що полярна група притягується водою і гідрофільними (змочуваними) поверхнями твердих тіл, а вуглеводні радикали (ланцюги) мають водовідштовхуючу здатність. Полярна група молекул міцно зв'язується з поверхнею цементних частинок і продуктами їхньої гідратації, а вуглеводневі ланцюги при цьому повернені в зовнішньому напрямку до бульбашок повітря, які отримують одноіменні заряди і тому відштовхуються один від одного, залишаючись на своїх місцях [22]. Аніонактивні ПАР надають негативного заряду повітряним бульбашкам, катіонактивні – позитивного. Знак заряду поверхні бульбашок, утворених амфотерними (амфолітними) ПАР, залежить від рН середовища: у лужному середовищі заряд бульбашки негативний, в кислому – позитивний.

Механізм дії повітровтягуючих добавок полягає в утворенні в розчині великої кількості повітряних замкнутих пор, які рівномірно розподілені в матриці з цементного каменю [137], [138]. Втягування повітря відбувається на стадії змішування компонентів суміші з водою, при цьому добавки тільки стабілізують повітряні бульбашки, зменшують їхні розміри.

На відміну від повітровтягуючих добавок, які спричиняють утворення мікропористої структури цементного каменю, піноутворюючі добавки викликають утворення в цементному камені замкнутих макропор з розмірами від 0,1 мм до 1-3 міліметрів. На ефективність добавок ПАР впливає їхня здатність по-різному адсорбуватися на клінкерних мінералах [137], [139].

В якості піноутворювачів для поризації цементних сумішей зазвичай використовуються різні поверхнево-активні речовини (ПАР) синтетичного або природного походження, як правило, аніоноактивного типу [132].

Хімічний склад і витрати піноутворювача впливають не лише на параметри отриманої з нього піни, а і на пластичну в'язкість поризованого розчину, процеси гідратації цементу, сумісність з іншими технологічними добавками [140] – [142]. Поєднання одного і того ж типу ПАР з різними видами цементу та мінеральних наповнювачів може утворювати пінні системи, які будуть відрізнятися за показниками кратності і стійкості. Це визначає потребу у експериментальному підборі піноутворюючої добавки та її витрати [140].

Відомо [141], що піноутворююча здатність водних розчинів ПАР характеризується величиною поверхневого натягу розчину, що залежить від його складу, концентрації і температури. Властивості плівок ПАР в період раннього структуроутворення керують параметрами порової структури і агрегатної стійкості поризованих розчинів [143]. Чим нижча температура води, тим довше піни здатні зберігати властивості твердих тіл. Це впливає на компактність розміщення дисперсних частинок твердої фази у складі міжпорових перегородок. Зі збільшенням концентрації водних розчинів ПАР їхній поверхневий натяг, як

правило, закономірно зменшується. При цьому найнижчим значенням поверхневого натягу водних розчинів ПАР відповідає найбільш висока піноутворююча здатність [9]. Разом з каналами Плато-Гіббса і вузлами (перетинами каналів) плівки представляють собою єдину капілярну систему. Усі найважливіші процеси в піні, в тому числі ті, що зумовлюють укрупнення повітряних бульбашок і час їхнього життя, залежать від товщини, будови та фізико-хімічних властивостей пінних плівок [144], [145].

Вплив твердої фази на стійкість найбільше проявляється в тому випадку, коли знак заряду твердої фази протилежний знаку заряду іона ПАР. Кратність піни підвищується, якщо в піну вводиться мінеральний порошок, який має однаковий знак заряду поверхні із зарядом поверхні повітряної бульбашки. Таким чином між пінними бульбашками і мінеральними частинками проявляється електростатична взаємодія, яка визначається величиною заряду поверхні мінеральних часток і активністю гідрофільного радикала ПАР та впливає на кратність і стійкість піни [144].

Поверхнева енергія системи «вода + ПАР» з додаванням в неї піску не змінюється, так як молекули часток піску SiO_2 мають негативний заряд, як і молекули аніоноактивного ПАР. Їх взаємодія, очевидно, зведеться до відштовхування один від одного. Однак при додаванні в систему «вода + ПАР» цементу поверхнева енергія може істотно змінитися, оскільки до складу цементу входять іони Ca^{2+} , що мають позитивний заряд. При цьому вони можуть взаємодіяти з негативно зарядженими іонами аніоноактивного ПАР. Відомо, що зв'язування аніоноактивних ПАР із солями кальцію призводить до утворення слабкорозчинних солей, в результаті чого концентрація вільного ПАР зменшується, що призводить до збільшення поверхневого натягу розчину і зниження його піноутворюючої здатності. За наявності частинок цементу і піску відбувається трансформація розмірів повітряних бульбашок пінної системи в напрямку збільшення їхніх розмірів та зменшення кількості.

Складність утримання повітряних бульбашок в системі «цементний розчин –

піна» полягає в тому, що на поверхні цементних часток відбуваються, крім фізичної адсорбції, процеси хемосорбції, гідролізу та гідратації. У результаті цього в міжпоровій воді змінюється іонний склад (рН підвищується до 11,5-12), що, в свою чергу, призводить до зміни електрокінетичного заряду цементних часток [146].

Результати визначення поверхневого натягу показали, що високомолекулярні ПАР знижують поверхневий натяг води всього на 10-15 %, тоді як синтетичні піноутворювачі – майже в два рази [147].

На пінах, отриманих на основі природних піноутворювачів, які мають високі значення поверхневого натягу, більше ймовірності закріплення частки мінералу на бульбашці, ніж у пінах на синтетичних піноутворювачах і менша вірогідність їхнього руйнування в змішувачах [148].

При неоптимальних значеннях В/Ц і концентрації водних розчинів ПАР спостерігається перерозподіл пор у бік зменшення кількості дрібних пор та збільшення кількості середніх і великих пор. Збільшення в поризованому розчині кількості пор з розмірами 0-0,2 мм при підвищенні В/Ц до 0,45 відбувається за рахунок збільшення рухомості суміші. При подальшому збільшенні В/Ц в структурі поризованого розчину збільшується кількість більших пор з розмірами 0,5-0,8 мм [149].

Отже, орієнтація молекул ПАР на межі фаз «повітря – вода» і адсорбція їх на поверхні мінеральних часток зумовлені переважно дією сил тяжіння або відштовхування між твердими частками і повітряними бульбашками, визначаючи кінцевий ефект стійкості піномінеральної суміші.

Збільшення міцності при постійній середній густині може бути забезпечене тільки за рахунок підвищення міцності матриці поризованого матеріалу і створення оптимальної пористої структури матеріалу. Цього можна досягти шляхом підвищення хімічної активності в'язучого, зниження В/Ц, використання механохімічної активації в'язучого та компонентів суміші, регулювання кратності і стійкості піни [142].

3.3 Передумови використання мінеральних заповнювачів, наповнювачів та мікронаповнювачів у сухих будівельних сумішах

Основним способом проектування складів сухих будівельних сумішей залишається експериментальний метод підбору рецептів, що полягає у підборі співвідношення між в'язучим і заповнювачем та добавками за заданими фізико-механічними, технологічними та експлуатаційними властивостями [150].

Сухі будівельні суміші є тонкоподрібненим складним композитом, тому в технології їхнього виготовлення можливе компонування складової суміші у вигляді заповнювача (крупність зерен 0,2-2,5 мм), наповнювача (крупність зерен 0,14-1,25 мм) та мікронаповнювача (крупність зерен менше 0,16 мм).

Мікронаповнювачі – дисперсні природні та техногенні речовини, переважно неорганічного складу, нерозчинні у воді (основна відмінність від хімічних добавок), які характеризуються крупністю зерен менше 0,16 мм (основна відмінність від заповнювачів) [151]. Доцільність використання мікронаповнювачів для сухих будівельних сумішей обґрунтована вимогами ДСТУ Б В.2.7-126:2011 [1]: крупність заповнювачів для СБС має бути не більше 0,4, 2,5, 1,25, 0,8, 0,63, 0,4, 0,315 чи 0,2 мм в залежності від групи суміші за призначенням. Тому раціональним стає використання для виробництва сухих будівельних сумішей, в тому числі і поризованих, різних відходів переробки гірських порід і відходів промисловості, а також глинистих мінералів, які характеризуються підвищеним вмістом пилоподібних частинок (менше 0,16 мм – 18-25 %), що є основною перешкодою для їх використання у звичайних розчинах і бетонах [152].

Встановлено, що введення у в'язуче тонкодисперсних мінеральних добавок, які містять мікрокремнезем сприяє більш швидкому формуванню пластичної міцності за рахунок підвищення розчинності SiO_2 і наступної інтенсифікації утворення гідросилікатів кальцію [15]. Проте це вимагає додаткового введення карбонатів (10-15 % крейди, 10-15 % доломітової муки).

Використання карбонатних відходів вапняку у виробництві сухих будівельних сумішей обумовлено рядом об'єктивних факторів, головним з яких є достатньо широке поширення природного вапняку, великі запаси некондиційних вапнякових відходів у відвалах, високі технічні та еколого-економічні показники властивостей матеріалів і виробів з нього [14] – [16].

Правильний підбір основного мінерального складу суміші з додаванням тонкодисперсного мінерального наповнювача та пластифікатора дозволяє досягти зниження водотвердого відношення (В/Т), а, отже, підвищити водоутримувальну здатність розчину [39].

Використання золи-винесення ТЕС для виробництва СБС дозволяє отримувати на їх основі розчини низької водопотреби без зміни їхніх фізико-механічних характеристик [13]. Зола-винесення ТЕС – це фактично склоподібні частинки кулястої форми розміром до 100 мкм [153], які будуть володіти підвищеною рухомістю за умови низьких значень вологості. Це дозволяє отримувати на основі СБС розчини і бетони необхідної рухомості та пластичності без додавання інших пластифікуючих добавок. Використання тонкодисперсних складових, таких як зола-винесення ТЕЦ, сприяє рівномірному полідисперсному розподілу компонентів в'язучого, що сприяє інтенсифікації процесів гідратації, а отже і підвищенню активності в'язучого [64].

3.4 Експериментальне дослідження впливу технологічних параметрів приготування та введення полімерних добавок на властивості пін та поризованих розчинів

Відомо, що в технології виготовлення високоефективних конструкційно-теплоізоляційних пінобетонів важливу роль відіграє рівномірне розподілення пор по всьому об'єму штучного каменя. Значний вплив на цей процес вправляють

сировинні матеріали, вид піноутворювача та технологічні особливості його введення [154] – [156].

Дослідження піноутворювачів різної природи мали на меті підбір оптимальної концентрації піноутворювача, а також дослідження залежності стійкості та кратності піни від кількості обертів змішувача та часу перемішування. З метою стабілізації технічної піни у розчин вводились полімерні добавки: рідке скло та полівінілацетатна добавка (ПВА).

Для визначення впливу швидкості та часу обертання міксера на технічні характеристики пін, обрані рекомендовані та заявлені виробником концентрації піноутворювачів, достатні для отримання пінобетонів:

- СДО, SDO-L концентрацією 2-10 % водного розчину (0,05-0,2 % добавки в перерахунку на суху речовину від ваги цементу), вища концентрація добавки призводить до значної усадки та збільшення строків тужавлення;
- піноутворювач «СОФІР-ПБ» концентрацією 14 % водного розчину (0,09-0,2 % в перерахунку на суху речовину від ваги цементу);
- піноутворювач «LORI» концентрацією 25-% водного розчину (0,04-0,1 % добавки в перерахунку на суху речовину від ваги цементу);
- піноутворювач «UNISELL» – оптимальне дозування 1,6 % по сухій речовині до маси цементу.

Попередні дослідження дозволили встановити, що при швидкості обертання міксера від 50 до 950 об/хв процес піноутворення слабкий, кратність пін 1-2, стійкість відсутня для усіх піноутворювачів, незалежно від їх концентрації і часу змішування. Сухі піноутворювачі «LORI» та «UNISELL» починають спінюватись при швидкості обертання міксера від 320 та 400 об/хв відповідно, робочі концентрати SDO-L та «СОФІР-ПБ» перетворюються на піну при швидкості обертання міксера від 400 та 950 об/хв відповідно. Процес піноутворення не повний. Для всіх досліджуваних піноутворювачів, крім SDO-L, при заявленій виробником концентрації процес піноутворення залежить лише від швидкості та

часу обертання міксеру. Вплив на кратність та стійкість піни від концентрації піноутворювача виявлений лише для SDO-L (табл. 3.1).

Таблиця 3.1

Вплив концентрації SDO-L на параметри приготування та властивості піни

Концентрація, SDO-L, %	10	7	5	4	3	2
Стійкість піни, с	67	64	50	40	40	40
Кратність піни	8	8	6	6	6	6
Швидкість міксеру, об/хв	2610	1690	1540	1540	1540	1540
Час обертання міксеру, с	180	180	180	180	180	180

У результаті проведених досліджень [157] було визначено, що найбільш оптимальною для СДО є концентрація речовини 5-10 %, коли спостерігається найвища стійкість та кратність піни. Дослідження впливу швидкості і часу обертання міксеру на властивості піни, отриманої із SDO-L, проілюстровано у табл. 3.2.

Таблиця 3.2

Вплив швидкості і часу обертання міксеру на властивості піни SDO-L

Швидкість міксеру, об/хв	Час обертання міксеру, с	Кратність піни	Стійкість піни, с
1	2	3	4
Концентрація 5 %			
50-950	90-360	1-4	0
1540	90	7,5	16
1540	180	7,5	10
1540	270	8	34
1540	360	8,5	34
1690	90	7,5	65
1690	180	8,5	37
1690	270	8	103
1690	360	9	43
2610	90	8	30
Концентрація 7 %			
50-400	90-360	1-4	0

Продовження таблиці 3.2

1	2	3	4
950	90	4	10
950	120	4,5	15
950	180	4,5	15
950	270-360	5	15
1540	90-180	6	15
1540	270-360	7	20
1690	90	8	18
1690	180	8,5	26
1690	270-360	8,5	23
1920	90	7,5	10
1920	180	8,5	30
1920	270-360	8,5	30
2610	90	8,5	25
2610	180	8	2хв 15 с
2610	270	7,5	56
2610	360	4,5	20
Концентрація 10 %			
50-400	90-360	1-2	0
950	90-360	4	10
1540	90-270	4	12
1540	360	4,5	15
1690	90	6	21
1690	180-270	7,5	23
1690	360	7,5	20
1920	90	7,5	15
1920	270	8	25
1920	270	8,5	30
1920	360	8,5	18
2610	90	8,5	43
2610	180	8	78
2610	270	7	65
2610	360	6,5	32

Виявлено, що подальше збільшення обертів міксеру вище 1690-2610 об/хв не підвищує кратності піни, а збільшення часу збивання понад 3-4,5 хв. веде до руйнування повітряних бульбашок, що негативно впливає на стійкість піни.

Для піноутворювача «СОФІР-ПБ» отримані такі результати (табл. 3.3-3.4): найоптимальніша кількість обертів змішувача – 2610 об/хв, найоптимальніший час збивання – 180 с при концентрації піноутворювача 14 %. Кратність технічної піни, отриманої з «СОФІР-ПБ», у всіх випадках становила 20.

Таблиця 3.3

Вплив часу обертання міксеру на властивості піни «СОФІР-ПБ»

Час обертання	60	120	150	180	210	240
Стійкість піни, с	35	77	87	109	70	60
Кратність піни	20	20	20	20	20	20

Таблиця 3.4

Вплив швидкості обертання міксеру на властивості піни «СОФІР-ПБ»

Швидкість міксеру, об/хв	1540	1690	1920
Стійкість піни, с	50	120	140
Кратність піни	20	20	20

Для піноутворювачів «LORI» та «UNISELL» отримані більш стабільні показники кратності та стійкості піни за умови меншого часу збивання і нижчій кількості обертів. Дані справедливі при різних концентраціях піноутворювачів. Встановлено, що сухі поризуючі добавки відзначаються вищою якістю, ніж рідкі концентрати піноутворювачів, наявні на ринку будівельних матеріалів. Результати досліджень показано в табл. 3.5-3.6.

Таблиця 3.5

Вплив швидкості і часу обертання міксеру на властивості піни «UNISELL»

Швидкість міксеру, об/хв	Час обертання міксеру, с	Кратність піни	Стійкість піни, с
320	30-360	2	0
400	30-360	3,5	0
950	30-360	5	0
1540	30-360	7	0
1690	30-360	10	120
1920	30-360	9,5	150
2610	30-360	12	150
2710	30-360	10	135
3150	30-360	8	105

Таблиця 3.6

Вплив швидкості і часу обертання міксеру на властивості піни «LORI»

Швидкість міксеру, об/хв	Час обертання міксеру, с	Кратність піни	Стійкість піни, с
1	2	3	4
50-400	30-360	0	0
950	30	5	0
1540	30	7	0
1690	30	10	120
1690	60-90	10,5	120
1920	30	10	90
1920	60-90	12,5	120
2610	30-60	15,5	120
2610	90	10	120
2710	30	10,5	150
2710	60-90	15	150
3150	30-120	15,5	150
3150	180	11	180
3150	360	8	120

Дослідження впливу від введення полімерних добавок на стійкість і кратність пінних систем проводили для піноутворювачів органічного SDO-L та синтетичного «СОФІР-ПБ», оскільки було встановлено, що технічна піна отримана

на їхній основі, має нижчі кратність та стійкість, відрізняється нестабільними характеристиками під час зміни параметрів змішування.

З метою покращення властивостей технічної піни були використані полівінілацетатна добавка (ПВА) та рідке скло. ПВА добавка вводилась безпосередньо у концентрований розчин піноутворювачів, у воду та водний розчин піноутворювача, а також у готову технічну піну. При введенні в органічний піноутворювач SDO-L ПВА добавки та рідкого скла спостерігалось різке падіння кратності та стійкості отриманої піни, тому полімерні стабілізуючі добавки є неефективними для піноутворювача даної природи. Найкращі результати продемонструвало введення ПВА в концентрований розчин «СОФІР-ПБ» та у 14 %-ий водний розчин піноутворювача. Визначено, що найоптимальніший вміст клею ПВА для 14 %-вого розчину «СОФІР-ПБ» складає 15 % (табл. 3.7), рідкого скла – 10 % (табл. 3.8). Кількість обертів змішувача становила у всіх випадках 2610 об/хв, час збивання – 180 с. Кратність піни становила у всіх випадках 15.

Таблиця 3.7

Вплив ПВА добавки на стійкість технічної піни, отриманої із «СОФІР-ПБ»

Стійкість піни, с	160	190	205	205	223	469	442
Вміст ПВА добавки, % від витрати ПД	2	4	6	8	10	15	20

Таблиця 3.8

Вплив рідкого скла на стійкість технічної піни, отриманої із «СОФІР-ПБ»

Стійкість піни, с	42	52	60	90	113	80	0
Вміст рідкого скла, % від витрати ПД	2	4	6	8	10	12	20

Залежність впливу полімерних стабілізуючих добавок на стійкість піни зображено на рис. 3.1.

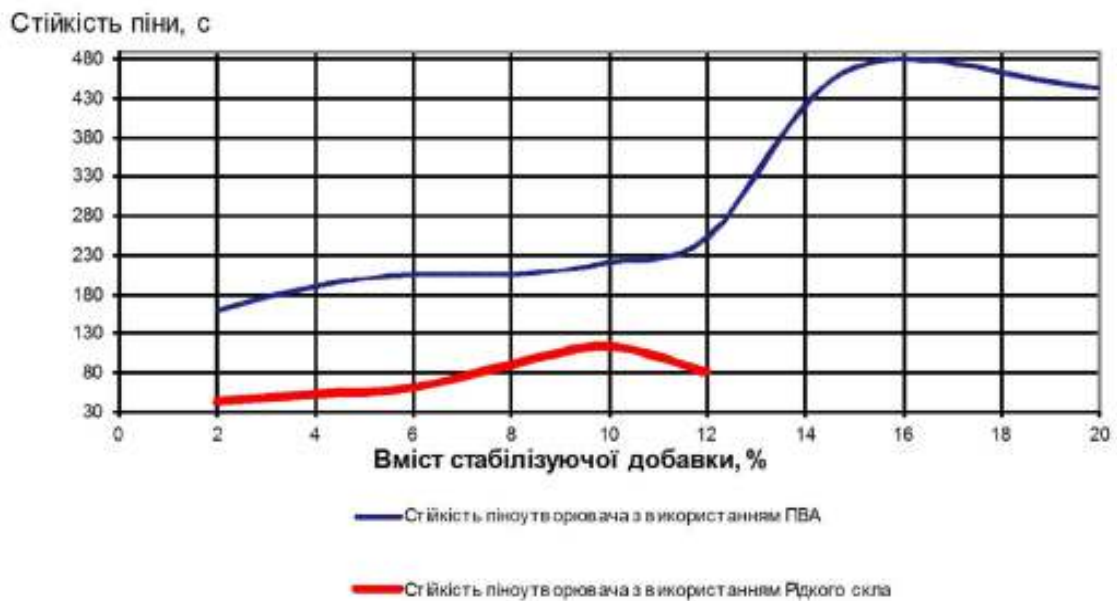


Рисунок 3.1 – Залежність стійкості піни від вмісту полімерних добавок

Були проведені попередні дослідження з розробки [150] і поризації складів мінеральних сухих будівельних сумішей [158], які показали, що можливе створення ефективних СБС для поризованих розчинів з витратою цементного в'язучого 10 % під час тверднення у повітряно-сухих умовах (температура повітря $(20\pm 2)^\circ\text{C}$ і відносна вологість $(55\pm 5)\%$). Як заповнювачі використовували вапняковий порошок, отриманий з відходів дроблення вапняку та пісок кварцовий, як наповнювач – глиняний порошок, отриманий із високопластичних глин. Для отримання поризованих розчинів використовувався міксер для СБС стандартного типу з швидкістю роботи вала 800-960 об/хв.

Контрольні склади сумішей показані у таблиці 3.9, результати випробувань – у таблиці 3.10.

Таблиця 3.9

Контрольні склади сумішей

№ складу	Модуль крупності, мм			Склад, %				В/Г, %	Рухомість, см
	ВП	ГП	П	ВП	ГП	П	ПЦ М500		
1	0,315	0,315	1,2	70	10	10	10	13,5	10,1
2	0,315	0,315	1,2	60	20	10	10	16,9	8,0
3	0,315	0,315	1,2	50	30	10	10	18,2	8,2
4	0,63	0,63	1,2	50	30	10	10	23,6	8,8
5	0,63	0,315	1,2	50	30	10	10	30,4	8,6
6	1,25	1,25	1,2	50	30	10	10	20,3	8,0
7	1,25	0,315	1,2	50	30	10	10	25,7	8,3
8	1,25	0,63	1,2	50	30	10	10	26,4	9,1

Таблиця 3.10

Механічні властивості контрольних складів сумішей з «СОФІР-ПБ»

№ складу	Міцність, МПа			
	R_{gr} , у віці 14 діб	R_{gr} , у віці 28 діб	R_{ct} , у віці 14 діб	R_{ct} , у віці 28 діб
1	1,56	1,95	2,36	2,95
2	1,60	2,00	2,24	2,80
3	2,09	2,38	1,85	2,68
4	1,64	2,05	2,44	3,05
5	1,75	2,19	2,83	3,54
6	1,25	1,56	3,04	3,80
7	1,32	1,66	3,76	4,80
8	1,31	1,64	3,44	4,30

З табл. 3.9 видно, що рухомість суміші збільшується з використанням ГП меншого модулю крупності. Слід зазначити, що високопластичні глини чинять пластифікуючу дію на поризовану розчинову суміш, яка зростає зі збільшенням у складі глиняного порошку тонкодисперсних часток.

Аналізуючи дані досліджень, можна зробити висновок, що оптимальною фракцією глиняного порошку, який можна ефективно використовувати як активну складову полегшених складів СБС, є фракція 0,315 мм. Глинисті частки менших розмірів призводять до перевитрати цементу та високої водопотребу за умови зниження міцності та підвищення середньої густини затверділого розчину, а частки розміром 0,63 мм і більше не мають достатньої дисперсності для активної адсорбції. Тому відбувається зниження міцності та нерівномірне розподілення повітряних бульбашок у шарі розчину, їхнє руйнування, а також спостерігаються усадкові явища під час набору розчином міцності [152], [159], [160].

У результаті досліджень було отримано поризований розчин на основі синтетичного піноутворювача «СОФІР-ПБ» з додаванням до нього в ролі стабілізатора піни ПВА добавку. Структура затверділого розчину характеризувалась нерівномірним розподілом пор та утворенням поодиноких пор більшого розміру. На рис. 3.2 показана структура поризованого розчину, отриманого на основі СБС.

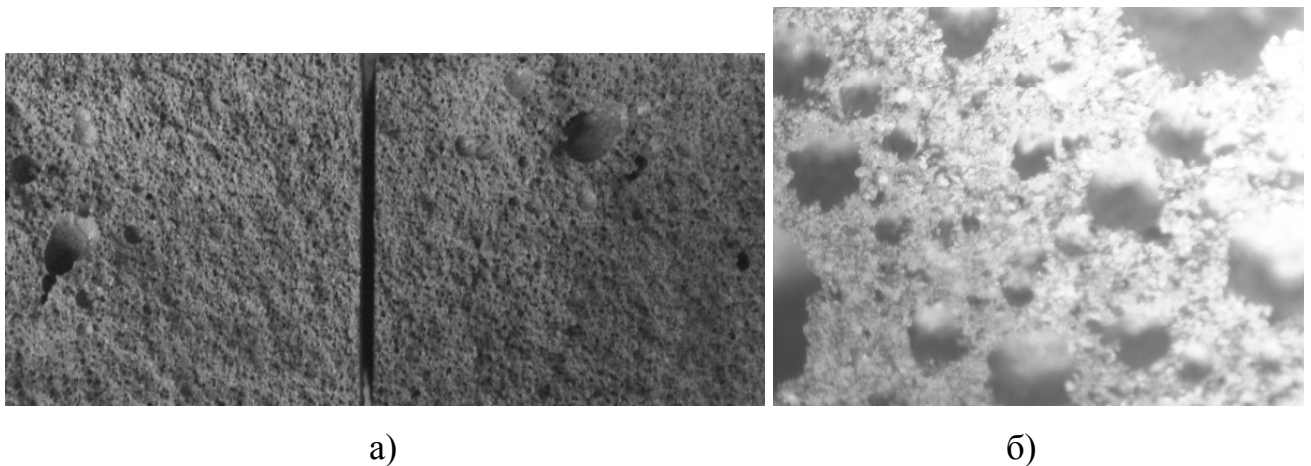


Рисунок 3.2 – Зразок поризованого розчину, виготовленого з піноутворювачем «СОФІР-ПБ» (збільшення: а) $\times 20$; б) $\times 160$)

На рис. 3.3 представлена залежність властивостей отриманого матеріалу від вмісту піноутворювача «СОФІР». Підвищений вміст піноутворювача «СОФІР-ПБ» призводить до збільшення середньої густини зразків і міцності зразків на згин. Це пов'язане з тим, що при меншій концентрації СПБ пор утворюється менше і вони не так рівномірно розподіляються по всьому об'єму розчинової суміші.

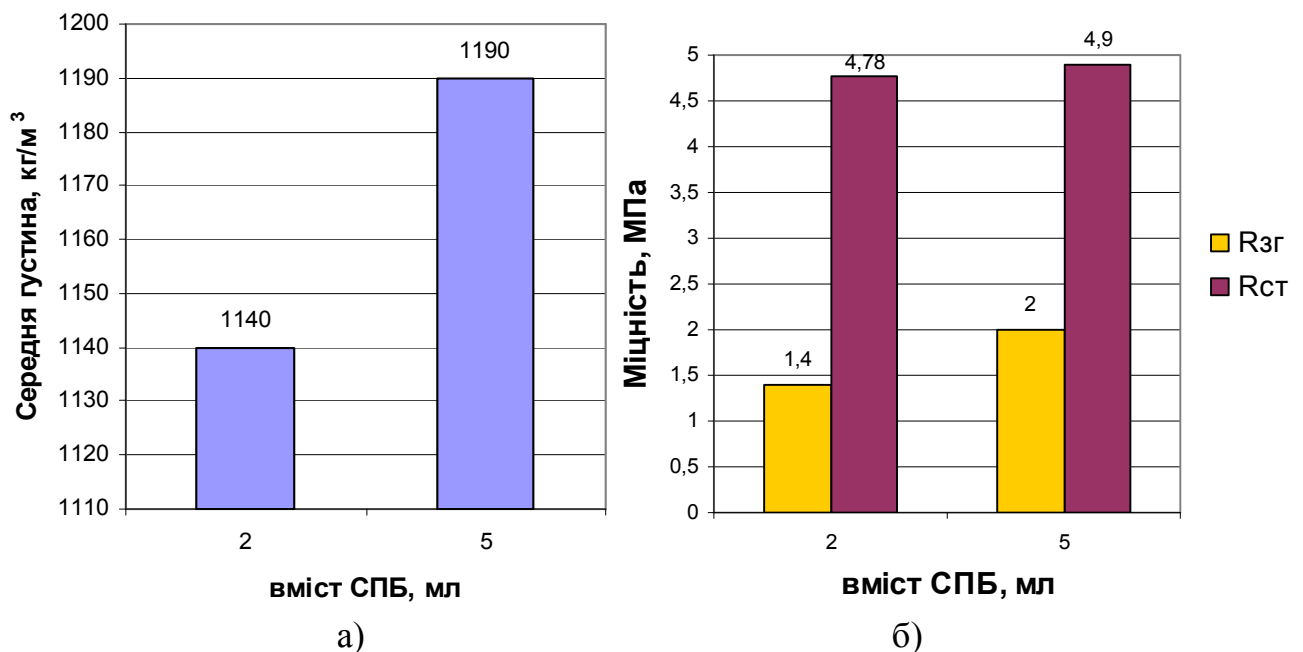


Рисунок 3.3 – Залежність властивостей поризованого розчину від вмісту піноутворювача «СОФІР-ПБ»: а) середньої густини; б) міцності

Результати лабораторних випробувань показують, що збільшена концентрація добавки SDO-L призводить до різкого зниження міцності, значної усадки розчину та збільшення строків тужавлення. Фізико-механічні властивості контрольних складів сумішей з SDO-L показані в табл. 3.11-3.12 та на рис. 3.4-3.5. Аналізуючи наведені дані, встановлено, що підвищена концентрація піноутворювача SDO-L знижує міцність суміші, збільшує її густину і негативно впливає на початковий період набирання міцності, що пов'язано із її пластифікуючим ефектом і органічною природою.

Таблиця 3.11

Механічні властивості контрольних складів сумішей з SDO-L*

№ складу	Міцність, МПа			
	R _{зг} , у віці 14 діб	R _{зг} , у віці 28 діб	R _{ст} , у віці 14 діб	R _{ст} , у віці 28 діб
Концентрація SDO-L 5 %				
6	0,98	1,25	2,43	3,0
7	0,60	1,80	2,0	4,77
8	0,42	0,62	1,1	2,42
Концентрація SDO-L 10 %				
6	0,52	0,60	1,16	1,44
7	0,50	0,90	0,97	1,52
8	0,50	0,53	1,31	1,38

*інші склади дали міцність менше 0,5 МПа і далі для них не приведені

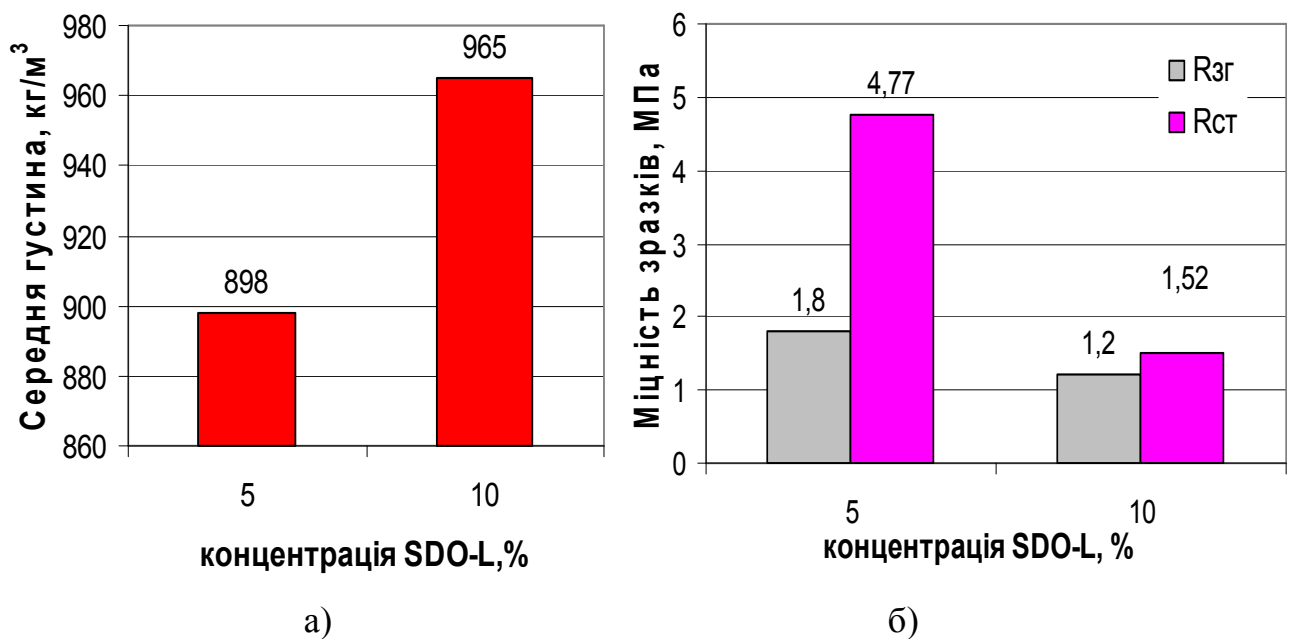


Рисунок 3.4 – Залежність властивостей поризованого розчину від концентрації піноутворювача SDO-L: а) середньої густини; б) міцності

На рис. 3.5 показано структуру поризованого розчину, виготовленого з сухих будівельних сумішей та піноутворювача SDO-L [158]. Структура затверділого розчину характеризувалась рівномірною дрібнопористою структурою.

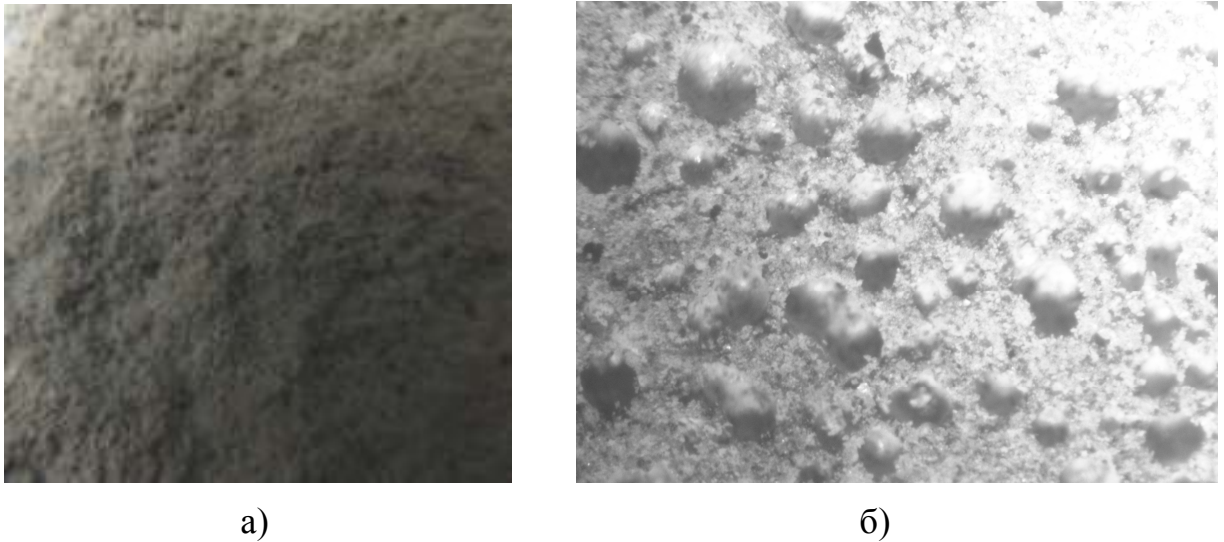


Рисунок 3.5 – Зразок поризованого розчину, виготовленого з піноутворювачем SDO-L (збільшення: а) $\times 20$; б) $\times 160$)

Проведене порівняння непоризованих і поризованих різними піноутворювачами складів СБС (табл. 3.12) представлено на рис. 3.6. На ступінь поризації суміші значний вплив чинить гранулометрія заповнювачів і наповнювачів, що потребує подальших досліджень, до досягнення оптимального співвідношення між зерновими характеристиками складів сухих сумішей.

Таблиця 3.12

Порівняльна характеристика складів СБС

№ складу	Середня густина, ρ_m , кг/м ³		
	Непоризовані склади	Склади поризовані СПБ	Склади поризовані SDO-L
1	1840	860	680
2	1780	710	510
3	2120	1150	960
4	1800	790	650
5	1990	1110	790
6	2180	1160	980
7	1920	1000	740
8	2000	1120	890

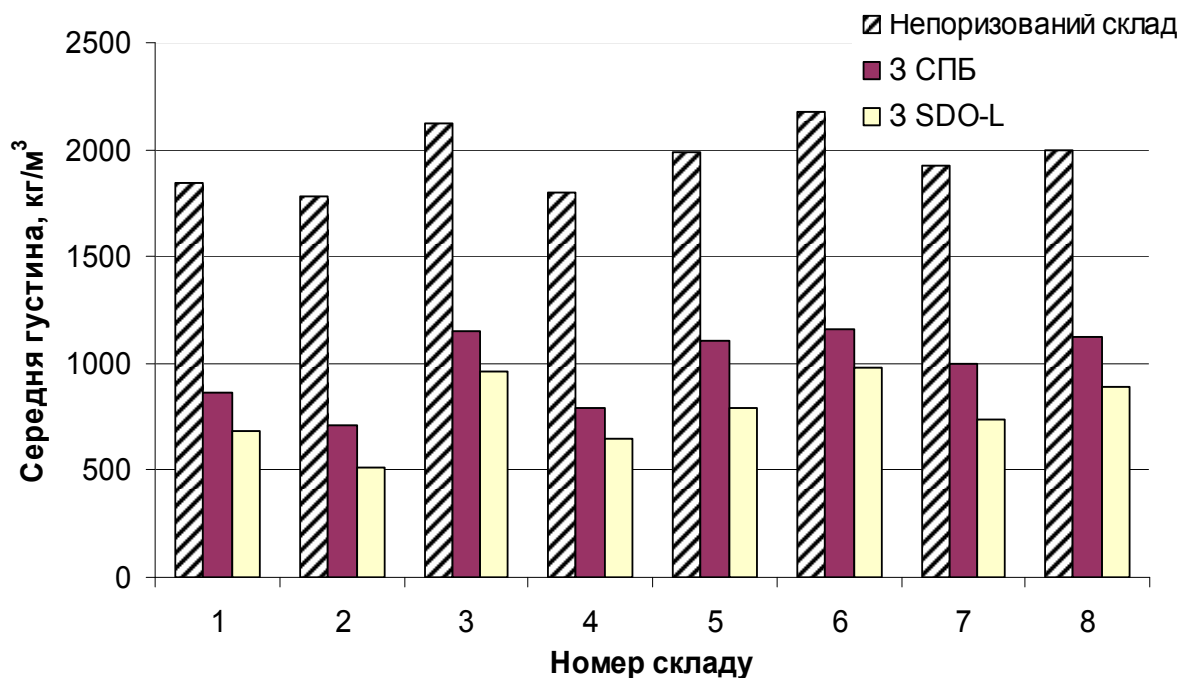


Рисунок 3.6 – Залежність середньої густини розчину від виду піноутворювача

Використання ПАР у якості поризуючої добавки до сухих будівельних сумішей дає змогу знизити їхню середню густину з 1780-2180 кг/м³ до 880-1270 кг/м³. Суміші, в які вводився піноутворювач СПБ, дають зразки з вищими показниками міцності у порівнянні з сумішами, для яких в ролі піноутворювача використовувалась SDO-L. Однак спостерігається утворення у структурі поодиноких великих пор при загальній перевазі дрібних закритих пор.

Для піноутворювачів «LORI» та «UNISELL» введення полімерних добавок у кількості 2-12 % не викликало змін параметрів технічних пін, за умови подальшого збільшення вмісту ПВА добавки відбувалось падіння кратності піни, за умови збільшення вмісту рідкого скла – знижувалась стійкість пін. Тому для підвищення характеристик піни, отриманої з них, були використані мінеральні добавки.

3.5 Експериментальне дослідження механізму впливу мінеральних добавок на властивості пін та поризованих розчинів

Вирішення питання створення поризованих розчинів із заданими властивостями можливе завдяки вивченню впливу мінеральних добавок на властивості технічних пін, отриманих із ПАР та піноутворюючих добавок.

Поверхневу енергію та поверхневий натяг рідини на межі поділу фаз «вода – повітря» та «вода – тверді частки» можна знизити шляхом адсорбції (концентрації) іонів або молекул ПАР та піноутворюючих добавок біля поверхні цих фаз [135], [141], [155] та стабілізують дрібні бульбашки повітря в цементному тісті. Для забезпечення стабільних параметрів середньої густини і міцності затверділого розчину необхідним є забезпечення міцності неорганічної матриці, що досягається шляхом виконання механічної та/або хімічної активації компонентів суміші. Питання утворення рівномірної пористої структури з оптимальними показниками якості вирішується направленою регуляцією кратності й стійкості піни у високомінералізованих цементних пастах [139], [154], [161], [162], що вирішується спеціальними технологічними прийомами.

Відомо, що мінеральні добавки мають високу питому поверхню і в разі їхньої активації можлива взаємодія з іншими активними центрами розподілу фаз поризованої суміші, яка твердне [133]. Активацію поверхонь зазвичай проводять відомими методами – фізико-механічним (зміна питомої поверхні, вплив електричних та магнітних полів і т.п.) та хімічним (застосування різних добавок та їх комплексів).

Досліджено вплив введення мінеральних тонкодисперсних порошоків ($M_k < 0,14$), отриманих подрібненням у бігунах, на технічні характеристики піноутворювачів різної природи.

Для досліджень були обрані високопластичні глини, які здатні при зволоженні утримувати на своїй поверхні найтонші шари адсорбованої води, зв'язані силами поверхневого натягу. Введення ГП у піну дозволяє отримати

стабільну дрібнопористу структуру з рівномірним розподілом пор по всьому об'єму. Результати визначення впливу мінеральних добавок на характеристики технічних піп наведені у табл. 3.13-3.17.

Таблиця 3.13

Значення технічних параметрів піни від кількісного вмісту глиняного порошку

Вміст глиняного порошку, %	Без добавки	2	4	6	8	10	12	15	18	20	25
Піноутворювач «LORI»											
Кратність піни	15,0	15,0	15,0	15,0	14,5	14,5	14,0	13,5	13,0	12,0	11,5
Стійкість піни, с	210	271	294	317	349	378	402	468	421	342	287
Піноутворювач «UNISELL»											
Кратність піни	12,0	12,0	12,0	12,0	9,5	9,5	9	8	7,5	6,5	6
Стійкість піни, с	180	185	192	204	210	232	240	218	200	190	180

Оптимальні значення стійкості піни отримані за умови вмісту глини 15 % для піноутворювача «LORI» та 12 % – для «UNISELL». Так, при вмісті ГП від 2 до 15 % відбувається зростання стійкості піни і незначне падіння її кратності. За умови збільшення вмісту ГП до 18 % відбувається незначне падіння показників, а при 20-25 % їхнє різке зниження, що демонструє межу переходу піннодисперсної системи «ГП – піна» у глиняний розчин [162]. При введенні у склад СБС глиняного порошку у кількості більше 15-18 % будуть утворюватися дифузні водні оболонки навколо глинистих часток з заповненням об'єму між частками вільною водою [154], [163], [164], що дозволить отримати високопластичний розчин з прогнозованою рухомістю 12-16 см, але з незначним відсотком поризації маси за рахунок руйнування повітряних бульбашок в результаті «налипання» на них великої кількості глинистих часток.

Таблиця 3.14

Значення технічних параметрів піни від кількісного вмісту золи-винесення

Вміст золи-винесення, %	Без добавки	2	4	6	8	10	12	15	18	20	25
Піноутворювач «LORI»											
Кратність піни	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	14,5	14,5	14,0	14,0	13,0	13,0
Стійкість піни, с	210	210	215	218	225	233	240	247	250	241	230
Піноутворювач «UNISELL»											
Кратність піни	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	11,0	11,0	11,0	10,0	10,0
Стійкість піни, с	180	180	183	185	192	198	204	210	210	210	198

Оптимальні значення стійкості піни отримані за умови вмісту золи-винесення 18 % як для піноутворювача «LORI», так і для «UNISELL».

Таблиця 3.15

Значення технічних параметрів піни від кількісного вмісту піску кварцового

Вміст піску кварцового, %	Без добавки	2	4	6	8	10	12	15	18	20	25
Піноутворювач «LORI»											
Кратність піни	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	14,5	14,5	13,5	13,0	11,0	9,5
Стійкість піни, с	210	218	223	231	235	240	248	256	263	275	238
Піноутворювач «UNISELL»											
Кратність піни	12,0	12,0	12,0	12,0	11,5	11,0	11,0	10,0	10,0	8,0	7,0
Стійкість піни, с	180	182	188	194	201	213	221	230	235	210	190

Оптимальні значення стійкості піни отримані за умови вмісту кварцового піску 20 % для піноутворювача «LORI» та 18 % – для «UNISELL».

Таблиця 3.16

Значення технічних параметрів піни від кількісного вмісту крейди*

Вміст крейди, %	Без добавки	2	4	6	8	10	12	15	18	20	25
Піноутворювач «LORI»											
Кратність піни	15,0	15,0	15,0	15,0	14,5	14,5	14,0	13,5	12,5	12,0	12,0
Стійкість піни, с	210	210	218	225	240	258	275	305	330	356	342
Піноутворювач «UNISELL»											
Кратність піни	12,0	12,0	12,0	12,0	11,0	11,0	11,0	10,5	10,5	9,5	9,5
Стійкість піни, с	180	180	186	191	195	208	215	228	235	240	248

*вводилась для порівняння із вапняковим порошком

Оптимальні значення стійкості піни отримані за умови вмісту крейди 20 % для піноутворювача «LORI» та 25 % – для «UNISELL».

Таблиця 3.17

Значення технічних параметрів піни від кількісного вмісту вапнякового піску

Вміст вапнякового піску, %	Без добавки	2	4	6	8	10	12	15	18	20	25
Піноутворювач «LORI»											
Кратність піни	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	14,5	13,5	13,5	12,5	12,0	11,5
Стійкість піни, с	210	235	263	288	320	381	410	423	418	410	375
Піноутворювач «UNISELL»											
Кратність піни	12,0	12,0	12,0	12,0	11,5	11,5	11,0	11,0	11,0	10,5	10,0
Стійкість піни, с	180	193	225	244	265	287	310	327	340	307	288

Оптимальні значення стійкості піни отримані за умови вмісту вапнякового порошку 15% для піноутворювача «LORI» та 20 % – для «UNISELL».

Для подальших досліджень обрано піноутворювач «LORI», який характеризується вищими показниками стійкості і кратності пін, отриманих з нього. Порівняльний вплив різних мінеральних добавок за умови їхнього оптимальному вмісту на підвищення технічних характеристик піни наведено в табл. 3.18 [152], [164].

Таблиця 3.18

Значення технічних параметрів піни при введенні різних видів мінеральних добавок (оптимальні значення)

Показник	без добавки	зола-винесення	пісок кварцовий	крейда	вапняковий порошок	глиняний попошок
Кратність піни	15,0	14,0	11,0	12,0	13,5	13,5
Стійкість піни, с	210	250	275	356	423	468
Вміст добавки, %	-	18%	20%	20%	15%	15%

Глиняний та вапняковий порошки виявились найоптимальнішим стабілізатором технічної піни в порівнянні з іншими мінеральними добавками, що видно на рис. 3.11.

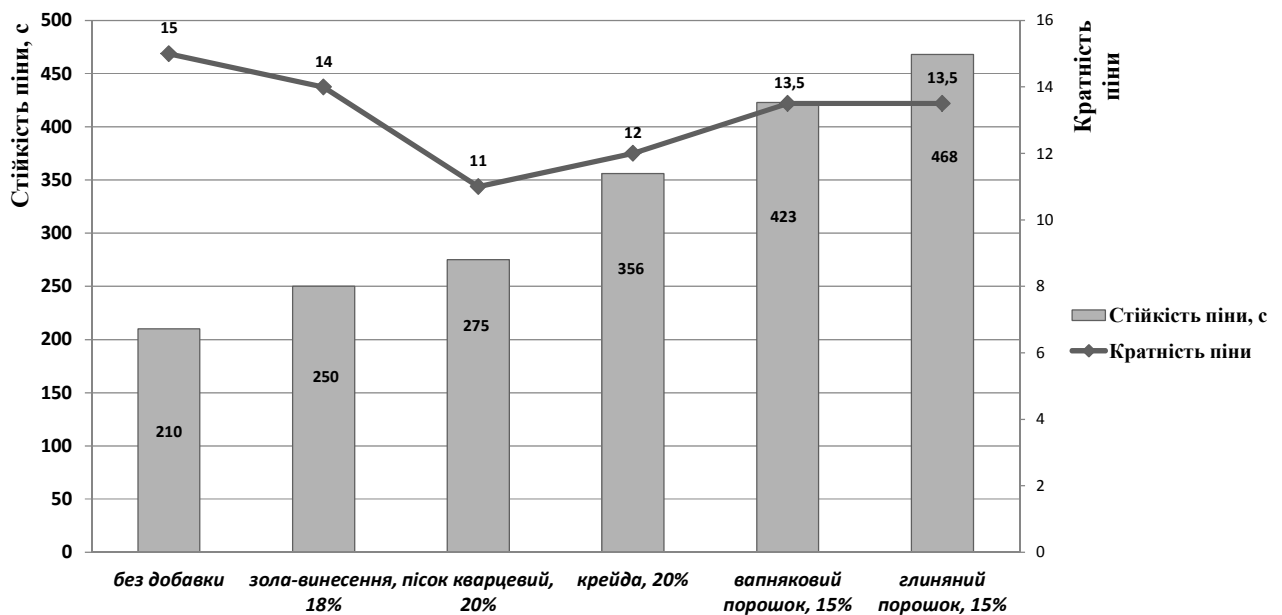


Рисунок 3.7 – Залежність технічних параметрів піни від типу мінеральної добавки при її оптимальному вмісті

Було встановлено, що введення мінеральних добавок дозволяє підвищити технічні характеристики піни. Так, кратність піни до введення мінеральної добавки складає 15,0, а стійкість – 210 с. При додаванні мінеральних порошоків зростає

стійкість піни до 468 с, а кратність знижується до 13,5, що пов'язано з утворенням піннодисперсної системи завдяки насиченню пінного розчину тонкодисперсними частками мінеральних порошків [152], [164]. Таким чином зростає густина рідини, а, отже, падає висота стовпа піни. Проте водні оболонки чи плівки піноутворювача, утворені навколо бульбашок повітря набувають більшої міцності за рахунок дисоціації мінеральної речовини на їхній поверхні, що призводить до підвищення сил поверхневого натягу і, як наслідок, стійкості піни. Одночасно навколо позитивно заряджених часток з адсорбованим рядом іонів утворюються водні оболонки хімічно зв'язаної води, які відрізняються підвищеною густиною та орієнтацією молекул [163].

Експериментально-теоретичні дослідження з підбору складу СБС показали, що оптимальними реологічними та фізико-механічними властивості будуть у поризованих розчинів, які отримані шляхом додавання аніонного піноутворювача невисокої кратності до цементних СБС. Використання таких піноутворюючих добавок дозволяє отримувати полегшені розчини із СБС з мінімальними показниками усадки та без використання додаткового піногенеруючого обладнання [150], [152], [164].

3.6 Дослідження впливу температури висушування мінеральних добавок на властивості піноутворювачів

Головним питанням створення вітчизняних СБС для поризованих розчинів є практична відсутність сухих тонкодисперсних порошкових піноутворювачів або рідких поризуючих добавок, які забезпечать отримання поризованого розчину зі стабільними характеристиками [11], [84], [85]. Використання рідкого піноутворювача збільшує кількість технологічних операцій виготовлення поризованих розчинів із СБС. Існуючі сухі піноутворювачі (наприклад, «Lorig», «UNISELL») є спеціально розробленими полімерними композиціями і випускаються у гранульованому вигляді хімічними підприємствами Італії та Німеччини. Проте

гранульований концентрат рекомендують розчиняти у воді для отримання робочого розчину піноутворювача необхідної концентрації, з яким і відбувається подальше виготовлення поризованих розчинів і бетонів. Подрібнення піноутворюючого грануляту до тонкодисперсного стану для змішування з сумішшю на стадії її заводського виготовлення не завжди ефективно: відбувається налипання і злипання частинок піноутворювача; кількість необхідного піноутворювача є досить малою, а концентрація дуже високою для того, щоб рівномірно розподілити необхідну кількість поризуючої добавки по всьому об'єму сухої суміші (приблизно 40-70 грам сухого піноутворювача на 100 кг сухої суміші) [11]. Все це збільшує вартість і часто знижує якість сухих сумішей для поризованих розчинів. Тому актуальним залишається дослідження можливості використання рідких піноутворювачів у технології виробництва сухих сумішей [9], [90].

Для еспериментальної перевірки обрані порошки глини і карбонатних вапняків, які дозволяють при введенні їх у піни підвищити їхні технічні характеристики. Перевірка здійснювалась шляхом визначення сорбційної здатності глини і відходів видобутку карбонатних вапняків до рідких концентратів негорючих аніонних синтетичних піноутворювачів, перевірки збереження властивостей піноутворювача після його випарювання з поверхні мінеральних порошоків під час висушування. Вихідні властивості мінеральних добавок наведено в таблиці 3.19.

Таблиця 3.19

Властивості мінеральних добавок

Показник	Глина	Вапняк
Крупність, фракція, мм	до 1,25	до 5
Насипна густина, $\rho_{н}$, кг/м ³	740-1040	1342
Істина густина ρ , г/см ³	2,35	2,38
Витрата ПД для рівномірного змочування сорбенту, л/1 кг	0,3-0,37	0,15-0,2
Міцність у шматку, МПа	-	0,65

Дослідження проводилося за такою технологічною схемою:

- 1) глина і вапняк сушилися в нормальних умовах при $t = 18-20 \pm 20 \text{ }^\circ\text{C}$;
- 2) здійснювався розсів на фракції: менше 0,14 мм; 0,14-0,315 мм; 0,315-0,63 мм; 0,63-1,25 мм; а вапняк ще на фракцію – 1,25-2,5 мм;
- 3) кожна фракція рівномірно змочувалась піноутворювачем і перемішувалася, залишалася на 24 години при нормальних умовах для проходження процесу сорбції;
- 4) далі виконувалось висушування в сушильній печі при $t = 25-200 \pm 20 \text{ }^\circ\text{C}$ до вологості не більше 5 %;
- 5) висушені до сталої маси мінеральні добавки подрібнювалися в бігунах до тонкодисперсного стану (фракція менше 0,14 мм);
- 6) повторне просіювання;
- 7) досушування при $t = 25-50 \pm 20 \text{ }^\circ\text{C}$ та до вологості не більше 0,5 %;
- 8) додавання в суху будівельну суміш на основі цементу.

Оптимальна температура висушування визначалася властивостями мінеральних добавок (органічні речовини починають вигоряти при $t = 150-200 \text{ }^\circ\text{C}$ та більше) і піноутворювача (стійкість і кратність піни, отриманої з сухого піноутворювача, випареного при $t \geq 200 \text{ }^\circ\text{C}$, починають падати).

У таблиці 3.20 наведені результати еспериментальних досліджень [130].

Таблиця 3.20

Результати випробувань мінеральних добавок

Показник	Глина				Вапняк				
	менше 0,14	0,14-0,315	0,315-0,63	0,63-1,25	менше 0,14	0,14-0,315	0,315-0,63	0,63-1,25	1,25-2,5
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Витрата ПД на 1 кг мінерального порошку, л*	0,37/ 0,37	0,36/ 0,37	0,35/ 0,36	0,3/ 0,33	0,2/0,21	0,2/ 0,2	0,18/ 0,2	0,17/ 0,18	0,15/ 0,15
Оптимальна t висушуння, $^\circ\text{C}$	130-180	120-180	115-180	110-180	100-160	100-160	100-160	100-150	100-150

Продовження таблиці 3.20

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Час висушування, хв	48	45	43	38	45	45	42	38	35
Час помелу, хв	5	5	3	3	2	3	5	5	7
Налипання на бігуни при помелі	+	+	-	-	±	-	-	-	-

* перше значення наведено для піноутворювача «LORI» / друге для «СОФІР-ПБ»

Варто зазначити, що при виготовленні мінеральної добавки з піноутворювачем з використанням глин спостерігалось комкування, нерівномірність змочування, необхідність інтенсивного і частого перемішування, а при повторному подрібненні після сушіння – налипання на бігуни. Це можна пояснити природою глинистої сировини. Глина має великі сорбційні властивості, однак під час зволоження вона розм'якшується, втрачає міцність, набухає, набуває пластичності та в'язучих властивостей і, перебуваючи навіть в повітряно-сухому стані, завжди має пов'язану з її поверхнею воду (гігроскопічна волога) [105]. Зі зменшенням розмірів глинистих частинок зростає кількість зв'язаної води в глинах, а також вплив адсорбційних процесів на властивості глинистих порід. Тому для глин витрата піноутворювача завжди буде більшою, а придатність сухої суміші після відкриття упаковки набагато коротшою, ніж у випадку використання тонкомолотого вапняку. Також використання глин може знижувати міцність затверділого поризованого розчину на цементних в'язучих.

Тонкомолоті карбонатні вапняки можуть бути сорбентом при менших витратах часу та сил на процес змочування, однак через високу високу міцність і твердість потребуватимуть більших енерговитрат на подрібнення.

Результати досліджень зміни властивостей технічних пін після висушування мінеральних добавок проілюстровано в табл. 3.21 та на рис. 3.8-3.9.

Властивості технічних піп в залежності від температури висушування і виду мінеральної добавки

Показник	Виміряні значення параметрів піни										
	t висушування, °C	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190
Глина											
Кратність піни «СПБ»	18	18	16	16	15	15	15	14	13	12	8
Стійкість піни «СПБ», с	236	230	218	216	205	203	197	180	163	124	80
Стійкість піни «СПБ», с	236	230	218	216	205	203	197	180	163	124	80
Кратність піни «LORI»	15	15	15	13	13	13	13	10	10	8	5
Стійкість піни «LORI», с	340	340	332	325	316	304	300	300	260	180	120
Вапняк											
Кратність піни «СПБ»	20	18	18	16	15	15	15	10	8	8	5
Стійкість піни «СПБ», с	238	232	225	217	208	205	198	183	160	141	110
Кратність піни «LORI»	15	15	14	14	13	12	10	10	8	7	5
Стійкість піни «LORI», с	360	340	325	312	300	300	280	260	183	160	128

Встановлено вплив гранулометрії мінеральних добавок: чим тонше помел сухого компонента, тим більше рідкого піноутворювача необхідно для повного рівномірного змочування, а значить потрібно більше часу на прогрів суміші або вищу температуру висушування. Стабільність і незначне відхилення від норми характеристик отриманої мінеральної добавки з піноутворювачем пояснюється тим, що і у глини, і у вапняку мінеральні частки мають катіонний (+) заряд, протилежний аніонному (-) характеру заряду піноутворювача. Це сприяє кращому тяжінню, розподілу й утриманню адсорбентом на своїй поверхні піноутворювача [165].

З рис. 3.8-3.9 видно, що мінеральна добавка на основі тонкомолотого карбонатного вапняку і піноутворювача «LORI» володіє значно вищою стійкістю піни без втрати кратності після висушування у порівнянні з піноутворювачем «СОФІР-ПБ».

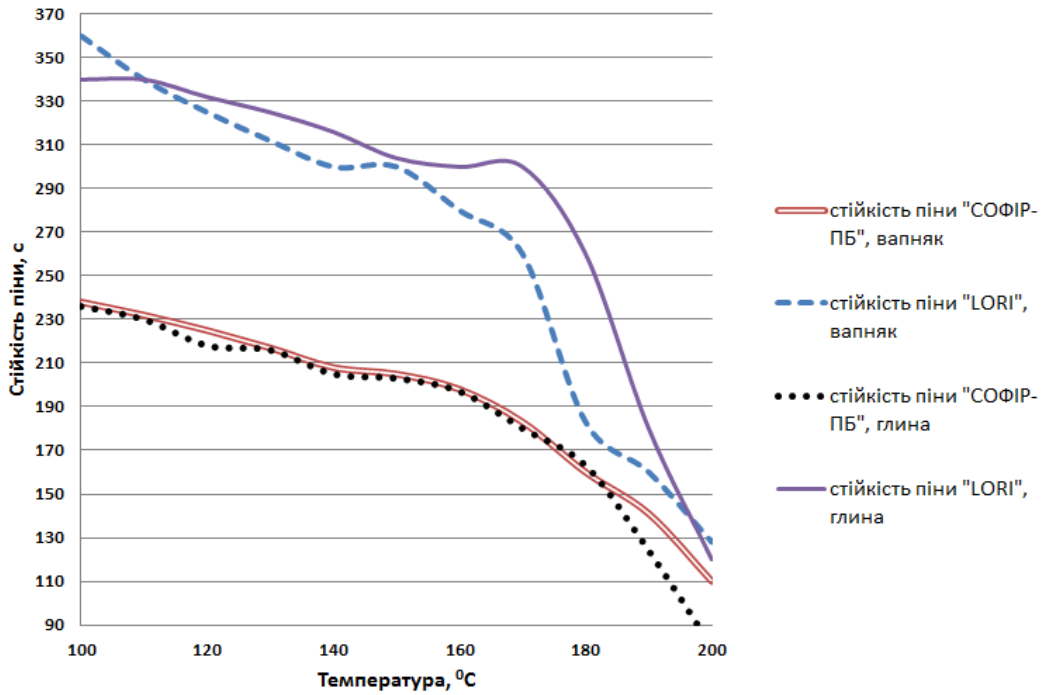


Рисунок 3.8 – Стійкість піноутворювачів в залежності від температури висушування і виду мінеральної добавки

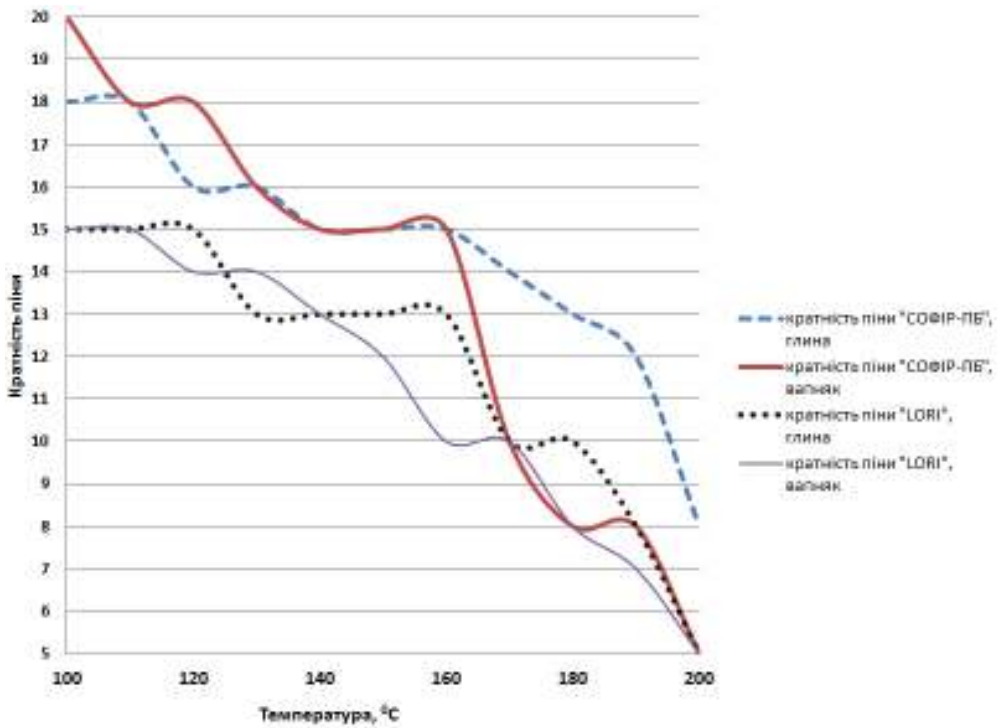


Рисунок 3.9 – Кратність піноутворювачів в залежності від температури висушування і виду мінеральної добавки

На підставі отриманої таким способом мінеральної добавки карбонатного вапняку з піноутворювачем «LORI» виготовлялися серії зразків-балочок розміром 4×4×16 см контрольних складів СБС. В складі сумішей: мінеральна добавка з вапняку та піноутворювача, цементу М500, піску та вапнякових відходів різних фракцій (П:ВП = 1:1). Глиняний порошок вводився у кількості 15 % для стабілізації пінної системи. Були отримані пористі розчини з середньою густиною від 860 до 1210 кг/м³ та міцністю на стиск у віці 28 днів від 1,54 до 8,87 МПа. Для оцінки теплоізолюючої здатності поризованих розчинів аналітично визначено коефіцієнт теплопровідності λ , Вт/(м×°С) за формулою Некрасова В. П. [166]. Звичайний цементно-піщаний розчин середньої густини 1600 кг/м³, який використовується для влаштування вирівнюючих стяжок, володіє $\lambda=0,73$ Вт/(м×°С). Оптимальні склади розроблених СБС та їхні властивості наведені в таблиці 3.22.

Таблиця 3.22

Склади розроблених СБС з ПД «LORI» і їх властивості*

Ц, кг	МД з ПД, %	П, Мк, мм	ВП, фракція, мм	ГП, фракція, мм	Ц/З	В/Т	ρ_m , кг/м ³	R _{ст.} , МПа	λ , Вт/(м×°С)
240	1	-	<0,14	-	1	0,32	1030	5,0	0,42
240	1	-	0,14-0,315	-	1	0,24	1105	2,85	0,46
240	1	-	0,63-1,25	-	1	0,21	980	1,54	0,40
190	1	1,2	0,14-0,315	-	1	0,26	980	5,16	0,40
190	1	1,2	0,315-0,63	-	1	0,33	900	2,74	0,36
190	1	1,2	0,315-0,63	-	1	0,26	1205	7,60	0,48
190	1	1,2	0,63-1,25	-	1	0,26	1110	8,87	0,46
190	1	1,2	0,315-0,63	0,14-0,315	1	0,33	1150	2,21	0,49
190	1	1,2	0,315-0,63	0,14-0,315	1	0,28	1210	8,30	0,48
190	1	1,2	0,63-1,25	0,14-0,315	1	0,29	860	2,84	0,34
190	1	1,2	1,25-2,5	0,14-0,315	1	0,37	1070	4,79	0,44

*витрати приведені на приготування поризованого розчину об'ємом 1 м³

Залежність властивостей поризованого розчину з мінеральною добавкою та без неї від вмісту піноутворювача наведено на рис. 3.10.

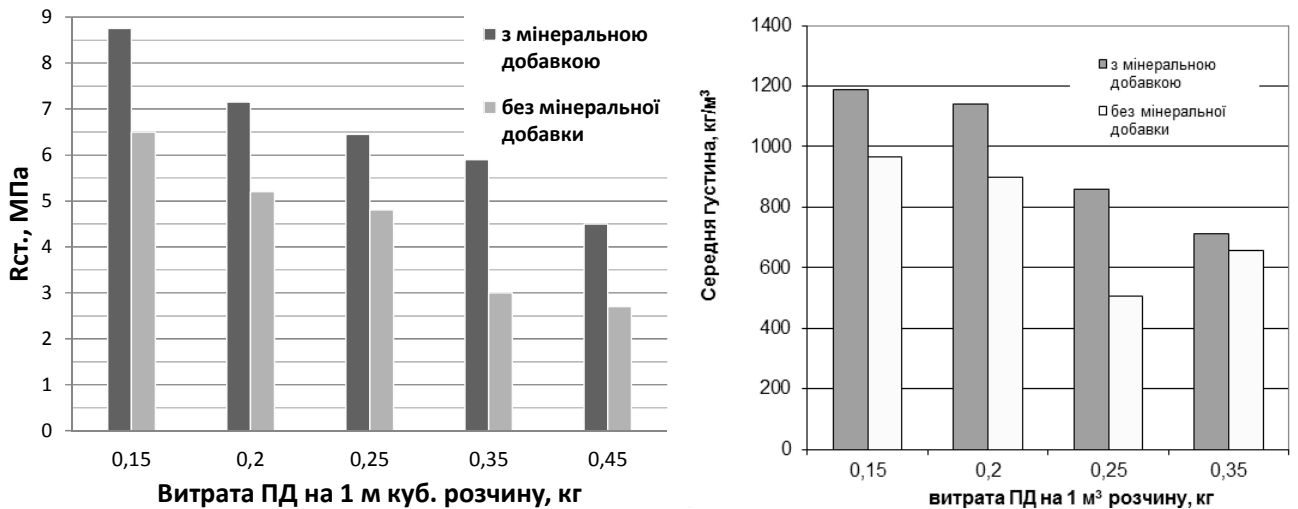


Рисунок 3.10 – Залежність властивостей поризованого розчину від вмісту ПД та мінеральної добавки

Виявлено залежність В/Т, середньої густини і міцності поризованих розчинів не лише від витрат цементу, але й від розміру зерен і витрати заповнювачів. Слід зазначити, що спостерігається залежність зміни фізико-механічних властивостей поризованих розчинів від співвідношення між заповнювачами різних видів та їхнім модулем крупності.

Встановлено, що спільне подрібнення вапнякового піску з піноутворювачем «LORI» сприяє укріпленню пінно-дисперсної системи поризованого розчину, що позначається на зростанні міцності, а її падіння зі збільшенням вмісту піноутворювача змещується у 3 рази. Однак, вміст мінеральної добавки призводить до прогнозованого збільшення середньої густини.

3.7 Вплив мінеральних заповнювачів і наповнювачів на властивості сухих будівельних сумішей для поризованих розчинів

Відомо, що закономірності зміни властивостей СБС залежать від визначення оптимального гранулометричного складу сухих сумішей, вмісту високодисперсних мінеральних наповнювачів або тонкодисперсних мінеральних добавок [36], [40],

[89]. Окрім хімічного складу компонентів та їх дисперсності (питомої поверхні) на формування структури цементного каменю при поризації має вплив додавання мінерально-однорідних компонентів високої поверхневої активності і енергія їхньої взаємодії у водному середовищі [21]. Дослідження впливу гранулометричного складу сухих сумішей та підбору мінеральних заповнювачів і наповнювачів проводили на цементних поризованих сухих будівельних сумішах з використанням у ролі: заповнювачів – кварцового та вапнякового пісків з $M_k=1,2$ мм; наповнювачів – кварцового піску, глиняного порошку, вапнякового піску з відходів добування карбонатних порід, золи-винесення ТЕС з модулем крупності 0,16 мм. Характеристика наповнювачів наведена в таблиці 3.23.

Таблиця 3.23

Властивості мінеральних наповнювачів

Вид наповнювача	M_k до помелу, мм	Питома поверхня після помелу, S , $\text{см}^2/\text{г}$	Вміст часток розмірами до 0,14 мм	Насипна густина, $\text{кг}/\text{м}^3$
ВП	0,315	3000	30%	1110
ВП	0,63	3000	30%	940
П	1,2	2500-3000	30%	1410
ГП	0,315	1000-3500	90%	1070
ГП	0,63	1000-3500	80%	910
ЗВ	0,14	2000-3000	95%	1130

Використання цементного в'язучого складало 10-12 % від маси сухих компонентів, а поризована структура досягалась введенням поверхнево-активних речовин, а не використанням пористих заповнювачів. Наповнювачі вводили у кількості 5-30 % від маси цементу. Ефект поризації сухих сумішей ПАР становить 33-65 %. Результати експериментальних досліджень показали, що міцність отриманих сумішей перевищує у 1,1-2,8 рази міцність СБС на пористих заповнювачах (перлітові СБС мають $R_{ст.}=0,45-1,8$ МПа), а середня густина становить до $1200 \text{ кг}/\text{м}^3$, що дозволяє використовувати їх для отримання

конструкційно-теплоізоляційних матеріалів. В табл. 3.24 наведено основні характеристики поризованих СБС в залежності від виду наповнювачів.

Таблиця 3.24

Властивості поризованих розчинів із СБС в залежності від виду наповнювача

Вид наповнювача	ρ_m , кг/м ³	R _{ст.} у віці 28 діб, МПа	λ , Вт/(м×°С)
Кварцовий пісок	1195	4,95	0,51
Глиняний порошок	1100	3,84	0,46
Зола-винесення ТЕС	1050	4,0	0,43
Вапняковий пісок	980	4,9	0,40

Основні дослідження були виконані з застосуванням математичного планування експерименту [58], умови планування якого наведені в табл. 3.25. Під час досліджень в кожній точці плану виготовляли поризований розчин складу в'язуче : заповнювач : наповнювач із варіацією вмісту цих компонентів, визначали водотверде відношення для досягнення розпливу конуса розчину на струшуючому столику не менше 80 мм та розтічності на віскозиметрі Сутгарда не менше 120 мм, середню густину та міцність зразків-балочок на стиск і згин у віці 28 діб. Матриця планування експерименту наведена в додатку Г.

Таблиця 3.25

Умови планування експерименту

№	Фактори впливу		Рівні варіювання						Інтервал
	Натуральні	Кодовані	-3	-2	-1	0	+1	+2	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	20
1	Витрата цементу, Ц, % від маси сухої суміші	X ₁	-	-	10	12	15	-	2
2	Вміст наповнювача, % від маси сухої суміші: - кварцовий пісок, П; - вапняковий пісок, ВП; - глиняний порошок, ГП; - зола-винесення ТЕС, ЗВ	X ₂ X ₄ X ₆ X ₇	5	10	15	20	25	30	5

Продовження таблиці 3.25

1	2	3	4	5	6	7	8	9	20
3	Витрата заповнювача, % від маси сухої суміші: - кварцовий пісок, П; - вапняковий пісок, ВП	X_3 X_5	80	75	70	65	60	55	5

Після проведення обробки і статистичного аналізу експериментальних даних отримані математичні моделі властивостей поризованих розчинів на основі СБС у вигляді поліноміальних рівнянь регресії:

- водотвердого відношення:

$$B/T = 0.395 - 0.051x_1 - 0.003x_1^2 + 0.005x_2 + 0.0x_2^2 + 0.002x_3 + 0.0x_3^2 - 0.001x_4 + 0.0x_4^2 + 0.002x_5 + 0.0x_5^2 + 0.011x_6 + 0.0x_6^2 - 0.002x_7 - 0.0x_7^2; \quad (3.7)$$

- середньої густини:

$$\rho_m = -1246.103 + 380.946x_1 - 17.231x_1^2 - 9.15x_2 + 0.785x_2^2 + 7.216x_3 - 0.096x_3^2 + 18.571x_4 - 0.74x_4^2 + 0.073x_5 + 0.008x_5^2 + 18.664x_6 - 0.507x_6^2 + 22.509x_7 - 0.55x_7^2; \quad (3.8)$$

- міцності на стиск:

$$R_{st} = -17.174 + 3.596x_1 - 0.163x_1^2 - 0.194x_2 + 0.013x_2^2 - 0.064x_3 + 0.001x_3^2 + 0.045x_4 - 0.0x_4^2 - 0.055x_5 + 0.001x_5^2 + 0.131x_6 - 0.004x_6^2 + 0.204x_7 - 0.004x_7^2; \quad (3.9)$$

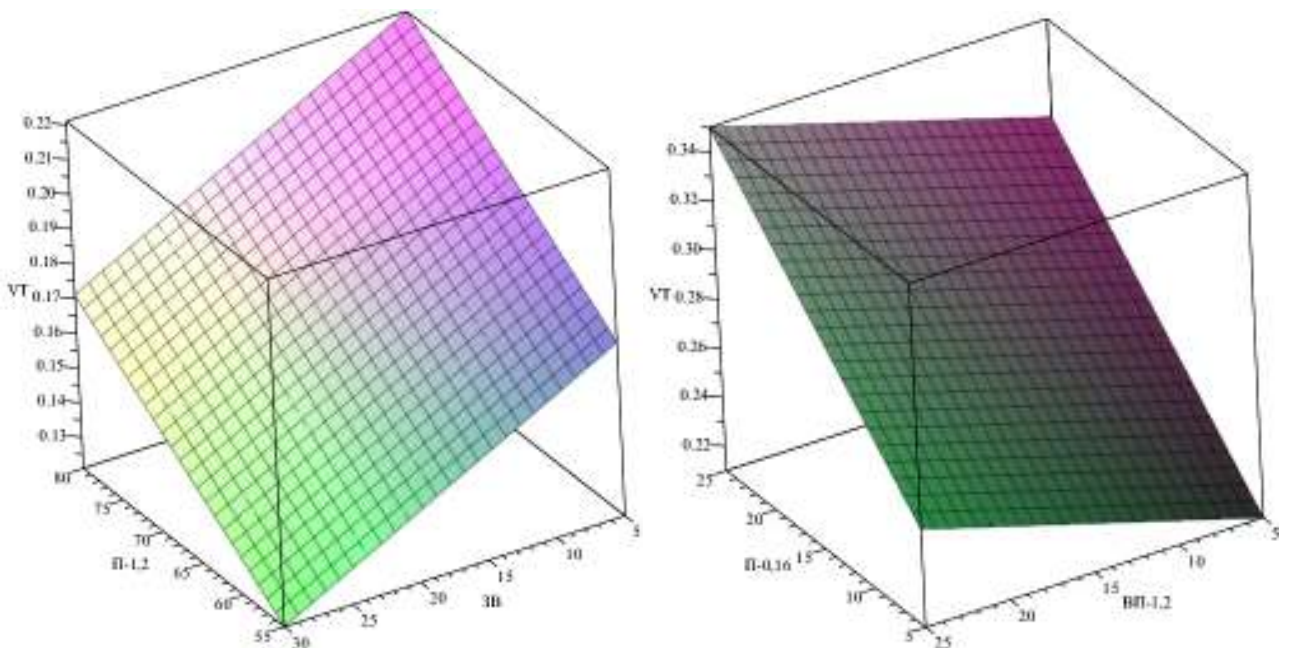
- міцності на згин:

$$R_{zg} = -13.858 + 2.704x_1 - 0.123x_1^2 - 0.210x_2 + 0.010x_2^2 - 0.012x_3 + 0.0x_3^2 + 0.028x_4 - 0.001x_4^2 - 0.0x_5 + 0.0x_5^2 + 0.057x_6 - 0.002x_6^2 + 0.064x_7 - 0.001x_7^2. \quad (3.10)$$

Графічні залежності, які ілюструють вплив вмісту і виду наповнювача та заповнювача на водопотребу сухої будівельної суміші та середню густину і міцність поризованого розчину у віці 28 діб нормального твердіння, наведені на рис. 3.11-3.14.

Дослідження показали, що на В/Т відношення найбільш суттєвий вплив, як і очікувалось, має витрата цементу та введення наповнювача глиняного порошку через їхню високу питому поверхню ($V/T=0,3$). Відомо, що введення тонкодисперсного наповнювача у вигляді золи-винесення ТЕС сприяє зменшенню водопотреби розчинів і бетонів [76], що пояснюється зменшенням кількості капілярної води, яку можуть утримувати склоподібні частинки золи.

Позитивний вплив на зменшення В/Т відношення має використання вапнякового порошку. Найнижчі значення водопотреби сумішей досягаються поєднанням кварцового піску у ролі заповнювача і вапнякового піску у ролі наповнювача ($V/T=0,15$) та вапнякового піску у ролі заповнювача і золи-винесення у ролі наповнювача ($V/T=0,22$). Використання кварцового і вапнякового пісків у ролі наповнювача в поєднанні з вапняковим заповнювачем призводить до збільшення В/Т до 0,34 та до 0,4 відповідно.



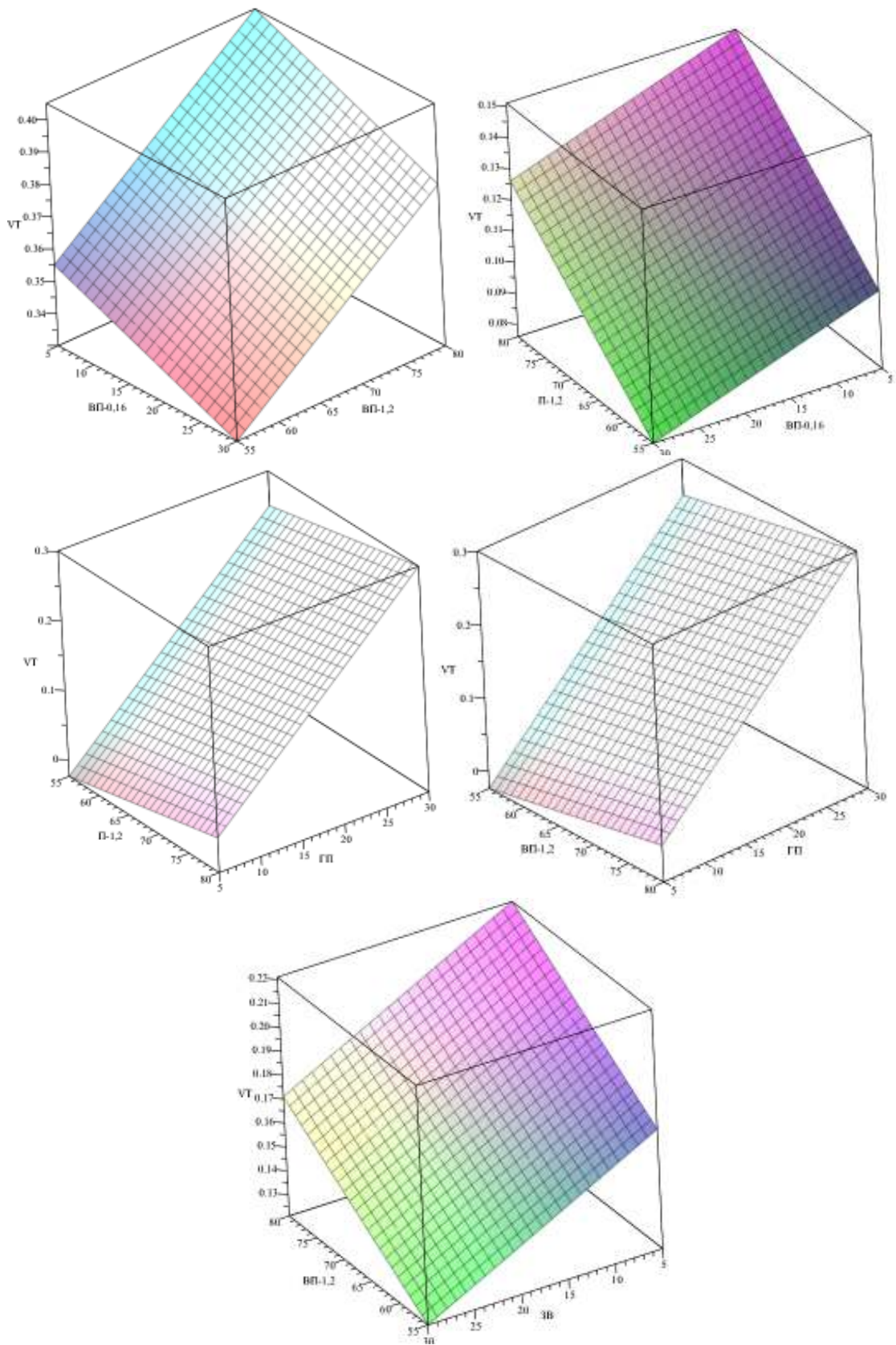
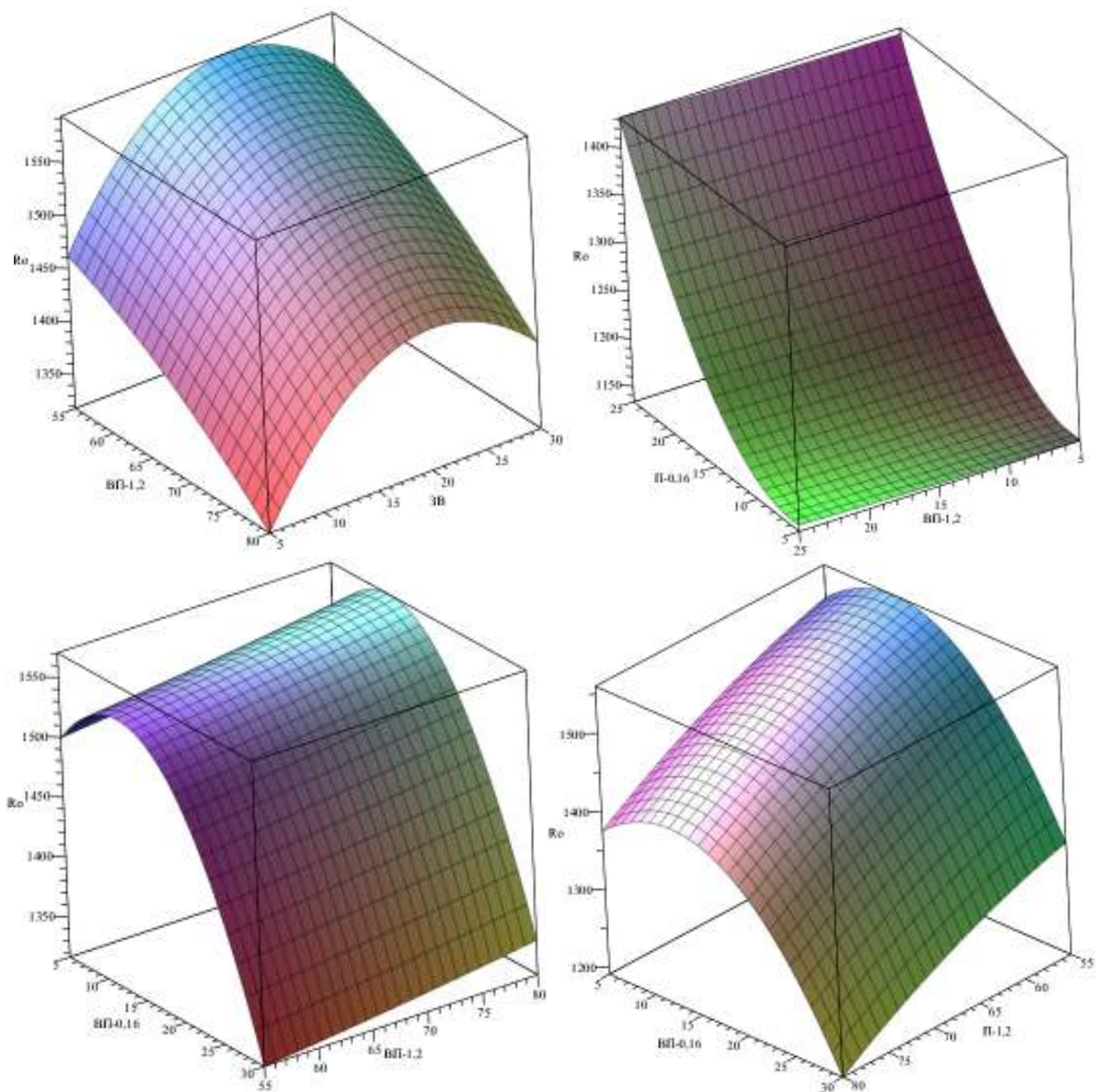


Рисунок 3.11 – Вплив заповнювачів та наповнювачів на водопотребу суміші

Встановлено, що найнижча середня густина буде спостерігатись за умови використання у ролі наповнювача карбонатного піску в поєднанні з карбонатним ($810-1150 \text{ кг/м}^3$) та кварцовим пісками ($630-1060 \text{ кг/м}^3$) у ролі заповнювача. Введення глиняного порошку та золи-виносення призводить до підвищення середньої густини до $1100-1200 \text{ кг/м}^3$ за рахунок їхньої високої дисперсності, насичення пін, яке веде до руйнування повітряних бульбашок, зменшення кратності, а в результаті, – до отримання розчинів вищої середньої густини і нижчої пористості.



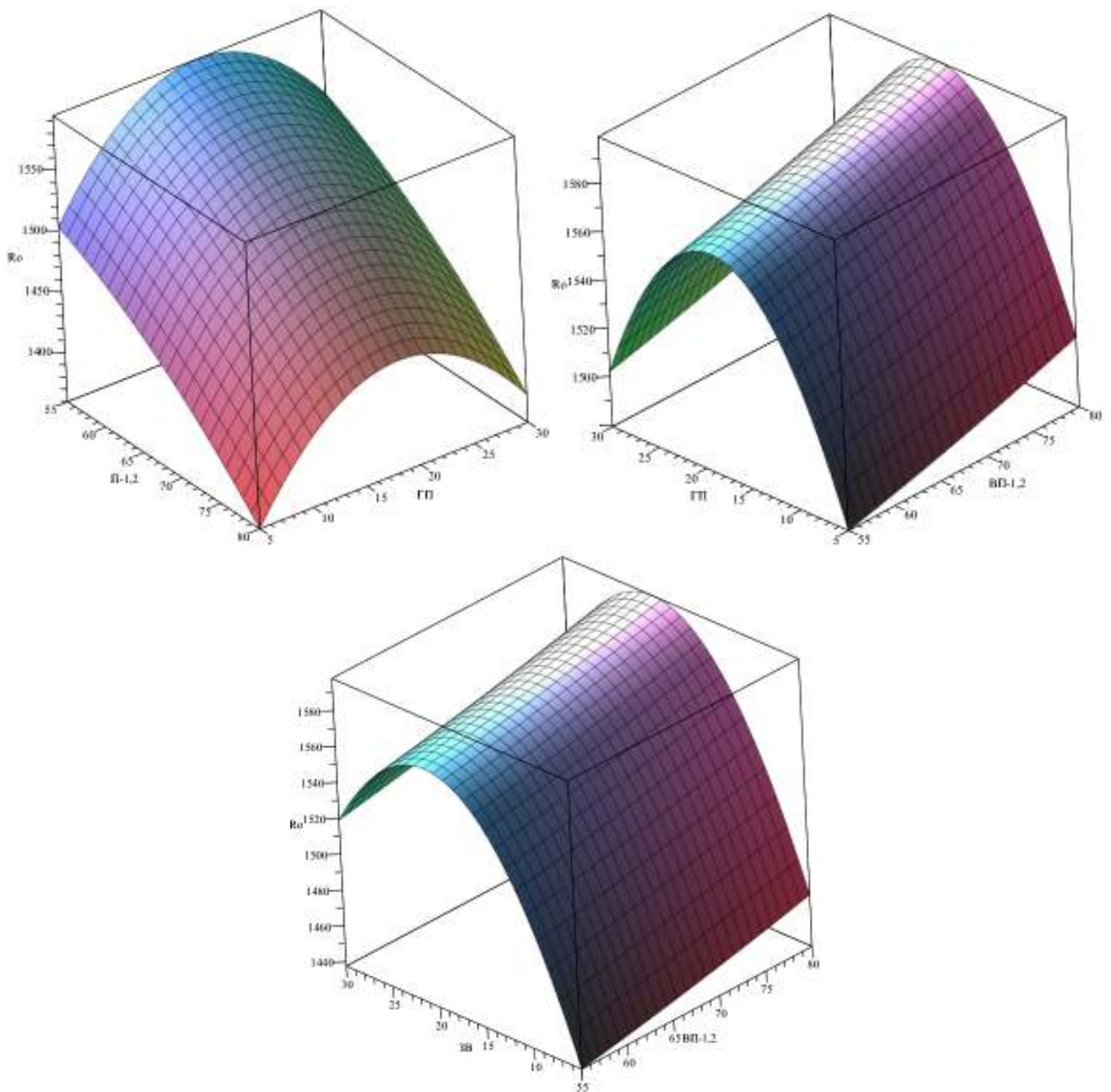
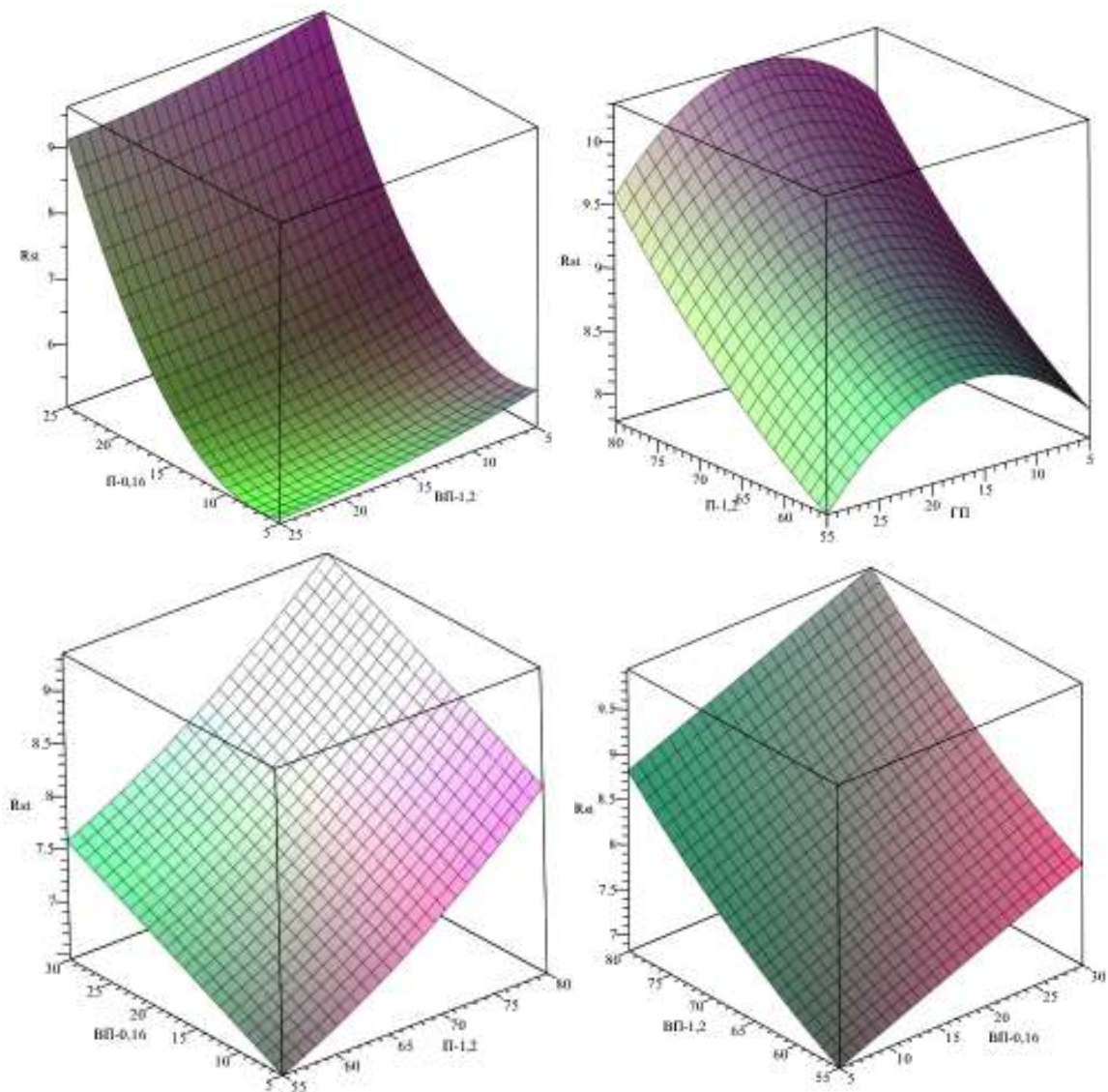


Рисунок 3.12 – Вплив заповнювачів та наповнювачів на середню густину поризованого розчину із СБС

Аналізуючи рівняння 3.9 та графічні залежності, наведені на рис. 3.13, приходимо до висновку, що на міцність на стиск затверділого поризованого розчину найбільше впливає, як і очікувалося, витрата цементу, вміст золи-винесення, карбонатного піску, як наповнювачів та карбонатного піску, як заповнювача.

Поєднання кварцового заповнювача і карбонатного або глиняного наповнювача дають найменші значення міцності на стиск. Глиняний наповнювач доцільно поєднувати з карбонатним заповнювачем, обмежуючи вміст першого в межах 5-10 % від загальної маси сухих компонентів. Зола-винесення в поєднанні як з карбонатним, так і кварцовим заповнювачами дає позитивний вплив на збільшення міцності поризованих розчинів (в середньому до 5 МПа), однак при використанні карбонатного піску міцність вища на 1,5 %. Введення в суху суміш у вигляді наповнювача кварцового піску в межах 10-30 %, вапнякового піску у межах 15-30 % при використанні вапнякового заповнювача дозволяє отримати міцність 4...9 МПа.



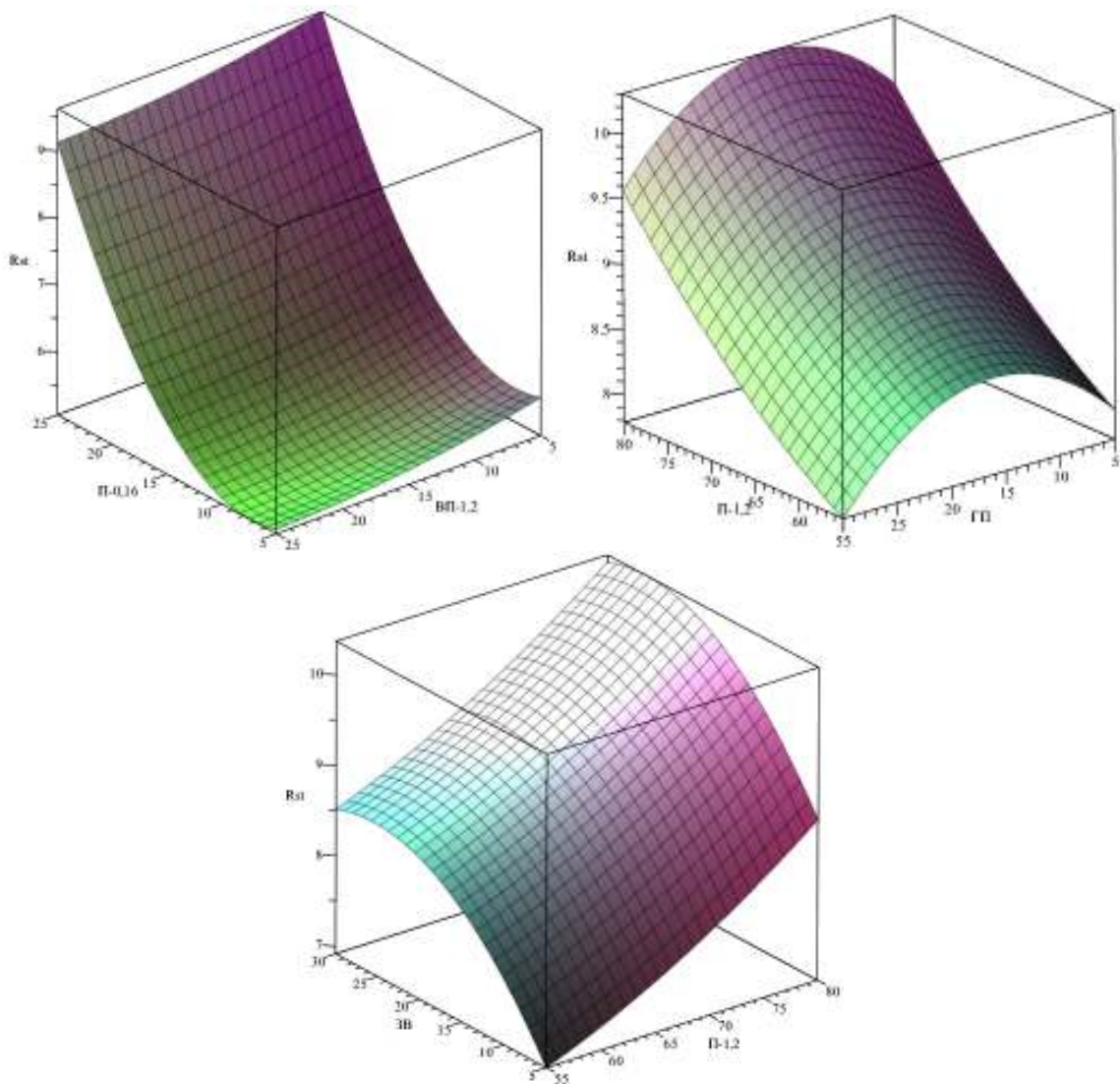
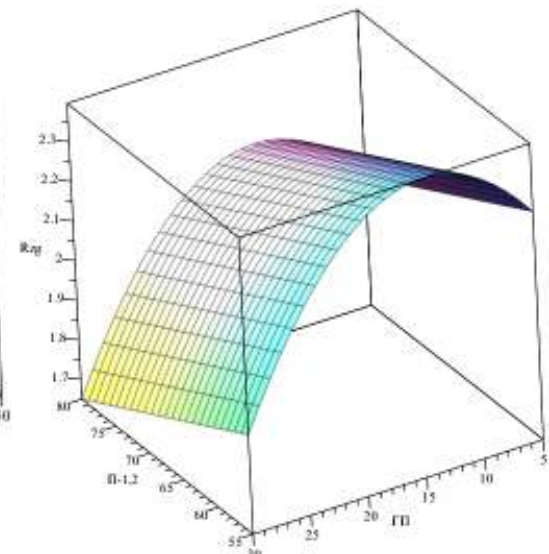
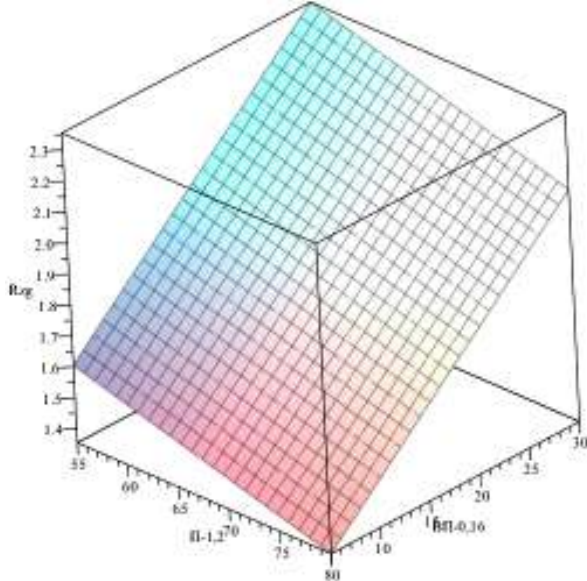
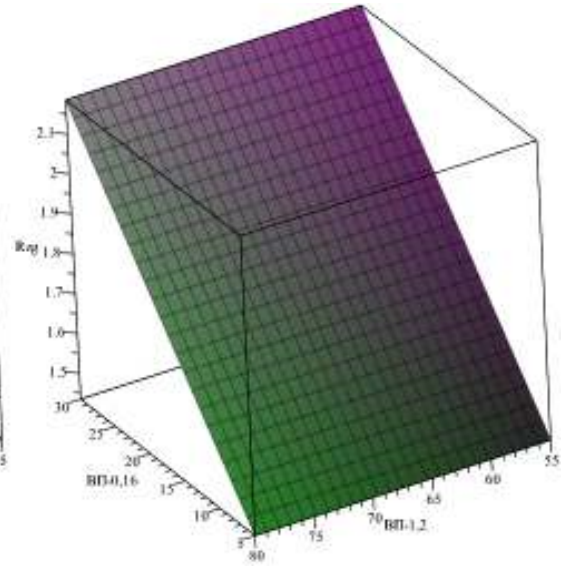
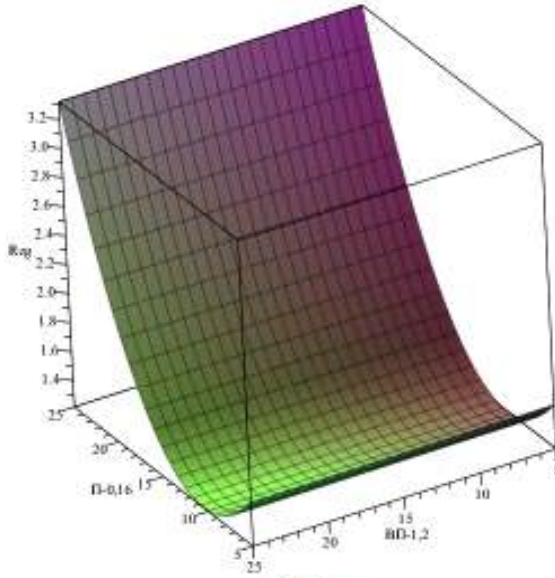
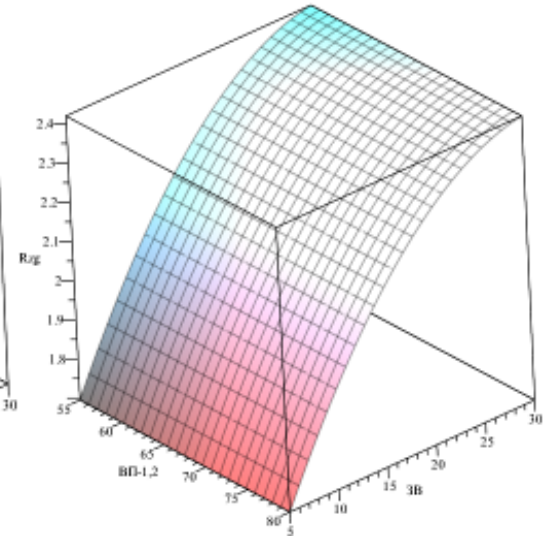
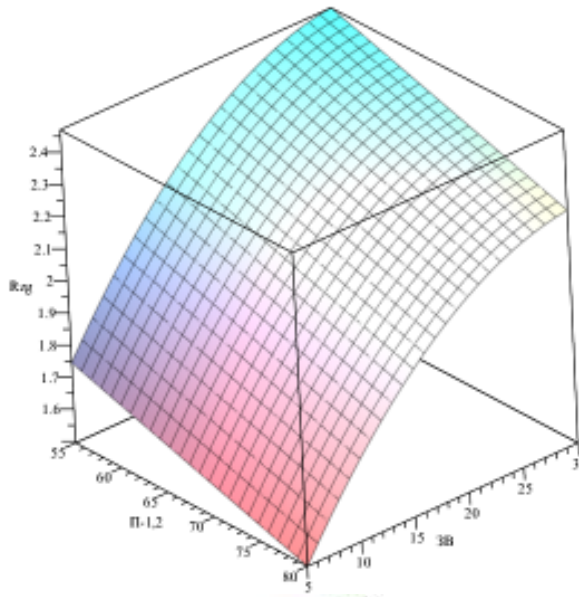


Рисунок 3.13 – Вплив заповнювачів та наповнювачів на міцність при стиску у віці 28 дів поризованого розчину із СБС

Дослідження показали, що найбільше на значення міцності на згин до 5 МПа впливає збільшення вмісту наповнювача з кварцового піску – до 30 %, золинесення – у межах 15-20 %, вапнякового піску – у межах 5-10 % в поєднанні з заповнювачем із вапнякового піску. Всі інші комбінації поєднання заповнювачів і наповнювачів дають значення міцності на згин у межах 1,5-3 МПа. Найнижчими вони є при використанні кварцового піску, як заповнювача, з вапняковим наповнювачем (міцність падає до 0,5-2,5 МПа).



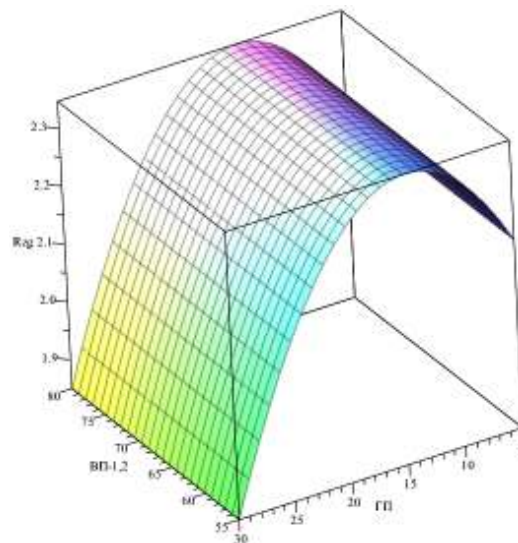


Рисунок 3.14 – Вплив заповнювачів та наповнювачів на міцність при згині у віці 28 днів поризованого розчину із СБС

Отримані результати експериментальних досліджень показують, що властивості поризованих СБС залежать від типу мінерального наповнювача. Так, мелений кварцовий пісок, як і вапняковий пісок із твердих кристалічних вапняків, проявляють абразивну дію на клінкерні частинки цементу – підвищують їхню дисперсність. Проте кварцовий пісок є в основному інертним матеріалом, у той час як карбонати можуть слугувати активним наповнювачем. Вплив глинистих мінералів на властивості СБС залежить від хімічного складу глини та її дисперсності. Доцільно використовувати пластичні глини з питомою поверхнею, близькою до $S_{\text{пит}}$ цементу [20]. Також глини є сорбентами, що можуть вбирати в себе надлишкову воду при замішуванні та легко віддавати в процесі гідrataції суміші. Зола-винесення потребує попередньої активації, так як без неї залишається, здебільшого, інертним компонентом розчину. Тому найдоцільніше використовувати наповнювачі та заповнювачі на основі відходів вапнякових карбонатних порід для сухих будівельних сумішей, поризованих ПАР [21], [159], [160].

3.8 Вплив технологічних факторів виготовлення на властивості поризованих розчинів на основі сухих будівельних сумішей

Коефіцієнт конструктивної якості ККЯ, МПа, який характеризується відношенням границі міцності при стиску або розтягу до відносної густини використовують для проведення порівняння та оцінки ефективності будівельних матеріалів [163]:

$$KKЯ=R/d, \quad (3.11)$$

де R – границя міцності, МПа;

d – відносна густина (відношення середньої густини матеріалу до густини стандартної речовини, наприклад, води, для якої $\rho_в = 1000 \text{ кг/м}^3$).

Для комплексного дослідження впливу основних факторів на властивості поризованих сухих будівельних сумішей планом експериментальних досліджень необхідно передбачити визначення: впливу кількості цементу (X_1), В/Т відношення (X_2), концентрації піноутворювача (X_3), впливу відношення цемент / заповнювач (наповнювач) Ц/З (Н) (X_4), співвідношення заповнювач / наповнювач (З/Н) (X_5). За функцію відгуку (Y) взяти міцність поризованого розчину заданої середньої густини [167].

Для отримання якісних СБС із заданими властивостями можна застосувати принцип оптимізації технологічних процесів. Розрізняють дві задачі оптимізації:

1. Досягнення поставленої мети (міцність СБС) за умови мінімальної витрати цементу;
2. Отримання найбільшого ефекту (максимальна міцність СБС) за умови заданих витрат цементу.

Задачею досліджень є отримання найбільшого ефекту за умови мінімальної витрати ресурсів, тобто максимально розкрити внутрішні резерви міцності

поризованих СБС шляхом комплексного взаємоузгодження впливу кількості в'язучого, водотвердого відношення, концентрації піноутворювача, впливу відношення цемент/заповнювач (наповнювач) Ц/З (Н), співвідношення заповнювач/наповнювач (З/Н), гранулометрії компонентів суміші, витрат стабілізуючих добавок [142], [168].

Для оптимізації процесу системи необхідний критерій ефективності, яким визначається ступінь досягнення поставленої мети. За такий критерій приймаємо мінімальне чи максимальне значення, що характеризується зростанням міцності.

Труднощі, пов'язані з вибором критерію ефективності, полягають зазвичай у тому, що є ряд критеріїв, а їхній оптимум, як правило, не збігається. В цих умовах обирають основний критерій і призначають межі зміни параметрів процесу, що забезпечує ефективне його протікання. При оптимізації окремих технологічних процесів призначають локальні критерії оптимізації (міцність суміші). Однією з задач оптимізації є призначення обмежень, що виникають з необхідності ухвалення компромісного рішення у випадку суперечливих вимог.

Одними з найголовніших задач, що вирішуються в даній роботі є міцність і середня густина поризованих СБС. Тому було вирішено провести оптимізацію двох критеріїв [163]:

R_{cm} – міцність поризованої СБС;

ρ_m – середня густина.

Значення величин середньої густини є функцією 3-х параметрів:

$$\rho_m = f(k, B/T, Ц), \quad (3.12)$$

де k – витрата (концентрація) піноутворювача, кг;

B/T – водотверде відношення;

$Ц$ – витрата цементу, кг.

Значення величин міцності R_{cm} є функцією 5-ти параметрів:

$$R_{cm.} = f(k, B/T, Ц, Ц/З, \rho_m), \quad (3.13)$$

де $Ц/З$ – відношення витрат цементу до витрат заповнювача (наповнювача).

Враховуючи (2.2) можна прийняти:

$$R_{cm.} = f(Ц/З, \rho_m). \quad (3.14)$$

Дослідження впливу перерахованих вище факторів на процес виготовлення поризованих СБС, проведення однофакторних експериментів пов'язані зі значними труднощами і об'ємом роботи. Тому, на наш погляд, доцільно провести багатфакторний експеримент для отримання рівнянь регресії для функцій відгуку ρ_m і $R_{cm.}$ за допомогою повнофакторного експерименту виду 2^3 методом Бокса-Уілсона [55], [58], [126]. Істинні значення факторів, встановлені на основі проведення пошукових експериментів, наведені в табл. 3.26-3.27. Матриці панування експериментів наведено в Додатку Г.

Таблиця 3.26

Рівні факторів та інтервали варіювання для ρ_m

Фактори	Рівні факторів					Інтервал варіювання
	-2	-1	0	+1	+2	
X_1 – концентрація піноутворювача, к	0,5	1	1,5	2	2,5	0,5
X_2 – В/Т	0,22	0,27	0,32	0,37	0,42	0,05
X_3 – витрати в'язучого, Ц, кг	60	100	140	180	220	40

Таблиця 3.27

Рівні факторів та інтервали варіювання для $R_{ст.}$

Фактори	Рівні факторів							Інтервал варіювання
	-3	-2	-1	0	+1	+2	+3	
$X_{4(1)}$ – $Ц/З$ (Н)*	0,28	0,40	0,52	0,64	0,76	0,88	1	0,12
$X_{5(2)}$ – ρ_m *	530	650	770	890	1010	1130	1250	120

* X_4, X_5 – для кодованих значень; X_1, X_2 – для натуральних

Для функції відгуку середньої густини рівняння регресії згідно проведеного багатофакторного експерименту має вигляд:

- для кодованих факторів:

$$\rho_m(X_1, X_2, X_3) = 0.6138 + 0.3351X_3 - 0.4629X_2 - 0.0593X_1 + 0.7846X_3X_2 + 0.6774X_2X_1 - 0.0576X_3^2 - 0.7810X_2^2 + 0.0346X_1^2; \quad (3.15)$$

- для натуральних факторів:

$$\rho_m(X_1, X_2, X_3) = 5806 - 20390X_1 + 124,5X_2 - 31950X_3 + 47,39X_1 \cdot X_2 + 28850X_1 \cdot X_3 - 1,01831X_1^2 - 0,30795X_2^2 + 38280X_3^2. \quad (3.16)$$

Для функції відгуку міцності на стиск у віці 28 діб рівняння регресії згідно проведеного багатофакторного експерименту має вигляд:

- для кодованих факторів:

$$R_{cm}(X_1, X_2, X_3, X_4, X_5) = -0.4909 + 0.24X_3 - 0.5389X_2 + 0.7042X_4 - 0.1580X_1 + 0.1395X_5 + 0.9429X_3X_2 + 0.006X_2X_1 - 0.3413X_2X_4 + 0.0015X_3^2 - 0.4677X_2^2 + 0.3429X_4^2 + 0.4797X_1^2 + 0.1623X_5^2; \quad (3.17)$$

- для натуральних факторів:

$$R_{cm}(X_1, X_2) = -20,511 - 397,461X_1 + 0,254X_2 + 0,257X_1 \cdot X_2 + 153,356X_1^2 - 1,845 \cdot 10^{-4} \cdot X_2^2. \quad (3.18)$$

Поверхні відгуків критеріїв оптимізації величин міцності на стиск і середньої густини поризованих складів СБС від параметрів оптимізації технологічного процесу наведені на рис. 3.15.

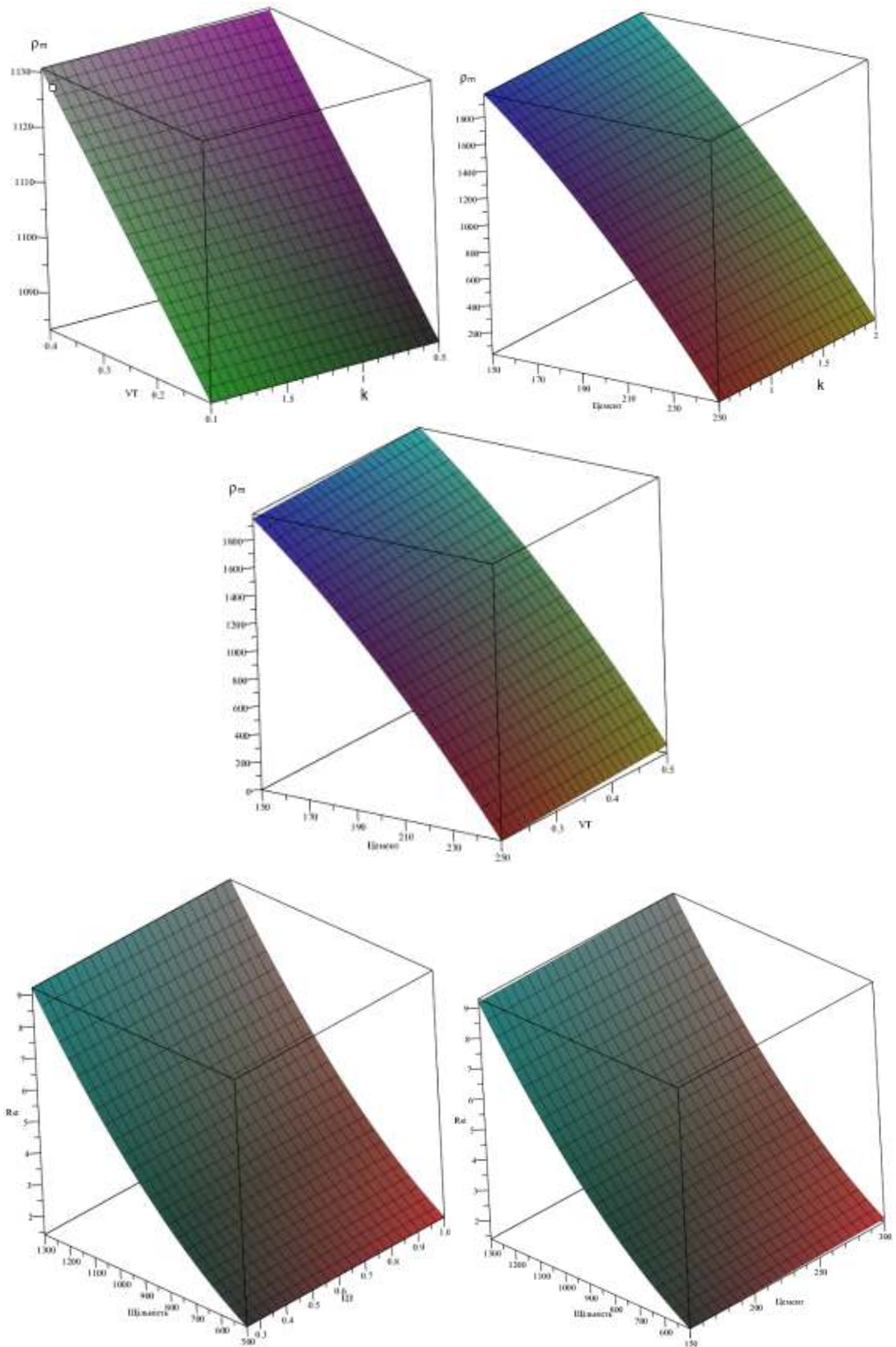
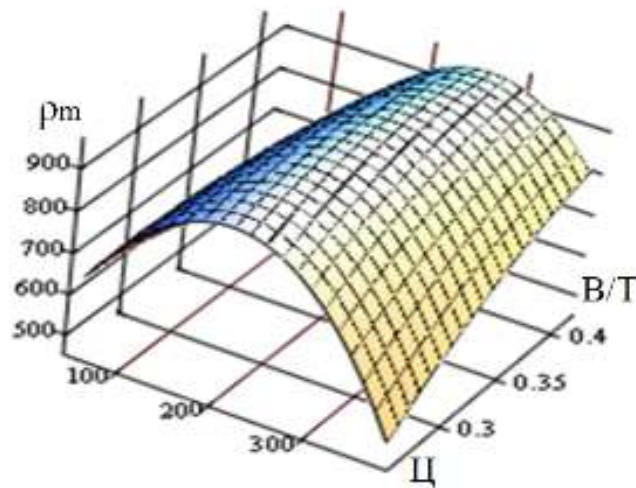
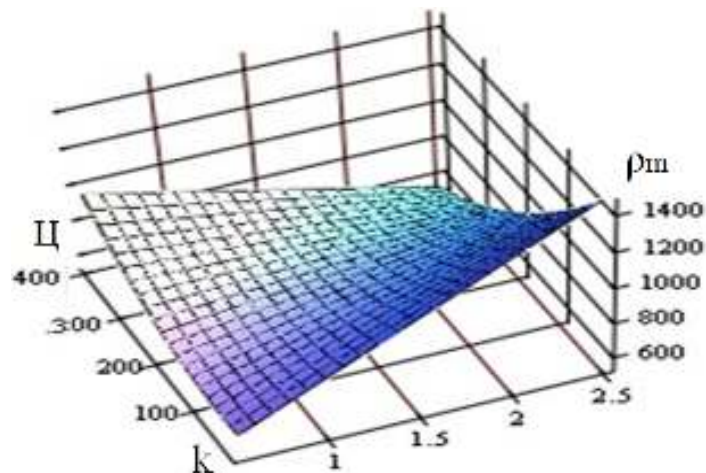


Рисунок 3.15 – Вплив технологічних факторів виготовлення на середню густина і міцність при стиску поризованого розчину із СБС

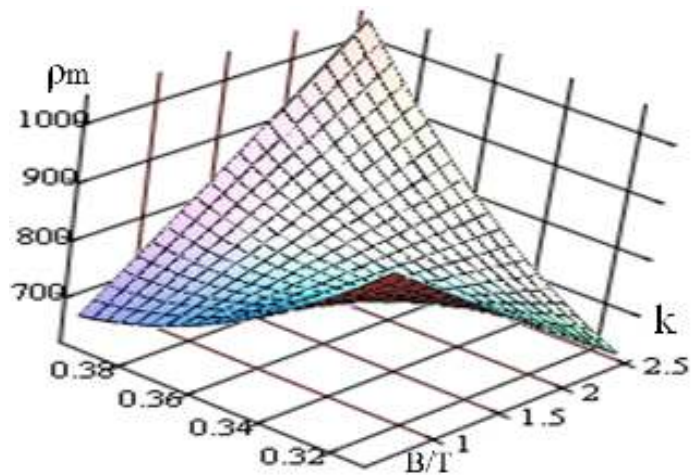
Поверхні відгуків критеріїв оптимізації та їхні двомірні перерізи залежності значень величин міцності на стиск, середньої густини поризованих складів СБС від окремих параметрів оптимізації технологічного процесу наведені на рис. 3.16-3.17. Так, згідно наведених на рис. 3.16 залежностей, оптимальна величина середньої густини ($\rho_m=800-1000 \text{ кг/м}^3$) за умови економічно-обґрунтованих витрат цементного в'язучого (200-300 кг на 1 м^3 розчинової поризованої суміші) для проєктованих СБС залежить від концентрації добавки-поризатора (чи ПАР), водотвердого відношення (В/Т) та співвідношення витрат заповнювачів (наповнювачів) до витрат цементу (Ц/З) [163].



$$\text{a) } f(x_1, x_2) := 170.069 + 8.213 \cdot x_1 + 2.038 \cdot 10^3 x_2 + 18.619 \cdot x_1 \cdot x_2 - 0.044 \cdot x_1^2 - 6.758 \cdot 10^3 \cdot x_2^2$$



$$\text{б) } f(x_1, x_2) := 1734 + 1723 \cdot x_1 - 19.549 \cdot x_2 - 8.053 \cdot x_1 \cdot x_2 - 1.023 \cdot x_1^2 + 0.07 \cdot x_2^2$$



в) $f(x_1, x_2) := 6255 - 1498 \cdot x_1 - 25420 \cdot x_2 + 4249 \cdot x_1 \cdot x_2 + 3.043 \cdot x_1^2 + 27900 \cdot x_2^2$.

Рисунок 3.16 – Поверхні відгуків та їх двомірні перерізи залежності значень величини середньої густини в площинах параметрів оптимізації:

а) Ц-(B/T); б) Ц-k; в) k-(B/T)

Дослідження дозволило встановити залежність між міцністю на стиск затверділого поризованого розчину і його середньою густиною (рис. 3.17).

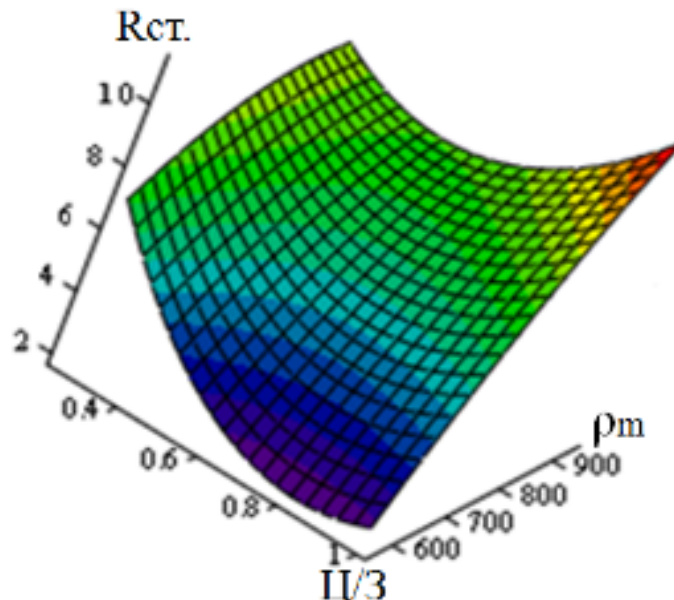


Рисунок 3.17 – Поверхні відгуків та їх двомірні перерізи залежності значень величини міцності $R_{ст.}$ в площинах параметрів оптимізації $(Ц/З)$ - ρ_m .

Також можна відзначити, що суттєву роль у зростанні міцності відіграє саме відношення Ц/З (Н): міцність 6-10 МПа можна отримати, коли Ц/З (Н)=0,4-1. Середня густина при цьому знаходиться у межах $\rho_m=800-900 \text{ кг/м}^3$. Це пояснюється природою сухих будівельних сумішей: за вимогою нормативів для матеріалів даного виду чітко обмежується крупність заповнювачів, що дозволяє в ролі останніх використовувати тонкомелені активні мінеральні добавки, які можуть включати тонкодисперсні відходи виробництва [163].

Як видно з рис. 3.18-3.20 витрата піноутворювача (% від маси цементу) прогнозовано впливає на середню густиною, міцність: середня густина зменшується зі збільшенням витрати піноутворювача, міцність – зменшується. Водопотреба суміші зменшується зі збільшенням вмісту піноутворювача, що свідчить про пластифікуючу дію піноутворювача та мінеральної вапнякової добавки.

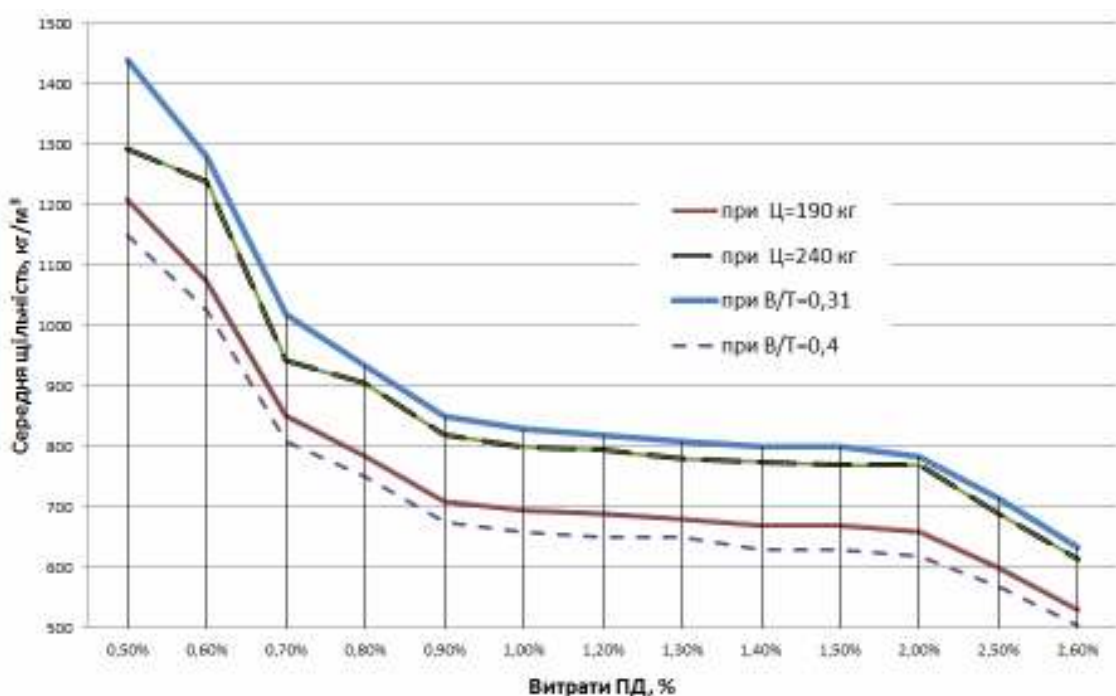


Рисунок 3.18 – Залежність середньої густини поризованого розчину від витрати піноутворювача

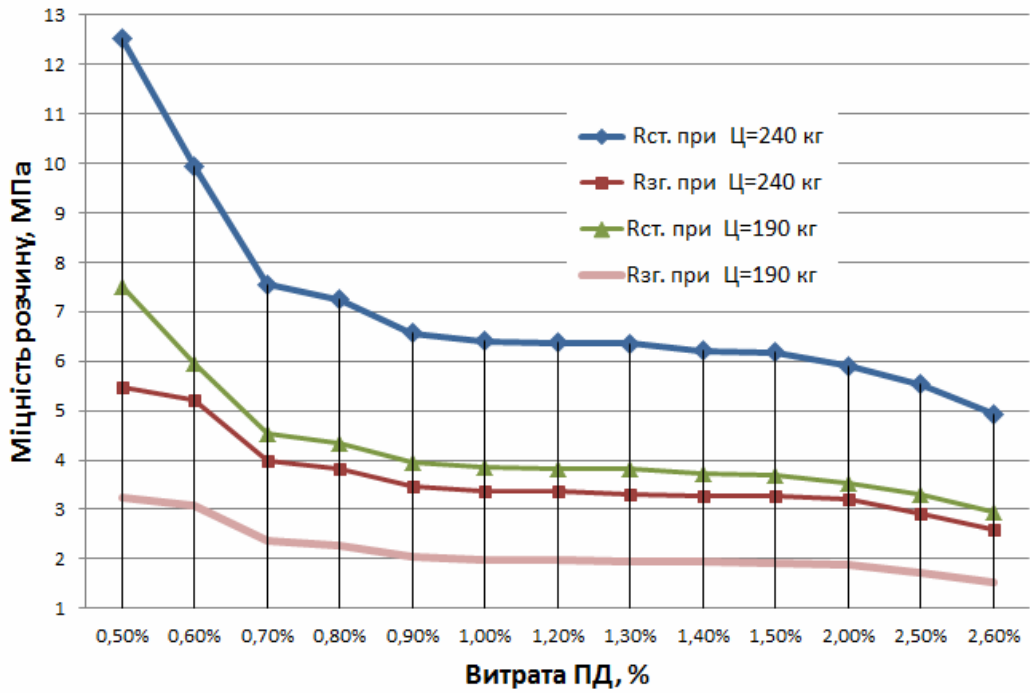


Рисунок 3.19 – Залежність міцності поризованого розчину від витрати піноутворювача

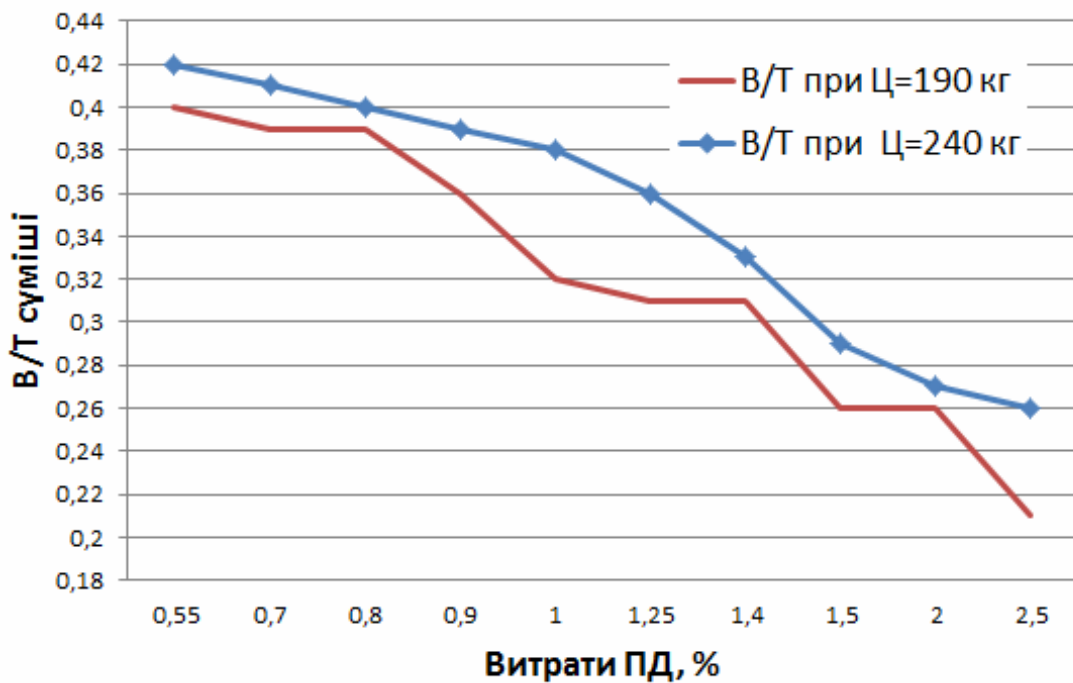


Рисунок 3.20 – Залежність V/T суміші від витрати піноутворювача

3.9 Висновки до розділу 3

1. Вищевикладене дозволяє зробити висновок, що особливість процесів гідратації цементів в сухих будівельних сумішах за умови недостатньої кількості води потребує використання водоутримуючих мінеральних компонентів при проектуванні складів суміші та ПАР. Знизити чутливість до точності дозування повітровтягуючих добавок і забезпечити їхнє рівномірне введення в суху суміш можливо шляхом попереднього їхнього з'єднання з мінеральними тонкодисперсними матеріалами.

2. Проведені експериментальні дослідження властивостей піноутворювачів різної природи показали, що введення їх у сухі будівельні суміші вимагає використання високошвидкісного змішувача з кількістю обертів від 950 до 2600 об/хв. Встановлено необхідність введення стабілізуючих добавок для покращення характеристик технологічної піни рідких концентратів піноутворювачів як синтетичних, так і органічних. Розглянуто можливість використання полівінілацетатної добавки (ПВА) та рідкого скла в ролі стабілізуючої добавки до піноутворювачів. За результатами дослідження встановлено, що введення 15% ПВА збільшує стійкість піни у 4,5 рази і покращує її кратність. Рідке скло не впливає на кратність піни і в порівнянні з ПВА дає нижчу її стійкість. Введення в органічні піноутворювачі ПВА та рідкого скла як стабілізуючої добавки є неефективним. Сухі піноутворювачі іноземного виробництва мають вищу стійкість, на яку швидкість і час збивання піни чинить незначний вплив, але значно меншу кратність. Введення полімерних добавок у кількості 2-12 % не викликало змін параметрів технічних пін, а при подальшому збільшенні вмісту ПВА відбувалось падіння кратності піни, при збільшенні вмісту рідкого скла – знижувалась стійкість пін. Тому для підвищення характеристик піни із даних піноутворювачів раціонально застосовувати мінеральні добавки.

3. Досліджено вплив введення мінеральних тонкодисперсних порошків високопластичних глин, кварцового піску, вапнякового піску ($M_k < 0,14$),

отриманих подрібненням у бігунах, а також крейди та золи-винесення ТЕС на технічні характеристики піноутворювачів різної природи. З'ясовано, що найоптимальнішим стабілізатором технічної піни є глиняний та вапняковий порошки. Так, стійкість піни зростає у 2,23 рази при падінні кратності у 1,1 рази. Це пояснюється тим, що тонкодисперсні частки цих мінеральних порошоків насичують пінний розчин, піднімаючи густину рідини, регулюють сили поверхневого натягу та підвищують товщину водних плівок у системі «рідина+ПАР», «ПАР+тверда частка», завдяки протилежному поверхневому заряду своїх часток та залишковій хімічній активності після помелу, як наслідок, і стійкість піни при незначному зниженні кратності.

5. Розглянуто можливість використання високопластичних глин як мінеральної добавки до поризованих СБС. Були отримані такі результати:

- глина, введена у технічну піну, дозволяє стабілізувати пористу структуру та мінімізувати усадку поризованих розчинів під час тверднення;
- глина відіграє роль пластифікатора, так як здатна зв'язувати воду затворення, яка в подальшому вступає в реакцію під час тверднення розчину, а на етапі замішування дозволяє не збільшувати В/Т-відношення розчину;
- отримані поризовані розчини з вмістом глиняного порошку 5-15 %, при В/Т=0,26-0,37, які характеризуються рухомістю розчинової суміші 8,0-10,1 см та водоутримуючою здатністю 95-98 % без втрати міцності.

6. Встановлено, що спільне висушування та подрібнення вапнякового піску з піноутворювачами сприяє укріпленню пінно-дисперсної системи поризованого розчину, що відзначається зростанням міцності при прогнозованому збільшенні середньої густини. Були отримані пористі розчини з середньою густиною від 860 до 1210 кг/м³ та міцністю на стиск у віці 28 днів від 1,54 до 8,87 МПа.

7. Встановлено, що для поризованих розчинів із СБС підбір оптимальних співвідношень вяжуче : заповнювач : наповнювачі має такі залежності:

- на міцність на стиск затверділого поризованого розчину прогнозовано впливає

витрата цементу, вміст золи-винесення. Найвищі показники міцності досягаються під час використання карбонатного піску та золи-винесення як наповнювачів та карбонатног піску з $M_k > 1,2$ у ролі заповнювача. Введення у суху суміш у вигляді наповнювача кварцового піску у межах 10-30%, вапнякового піску у межах 15-30 % за умови використання вапнякового заповнювача дозволяє отримати міцність 4...9 МПа;

- найбільше суттєво на значення міцності на згин (ріст від 3 до 5 МПа) впливає збільшення вмісту наповнювача з кварцового піску – до 30 %, золи-винесення – в межах 15-20 %, вапнякового піску – в межах 5-10 % у поєднанні з заповнювачем з вапнякового піску;

- найнижча середня густина у межах 630-1050 кг/м³ буде спостерігатись під час використання в ролі наповнювача карбонатного піску у поєднанні з карбонатним та кварцовим пісками як заповнювачем. Введення глиняного порошку та золи-винесення призводить до підвищення середньої гуситни до 1100-1200 кг/м³ за рахунок їхньої високої дисперсності;

- найефективніше зниження водопотреби поризованих розчинів досягається за рахунок поєднання кварцового піску в ролі заповнювача та вапнякового піску в ролі наповнювача ($V/T=0,15$) й вапнякового піску в ролі заповнювача і золи-винесення у ролі наповнювача ($V/T=0,22$).

8. Встановлено, що ККЯ поризованих розчинів із СБС залежить від витрати (концентрації) піноутворювача, В/Т суміші, витрати цементу, відношення витрат цементу до витрат заповнювача (наповнювача) Ц/З (Н). Міцність 6-10 МПа можна отримати, якщо співвідношення між в'язучим і заповнювачем рівне Ц/З(Н)=0,4-1. Середня густина при цьому знаходиться у межах $\rho_m=800-900$ кг/м³.

9. Розрахунково-експериментальним шляхом встановлені такі залежності:

- поєднання глиняного порошку і золи-виносу збільшує водопотребу суміші в 1,5-2 рази;

- склади з поєднанням глиняного порошку, золи-виносу та піску дають можливість отримати розчини з рухомістю вищою в 1,2-1,7 разів;

- вміст піску в суміші знижує В/Ц у 1,5-2,5 рази, у поєднанні з тонкодисперсними наповнювачами (глиняний порошок, зола-винесення) середню густину нижчу на 80-340 кг/м³;

- збільшення крупності заповнювача (вапняковий порошок) і мікронаповнювача (глиняний порошок) зменшує рухомість та водопотребу суміші на 10-15 % і майже не позначається на середній густині;

- збільшення крупності заповнювача (вапняковий порошок) викликає зростання міцнісних характеристик розчину у 2,5-3 рази.

10. Експериментально-теоретичні дослідження по підборі складів СБС показали, що оптимальні показники реологічних та технічних характеристик поризованих розчинів, отриманих із цементних СБС, отримуємо за умови використання аніонних піноутворювачів низької кратності в поєднанні з мінеральними порошками із позитивним поверхневим зарядом часток (глина, ваянк). Це дозволяє отримувати полегшені розчини із СБС з мінімальними показниками усадки та без використання додаткового піногенеруючого обладнання та потреби в автоклавному твердненні.

11. Встановлено такі оптимальні склади сухої будівельної суміші для виготовлення 1 м³ поризованого розчину: витрати цементу – 190-300 кг, витрати піноутворювача – 0,6-2,6 % від маси цементу, відношення Ц/З (Н) = 0,4-1, заповнювач – вапняковий пісок з $M_k > 1,2$ – 20%, наповнювачі – вапняковий пісок з $M_k > 0,14$ -0,315 – 5-30 %, кварцовий пісок з $M_k > 0,315$ -0,63 – 10-30 %, зола-винесення – 15-20 %, глиняний порошок з $M_k > 0,14$ – 5-15 % від маси сухої суміші. Критерії оптимізації: ρ_m – 800-900 кг/м³, R_{ct} – 6-10 МПа.

Основні результати наукових досліджень, отриманих у даному розділі, опубліковано в [1] – [5], [7] – [10], [12], [17], [22], [24], [25].

РОЗДІЛ 4

РЕГУЛЮВАННЯ І ОПТИМІЗАЦІЯ СКЛАДІВ СУХИХ БУДІВЕЛЬНИХ СУМІШЕЙ ДЛЯ ЕЛЕМЕНТІВ ПІДЛОГ

Існуючі нормативні документи не обмежують рецептуру сухих будівельних сумішей та розчинів на їхній основі. Згідно з вимогами ДСТУ Б В.2.7-126:2011 «Суміші сухі будівельні модифіковані» [1] при забезпеченні нормативних реологічних та фізико-механічних властивостей, екологічності та безпечності використання під час ремонтно-будівельних робіт та впродовж усього терміну експлуатації не вимагається розробка нових хімічних складів. Суміші для підлог, згідно призначення, поділяються на стяжки, прошарки та покриття, які можуть застосовуватись у цивільному та промисловому будівництві.

Ніздрювата структура поризованих розчинів за умови знижених витрат в'язучого не може забезпечувати високі вимоги щодо зносостійкості та витримувати високі навантаження, що діють на елементи підлог будівель під час експлуатації. Тому подальшого вивчення вимагає питання розробки рецептури складів СБС для поризованих розчинів, які відповідали б усім нормативним вимогам (табл. 4.1 [1]) до стяжок та прошарків підлог цивільних будівель. З цією метою необхідно провести модифікацію розроблених сумішей мінеральними та хімічними функціональними добавками, дослідити вплив механічної активації інетрних складових суміші, визначити залежність властивостей поризованого розчину від кількісного складу та гранулометрії заповнювачів і наповнювачів з відходів дроблення карбонатних вапняків та золи-винесення, підвищити міцність на згин, тріщиностійкість та мінімізувати виникнення усадки пінно-дисперсної системи розчину під час тверднення.

Таблиця 4.1

Вимоги до сумішей для влаштування елементів підлоги [1]

Назва показника	Значення показника для групи*			
	СТ1	СТ2	ПР1	ПР2
Суміші				
Крупність заповнювача, мм, не більше	1,25	1,25	0,63	0,63
Розчинові суміші				
Рухомість, см, не менше	8	8	-	-
Розтічність, см, не менше	-	-	20	20
Термін придатності, хв, не менше	20	20	20	20
Розчини				
Міцність зчеплення з бетонною основою після витримування в повітряно-сухих умовах, МПа, не менше	0,2	0,5	0,5	1,0
Границя міцності на стиск, МПа, не менше:				
- через три доби	5	5	5	7
- через 28 діб	15	20	15	20
Границя міцності на розтяг при вигині через 28 діб, МПа, не менше	3,5	4,5	3,0	4,0
Стираність, г/см ² , не більше	-	-	-	-
Усадка, мм/м, не більше	2,0	2,0	2,0	2,0
Морозостійкість, циклів, не менше	-	-	-	-

*групи елементів підлог для цивільних будівель

4.1 Вплив наповнювачів з відходів виробництва на властивості сухих будівельних сумішей та поризованих розчинів на їх основі

4.1.1 Ефективність використання карбонатних наповнювачів

У зв'язку з широкою розробкою в Україні родовищ пиляних вапняків і вапняка-черепашника, виникло питання доцільності використання вапнякових відходів в ролі наповнювачів для бетонів і розчинів, яке залишається актуальним і сьогодні. Результати досліджень свідчать, що наповнювачі з пористих вапняків, незважаючи на низьку міцність породи (в середньому від 1,5 до 10 МПа), завдяки особливостям структури і хіміко-мінералогічному складу, забезпечують отримання

на їхній основі за умов звичайних витрат цементу конструктивних бетонів міцністю 15-30 МПа та вище [16], [76], [169], [170]. Також підтверджено ефективність його застосування в технології неавтоклавних ніздрюватих бетонів [171] та сухих будівельних сумішей для штукатурних робіт [35].

Підвищений вміст у складі різних відходів переробки гірських порід пилоподібних частинок (менше 0,16 мм) до 18-25 % є основною перешкодою їх використання для отримання розчинів і бетонів. Однак для СБС вимогами стандартів [1] обмежується крупність наповнювачів від 0,2 до 0,63 мм для прошарків підлог і 1,25 мм стяжок, а для формування міцної пористої структури необхідно використання активних мікронаповнювачів.

Результати попередніх досліджень з розробки складів цементних сухих будівельних сумішей для пористих розчинів з використанням різних мінеральних наповнювачів (кварцовий пісок, глиняний порошок, вапняковий пісок, зола-винесення ТЕС) продемонстрували ефективність використання саме вапнякового наповнювача. Таким чином можна припустити, що тонкодисперсні частинки вапняків можуть брати активну участь в процесах структуроутворення цементного каменю, сприяючи зростанню міцності останнього, а отже, й істотно впливати на властивості отриманого матеріалу. Це підтверджується дослідженням впливу подрібнених карбонатних наповнювачів на властивості бетонів [16], [151], [169], [170], [172]. Тому, виникає необхідність дослідження впливу відходів обробки карбонатних вапняків на властивості сухих будівельних сумішей, поризованих ПАР.

Для подальшого дослідження були обрані різні оптимальні склади СБС, визначені попередніми експериментальними дослідженнями. Витрати цементу встановили на рівні 35-65 % від ваги сухих компонентів. Склад суміші цемент : кварцовий пісок : вапняковий пісок = 1 : 1 : 1 при витраті цементу 35 % та цемент : вапняковий пісок = 1 : 0,54 при витраті цементу 65 %. Витрата піноутворювача «LORI» становила згідно рекомендацій виробника 1,6 % від маси цементу. Водотвердне (В/Т) співвідношення визначалося експериментально,

виходячи з необхідної рухомості розчинної суміші від 8 см, що визначається її подальшим використанням для отримання стяжок підлог цивільних будівель. Фізико-механічні властивості визначалися на зразках-балочках розмірами 4×4×16 см у віці 28 діб, які тверднули у повітряно-сухих умовах при $t = 20 \pm 5$ °С і відносній вологості повітря не більше 65-75 % [173]. Для оцінки теплоізолюючої здатності поризованих розчинів аналітично визначено коефіцієнт теплопровідності λ , Вт/(м×°С) за формулою Некрасова В. П. [166]. Звичайний цементно-піщаний розчин для стяжок середньою густиною 1600 кг/м³, володіє $\lambda=0,73$ Вт/(м×°С). Склади СБС, характеристики й основні експериментальні дані наведені в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2

Оптимальні склади розроблених СБС та їх властивості

Заповнювач, П, М _к , мм	Наповнювач, ВП, М _к , мм	ПД «LORI»	Ц, кг	В/Т	ρ_m , кг/м ³	R _{ст.} МПа	λ , Вт/(м·°С)
–	<0,14	1,6%	371	0,31	1030	5,00	0,425
–	0,14	1,6%	371	0,36	1130	7,17	0,48
–	0,315	1,6%	371	0,21	920	11,67	0,37
–	0,315	1,6%	371	0,26	1287	14,02	0,55
–	0,63	1,6%	371	0,21	980	11,54	0,40
–	1,25	1,6%	371	0,28	1000	11,77	0,41
1,2	0,14	1,6%	190	0,263	980	5,16	0,40
1,2	0,315	1,6%	190	0,263	1370	8,02	0,60
1,2	0,315	1,6%	190	0,283	1123	7,38	0,47
1,2	0,315	1,6%	190	0,33	900	6,74	0,36
1,2	0,63	1,6%	190	0,27	1410	8,87	0,62

Таким чином, отримані експериментальні дані підтверджують встановлені для карбонатних бетонів закономірності [169], [170]:

- вапняковий наповнювач впливає на процеси структуроутворення цементних композицій в складі поризованих сухих будівельних сумішей. Це пояснюється створенням цим наповнювачем додаткових поверхонь розділу фаз, що сприяє більш рівномірному розподілу пор в структурі під час перемішування суміші з

водою, а також неруйнуванню пор під час протікання фізико-хімічних процесів тверднення в'язучого;

- вапняковий пісок наповнює в'язуче, збільшуючи його питому поверхню. Результатом є створення більшого числа дрібних пор в структурі цементного каменю, які характеризуються однаковими розмірами, формою і підвищеною міцністю;

- при введенні вапнякового наповнювача в композиції сухих сумішей для поризованих розчинів виникає зростання міцності. Це пояснюється тим, що карбонатним вапнякам властива низька хімічна активність, обумовлена поверхневою енергією частинок, яка виникає внаслідок високої дисперсності карбонатних пісків і порошків. Взаємодіючи в водному середовищі з окремими компонентами портландцементного клінкеру, дрібнодисперсні частинки карбонатних наповнювачів здатні більше обростати новоутвореннями, ніж частки кварцового піску. В результаті цього ефекту в зонах контакту утворюються міцні з'єднання, що значно зменшує руйнування пор в процесі твердіння суміші;

- вапняковий наповнювач, маючи хімічну активність і протилежний заряд, сприяє рівномірному розподілу ПАР в розчинній суміші.

Результатом проведених експериментів є отримання сухих будівельних сумішей пористої структури з міцністю від 5,0 до 14,02 МПа, які відрізняються зниженням В/Т співвідношення без втрати рухомості розчинової суміші.

4.1.2 Вплив карбонатних добавок та золи-винесення на властивості поризованого розчину

Широкий спектр досліджень стосується впливу карбонатних та активних мінеральних добавок на властивості композиційних мінеральних в'язучих та бетонів, виготовлених на їхній основі [77], [174] – [176]. Використання тонкодисперсних мінеральних добавок разом з комплексними хімічними добавками під час отримання високофункціональних бетонів забезпечує три основні ефекти: технологічний ефект – рухомість бетонної суміші зростає до 280 мм без зниження міцності; технічний ефект

забезпечується збільшенням міцності дрібнозернистого бетону на стиск на 4...18 % за постійного В/Ц; економічний ефект дає можливість знижувати витрати цементу до 10 % без зниження міцності [177]. Дані залежності певною мірою можуть стосуватися і для сухих будівельних сумішей, технологія виробництва яких дозволяє широко використати у ролі наповнювачів та добавок карбонатні породи або відходи їхньої обробки: природні подрібнені вапняки, мрамур, доломіт, вапнякове і доломітове борошно, крейду тощо; а також синтетичні карбонатні матеріали – карбонатні шлами [36], [169], [170], які зазвичай мають деяку хімічну активність. Встановлено, що фракції карбонатних порід зі ступенем подрібнення менше 0,16 мм ефективно додавати у суміші в ролі вапнякового мікронаповнювача у кількості до 25 %, у ролі наповнювача-модифікатора – при розмірі зерен 0,14-1,25 мм до 50 % від маси цементу [170]. Таким чином, карбонатні добавки у складі поризованих розчинів із СБС можуть відігравати роль не лише інертного заповнювача (крупність зерен 0,2-2,5 мм), а й активної складової суміші під час формування оптимальних гранулометричних співвідношень складових суміші.

Результатом проведених попередніх теоретико-експериментальних досліджень доведено, що у поризованих СБС ефективніше використовувати тонкоподрібнені вапнякові піски карбонатних порід як основний заповнювач, ніж інертні кварцові піски [152], [178]. Встановлено, що на фізико-механічні властивості затверділих поризованих розчинів, виготовлених із СБС, впливають такі фактори [179]:

- 1) вміст карбонатної добавки в складі суміші;
- 2) гранулометрія карбонатних пісків;
- 3) відношення цемент/заповнювач (Ц/З) або цемент/наповнювач (Ц/Н).

Встановлено, що введення в суху будівельну суміш вапнякового піску різної крупності має вплив на фізико-механічні властивості затверділого поризованого розчину. В попередньо розроблені цементні склади СБС, у які входили ПЦ у кількості 25-35 % (143-200 кг), кварцовий пісок з модулем крупності 1,2 мм у ролі

заповнювача, вводився карбонатний пісок у кількості 15-25 % від маси сухих компонентів. Витрата піноутворювача 1,6 % від маси цементу. Склади сумішей наведені в Додатку Г. В табл. 4.3 і на рис. 4.1 наведені результати досліджень впливу гранулометрії вапнякоких пісків на властивості поризованих розчинів із СБС для найвищих показників міцності на стиск і найнижчих значень середньої густини [180].

Таблиця 4.3

Властивості СБС у залежності від ступеня подрібнення вапнякового піску

Склад суміші			Розмір ВП, мм	В/Т	Середня густина, кг/м ³	Міцність на стиск у віці 28 діб, МПа	λ , BT/(м×°С)
Ц	П	ВП					
30	52,5	17,5	>0,14	0,316	930	2,84	0,39
35	40	25	>0,14	0,316	1130	7,17	0,44
25	60	15	0,14-0,315	0,268	870	1,25	0,37
35	40	25	0,14-0,315	0,268	1315	14,32	0,48
25	60	15	0,315-0,63	0,271	760	2,14	0,34
35	40	25	0,315-0,63	0,271	1370	8,02	0,50
25	62,5	17,5	0,63-1,25	0,268	950	1,33	0,39
35	40	25	0,63-1,25	0,268	1240	8,87	0,47
30	52,5	17,5	1,25-2,5	0,245	980	1,65	0,40
35	40	25	1,25-2,5	0,245	1000	1,77	0,41

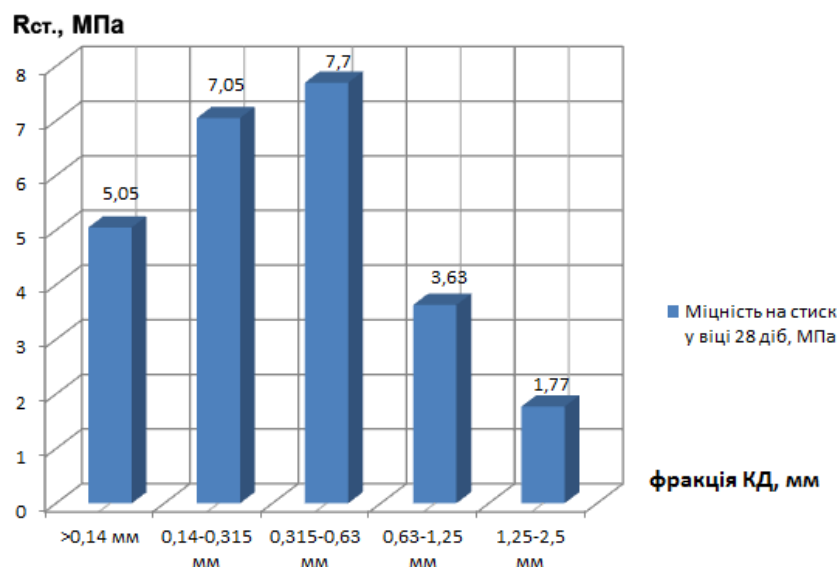


Рисунок 4.1 – Залежність міцності на стиск поризованих розчинів від гранулометрії карбонатної добавки (25 % від маси сухої суміші)

Аналізуючи дані, наведені у табл. 4.3 та на рис. 4.1, робимо висновок, що вплив карбонатної добавки на зміни міцнісних характеристик поризованих розчинів із СБС залежать від крупності зерен: вапнякові добавки з розмірами зерен до 0,63 мм здатні викликають збільшення міцності в порівнянні з крупнішими фракціями завдяки властивій їм адгезії та деякій хімічній активності взаємодії по відношенню до інших компонентів суміші. Також пиловидні частки вапняків здатні наповнювати поризований розчин, збільшуючи кількість цементного тіста, що веде до зміцнення пористої структури затверділого розчину [173].

Адсорбційні властивості карбонатних добавок дозволяють проникнути не лише продуктам гідратації в'язучого в поверхневий шар частинок заповнювача, а й акумулювати залишкову воду затвердження, якої в системах сухих сумішей не вистачає, а також дозволяє закріпити на поверхні карбонатних часток поро- та піноутворюючі добавки, що сприяє утворенню дрібних, рівномірно розподілених по всьому об'єму повітряних пор з міцними стінками. Таким чином відбувається формування більш однорідної міцної структури композиту між в'язучим, карбонатними добавками й іншими компонентами суміші [170], [179], [180].

У роботах [4], [13], [15], [16], [181], [182] доведено, що золу-винос ТЕС доцільно використовувати як активний компонент для розробки нових та розширення властивостей і номенклатури відомих будівельних матеріалів, у тому числі й у технології сухих будівельних сумішей. Тому оптимізувати склади мінеральних цементних СБС для поризованих розчинів, отриманих на їхній основі, можна введенням золи-винесення.

Для подальших досліджень у суміші з карбонатними вапняками вводили золу-винесення ТЕС, яка характеризується розмірами часток до 0,14 мм. Зміну властивостей сумішей із застосуванням ЗВ приведено в табл. 4.4.

Таблиця 4.4

Властивості СБС у залежності від вмісту золи-винесення

Склад суміші				Розмір ВП, мм	В/Т	Середня густина, кг/м ³	Міцність на стиск у віці 28 діб, МПа	λ , ВТ/(м \times °С)
Ц	П	ВП	ЗВ					
35	25	25	15	>0,14	0,351	770	5,21	0,34
35	20	25	20	>0,14	0,351	835	5,65	0,36
35	17,5	25	22,5	>0,14	0,351	900	6,09	0,38
35	15	25	25	>0,14	0,351	970	6,61	0,40
35	10	25	30	>0,14	0,351	1080	6,93	0,43
35	25	25	15	0,14-0,315	0,276	880	5,82	0,38
35	20	25	20	0,14-0,315	0,276	880	7,76	0,38
35	17,5	25	22,5	0,14-0,315	0,276	988	8,74	0,40
35	15	25	25	0,14-0,315	0,276	1062	9,85	0,42
35	10	25	30	0,14-0,315	0,276	1080	10,28	0,43
35	25	25	15	0,315-0,63	0,28	813	6,74	0,36
35	20	25	20	0,315-0,63	0,28	910	6,92	0,38
35	17,5	25	22,5	0,315-0,63	0,28	982	7,16	0,40
35	15	25	25	0,315-0,63	0,28	1070	7,3	0,4
35	10	25	30	0,315-0,63	0,28	1151	7,57	0,45
35	25	25	15	0,63-1,25	0,275	870	7,18	0,37
35	20	25	20	0,63-1,25	0,275	890	7,62	0,38
35	17,5	25	22,5	0,63-1,25	0,275	900	8,05	0,38
35	15	25	25	0,63-1,25	0,275	970	7,34	0,70
35	10	25	30	0,63-1,25	0,275	1033	7,41	0,42
35	25	25	15	1,25-2,5	0,29	830	5,61	0,36
35	0,2	20	20	1,25-2,5	0,29	870	7,48	0,37
35	17,5	1,75	22,5	1,25-2,5	0,29	905	8,83	0,38
35	15	15	25	1,25-2,5	0,29	960	9,81	0,40
35	10	10	30	1,25-2,5	0,29	1000	11,77	0,41

Основні дослідження були виконані із застосуванням математичного планування експерименту [58], [183], [184], умови планування якого наведені в табл. 4.5. В ході досліджень в кожній точці плану виготовляли поризований розчин складу в'язуче : заповнювач : наповнювач із варіацією вмісту цих компонентів, визначали водотверде відношення для досягнення розпливу конуса розчину на струшуючому столику не менше 80 мм та розтічності на віскозиметрі Суттарда не

менше 120 мм, середню густину та міцність зразків-балочок на стиск і згин у віці 28 діб. Матриця планування експерименту наведена в додатку Г.

Таблиця 4.5

Умови планування експерименту

№	Фактори впливу		Рівні варіювання							Інтервал
	Натуральні	Кодовані	-3	-2	-1	0	+1	+2	+3	
1	Витрата цементу, Ц, % від маси сухої суміші	X ₁	25	30	35	40	45	50	55	5
2	Витрата заповнювача, % від маси сухої суміші: - кварцовий пісок, П	X ₂	25	30	35	40	45	50	55	5
3	Вміст вапнякового піску крупністю, % від маси сухої суміші: - ВП (>0,14 мм); - ВП (0,14-0,315 мм); - ВП (0,315-0,63 мм); - ВП (0,63-1,25 мм); - ВП (1,25-2,5 мм);	X ₃ X ₄ X ₅ X ₆ X ₇	15	17,5	20	22,5	25	27,5	30	2,5
4	Витрата наповнювача, % від маси сухої суміші: - зола-винесення, ЗВ	X ₈	15	17,5	20	22,5	25	27,5	30	2,5

Після проведення обробки і статистичного аналізу експериментальних даних отримані математичні моделі властивостей поризованих розчинів на основі СБС у вигляді поліноміальних рівнянь регресії:

- водотвердого відношення:

$$\begin{aligned}
 B/T = & 0.2391 - 0.1677x_1 + 0.3026x_1^2 + 0.269x_2 - 0.2444x_2^2 + 0.2104x_3 - 0.3495x_3^2 - \\
 & - 0.3783x_4 + 0.8611x_4^2 - 0.1411x_5 + 0.1966x_5^2 - 0.1597x_6 + 0.2063x_6^2 - 0.6093x_7 + \\
 & + 1.9661x_7^2 + 0.3039x_8 - 0.2753x_8^2;
 \end{aligned}
 \tag{4.1}$$

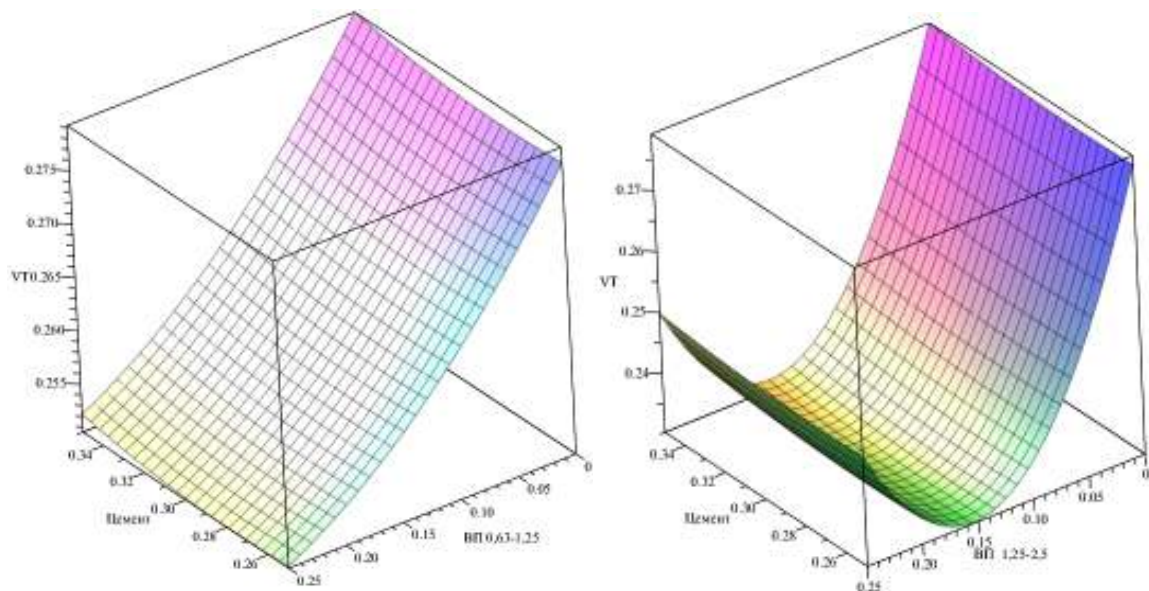
- середньої густини:

$$\rho_m = 439.23 - 2590.06x_1 + 9258.24x_1^2 - 648.57x_2 + 1719.51x_2^2 + 1906.9x_3 - 257.23x_3^2 + 2466.84x_4 - 965.6x_4^2 + 1596.95x_5 + 2914.57x_5^2 + 1871.52x_6 + 307.68x_6^2 + 2220.23x_7 - 1689.28x_7^2 - 1795.40x_8 + 7570.53x_8^2; \quad (4.2)$$

- міцності на стиск:

$$R_{st} = 17.4441 + 10.7424x_1 + 49.3498x_1^2 - 92.6223x_2 + 87.9718x_2^2 + 7.5286x_3 + 26.928x_3^2 + 45.4273x_4 - 64.2274x_4^2 + 33.1794x_5 - 81.4141x_5^2 + 15.2617x_6 - 13.6964x_6^2 - 10.3458x_7 + 75.8556x_7^2 - 19.2595x_8 - 48.4949x_8^2. \quad (4.3)$$

Графічні залежності, які ілюструють впливу вмісту і виду наповнювача та заповнювач на водопотребу сухої будівельної суміші та середню густину і міцність поризованого розчину у віці 28 діб нормального твердіння наведені на рис. 4.2- 4.4.



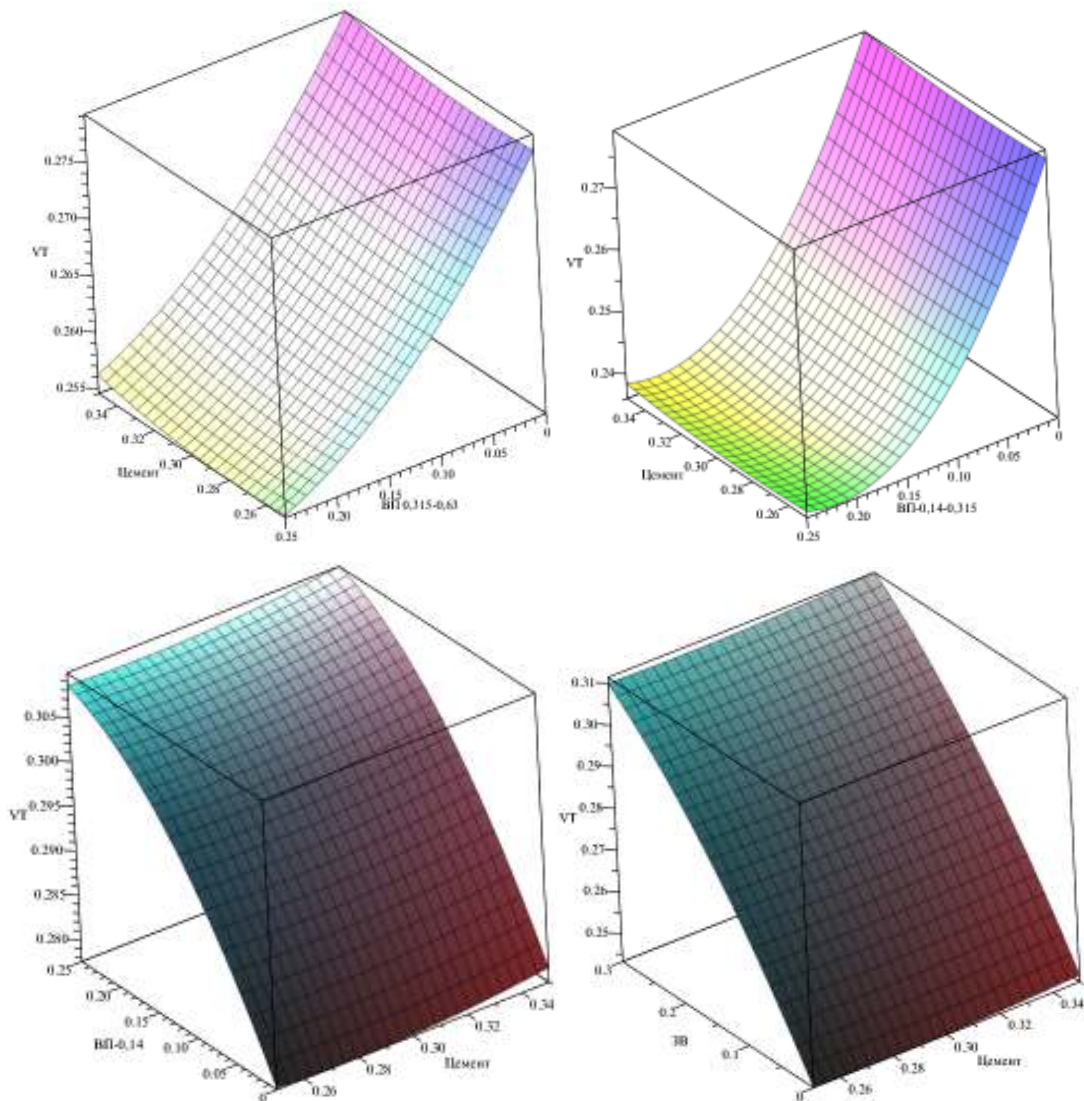
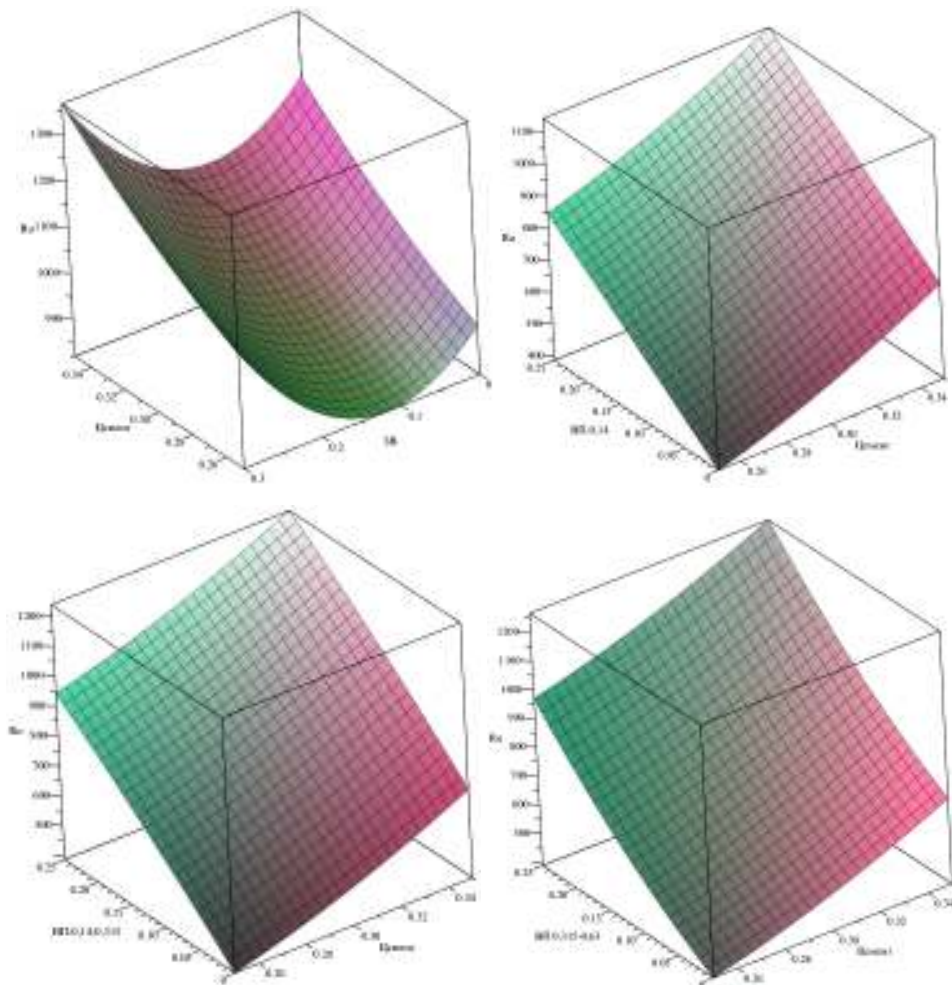


Рисунок 4.2 – Вплив вмісту, гранулометрії наповнювача і витрати цементу на водопотребу суміші

Аналізуючи дослідження, можна зробити висновок про те, що використання наповнювачів із карбонатних вапняків в цілому призводить до зниження В/Т у сухих сумішах. Також В/Т залежить в оновному не від кількості вапнякового піску у суміші, а від його гранулометрії. Найнижчу водопотребу за найвищої міцності мають суміші, в які додавався вапняковий пісок фракції 0,315-0,63 мм. Найбільший вплив на водопотребу суміші мають витрати кварцового піску та

вапнякового піску фракцій 0,315-0,63 мм та 1,25-2,5 мм. Введення золи-винесення частково підвищує В/Т суміші.

Із залежностей, наведених на рис. 4.3, видно, що найнижча середня густина характерна також для складів з ВП фракції 0,315-0,63 мм. Це можна пояснити оптимальним упакуванням зерен системи «заповнювач-наповнювач» у поризованій структурі розчину. Введення золи-винесення позитивно впливає на зниження середньої густини поризованого розчину, що свідчить про проходження хімічних реакцій між складовими, насичені пінно-дисперсної системи поризованої розчинової суміші тонкодисперсними частками негативного електричного заряду, що в поєднанні з позитивно зарядженими частками вапнякового піску [160] дозволяє підвищити поверхневий натяг води та зміцнити водні плівки навколо повітряних бульбашок.



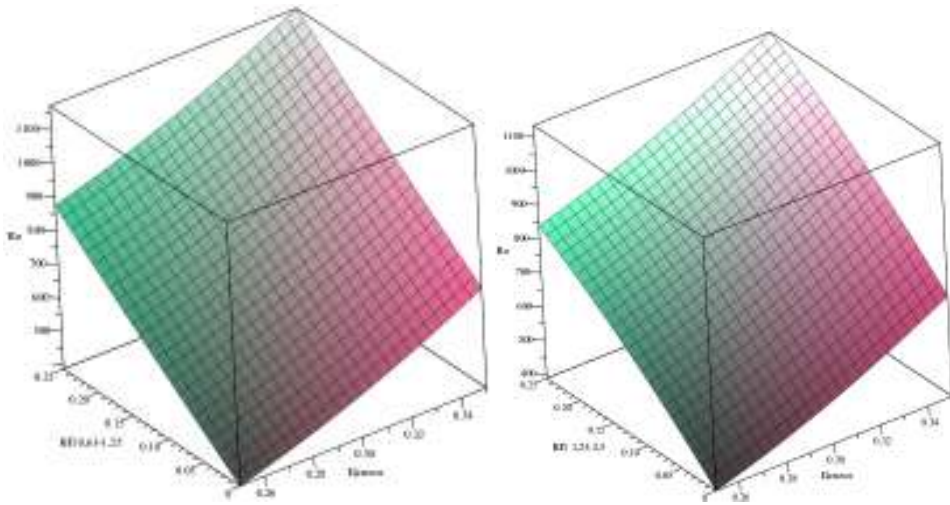
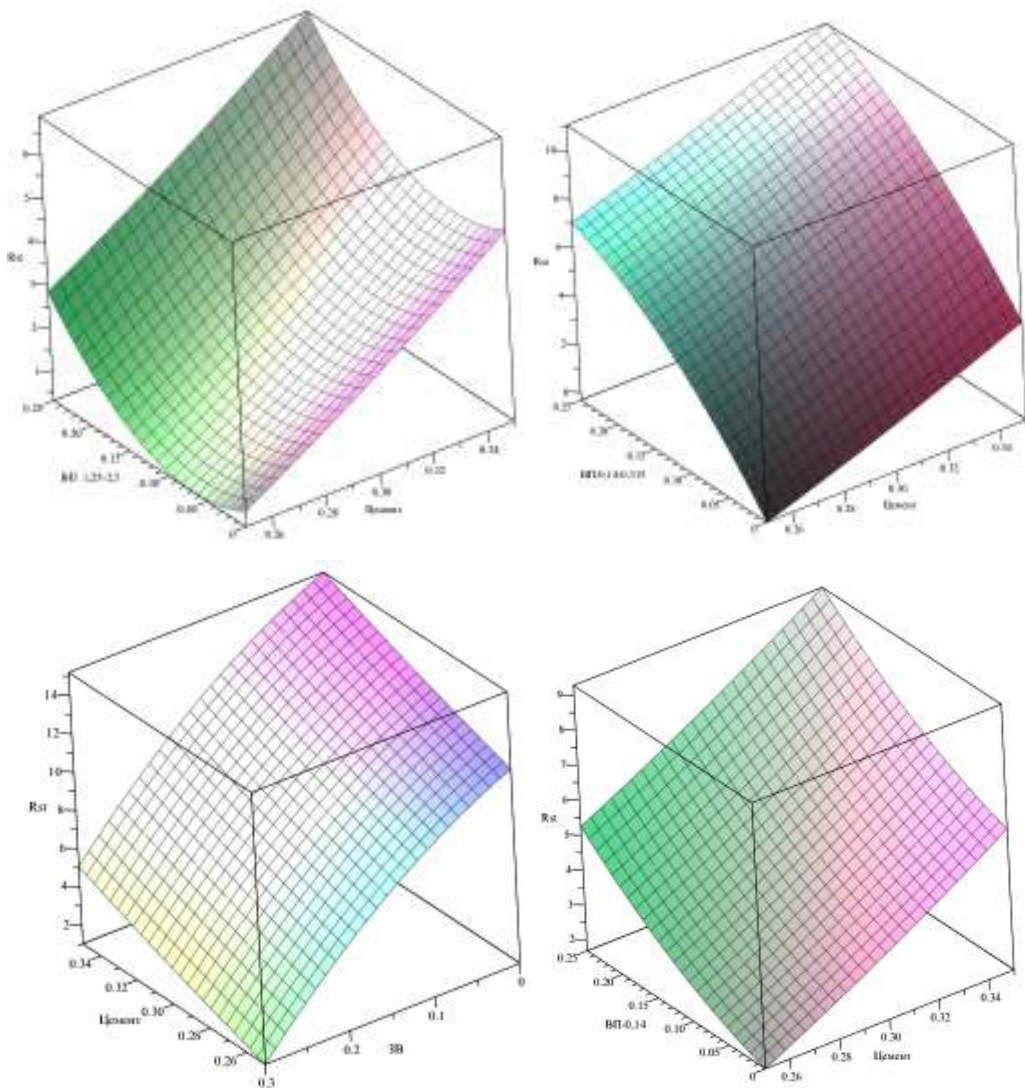


Рисунок 4.3 – Вплив вмісту, гранулометрії наповнювача і витрати цементу на середню густину поризованого розчину із СБС



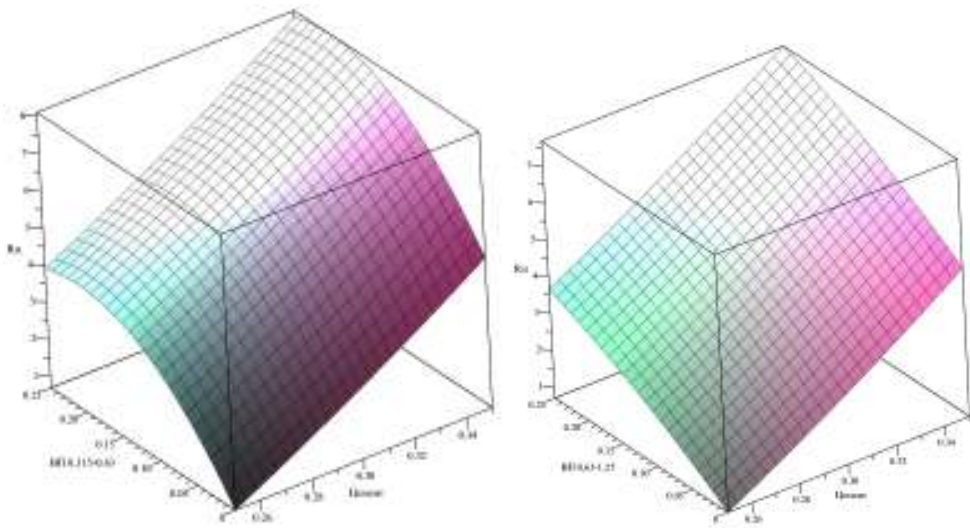


Рисунок 4.4 – Вплив вмісту, гранулометрії наповнювача і витрати цементу на міцність при стиску у віці 28 діб поризованого розчину із СБС

Із залежностей рис. 4.4 встановлено, що різке падіння міцності відбувається при використанні ВП фракції 1,25-2,5 мм. Це свідчить про те, що при $M_k > 1,25$ мм пористі вапняки місцевих порід не мають залишкової хімічної активності, є інертним заповнювачем суміші, а через низьку механічну міцність самої породи відбувається і зниження міцності затверділого розчину

Отже, найоптимальніші властивості будуть мати склади СБС, у яких використовується наповнювач із карбонатних порід крупністю 0,14-0,315 мм. За умови такої крупності зерен вапняковий наповнювач здатний найактивніше впливати на процеси структуроутворення цементних композицій в складі поризованих сухих будівельних сумішей через наявну залишкову хімічну активність, яка викинає внаслідок дії механічних зусиль під час добування породи та її обробки [173], [179].

4.1.3 Вплив співвідношення цементу і карбонатної добавки в суміші властивості поризованого розчину

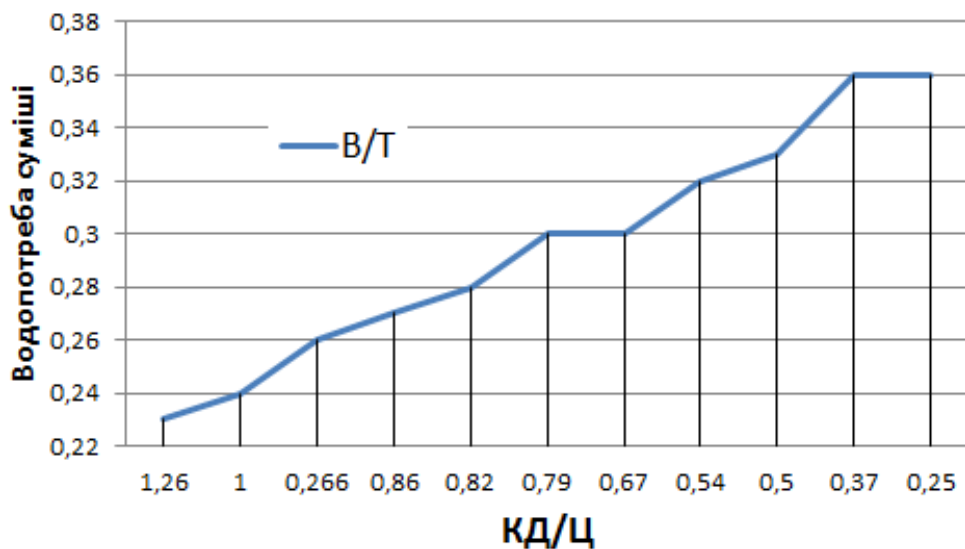
Важливим показником під час формування легких та пористих розчинів і бетонів, окрім самого вмісту цементу, що може сягати до 60-80% від маси сухих

компонентів (для пінобетонів), є відношення цемент/заповнювач (Ц/З) або цемент/наповнювач (Ц/Н) [179]. КД використовувалась фракції 0,315-0,63 мм. Витрата цементу 50 % від маси усіх сухих компонентів (300 кг). Властивості розроблених складів СБС для поризованих розчинів у залежності від співвідношення КД та в'язучого наведені в табл. 4.6. та на рис. 4.5-4.6.

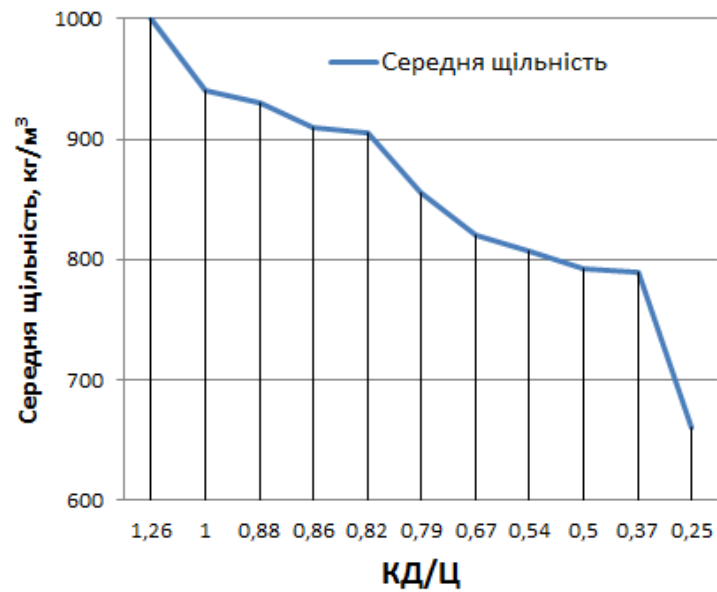
Таблиця 4.6

Властивості СБС у залежності від відношення КД/Ц

КД/Ц	В/Т	Середня густина, кг/м ³	R _{ст.} у віці 28 діб, МПа	R _{зг.} у віці 28 діб, МПа	λ, Вт/(м×°С)
1,26	0,23	1000	17,7	9,2	0,408
1,00	0,24	940	12,63	8,8	0,333
0,88	0,26	930	8,09	7,25	0,301
0,86	0,27	910	8,2	6,6	0,308
0,82	0,28	905	8,1	6,0	0,361
0,79	0,30	856	6,5	6,0	0,299
0,67	0,30	820	6,1	5,5	0,358
0,54	0,32	807	5,8	4,3	0,371
0,50	0,33	793	4,1	3,5	0,377
0,37	0,36	790	3,9	2,2	0,315
0,25	0,36	560	2,0	1,5	0,185



а)



б)

Рисунок 4.5 – Залежність властивостей суміші від співвідношення КД/Ц:

а) водопотреби суміші; б) середня густина

Встановлено, що зменшення вмісту КД у суміші призводить до прогнозованого підвищення водопотреби та зниження середньої густини аналогічно пінобетонним сумішам.

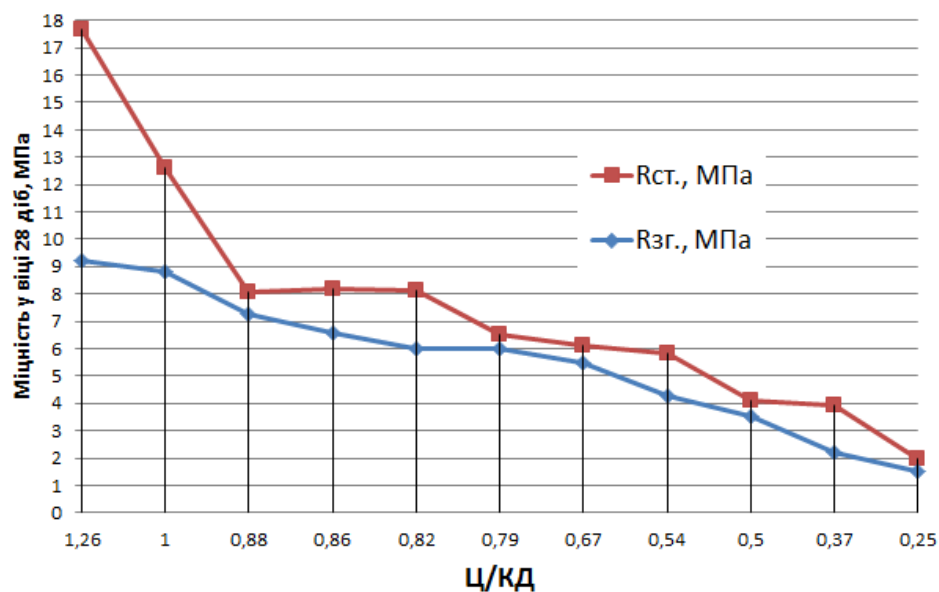


Рисунок 4.6 – Залежність міцності суміші від співвідношення КД/Ц

З табл. 4.6 та рис. 4.5-4.6 видно, що співвідношення карбонатної добавки та в'язучого є визначальною для механічних властивостей затверділого розчину. Також спостерігається залежність: за умови зменшення співвідношення між цементною складовою та вмістом карбонатних добавок відбувається зниження міцності на стиск, міцність на згин знижується не так різко. Ця залежність притаманна легким розчинам пористої структури. Мінеральні суміші щільної структури під час зменшення середньої густини будуть мати однакове падіння механічних властивостей за межею міцності на стиск та згин [179].

Перевірено залежність ступеня подрібнення карбонатних добавок при сталому $KД/Ц = 0,8$ та $В/Т = 0,3$. Результати експериментальних досліджень наведені в табл. 4.7. та на рис. 4.7.

З табл. 4.7 та рис. 4.7 видно, що ступінь подрібнення карбонатних добавок більшою мірою впливає на фізичні властивості сумішей, наприклад, водопотребу та середню густину, ніж показники міцності. Міцність на стиск піддається значно більшим змінам значень за умови зміни гранулометрії КД, ніж міцність на згин. Оптимальні значення міцності та густини будуть при використанні КД крупністю 0,14-0,315 мм, найнижче В/Т – для розміру зерен КД 0,315-0,63 мм.

Таблиця 4.7

Властивості СБС у залежності від ступеня подрібнення карбонатних добавок

Гранулометрія КД	В/Т	ρ_m , кг/м ³	R _{ст.} у віці 28 діб, МПа	R _{зг.} у віці 28 діб, МПа	λ , Вт/(м×°С)
>0,14 мм	0,347	883	5,28	3,05	0,347
0,14-0,315 мм	0,341	802	7,25	3,92	0,306
0,315-0,63 мм	0,309	921	4,75	3,32	0,367
0,63-1,25 мм	0,312	854	4,30	2,91	0,332
1,25-2,5 мм	0,315	957	4,34	3,65	0,385

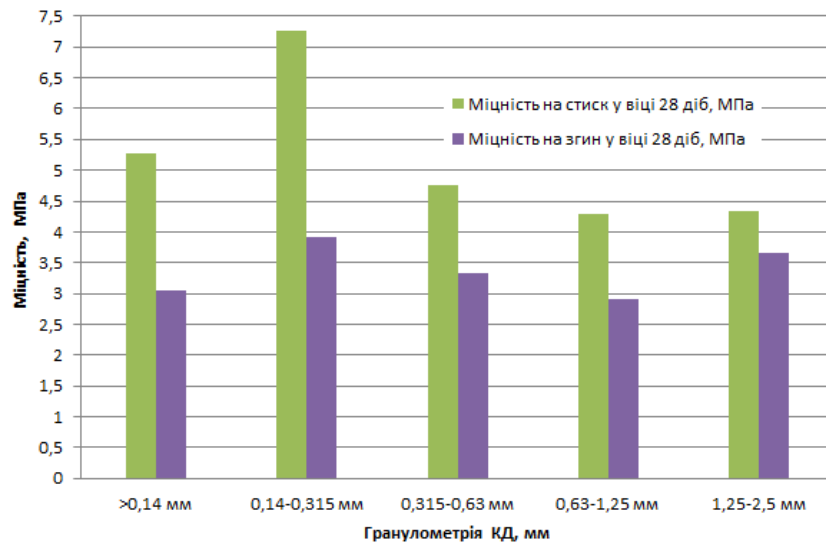


Рисунок 4.7 – Залежність міцності суміші від гранулометрії КД

Використання карбонатних добавок під час виготовлення поризованих СБС дозволяє отримати ефективні склади, а саме [179]:

- полегшені ($\Delta\rho_m = 19-61\%$) суміші із стабільною пористою структурою;
- поризовані суміші із збільшенням міцності затверділого розчину на стиск ($\Delta R_{28} = 629\%$) без збільшення В/Ц та В/Т;
- суміші зі зниженою витратою цементу ($\Delta Ц = 20-37\%$) без зниження міцності затверділого розчину.

Встановлено, що оптимальне співвідношення та карбонатної добавки і в'язучого $КД/Ц = 0,8$ і вище є визначальною для механічних властивостей затверділого поризованого розчину. Міцність при стиску піддається значно більшим змінам значень при зміні гранулометрії КД, ніж міцність при згині. Оптимальні значення міцності та щільності будуть при використанні КД крупністю 0,14-0,315 мм, найнижче В/Т – для розміру зерен КД 0,315-0,63 мм. Визначено, що ступінь подрібнення карбонатних добавок у більшій мірі впливає на реологію суміші, водопотребу суміші, середню густину, ніж на показники міцності. Так, оптимальні розтічність і рухомість суміші будуть при використанні КД фракції 0,315-0,63 мм (рис. 4.8). Введення 10-15% золи-винесення у суміші з

карбонатними наповнювачами з $M_k < 0,14-0,63$ мм підвищує закрити пористість до 8 % і міцність при стиску на 17 %.

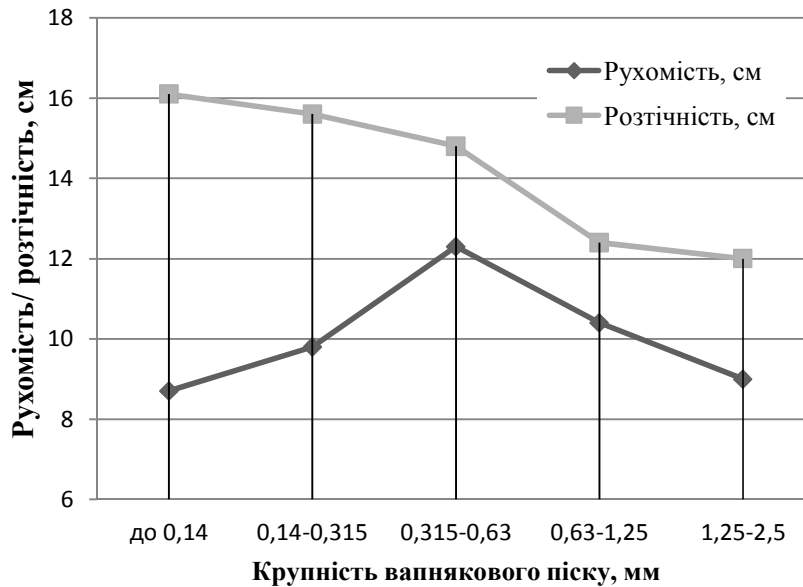


Рисунок 4.8 – Залежність реологічних властивостей СБС від гранулометрії КД

4.2 Вплив функціональних добавок та поліпропіленової фібри на властивості поризованих розчинів

Попередніми дослідженнями встановлено, що на зміни реологічних та фізико-механічних властивостей сухих будівельних сумішей впливають вид, кількість та розміри мінеральних наповнювачів та заповнювачів. Регулювати ці властивості також можна введенням функціональних добавок.

Експериментальні дослідження проводились на розчинових сумішах, отриманих із СБС, до складу яких входили портландцемент М500, заповнювачі (вапняковий пісок з $M_k=0,315-0,63$ мм, карбонатний пісок з $M_k=1,2$ мм), наповнювачі (вапняковий пісок з $M_k=0,14$ мм і менше, зола-винесення ТЕС), полімерні дисперсні добавки (неіонні водорозчинні ефіри целюлози марки BERMOCOLL, редиспергуючі полімерні порошки марки ELOTEX), мікроармуючий наповнювач у вигляді поліпропіленової фібри довжиною до 2, 4, 6

мм, порошкові аніонні піноутворювачі в кількості 1,6 % від маси цементу. Мінеральні наповнювачі вводились в кількісному співвідношенні від маси сухої суміші, редиспергуючі полімерні порошки у кількості 1-5 % та ефіри целюлози у кількості 0,1-0,5 % від маси сухих компонентів. Фібра вводилась у кг на приготування 1 м³ розчину. Для контролю випробовувався склад суміші без добавок. Склади сумішей наведені у табл. 4.8-4.10. Із даних СБС було виготовлено стандартні зразки-балочки розміром 40×40×160 мм, які витримувались в нормальних умовах та випробовувались на міцність у віці 28 діб.

Таблиця 4.8

Склади сухих будівельних сумішей

Вміст компонентів, кг					Витрата добавок, % від маси цементу				Витрати кг/м ³		
ПЦ	П	ЗВ	ВП, М _к		ЕЦ	РП	СП	ПД	Фібра, мм		
	М _к =1,2		>0,14	0,63					2	4	6
			75	75					0,1	1	*
210	150	90	75	75	0,1	1	*	1,6	0,1		
210	150	90	75	75	0,2	2	*	1,6	0,2		
210	150	90	75	75	0,3	3	*	1,6	0,3		
210	150	90	75	75	0,4	4	*	1,6	0,4		
210	150	90	75	75	0,5	5	*	1,6	0,5		

*випробовувались окремо

Таблиця 4.9

Склади сухих будівельних сумішей

Вміст компонентів, кг					Витрата суперплатифікатора, % від маси цементу			
ПЦ	П	ЗВ	ВП, М _к		SanPol	MasterTherm	Бето-Пласт	Sika Mix Plus
	М _к =1,2		>0,14	0,63				
			75	75				
210	150	90	75	75	2*	0,01*	0,9*	0,05*
210	150	90	75	75	3	0,02	1,0	0,1*
210	150	90	75	75	4	0,03	1,1	0,15*
210	150	90	75	75	5	0,04	1,2	0,2*
210	150	90	75	75	6	0,05	1,3	0,25

*рекомендовані виробником витрати

Таблиця 4.10

Властивості контрольного складу без добавок

Вміст компонентів, кг				Властивості розчинової суміші			Властивості розчину, у віці 28 діб		
ПЦ	П	ЗВ	ВП, М _к		В/Г	Рухомість, см	Розтічність, см	R _{ст.} , МПа	ρ _т , кг/м ³
	М _к =1,2		0,315	0,63					
210	150	90	75	75	0,30	8,0	12,0	7,05	945

4.2.1 Вплив суперпластифікаторів на властивості суміші

Вплив суперпластифікаторів на властивості сухої будівельної суміші та поризованого розчину, виготовленого з неї, наведено в таблиці 4.11.

Таблиця 4.11

Властивості контрольного складу з додаванням пластифікаторів

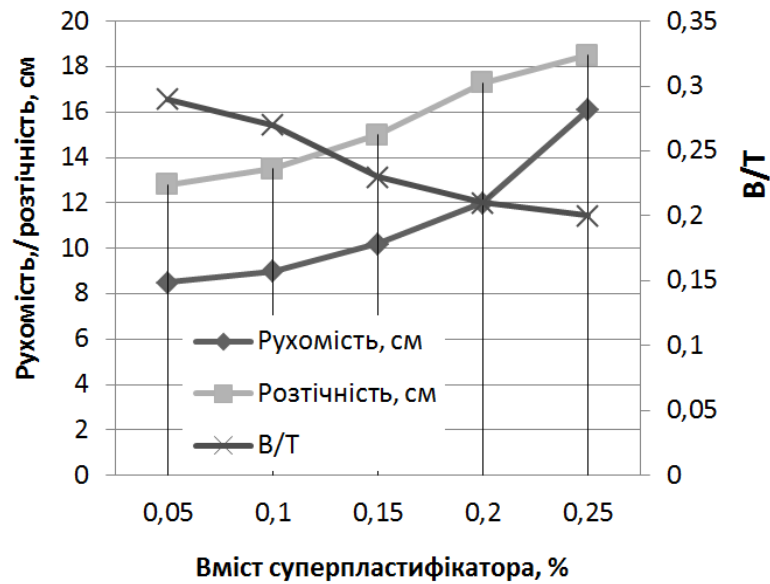
Витрата суперпластифікатора, % від маси цементу			Властивості розчинової суміші			Властивості розчину у віці 28 діб		
			В/Г	Рухомість, см	Розтічність, см	R _{ст.} , МПа	ρ _т , кг/м ³	
1	2	3	4	5	6	7	8	
1	Контрольний склад без добавок		0,30	8,0	12,0	7,05	945	
2	SanPol		2*	0,28	8,3	12,5	7,15	940
			3	0,28	8,3	12,5	7,18	928
			4	0,27	8,8	13,3	7,23	925
			5	0,27	9,2	15,0	7,26	920
			6	0,27	9,8	15,8	7,4	920
3	MasterTherm		0,01*	0,30	8,1	12,0	7,15	943
			0,02	0,30	8,4	12,4	7,21	938
			0,03	0,29	9,0	12,8	7,24	930
			0,04	0,29	9,5	13,1	7,10	927
			0,05	0,27	9,8	14,0	6,97	920
4	Бето-Пласт		0,9*	0,28	8,0	12,0	7,0	936
			1,0	0,26	8,0	12,2	6,87	915
			1,1	0,26	8,3	12,6	6,65	893
			1,2	0,26	8,7	13,0	6,60	878
			1,3	0,25	9,1	13,5	6,38	860

Продовження таблиці 4.11

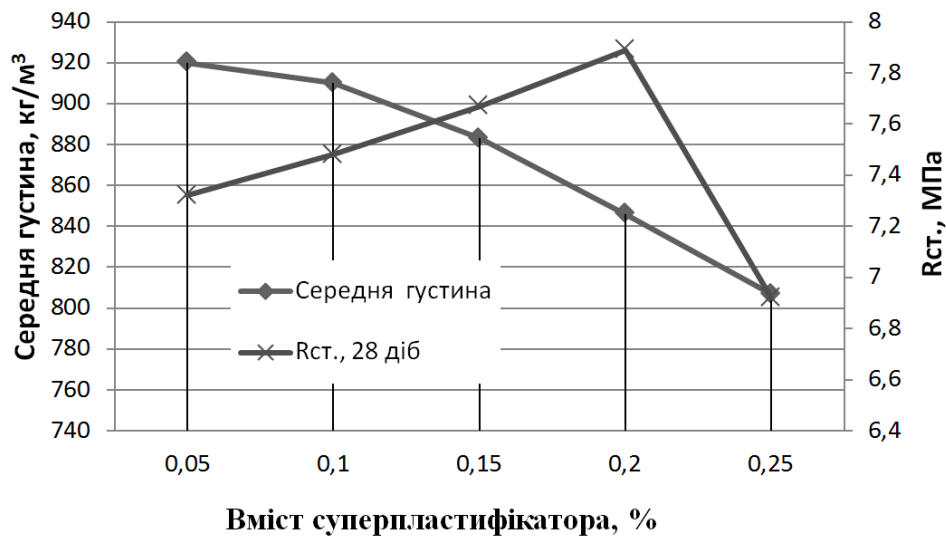
1	2	3	4	5	6	7	8
5	Sika Mix Plus	0,05*	0,29	8,5	12,8	7,32	920
		0,1*	0,27	9,0	13,5	7,48	910
		0,15*	0,23	10,2	15,0	7,67	883
		0,2*	0,21	12,0	17,3	7,89	846
		0,25	0,20	16,1	18,5	6,92	807

*рекомендовані виробником витрати

Експериментально визачено, що збільшення рухомості та розтічності поризованого розчину із СБС можна спостерігати при введенні суперпластифікатора (СП) Sika Mix Plus у кількості 0,2 % від маси в'язучого (рис. 4.9). Інші пластифікатори не чинять прогнозованого ефекту покращення реологічних та фізико-механічних властивостей суміші.



а)



б)

Рисунок 4.9 – Залежність властивостей СБС від вмісту СП Sika Mix Plus:

- а) реологічні властивості розчинової суміші;
- б) середня густина затверділого розчину

4.2.2 Вплив поліпропіленової фібри на властивості суміші

Поліпропіленову фібру ефективно використовують для об'ємного армування і запобігання утворенню тріщин під час пластичного осідання в процесі тверднення розчину, для збільшення міцності на згин, для підвищення міцності зчеплення до різних основ. Фібра здатна зменшувати виділення води та вносити в розчин незначну кількість повітря, контролювати переміщення води в розчинової суміші, підвищувати міцність на стиск в перший день набору міцності. Суміші з поліпропіленовою фіброю демонструють низькі розшарування і усадку та високі реологічні властивості пористих розчинових сумішей [12], [185]. Це пояснюється тим, що збільшуються геометричної площі контакту складових, зокрема і на поверхні повітряних пор. Міцність адгезійного зв'язку збільшується з ростом поверхневої енергії полімеру, з якого виготовлене волокно [186], [187]. Результати досліджень зміцнення поризованих розчинів фіброю різної довжини наведені в табл. 4.12 та на рис. 4.10.

Таблиця 4.12

Властивості контрольного складу з додаванням фібри

Витрата фібри, кг/м ³		Властивості розчинової суміші			Властивості розчину, у віці 28 діб		
		В/Т	Рухомість, см	Розтічність, см	R _{ст.} /R _{зг.} , МПа	Середня густина, кг/м ³	
1	Контрольний склад без добавок	0,30	8,0	12,0	7,05/2,52	945	
2	Довжина, мм	Витрата	-	-	-	-	
	2	0,1	0,27	8,0	12,5	7,63/2,98	900
		0,2	0,23	8,0	13,5	7,91/3,42	876
		0,3	0,24	8,2	14,0	7,15/3,07	870
		0,4	0,26	7,9	15,1	6,98/2,95	902
		0,5	0,29	7,9	13,8	6,57/2,80	923
3	4	0,1	0,28	8,0	12,0	7,3/2,8	937
		0,2	0,26	8,0	12,8	7,49/3,1	918
		0,3	0,24	8,0	14,2	7,57/3,7	904
		0,4	0,24	8,0	15,6	6,83/3,15	920
		0,5	0,6	8,0	16,0	6,74/3,0	927
4	6	0,1	0,30	8,0	12,3	7,63/2,82	936
		0,2	0,30	8,0	12,8	7,91/3,02	912
		0,3	0,31	8,0	13,9	7,15/3,37	887
		0,4	0,31	8,0	14,1	6,89/3,05	842
		0,5	0,31	8,0	13,4	6,73/2,90	840

Слід зазначити, що міцність на згин зростає у 4-6 разів при використанні фібри всіх довжин. Однак, при застосуванні фібри довжиною волокон 6 мм виникає її намотування на вал і лопасті змішувача, тому рекомендовано використовувати фібру довжиною 2-4 мм. Найкращі результати отримані при введенні в поризований розчин 0,2 кг фібри довжиною 2 мм та 0,3 кг фібри довжиною 4 мм. При подальшому збільшенні її кількості (більше 0,3 кг) відбувається зниження міцності. Експериментально визначено, що при введенні в 1 м³ поризованого розчину 0,2 кг фібри довжиною 2 мм та 0,3 кг фібри довжиною 4 мм можна досягнути збільшення міцності на згин у 1,5-2,7 разів та зниження середньої щільності на 40-70 кг/м³ (рис. 4.10). Використання фібри довжиною 6 мм веде до технологічних складностей

приготування і укладання поризованих розчинів.

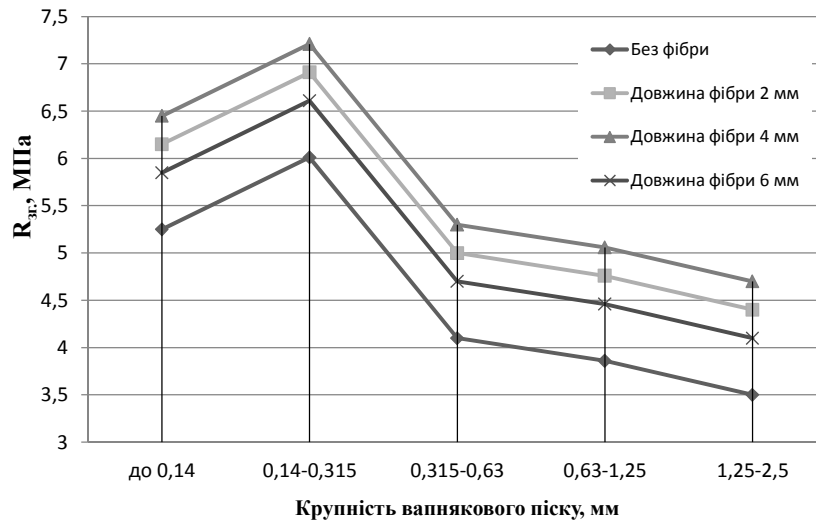


Рисунок 4.10 – Залежність властивостей СБС від гранулометрії КД при додаванні поліпропіленової фібри різної довжини

4.2.3 Вплив ефірів целюлози та редиспергуючих порошоків на властивості суміші

Найкращі показники рухомості суміші та фізико-механічних властивостей при зниженні В/Т отримано при додаванні комплексу модифікуючих добавок, а саме при введенні 0,3 % ефіру целюлози Vertocoll САА та 4 % редиспергуючого порошку Elotex FX2320 (рис. 4.11-4.12).

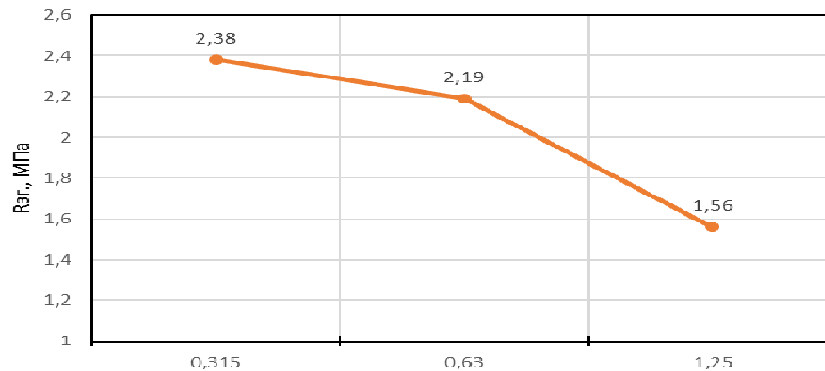


Рисунок 4.11 – Залежність міцності на згин СБС від гранулометрії КД при додаванні 0,3 % ефіру целюлози, 4 % редиспергуючого порошку

З рис. 4.11 видно, що міцність на згин знижується із збільшенням крупності вапнякового наповнювача. Це пояснюється тим, що за умови крупності більше 0,63 мм відбувається нерівномірне розподілення зерен заповнювача, часток в'язучого та повітряної маси, втягнутої піноутворювачем. Як наслідок, отримуються розчин з крупнопористою структурою та значною усадкою при твердненні.

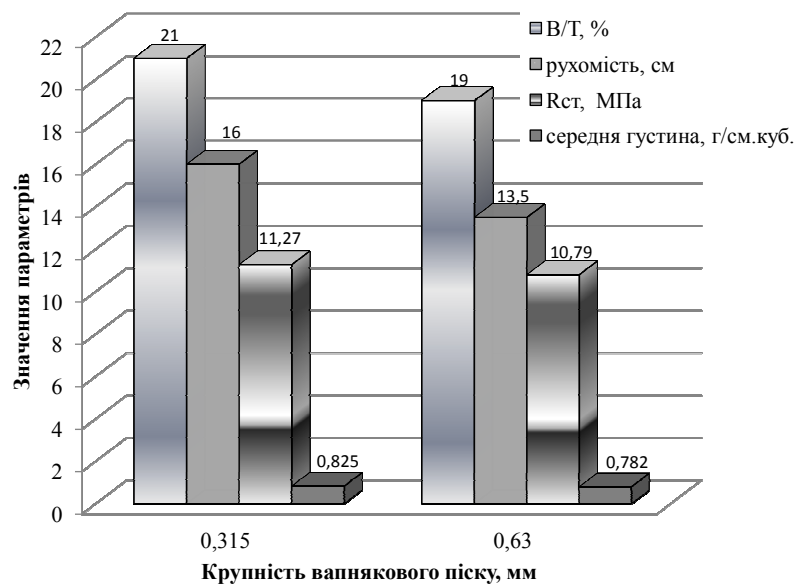


Рисунок 4.12 – Залежність властивостей СБС від гранулометрії КД при додаванні 0,3 % ефіру целюлози, 4 % реліспергуючого порошку

Як видно з рис. 4.12 при гранулометрії вапнякового наповнювача до 0,315 мм спостерігається більша водопотреба, і як наслідок рухомість, розчинової суміші, а також вища середня густина затверділого розчину у порівнянні з розчином, де використовувались наповнювачі максимальною крупністю до 0,63 мм. Міцність зразків на стиск відрізняється несуттєво. Це пояснюється щільнішим упакуванням часток суміші з меншим розміром зерен та повітряних бульбашок, утворених піноутворюючими речовинами.

Позитивну дію на водоутримувальну здатність суміші чинить введення ефіру целюлози (рис. 4.13).

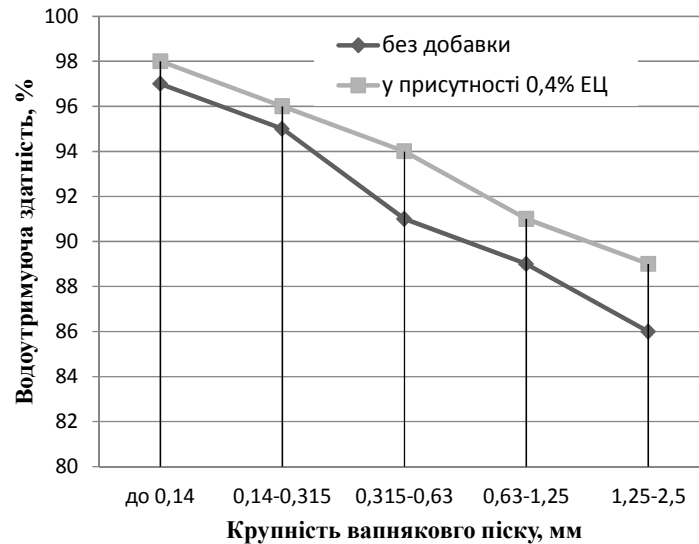


Рисунок 4.13 – Залежність водоутримуючої здатності суміші від гранулометриї КД та вмісту ефіру целюлози

З рис. 4.13 видно, що водоутримання розчинової суміші збільшується із використанням КД з $M_k < 0,315$.

Таким чином введення полімерних добавок дозволяє отримати СБС із покращеними реологічними та фізико-механічними властивостями. Це пояснюється тим, що полімерні добавки покращують водопоглинання та стабільність піннодисперсних цементних розчинів, а, отже, як наслідок зросла рухомість розчинів без збільшення водопотреби суміші, значно зменшилися усадкові деформації. Також введення полімерних добавок дозволило підвищити міцність на стиск, а поліпропіленова фібра дозволила збільшити міцність на згин. Ці залежності пов'язані із міцними адгезійними зв'язками полімерних молекул та мінеральних складових суміші [186], [187].

Зростання фізико-механічних характеристик розчинів, які мають дрібнопористу структуру, під час введення полімерних добавок можна пояснити сильною адсорбційною взаємодією полімеру й мінеральних наповнювачів. Також

слід враховувати, що при введенні полімерних добавок у мінеральну систему суміші було проведено обробку поверхні тонкодисперсних мінеральних наповнювачів, що забезпечило міцний зв'язок полімерних молекул з поверхнею наповнювача [187].

4.3 Вплив механічної активації складових сухої будівельної суміші та її властивості

4.3.1 Теоретичні передумови проведення механоактивації сухих будівельних сумішей

Механічні методи активації дозволяють задіяти у технологічний процес виготовлення ефективних розчинів та бетонів інертні компоненти, відходи промисловості або давні цементы тощо. Внаслідок додаткової активації дисперсних відходів промисловості в млинах або в бігунах можна отримувати кондиційні будівельні матеріали з мінімальною витратою цементу [89]. Серед засобів активації особливе місце займають механічні способи активації полімінеральних полідисперсних систем. Як показали дослідження, внаслідок зіткнення і тертя двох твердих тіл в локальній зоні виникає емісія електронів, руйнування кристалічних ґраток, підвищення температури, розвиток пластичних деформацій та виникнення мікротріщин, що підвищує хімічну активність в'язучих та мінеральних добавок, прискорює дифузійні процеси. Це зумовлює якісну зміну структури та підвищення показників якості кінцевого продукту [71] – [73]. Механічна активація без ускладнень вписується в існуючі технологічні схеми виробництва сухих будівельних сумішей, рецептура яких вимагає високої тонкості помелу компонентів. Частка мінеральної складової (в'язуче, заповнювач, наповнювач) у рецептурі СБС зазвичай становить 95 %. Тому механічна активація – один із ефективних способів модифікації та оптимізації властивостей багатоконпонентних сухих будівельних сумішей, особливо для отримання розчинів пористої структури.

Крім того, під час виробництва СБС більшість мінеральних заповнювачів потребують додаткового подрібнення до певної гранулометрії. Мінеральні порошки після механічної активації здатні активно змінювати гранулометрію, розвивати поверхню зерен, здобувати певну активність, електричний заряд поверхні, змінювати форму частинок та силу щеплення між ними, абразивність тощо. Це може позитивно впливати на укріплення структури поризованих розчинів на стадії замішування, тверднення і набору міцності, коли піна починає руйнуватись і втрачати свою стійкість [188], [189]. Не менш важливу роль має додаткова активація цементного в'язучого з метою прискорення строків тужавлення розчину та набору міцності у перші дні тверднення [189].

Роботи [47], [51], [169], [190] – [196] свідчать про позитивний вплив механічної активації на властивості не лише цементного в'язучого, але й інертних компонентів суміші, як при роздільному, так і спільному їхньому помелі. Дослідження [169], які стосувались дрібнозернистих карбонатних бетонів щільної та ніздрюватої структури, підтвердили, що механічна активація відсіву дроблення карбонатних порід дозволяє отримати ефективний тонкодисперсний карбонатний наповнювач, що дозволяє економити до 50% цементу. Це відбувається внаслідок ущільнення цементного каменю і зміцненню контактної зони між цементним каменем і заповнювачем. Також за рахунок акумуляції води затворення збільшується ступінь гідратації цементу. Наслідком є ефект мікроармування структури дрібнозернистих бетонів та покращення тріщиностійкості [169].

Механічна активація методом сухого помелу відходів подрібнення і обробки карбонатних порід (вапняків) дозволяє отримати тонкодисперсний вапняковий наповнювач до сухих сумішей та ефективний заповнювач крупністю до 2,5 мм [169], [195]. Спільне додаткове домелювання усіх мінеральних складових із частиною в'язучого дозволяє замінити частку цементу в складі СБС та отримати збільшення міцності за рахунок утворення активованого вапняку, який здатен проявляти деяку хімічну активність [169], [188], [195]. Спільна

механічна активація сухим способом мінеральної суміші СБС з функціональними хімічно активними органічними добавками сприяє отриманню ефективних добавок-модифікаторів для сухих будівельних сумішей [188], [195].

Механічна активація золошлакових відходів теплоенергетики у млинах дозволяє змінити їхню внутрішню структуру, створити нові контактні поверхні (розвинута питома поверхня), стабілізувати гранулометричний склад, активізувати інертні частки після тривалого зберігання у відвалах, поліпшити властивості даного матеріалу, що дозволить у подальшому під час їх застосування для виготовлення будівельних матеріалів замінити частину цементних в'язучих, підвищити стійкість розчинів [206]. Однак, зола-винесення ТЕС складно піддається процесу подрібнення за рахунок сплавлення природних мінералів під час спалювання і потребує оптимального часу подрібнення в середньому 15-20 хв у залежності від свого хімічного складу, а підвищення показників якості золи-винесення можна досягти додаванням певних поверхнево-активних речовин під час сухого помелу [206].

Встановлено, що процес механічної активації кварцового піску дозволяє отримати нові активні центри поверхні, змінити реакційну здатність внаслідок зміни суми поверхневої і внутрішньої енергії з концентрацією «надлишкової» енергії в сформованому поверхневому шарі за рахунок дефектів структури, поліпшити якість поверхні зерен піску внаслідок видалення забруднень, що дозволяє підвищити хімічну активність піску в нормальних умовах, значно підвищити структуроутворюючу роль піску і наповнювачів [72], [73], [193].

Спеціальних цементів для отримання пінобетонів немає, а для отримання поризованих СБС зниженої густини необхідно застосовувати цементи марок 550 та 600, які мають високу вартість та випускаються в обмежених кількостях. Тому механічна та механохімічна активація (з добавками) рядових цементів також є актуальною. Найбільш ефективна механоактивація цементу із одночасною його

модифікацією за рахунок введення функціональних добавок, які змінюють властивість цементного композиту [62], [190], [193].

Тому варто дослідити вплив механічної активації мінеральних складових на властивості розроблених складів сухих сумішей для поризованих розчинів. Внаслідок аналізу літературних джерел та попередніх експериментальних досліджень встановлено, що спільне механічне подрібнення у бігунах впродовж 5-7 хвилин вапнякових відходів із золою-винос, а тоді впродовж 3-5 хвилин – з портландцементом приводить до подвійного покриття часток вапнякового піску спочатку частками золи-винос, а потім частинками портландцементу [4], що дозволяє збільшити фізико-механічні властивості розчинів, отриманих із СБС з використанням відходів промисловості.

4.3.2 Експериментальне дослідження впливу механоактивації на властивості сухих сумішей та отриманих із них поризованих розчинів

Експериментальні дослідження проводились з метою підвищення міцності затверділих розчинів пористої структури шляхом механічної активації в'язучого та мінеральних компонентів суміші. Активації піддавалась суміш такого складу: Ц – 35 % (210 кг), ВП – 35 % (210 кг), ЗВ – 15 % (90 кг), П – 10 % (60 кг), ГП – 5 % (30 кг). Органічні функціональні добавки та поліпропіленова фібра вводились у суміш додатково, їхній вміст визначається від маси в'язучого за потребою. Виготовлення розчинової суміші для перевірки властивостей поризованих розчинів після активації складових виготовляли із дотриманням В/Т, що забезпечувало досягнення розпливу конуса розчину на струшуючому столику не менше 80 мм та розтічності на віскозиметрі Суттарда не менше 120 мм.

У таблиці 4.13 наведено контрольні склади до та після механічної активації компонентів суміші.

Склад і властивості контрольних складів СБС

Склад суміші				Розмір ВП, мм	В/Т	Середня густина, кг/м ³	Міцність, вік 28 діб	
Ц	П	ВП	ЗВ				R _{ст.} , МПа	R _{зг.} , МПа
до механічної активації мінеральних компонентів суміші								
35	10	25	30	>0,14	0,351	1080	10,28	5,25
35	10	25	30	0,14-0,315	0,276	1080	11,77	6,01
35	10	25	30	0,315-0,63	0,28	1151	7,57	4,10
35	10	25	30	0,63-1,25	0,275	1033	7,41	3,86
35	10	10	30	1,25-2,5	0,29	1000	6,93	3,50
після механічної активації мінеральних компонентів суміші								
35	10	25	30	>0,14	0,367	770	12,91	6,95
35	10	25	30	0,14-0,315	0,260	988	13,74	7,40
35	10	25	30	0,315-0,63	0,263	900	8,05	6,58
35	10	25	30	0,63-1,25	0,276	813	7,57	6,22
35	10	10	30	1,25-2,5	0,316	830	6,93	5,70

Розроблені сухі суміші та їхні компоненти активізувались сухим методом шляхом спільного помолу та подальшого змішування усіх складових до етапу їхнього фасування в тару на технологічній заводській лінії. Для визначення оптимальних параметрів активації були досліджені такі режими (табл. 4.8) [189]:

- режим 0 – без механоактивації. Недолік – недостатня розтічність, усадка під час тверднення розчинової суміші, високе водотверде відношення, довший час приготування розчинової суміші, розтріскування, низька міцність затверділого розчину;

- режим 1 – роздільна механічна активація мінеральних складових суміші (роздільний помел золи-винесення, відсіву дроблення карбонатних порід, піску до отримання необхідної гранулометрії, дисперсності та питомої поверхні). Недолік – довготривалий процес (більше 90 хв) з додатковими енергетичними затратами, необхідністю додаткового обладнання, незначний ріст міцності та розтічності, більший час приготування розчинової суміші. Переваги отримання хімічно-активних заповнювача та наповнювача із відходів карбонатних порід та наповнювача із золи-

винесення ТЕС, мінеральних добавок із високопластичних глин, активація кварцового піску;

- режим 2 – роздільна механоактивація мінеральних складових суміші + активація цементу. Недолік – довготривалий процес (до 90 хв) з додатковими енергетичними затратами, необхідністю додаткового обладнання. Переваги – аналогічно режиму 1, спостерігається приріст міцності суміші;

- режим 3 – механічна активація спільним помелом мінеральних складових суміші з цементом. Переваги – скорочення часу активації (до 60 хв), отримання ефекту механоактивації. Нелюдики – недостатня розтічність для сумішей для підлог;

- режим 4 – активація спільним помелом (І етап) та змішуванням (ІІ етап) мінеральних складових суміші та функціональних добавок. Технологічна схема даного режиму активації СБС наведена у Розділі 5 на рис. 5.1, а властивості СБС, які активуються, наведені у таблицях 4.14-4.15. Для зменшення енергозатрат на механічну активацію компонентів СБС та досягнення ефекту механохімічної активації, технологічний процес активації автори починали з помелу впродовж 10-15 хв золи-винесення ТЕЦ, яка має негативний або інертний початковий заряд часток та вищу міцність, з поступовим додаванням карбонатних порід, частки яких мають позитивний заряд та деяку початкову хімічну активність та спільним їх помелом упродовж ще 10-15 хв.

Перед подальшою операцією активації відбувалось просіювання отриманої суміші для відбору мінерального наповнювача та розсіву карбонатного заповнювача на фракції різної гранулометрії. Також окремо відбувався помел 1/2 необхідної маси цементу із мінеральними наповнювачем (суміш золи-винесення і карбонатних порід) та органічними добавками (піноутворювач, полівінілацетатна добавка, рідке скло, ефіри целюлози, редиспергуючі полімерні порошки) впродовж 10-15 хв. Паралельно для підвищення хімічної активності відбувався спільний помел тривалістю 10-15 хв. іншої 1/2 частини цементного в'язучого (має негативний заряд часток) із інертним кварцовим піском (у сухому стані рівна доля часток із позитивним та негативним

зарядом). Далі здійснювався спільний домел усіх компонентів СБС упродовж ще 10-15 хв. В цей же час з метою для усунення комкування виконувалась механічна активація (тривалість 5-10 хв) сухої глини, яка має позитивний заряд часток. Час механічної активації залежить від міцності, твердості, крупності, необхідної гранулометрії та питомої поверхні мінеральної складової суміші.

Наступним II етапом є спільне активне змішування глини та попередньо приготовленим преміксом (тривалість до 5-20 хв) до однорідності. Кінцевим етапом виготовлення СБС є додавання (за необхідності) поліпропіленових волокон та ретельне повторне перемішування усієї суміші.

З рис. 4.11 видно, що, завдяки високій хімічній активності відсіву дроблення карбонатних порід (вапняків-черепашників) після механічної активації їх можна застосовувати в ролі заповнювача (крупність зерен 0,2-0,6 мм), наповнювача (крупність зерен 0,14-0,6 мм) та мікронаповнювача (крупність зерен менше 0,16 мм). Спільний механічний помел карбонатних порід із мінеральним мікронаповнювачем (включає золу-винесення та кварцовий пісок) дозволяє замінити до 50 % витрат цементу без втрати міцності. Завдяки деякій хімічній активності кварцового піску та його позитивному впливу на активацію цементу, його можна використовувати як заповнювач разом із карбонатним заповнювачем. Проте необхідно обмежувати вміст у СБС кварцового піску і глини, оскільки після змішування з водою ці мінеральні заповнювачі, як і аніонні піноутворювачі, змінюють заряд своїх часток на негативний, у той час як вапняк залишається із позитивним зарядом. Тому ефективно їх застосовувати, як частину мінеральної добавки до поризованих СБС, що отримується шляхом механохімічної активації. Активація спільним помелом мінеральних складових суміші разом із органічними та полімерними добавками є I етапом механоактивації СБС та дозволяє отримати суміш із розвинутою питомою поверхнею, що дозволяє знизити витрати цементу (див. табл. 4.14).

Таблиця 4.14

Основні властивості сухих сумішей, які активуються

Вид режиму активації	• режим 0	• режим 1	• режим 2	• режим 3	• режим 4
Загальний час активації СБС, хв	–	більше 90	75-90	40-60	40-85
Тип активації	–	роздільна	частково сумісна	частково сумісна	сумісна
Питома поверхня (см ² /г) мінеральних компонентів: - портландцемент; - зола-винесення; - відходи карбонатних порід; - кварцовий пісок	2850-3200 2000-3000 85,1 89,1	2850-3200 2771-3180 604 815	3260-3601 3180-3260 1275 1282	S _{пит.} = 3834-3951 см ² /г для активованої суміші	S _{пит.} = 4138-4705 см ² /г для активованої суміші
Витрата в'язучого*, %	50-55	45-50	35-45	25-40	20-37

*час активації визначено в умовах лабораторії на при наявному технічному оснащенні, може значно скоротитись в умовах заводської технологічної лінії

Повторне активне ретельне змішування сухої суміші отриманої спільним помелом її компонентів з іншими складовими та добавками є II етапом сухої механоактивації суміші. Оптимальний час активації суміші був виявлений після визначення міцності затверділих розчинів пористої структури, виготовлених на основі розроблених активованих СБС (див. табл. 4.15 та рис.4.12-4.13).

Таблиця 4.15

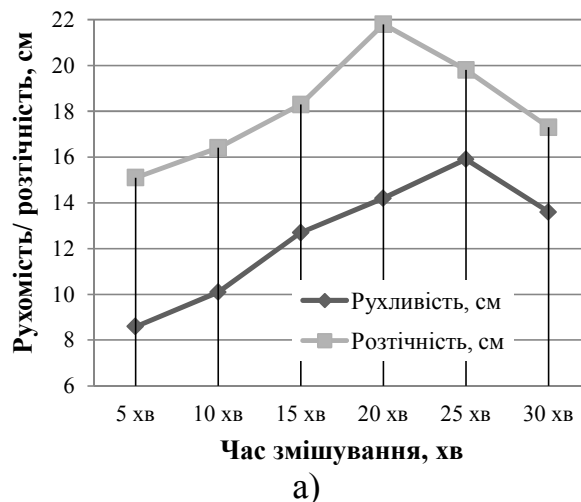
Властивості СБС у залежності від часу проведення II етапу їх механоактивізації

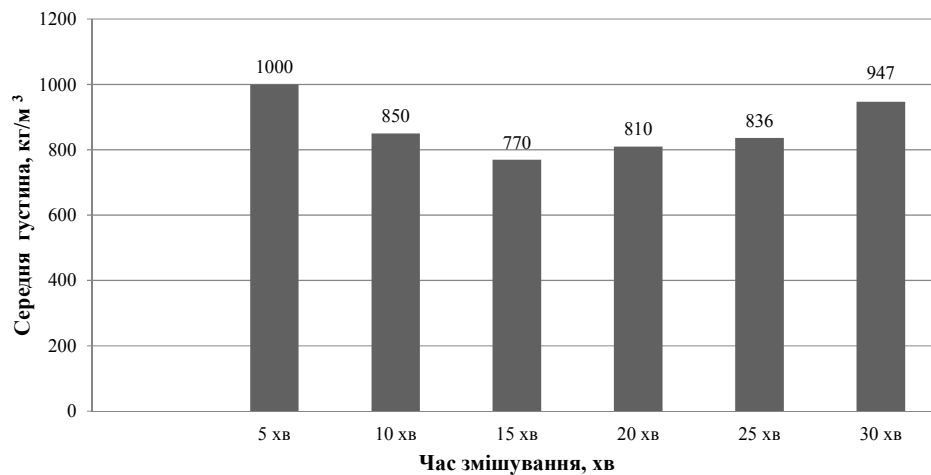
Час додаткового змішування СБС	Границя міцності на стиск, МПа, у віці			Середня густина, кг/м ³ , у віці 28 діб
	3 доби	14 діб	28 діб	
5 хв	2,17	3,83	5,34	1000
10 хв	4,14	9,45	12,08	850
15 хв	5,05	11,80	15,10	770
20 хв	5,73	12,75	16,30	810
25 хв	4,60	8,29	12,23	836
30 хв	3,68	5,40	9,20	947

З табл. 4.15 та рис. 4.14-4.15 видно, що оптимальні властивості міцності та середньої густини будуть за умови додаткового змішування суміші впродовж 15-20 хв. Збільшення часу змішування від 5 до 20 хв призведе до росту показників якості суміші, а від 20 до 30 хв – до падіння міцності та підвищення середньої густини.

Таким чином встановлено остаточний порядок механічної активації компонентів СБС сухим способом.

Дані, наведені на рис. 4.14-4.15 свідчать про те, що додаткова технологічна операція змішування усіх складових СБС після їх спільного помелу призводить також до певної механічної активації компонентів суміші. Проте збільшення питомої поверхні компонентів суміші та подальше руйнування їхньої структури призводить до протилежного ефекту – вивільнена надлишкова енергія та сильна електростатична взаємодія між частинками веде до більш щільного упакування суміші з сильним тяжінням часток одна до однієї. Така взаємодія ефективна у технології щільних розчинів, а для ніздрюватих – перешкоджає утворенню розвинутої дрібнопористої рівномірної структури. Також можливе налипання часток мінеральних компонентів, які мають протилежний заряд і які не змінюють заряд у водних розчинах через важкість розриву вже утворених зв'язків. Як наслідок може відбуватися подальший процес налипання часток глини і карбонатного наповнювача на інші компоненти суміші. Втрачається також хімічна активність кварцового піску. Це перешкоджає утворенню міцних стінок повітряних бульбашок та протіканню реакцій гідратації цементу, підвищує водопотребу суміші. Для запобігання цього явища необхідно витратити додаткову енергію під час наступного етапу – замішування сухої суміші з водою.





б)

Рисунок 4.15 – Залежність властивостей поризованого розчину від часу механоактивації складових СБС:

а) реологічні властивості; б) середня густина розчину

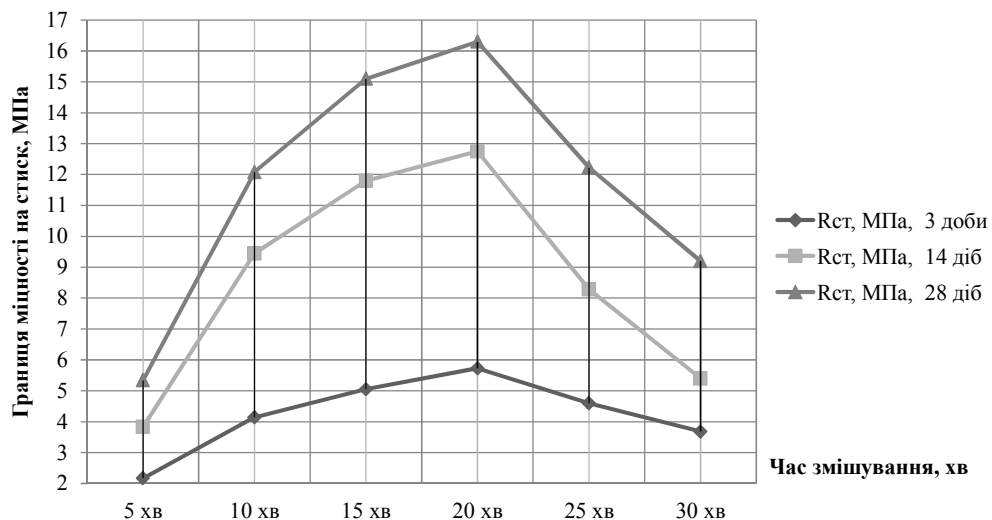


Рисунок 4.15 – Залежність міцності розчину від часу додаткового змішування складових СБС при їх механоактивації

Під час додавання до отриманої сухої суміші води та змішуванні за допомогою високошвидкісного міксеру чи розчинозмішувача отримувалась поризована розчинова суміш для формування дослідних зразків. В табл. 4.16-4.17 наведені характеристики та основні експериментальні дані для неармованих складів СБС.

Таблиця 4.16

Основні властивості розчинових сумішей, виготовлених із активованих СБС

Вид режиму активації	• режим 0	• режим 1	• режим 2	• режим 3	• режим 4
Час приготування розчинової суміші, хв	10-15	8-12	8-10	5-8	3-5
Рухливість/ Розтічність, см	до 8/10	8/13	10/16	14/18	16/21
Термін придатності, хв	120 і вище	90 і вище	80 і вище	60 і вище	45 і вище
В/Т відношення	0,37-0,42	0,33-0,38	0,28-0,37	0,24-0,35	0,21-0,32
Середня густина розчинової суміші, кг/м ³	1248	1231	1083-1238	1086	947-1042

Таблиця 4.17

Властивості затверділих розчинів, виготовлених на основі активованих СБС

Вид режиму активації	• режим 0	• режим 1	• режим 2	• режим 3	• режим 4
Усадка, мм/м	до 20	до 8-12	до 10	до 4-6	0-2
Границя міцності на стиск, через три доби, МПа	0,93	1,85	2,58	3,61	4,34-5,73
Границя міцності на стиск, через 28 діб, МПа	5,19	7,23	8,46-9,84	12,80	13,85-16,30
Границя міцності на розтяг, через 28 діб, МПа	3,37	4,70	5,49-8,01	8,31	9,88-12,07
Міцність зчеплення з бетонною основою після витримування в повітряно-сухих умовах, МПа	0,1-0,25	0,1-0,37	0,17-0,43	0,22-0,58	0,5-1,2
Середня густина затверділого розчину, кг/м ³	1085	1070	910-1040	890	770-847
Закрита пористість*, %	26	30	34	37	45
Коефіцієнт теплопровідності, λ^* , Вт/(м·°С)	0,453	0,444	0,361-0,429	0,351	0,289-0,329
Коефіцієнт розм'якшення*, k_p	0,81	0,82	0,86	0,88	0,91

*не нормуються [1]

З табл. 4.15-4.16 видно, що збільшення міцності відбувається як за рахунок зміцнення контактів між тонкодисперсними частками, так і за рахунок хімічної взаємодії між складовими суміші. Крім того, за рахунок спільного помелу мінеральної суміші із піноутворювачем та іншими органічними добавками молекули ПАР, адсорбуючись на поверхні мінеральних частинок, зменшують поверхневу енергію, при цьому відбувається часткове насичення вільних хімічних зав'язків на поверхні твердої фази, що перешкоджає злипанню [195]. Це дозволяє збільшити розтічність

розчинової суміші, отримати стабільну поризовану структуру без перевитрати в'язучого, зменшити В/Т та збільшити міцність після затвердіння. Покращення механічних властивостей сумішей пов'язано із закріпленням зародків новоутворень продуктів гідратації цементу на місці виходу дислокацій на поверхні кристалів механоактивованих напівпродуктів [192]. Подальше підвищення механічних характеристик полегшених СБС можливо здійснити за рахунок введення армуючих компонентів, наприклад поліпропіленової фібри. Отже, переваги даного режиму – отримання ефекту механоактивації, доведення параметрів СБС до необхідних для влаштування елементів (прошарків ПР1, ПР2) підлог цивільних будівель [1]. Недолік – збільшення часу активації.

4.4 Висновки до розділу 4

1. Встановлено, що введення в суху будівельну суміш вапнякового піску різної крупності впливає на фізико-механічні властивості затверділого поризованого розчину. Отриманні рівняння регресії дозволяють зробити такі висновки:

- найнижчу водопотребу за найвищої міцності мають суміші, в які додавався вапняковий пісок фракції 0,315-0,63 мм. Найбільший вплив на водопотребу суміші мають витрати кварцового піску та вапнякового піску фракцій 0,315-0,63 мм та 1,25-2,5 мм. Введення золи-винесення частково підвищує В/Т суміші;

- найнижща середня густина характерна також для складів з використанням вапнякового піску фракції 0,315-0,63 мм;

- різке падіння міцності відбувається під час використання вапнякового піску фракції 1,25-2,5 мм.

2. Встановлено, що ступінь подрібнення карбонатних порід більше впливає на фізичні властивості сумішей, наприклад, водопотребу та середню густину, ніж показники міцності. Міцність на стиск піддається більшим змінам значень за умови зміни гранулометрії карбонатних в'язучих, ніж міцність на згин. Оптимальні

значення міцності та густини будуть за умови використання вапнякового піску крупністю 0,14-0,315 мм, найнижче В/Т – для розміру зерен 0,315-0,63 мм.

3. Досліджено позитивний вплив полімерних добавок у вигляді поліпропіленової фібри, редиспергуючих порошоків та ефірів целюлози на властивості СБС. Наведені результати експериментальних досліджень свідчать про збільшення міцності розчинів з пористою структурою на 25-28%, рухомості на 23-37% без збільшення водопотреби суміші та зменшення середньої густини 7-16% за рахунок стабілізації властивостей піннодисперсної суміші полімерними добавками.

4. Встановлено, що спільна механічна активація сухим методом відходів дроблення карбонатних вапняків, золи-винесення ТЕС і портландцементу дозволяє прискорити процеси формування структури, призводить до підвищення міцності поризованих розчинів, виготовлених на основі розроблених СБС. Спільна механічна активація суміші ПЦ+ЗВ+КП із кварцовим піском, ПАР і полімерними добавками та подальше перемішування із високопластичною глиною дозволяє покращити реологічні та технологічні властивості поризованих розчинових сумішей.

Результатом теоретико-експериментальних досліджень з механічної активації цементних сумішей є отримання складів зі зниженою середньою густиною до 800 кг/м³, з високою реологічною активністю (розтічність – до 21 см, термін придатності – 45 хв і більше), міцністю до 15 МПа, покращеними тепло- та звукоізоляційними характеристиками, зниженою водопотребою, економією цементу та хімічних добавок.

Встановлено порядок механічної активації СБС спільним сухим помелом (І етап) та подальшим додатковим ретельним змішуванням (ІІ етап) мінеральних та органічних складових суміші. Після механічної активації мінеральних компонентів суміші можна отримати приріст міцності затверділого розчину за стиском на 8-25 % без додаткових затрат в'язучого та хімічних добавок.

Основні результати наукових досліджень, отриманих в даному розділі, опубліковано в [5], [8], [9], [11], [13], [16], [18], [23], [24], [25].

РОЗДІЛ 5

ВПРОВАДЖЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ І ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ

5.1 Рекомендації щодо виготовлення сухої будівельної суміші для елементів підлог цивільних будівель

Перед початком виготовлення сухих сумішей для отримання поризованих розчинів для стяжок і прошарків підлог цивільних будівель:

- обрати портландцемент типу ПЦ І марки 500, заповнювач – кварцовий пісок з модулем крупності 1,2, наповнювачі – вапняковий пісок фракцій 0,315-0,63 і 0,14-0,315 мм (або отримати помелом кусків породи і розсівом через набір стандартних сит) та зола-винесення ТЕС. Властивості цементу, заповнювачів, наповнювачів і води зачистки повинні відповідати вимогам ДСТУ Б В.2.7-126:2011 «Суміші будівельні сухі модифіковані. Загальні технічні умови»;

- підібрати оптимальний гранулометричний склад мінеральних наповнювачів та заповнювачів, за необхідності провести механоактивацію;

- вибрати комплекс добавок, що включають ПАР або піноутворювач, суперпластифікатор, ефіри целюлози, редиспергуємий порошок та за необхідності поліпропіленову фібру. За потреби можна використовувати порошки високопластичних глин для розчинів М4, М10, М25, М50, М75. Вищевказані добавки повинні відповідати вимогам відповідних нормативних документів. Суперпластифікатор і піноутворювача добавки повинні бути сумісні один з одним, тобто їх злиття не повинно викликати коагуляцію. У разі несумісності цих добавок необхідно передбачити їхнє роздільне введення у суміш. Піноутворюючі добавки мають бути сумісні з обраним видом цементу;

- провести поризацію суміші за допомогою змішувача із швидкістю обертання

валу 960-2600 об/хв;

- у лабораторних умовах підібрати склад розчинової суміші необхідної рухомості та розтічності за умови заданої марки міцності з врахуванням залежності властивостей суміші від співвідношення між в'язучим та мінеральним заповнювачем (наповнювачем);

- шляхом виготовлення пробних замісів визначити показники міцності зразків-балочок розміром $4 \times 4 \times 16$ см та зразків кубів розміром $7,07 \times 7,07 \times 7,07$ см або $10 \times 10 \times 10$ см поризованого розчину і визначити витрати цементу, функціональних добавок, заповнювача, наповнювача, піноутворюючої добавки та фібри за необхідності.

Технологія приготування сухої будівельної суміші являє собою послідовність таких операцій [142], [184]:

- висушування до вологості 0,5-2%;
- подрібнення карбонатних відходів до фракції 5-10 мм;
- піноутворювачі та інші добавки, які поставляються у рідкому стані, необхідно нанести на подрібнені відходи дроблення вапняку та разом висушити їх до сталої маси при температурі до 200 °С і подрібнити повторно до тонкодисперсного стану;
- подрібнення мінеральних компонентів суміші до необхідного розміру зерен лабораторним млином стираючої дії (бігуни або аналогічний);
- розсів мінеральних заповнювачів та наповнювачів по фракціях за допомогою наборів стандартних сит;
- механічна активація в'язучого та карбонатного заповнювача сухим методом;
- спільний помел компонентів суміші;
- спільний помел компонентів суміші із в'язучим;
- спільний помел компонентів суміші із в'язучим і добавками;
- ретельне змішування всіх сухих компонентів суміші;
- додавання (за необхідності) поліпропіленових волокон та ретельне повторне

перемішування до однорідності;

– фасування у тару та транспортування.

Технологічна схема виготовлення СБС, яка включає проведення механічної активації, наведена рис. 5.1.

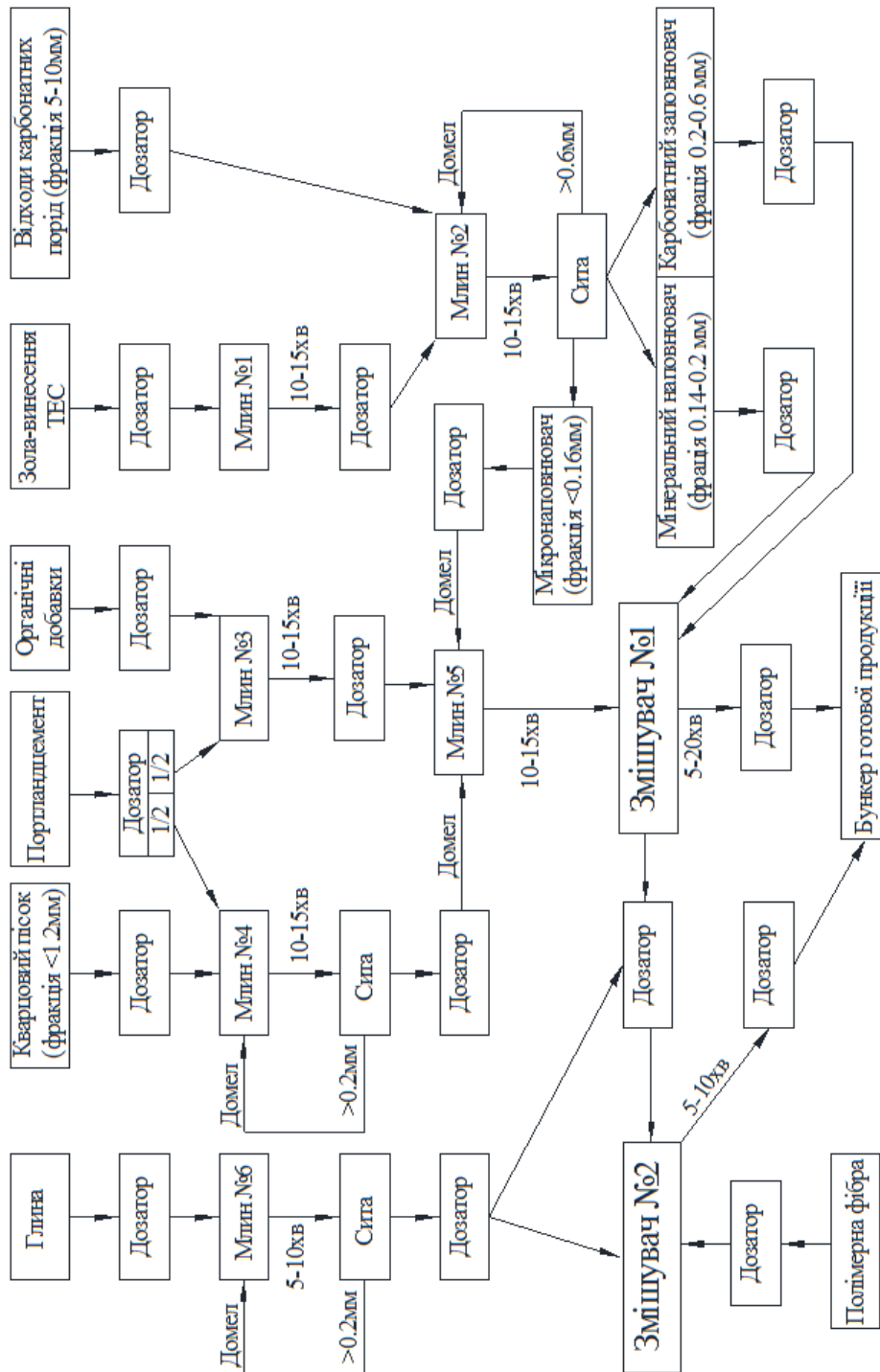


Рисунок 5.1 – Технологічна схема проведення механічної активації СБС

5.2 Дослідження ефективності сухої будівельної суміші щодо звукоізоляційних властивостей

Невід’ємною і важливою частиною проектування і зведення цивільних будівель є правильна конструкція підлог перших поверхів, міжповерхових перекриттів та перекриттів горищних поверхів. Крім великих теплових втрат, неправильно підібрані матеріали для влаштування елементів підлоги обтяжують конструкцію і прекрасно передають повітряні шуми та вібрації, порушуючи мікроклімат приміщення. При цьому зростають також витрати теплової енергії на опалення будівлі [197] – [199].

Під час влаштування елементів підлог цивільних будівель більшість забудовників сьогодні надає перевагу знайомим матеріалам із високою міцністю до 15-20 МПа або легким пінополімерним сумішам. Таким чином, втрачають або необхідні показники з тепло- та звукоізоляції, або отримують прошарок підлог і перекриттів низької міцності та з високими показниками розтріскування чи усадки, що знижує довговічність усієї конструкції і вимагає додаткових затрат на перевлаштування конструкції підлоги [194].

В ході теоретичних та практичних досліджень було отримано ефективні сухі будівельні суміші з використанням відходів промисловості [199], [200]. За умови їхньої поризації витрати в’язучого становлять 25-55 % від маси усіх сухих компонентів (для пінобетонів 40-80 %). Отримані результати пояснюються деякою залишковою хімічною та електричною активністю складових мінеральної суміші [201]. Склади СБС для поризованих розчинів наведені в табл. 5.1 [198].

Таблиця 5.1

Розроблені склади сухих будівельних сумішей та їх властивості*

Гранулометрія основного заповнювача, мм	В/Т	Середня густина розчину, кг/м ³	Міцність на стиск у віці 28 діб, МПа	Коефіцієнт теплопровідності, λ , Вт/(м \times °С)	Рухомість розчинової суміші, см
Розроблені склади					
До 0,14 мм	0,367	770	6,93	0,289	16,1
До 0,315 мм	0,260	988	13,74	0,402	8,7
До 0,63 мм	0,263	813	7,57	0,312	8,8
до 1,25 мм	0,276	900	8,05	0,356	12,3
До 2,5 мм	0,316	830	12,91	0,320	14,8
У межах 0,315-0,63 мм	0,325	1180	14,85	0,467	10,4
Відомі на ринку склади СБС на перлітовому заповнювачі (для порівняння)					
До 1,2 мм	0,33	350	0,45	0,09	8
До 1,2 мм	0,45	800	1,8	0,132	8

Закрита пористість є важливою характеристикою поризованих сумішей, оскільки саме завдяки закритим порам забезпечується тепло- та звукоізоляція матеріалу [201], [202]. Кількість закритих пор у розроблених сумішах складає від 54 % до 64 % від загальної пористості. Витрати цементу залежать від необхідної марки розчину і за умови їхнього обґрунтованого зменшення можуть становити 25 % від маси усіх сухих компонентів суміші. При цьому важливо зберігати співвідношення між карбонатним наповнювачем і в'язучим на рівні 0,5-0,8. Властивості розроблених складів СБС наведені у табл. 5.2.

Введення золи-винесення у суміші з карбонатними наповнювачами з розмірами зерен менше 0,14 мм і до 0,63 мм підвищує закриту пористість до 8% і міцність на стиск на 17%. В сумішах, де в ролі мінеральної добавки використовуються високопластичні глини, введення золи-винесення дозволило підвищити міцність в 2-2,6 рази. Оскільки підвищена пористість може призводити до зменшення водостійкості, було визначено коефіцієнт розм'якшення

поризованих розчинів, який підтвердив, що поризація відбувається за рахунок створення замкнутих пор.

Таблиця 5.2

Властивості розроблених складів СБС

Гранулометрія основного заповнювача, мм	Витрати цементу, %	Пористість, П, %	Закрита пористість, Пз, %	Коефіцієнт розмягчення, k_p	Міцність на стиск у віці 28 діб, МПа
До 0,14 мм	25-35	57,27	36,55	0,835	6,09
0,14-0,315 мм	35-55	57,83	33,67	0,830	10,28
0,315-0,63 мм	35-45	54,34	29,54	0,884	6,74
0,63-1,25 мм	35-50	59,05	34,85	0,860	7,41
1,25-2,5 мм	25-55	60,30	35,40	0,900	11,77

Оскільки отримані суміші характеризуються закритою рівномірною пористістю, це дозволяє використовувати їх як бар'єр для проникнення і поширення звукових хвиль та коливань або їх гасіння [201], [202]. В лабораторних умовах була проведена перевірка плитних зразків сухих сумішей різної товщини і середньої густини щодо дії шумів і вібрації [198]. В табл. 5.3 і на рис. 5.1. наведені результати досліджень звукоізолюючої властивості розроблених сухих сумішей за умови впливу двох джерел шуму різної інтенсивності і природи. Вимірювався рівень звуку та рівні звукового тиску в октавних смугах з середньгеометричними частотами 31,5; 63; 125; 250; 500; 1000; 2000; 4000; 8000 Гц за умов дії першого джерела шуму (ДШ1), другого джерела шуму (ДШ2) і спільної роботи цих двох джерел (ДШ1 + ДШ2). Для визначення ефективності розроблених СБС акустичні характеристики також визначалися під час роботи ДШ1 і / або ДШ2 з металевою і пінопластовою перешкодами.

Таблиця 5.3

**Результати випробувань поризованих розчинів, отриманих із СБС,
на акустичні впливи**

Джерело шуму	Рівні звукового тиску в дБ в октавних смугах з середньгеометричними частотами, Гц									Рівні звуку і еквівалентні рівні звуку в дБ (А)
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
ДШ1	84	81	90	68	62	60	53	48	42	73
ДШ2	66	75	82	71	68	66	65	69	68	74
ДШ1 чи ДШ2 з металевою перешкодою	70	76	82	60	50	40	27	20	15	65
ДШ1 чи ДШ2 з пінопластовою перешкодою	75	69	70	62	50	45	37	22	15	56
ДШ1 чи ДШ2 з металевою і пінопластовою перешкодою	68	70	78	59	49	38	17	11	11	60
Звукоізолювальна спроможність перешкоди	14	5	8	8	12	20	26	28	29	8
	9	12	20	6	12	15	16	26	27	17
ДШ1 з пінопластовою перешкодою	72	73	80	62	51	48	41	22	13	62
ДШ2 з пінопластовою перешкодою	62	67	69	59	58	51	43	30	23	58
ДШ1+ДШ2 з пінопластовою перешкодою	72	76	81	62	59	52	44	31	22	64
ДШ1 з плитним зразком із СБС	81	78	84	62	58	51	39	26	20	67
ДШ2 з плитним зразком із СБС	62	72	73	63	62	54	45	40	42	61
ДШ1+ДШ2 з плитним зразком із СБС	82	78	85	64	62	55	47	41	42	68
Звукоізолювальна спроможність перешкоди із СБС $\rho_m=1150 \text{ кг/м}^3$	16	16	17	14	13	12	10	6	4	15
Те ж при $\rho_m=980 \text{ кг/м}^3$	24	25	25	24	24	23	21	16	12	24
Те ж при $\rho_m=860 \text{ кг/м}^3$	36	36	37	34	34	33	32	25	18	35
Нормовані допустимі рівні звукового тиску і еквівалентні рівні звуку	86	71	61	54	49	45	42	40	38	50
Звукоізолювальна спроможність стяжки із тепло-ізоляційного розчину «Тепловер» $\rho_m < 450 \text{ кг/м}^3$ (для поорівняння)	14-18									16

Так, без перешкоди допустимим для роботи буде рівень шуму у 84 дБ з частотою 31,5 Гц, інші – неприпустимі. З металевою перешкодою допустимими будуть всі рівні шуму крім тих, що мають частоти від 63 до 500 Гц. З пінопластовою перегородкою допустимими для нормальної роботи будуть всі рівні шуму крім тих, що мають частоти 250 Гц, аналогічно при поєднанні перешкод.

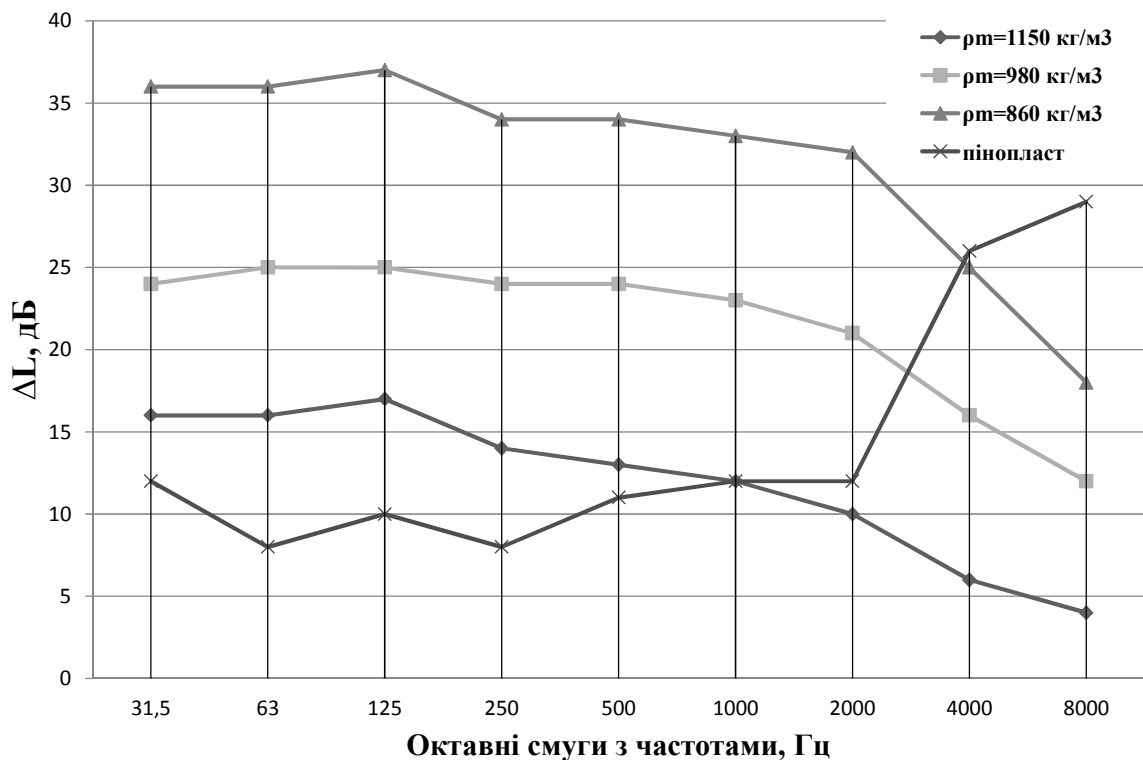


Рисунок 5.2 – Залежність звукоізолюючої спроможності СБС від зміни середньої густини

Таким чином, з рис. 5.2 видно, що звукоізоляційна здатність розроблених СБС прогнозовано підвищується з пониженням їх середньої густини і підвищенням пористості. Якщо порівнювати з показниками для плит з пінопласту, то розроблені суміші ефективніше у всіх діапазонах низько- і середньочастотних шумів (шум сусідів, труб в стінах, шум дороги і т.п.) до 2000-4000 Гц. Дані стосуються поризованих розчинів товщиною шару 30 мм.

5.3 Розрахунок економічної ефективності

Основні техніко-економічні показники матеріалу:

1. В результаті експериментальних досліджень отримані суміші з границею міцності на стиск 13,85-16,3 МПа із середньою густиною 770-847 кг/м³. Отримані суміші можуть використовуватись, як конструкційно-теплоізоляційний матеріал для влаштування стяжок СТ1 і прошарків ПР1 підлог цивільних будівель, виготовлений на базі місцевих сировинних ресурсів та відходів промисловості.

2. На основі сухих будівельних сумішей можуть виготовлятися дрібноштучні плитні вироби товщиною 3, 5, 10 см, розмірами 300×300 мм з міцністю на стиск 6,09-10,4 МПа із об'ємною вагою 860-1150 кг/м³ для влаштування звукоізоляційних прошарків підлог. Виробництво поризованих розчинів потребує менших витрат сировини і в'язучого, їхнє застосування дає змогу знизити матеріаломісткість огорожувальних конструкцій на 20-30 %, скоротити транспортні витрати і навантаження на фундамент.

3. Розроблена технологія передбачає виробництво сухих будівельних сумішей із використанням більш ніж 50 % відходів промисловості (відходи каменерізання карбонатних порід, зола-винос ТЕС, дрібні піски, піски з підвищеним вмістом глинистих часток, некондиційні глини), що дає змогу забезпечити виробництво джерелом дешевої та вже підготовленої сировини, зекономити капіталовкладення, призначені для будівництва підприємств з видобування та переробки мінеральної сировини, звільнити значні площі земельних угідь та знизити ступінь забруднення навколишнього середовища.

4. Розроблена технологія виготовлення сухих будівельних сумішей дає змогу впровадження їхнього виробництва на існуючих заводах із залученням мінімальних капіталовкладень, не потребує суттєвого збільшення витрати енергоносіїв. Впровадження цієї технології на будівельному майданчику дозволить скоротити витрату матеріалів та покращити якість влаштування стяжок та

прошарків підлог. Це дозволяє зробити висновок про необхідність впровадження у виробництво та використання сухих будівельних сумішей в ролі матеріалу для підлог.

5. Впровадження розроблених складів СБС за запропонованою технологією відбувалось шляхом випуску дослідних партій сумішей (табл. 5.4) на існуючій лінії підприємства ТОВ "ІЗОТЕРМ-С" з перевіркою їх якості (табл. 5.5-5.6) (Додаток В).

Таблиця 5.4

Склади сумішей для випуску дослідно-промислових партій

Найменування матеріалу	Вміст компонентів					
	I	II	III	IV	V	VI
ПЦ І-500, мас. ч	20	30	37	20	30	37
Пісок кварцовий, мас. ч.	17	15	10	17	15	10
Пісок вапняковий, мас. ч.	33	30	31	35,5	32,5	30,8
Зола-винесення, мас. ч.	30	25	22	12,5	15,5	17,5
Глина високопластична, мас. ч.	-	-	-	15	7	4,7
*Піноутворювач сухий, мас. ч.	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6
*Редиспергований порошок, мас. ч.	4	4	4	4	4	4
*Ефір целюлози, мас. ч.	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
Фібра поліпропіленова 2 мм, кг/1 т	-	-	-	0,2	0,2	0,2
Фібра поліпропіленова 4 мм, кг/1 т	0,3	0,3	0,3	-	-	-
*Суперпластифікатор, мас. ч.	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2

* мас. ч. від витрат ПЦ

Таблиця 5.5

Результати дослідно-промислових випробувань розчинових сумішей

Характеристики	Номер складу					
	I	II	III	IV	V	VI
Час приготування розчинової суміші, хв	5	5	5	5	5	5
Розтічність, см	-	-	-	18	20,8	21,6
Рухомість, см	10,1	12,4	14,2	-	-	-
Термін придатності, хв, не менше	65	50	45	60	50	45
*В/Т відношення	0,21	0,25	0,28	0,23	0,27	0,32
*Середня густина розчинової суміші, кг/м ³	995	1042	1086	947	1016	1047

Таблиця 5.6

Результати дослідно-промислових випробувань затверділих розчинів

Характеристики	Номер складу					
	I	II	III	IV	V	VI
Усадка, мм/м	2	2	2	2	2	2
Границя міцності на стиск, через три доби, МПа	3,27	4,34	5,73	2,92	3,86	5,10
Границя міцності на стиск, через 28 діб, МПа	12,85	14,55	16,30	11,32	13,83	15,07
Границя міцності на розтяг, через 28 діб, МПа	8,31	9,10	10,98	7,13	8,16	9,73
Міцність зчеплення з бетонною основою після витримування в повітряно-сухих умовах, МПа	0,70	0,82	1,18	0,58	0,65	0,73
*Середня густина затверділого розчину, кг/м ³	810	847	890	770	853	897

* не нормується ДСТУ Б В.2.7-126:2011

Апробовані склади сумішей були впроваджені у виробництво на підприємстві ФОП «Хмара» шляхом випуску партій СБС для влаштування прошарку ПР1 підлоги з покращеною звукоізоляційною здатністю та вирівнюючої стяжки СТ1, які були використані за призначенням при будівництві житлового багатоповерхового будинку у м. Києві.

Склад 1 т сухої суміші для виготовлення поризованого розчину для стяжки групи СТ1: цемент М500 – 370 кг; пісок кварцовий з $M_k = 1,2 - 50$ кг, $M_k = 0,315 - 50$ кг; зола-винесення Ладижинської ТЕС – 220 кг; відходи каменерізання вапняку з $M_k < 0,14 - 3,2$ кг, фракції 0,315-0,63 мм – 123,2 кг, фракції 0,63-1,25 мм – 103,6 кг; піноутворювач UNICELL (або LORI, або аналогічний) – 1,6 % (5,92 кг 25 % концентрації); редиспергований порошок ElotexFX2320 – 4 % (14,8 кг); ефір целюлози Vermocolл САА – 0,3 % (1,11 кг); суперпластифікатор SikaMixPlus (або аналогічний) – 0,2 % (0,74 кг); фібра поліпропіленова MicroArm довжиною 4 мм – 0,3 кг. Вартість 2693 грн. 42 коп.

Склад 1 т сухої суміші для виготовлення поризованого розчину для прошарку групи ПР1: цемент М500 – 370 кг; пісок кварцовий – з $M_k = 0,63 - 45$ кг,

$M_k = 0,315$ – 55 кг; зола-винесення Ладжинської ТЕС – 175 кг; відходи каменерізання вапняку з $M_k < 0,14$ – 117 кг, фракції 0,14-0,315 мм – 77 кг, фракції 0,315-0,63 – 114 кг; глина високопластична – 47 кг; піноутворювач UNICELL (або LORI, або аналогічний) – 1,6 % (5,92 кг 25 % концентрації); редиспергований порошок ElotexFX2320 – 4 % (14,8 кг); ефір целюлози Vermocoll САА – 0,3 % (1,11 кг); суперпластифікатор – 0,2 % (0,74 кг); фібра поліпропіленова MicroArm довжиною 2 мм – 0,2 кг. Вартість 2665 грн. 77 коп.

6. Розрахунок порівняльної вартості суміші наведено у таблиці 5.7.

Таблиця 5.7

Розрахунок собівартості розроблених сумішей М150, $\rho_m=900$ кг/м³

№ п/п	Компоненти	Вартість 1 кг, грн.	Витрата, кг		Вартість, грн.		Аналогічна перлітова суміш для стяжок	
			СТ1	ПР1			Витрата, кг	Вартість, грн.
1	Портландцемент, М500	2,79	370		1032,30		300	837,0
2	Пісок кварцовий	0,15	100		15,0		300	45,0
3	Зола-виносу ТЕС	0,67	220	175	147,4	117,25	–	
4	Відходи каменерізання вапняку	0,25	310	308	77,5	77,0	–	
5	Глина високопластична	0,15	–	47	7,05		–	
6	Сухий піноутворювач «LORI»	240	0,541		129,84		0,1	24,0
7	Редиспергований порошок	70	14,8		1036,00		–	
8	Ефір целюлози Vermocoll САА	150	1,11		166,5		–	
9	Суперпластифікатор	72,15	0,74		56,33		–	
10	Фібра	85	0,3	0,2	25,5	17,0	0,9	76,5
11	Перліт 100 кг		–		–		100	1370
12	Загальна маса	–	1017,5	1017,4	2694	2667	701	2352,5
Ціна за тону СТ1/ПР1			2647,1/2647,36				1000	3355,92
Ціна аналогових сумішей ТЕПЛОВЕР / Ceresit 25 кг							159,86-700,94	

Загальна вартість виробництва 1 т суміші – 5746,371 грн. (25 кг – 146,66 грн.) Економічний ефект становить 247,84-569,20 грн. на 1 т сухої суміші з мінеральними добавками у порівнянні з сумішами без них.

Загальний економічний ефект від впровадження розробки складає 123 грн. 80

коп. – 865 грн. 26 коп. (залежно від марки суміші) на 1 т. сухої суміші з активованими мінеральними наповнювачами із відходів промисловості у порівнянні із сумішами на штучних пористих заповнювачах. Крім того відбувається економія за рахунок звукоізолюючих та покращених теплозберігаючих властивостей розроблених СБС у порівнянні із звичайними важкими розчинами та за рахунок збільшення терміну служби підлог у порівнянні із сумішами на легких заповнювачах, що дозволяє економити на конструкціях підлог житлових будівель та на експлуатаційних витратах.

Результати досліджень використовуються у навчальному процесі ВНТУ при підготовки бакалаврів за спеціальністю 192 – «Будівництво та цивільна інженерія».

5.4 Висновки до розділу 5

1. Розроблено технологію виробництва сухих будівельних сумішей на основі комплексної механічної активації карбонатних відходів каменерізання вапняків, золи-винесення ТЕС, кварцового піску та цементу, що дозволяє отримати матеріал зі зниженою витратою портландцементу.

2. Проведено дослідно-промислове дослідження технологічного процесу виготовлення сухої будівельної суміші і доведено, що по розробленій технології можна отримати поризований розчин М 150, що відповідає вимогам ДСТУ Б В.2.7-126:2011 щодо елементів підлог цивільних будівель: стяжок СТ1 та прошарків ПР1.

3. Виконано розрахунок ефективності виробництва сухої будівельної суміші з використанням карбонатних відходів і золи-винесення. В результаті створення дослідно-промислового виробництва сухої будівельної суміші потужністю 5000 т на рік на основі комплексної механоактивації складових економічний ефект складає 619 тис. грн. на рік, також можна очікувати скорочення економічних збитків, що наносяться навколишньому середовищу.

Основні результати наукових досліджень, отриманих в даному розділі, опубліковано в [14], [15], [19] – [21].

ВИСНОВКИ

У результаті виконання дисертаційної роботи було вирішено науково-практичну задачу – теоретично обґрунтовано та експериментально підтверджено можливість виконання направленої поризації сумішей та механоактивації її компонентів для зниження середньої густини, підвищення реологічних, механічних та звукоізоляційних властивостей сухих будівельних сумішей для елементів підлог цивільних будівель.

1. Визначено, що застосування традиційних сухих будівельних сумішей для виготовлення поризованих розчинів не забезпечує поєднання їх високої експлуатаційної міцності (15...25 МПа) з підвищеною звукоізоляційною здатністю. Створення таких розчинів можливо при використанні СБС з активованими наповнювачами у поєднанні з пінно-дисперсною системою.

2. Встановлено, що введення поверхнево-активних речовин сумісно з мінеральними наповнювачами з позитивним поверхневим зарядом своїх часток (високопластичні глини, вапняки) у кількості до 15 % підвищує стійкість піну у 2-2,2 рази порівняно з контролем. Наявність таких піно-дисперсних систем забезпечує одержання пористого розчину з середньою густиною від 860 до 1210 кг/м³ та міцністю при стиску 1,54...8,87 МПа (залежно від витрат цементу і гранулометрії мінеральних наповнювачів).

3. Визначено, що при введенні у суміш 37 % в'язучого, наповнювачів – кварцового піску у кількості 10 %, вапнякового піску фракції 0,14-0,315 мм у кількості 20 %, золи-винесення у межах 17,5 %, а у ролі заповнювача – 15,5 % вапнякового піску з $M_k > 1,2$ мм знижуються водопотреба суміші до 0,15-0,22 та середня густина поризованих розчинів до 900 кг/м³, міцність при стиску через 28 діб зростає до 4...9 МПа. Виявлено, що на фізико-механічні властивості поризованого розчину із СБС чинить вплив співвідношення витрат цементу до

витрат заповнювача: при $\rho/3 = 0,4-1$ середня густина знижується до 800...900 кг/м^3 , міцність при стиску зростає до 6...10 МПа.

4. Експериментально обґрунтовано введення до складу суміші модифікуючих добавок: суперпластифікатор – 0,2 % від маси ПЦ, ефір целюлози – 0,3% від ПЦ, редиспергуючий порошок – 4 % від ПЦ, фібра поліпропіленова довжиною 4 мм – 0,3 кг, карбонатні добавки із вапняків фракції 0,315-0,63 мм – 30,8 % від маси сухих компонентів суміші та зола-винесення – 15 %. Використання СБС при наявності даних добавок для отримання поризованого розчину дозволило відрегулювати і оптимізувати його властивості у напрямку підвищення рухомості на 37% без збільшення водопотреби, зменшення середньої густини на 16%, збільшення міцності поризованих розчинів при стиску на 28%, при згині – на 32%, закритої пористості – на 15%.

5. Виявлено позитивний вплив спільної механічної активації компонентів СБС на реологічні та фізико-механічні властивості поризованих розчинів. Спільна багатоступенева механічна активація мінеральних компонентів суміші з ПАР, полімерними добавками та фіброю дозволила розробити склади стяжок і прошарків підлог із зниженою середньою густиною до 800-900 кг/м^3 , які за своїми властивостями відповідають групі СТ1 та ПР1 згідно чинного державного стандарту ДСТУ Б В.2.7-126:2011.

6. Експериментально встановлено, що звукоізолювальна спроможність перешкоди, виготовленої із розроблених поризованих розчинів, в 2,2 рази вище аналогічних пористих матеріалів. Це дозволяє зменшити товщину звукоізоляційного прошарку підлог у середньому на 40-54 %.

7. Розроблено та впроваджено технологію отримання сухої будівельної суміші для отримання поризованих розчинів, де враховані додаткові операції механічної активації компонентів. Залучення даної технології при випуску звукоізоляційної суміші дозволило досягти економічного ефекту у розмірі 123,8...249,65 грн. на 1 т сухої суміші М150. Економічний ефект дослідно-

промислових випробувань розробленої суміші на будівництві житлового багатоповерхового будинку у м. Києві при влаштуванні звукоізоляційного прошарку міжповерхового перекриття товщиною 50 мм в порівнянні із базовою сумішшю на легких заповнювачах становить 19,27 грн./1 м².

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] ДСТУ Б В.2.7-126:2011. *Суміші будівельні сухі модифіковані. Загальні технічні умови*. [Чинний від 2011-06-01]. Вид. офіц. К.: Міністерство регіонального розвитку та будівництва України, 2011. 42 с.

[2] А. Рудаковский, и И. Олейник, «Сухие строительные смеси. Состояние и некоторые тенденции развития украинского рынка», *Строительные материалы*, № 3, с. 17-20, 2001.

[3] В. В. Смачило, В. В. Блажко, та В. Ю. Халіна, «Стратегічні аспекти ціноутворення на ринку сухих будівельних сумішей в Україні», *Стратегія економічного розвитку України*, № 38, с. 51-64, 2016.

[4] В. П. Очеретний, та А. В. Бондар, «Перспективи виробництва і використання поризованих сухих будівельних сумішей», *Науково-технічний збірник «Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві»*, № 2, с. 36-39, 2011.

[5] І. Салій, «Ринок будівельних матеріалів України: глобалізація і євроінтеграція». [Електронний ресурс]. Доступно: <https://gazobeton.org/uk/node/633>. Дата звернення: Травень 05, 2019.

[6] Офіційний сайт Української лабораторії будівельних матеріалів, *Новости международной конференции для производителей сухих строительных смесей Будмикс 2016*. [Електронний ресурс]. Доступно: <https://ulbm.in.ua/ua/news/64-v-kieve-proshla-mezhdunarodnaya-konferentsiya-dlya-proizvoditelej-sukhikh-stroitelnykh-smesej-budmiks-2016>. Дата звернення: Жовтень 03, 2017.

[7] «Обзор украинского рынка сухих строительных смесей», *Интернет-журнал «Строительство и Реконструкция»*, № 9, 2009. [Электронный ресурс]. Доступно: <http://stroj-ua.net>. Дата звернення: Лютий 02, 2019.

[8] В. Б. Коваль, «Прогноз тенденцій ринку будівельних матеріалів для внутрішнього облаштування в 2012 році», на *Міжнародній науковопрактичній конференції «Сухе будівництво: товарознавчі аспекти розвитку галузі»*, Київ, 2012, с. 162-165.

[9] А. И. Кудяков, и А. М. Даминава, «Смеси сухие растворные цементные с микрогранулированной воздухововлекающей добавкой», *Строительные материалы*, № 1, с. 52-53, 2010.

[10] Офіційний сайт компанії «ТЕПЛОВЕР». [Електронний ресурс]. Доступно: <https://ru.teplover.ua/>. Дата звернення: Лютий 02, 2019.

[11] А. В. Бондар, «Технологічні аспекти виготовлення поризованих складів сухих будівельних сумішей», *Науково-технічний збірник «Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві»*, № 1, с. 24-27, 2013.

[12] А. В. Бондар, «Модифікація мінеральних сухих будівельних сумішей полімерними добавками», на *XLVII Науково-технічній конференції факультету будівництва, теплоенергетики та газопостачання (2018)*. [Електронний ресурс]. Доступно: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fbtegp/all-fbtegp-2018/paper/view/5252>. Дата звернення: Лютий 02, 2019.

[13] В. П. Ковальський, М. С. Лемешев, В. П. Очеретний, та А. В. Бондар, «Обгрунтування доцільності використання золошламового в'язучого для приготування сухих будівельних сумішей», *Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди*, Вип. 26, с. 186-193, 2013.

[14] В. П. Очеретний, В. П. Ковальський, та А. В. Бондар, «Використання відходів вапняку та промислових відходів у виробництві сухих будівельних сумішей», *Науково-технічний збірник «Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві»*, № 1, с. 36-40, 2009.

[15] Л. Й. Дворкін, В. В. Житковський, В. В. Марчук, Ю. О. Степасюк, та М. М. Скрипник, *Ефективні технології бетонів із застосуванням техногенної сировини: монографія*. Рівне, Україна: НУВГП, 2017.

[16] Л. И. Дворкин, В. В. Житковский, и В. В. Марчук, *Сухие строительные смеси с применение дисперсных отходов промышленности: монография*. Москва, РФ: Инфра-Инженерия, 2019.

[17] ДБН В.2.6-22-2001. *Улаштування покриттів із застосуванням сухих будівельних сумішей*. [Чинний від 01-01-2002]. Вид. офіц. К: Державний комітет будівництва, архітектури і житлової політики України, 2001. 50 с.

[18] Р. Фере, *Технология строительных вяжущих материалов*. СПб., 1969.

[19] Ю. М. Баженов, В. Ф. Коровяков, и Г. А. Денисов, *Технология сухих строительных смесей: Учебное пособие*. Москва, РФ: Издательство АСВ, 2003.

[20] Е. К. Карапузов, Г. Лутц, и Х. Герольд, *Сухие строительные смеси: Справочное пособие*. Киев, Украина: Техніка, 2000.

[21] Є. К. Карапузов, В. Г. Соха, та Т. Е. Остапченко, *Матеріали і технології в сучасному будівництві: Підручник*. Київ, Україна: Вища освіта, 2005.

[22] В. И. Корнеев, и П. В. Зозуля, *Словарь «Что» есть «что» в сухих строительных смесях: Терминологический словарь*. СПб., РФ: НП «Союз производителей сухих строительных смесей», 2004.

[23] Ю. В. Никифоров, «Цементы для производства сухих строительных смесей», на *Конференции Baltimix-2002*, Москва, 2002. [Электронный ресурс]. Доступно: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fbtegp/all-fbtegp-2018/paper/view/5252>. Дата звернення: Вересень 19, 2010.

[24] Р. Ф. Рунова, и Ю. Л. Носовский, «Особенности применения минеральных вяжущих в сухих строительных смесях», на *2-й международной конференции «Современные технологии сухих строительных смесей в строительстве»*, С.-Петербург, 2000, с. 16-27.

[25] Р. Ф. Рунова, та Ю. Л. Носовский, *Технологія модифікованих будівельних розчинів*. Київ, Україна: КНУБА, 2007.

[26] В. І. Гоц, *Бетони і будівельні розчини*. Київ, Україна: КНУБА, 2003.

[27] К. К. Пушкарьова, «Ресурсозберігаючі мінеральні в'язучі речовини і високоефективні композиційні матеріали на основі паливних зол і шлаків», *Збірник наукових праць УкрДАЗТ*, Вип. 138, с. 19-26, 2013.

[28] Р. Ф. Рунова, Л. Й. Дворкін, О. Л. Дворкін, та Ю. Л. Носовський, *В'язучі речовини: Підручник*. Київ, Україна: Основа, 2012.

[29] Р. Ф. Рунова, *Сухие строительные смеси модифицированные*. Киев, Украина: Будивельник, 2004.

[30] М. А. Саницький, О. Р. Позняк, В. М. Мельник, та О. Т. Мазурак, «Багатокомпонентні цементи для виготовлення ніздрюватого бетону», *Вісн. Придніпр. держ. акад. буд-ва та архіт*, № 3-5, с. 125-128, 2002.

[31] Л. Й. Дворкін, О. М. Бордюженко, та О. Л. Дворкін «Загальний аналітичний метод розрахунку складів конструктивних легких бетонів», *Вісник РДТУ*, Випуск 3(10), с.105-110, 2001.

[32] Л. И. Дворкин, и О. Л. Дворкин, *Проектирование составов бетона с заданными свойствами*. Ровно, Украина: РГТУ, 1999.

[33] П. В. Зозуля, «Оптимизация гранулометрического состава и свойств заполнителей и наполнителей для сухих строительных смесей» на *3-й Международной конференции «Сухие строительные смеси для XXI века: Технологии и бизнес»*, Санкт-Петербург, 2003, с. 12–13.

[34] С. А. Дергунов, и В. Н. Рубцова, «Эффективность использования наполнителей в составе сухих строительных смесей», *Вестник БГТУ имени В. Г. Шухова*, № 10, с. 74-77, 2005.

[35] С. А. Дергунов, и В. Н. Рубцова, «Проектирование составов сухих строительных смесей», *Известия вузов. Строительство*, № 11-12. с. 34-36, 2005.

[36] М. С. Макаревич, «Сухие строительные смеси для штукатурных работ с тонкодисперсными минеральными добавками», автореф. дис. канд. наук., Томский гос. архитектурно-строительный ун-т, Томск, РФ, 2005.

[37] В. В. Троян, «Сухі суміші та розчини на їх основі для влаштування підлог промислових будівель», автореф. дис. канд. наук., Київський нац. ун-т будівництва і архітектури, Київ, 2007.

[38] С. В. Дружинкин, «Сухие строительные смеси на основе цеолитсодержащих пород», автореф. дис. канд. наук., ФГОУ ВПО «Сибирский федеральный ун-т», Красноярск, 2010.

[39] Б. М. Аубакирова, «Технология и свойства эффективных модифицированных сухих строительных смесей», автореф. дис. канд. наук., Научно-исследовательский и проектный институт строительных материалов ТОО «НИИСТРОМПРОЕКТ», Алматы, Республика Казахстан, 2010.

[40] М. А. Смирнов, «Сухие общестроительные смеси с улучшенными эксплуатационными свойствами», дис. канд. наук., Тверской гос. технический ун-т, Тверь, РФ, 2006.

[41] Р. Ю. Пучков, «Сухие смеси для отделки стен зданий», дис. канд. наук., Пензенский гос. ун-т архитектуры и строительства, Пенза, РФ, 2005.

[42] Л. Й. Дворкін, та О. Л. Дворкін, *Бетони і будівельні розчини: Підручник*. Київ, Україна: Основа, 2008.

[43] С. В. Коваль, «Розвиток наукових основ модифікування бетонів поліфункціональними добавками», автореф. дис. д-ра наук., ОДАБА, Одеса, Україна 2005.

[44] А. В. Ушеров-Маршак, и М. Циак «Совместимость цементов с химическими и минеральными добавками», *Цемент*, № 6, с. 6-8, 2002.

[45] М. Циак, «Термокинетические особенности гидратации цемента при поэтапном введении добавок в бетонную смесь», *Вісник Донбаської національної академії будівництва і архітектури*, № 4, с. 34-38, 2009.

[46] Г. О. Подкорытова, «Модифицированные строительные сухие смеси», автореф. дис. канд. наук., Вост.-Сиб. гос. технол. ун-т., Улад-Удэ, РФ, 2000.

[47] А. И. Бондаренко, «Сухие строительные смеси для самовыравнивающихся полов на основе композиционного вяжущего», автореф. дис. канд. наук., Белгород. гос. технол. ун-т им. В.Г. Шухова, Белгород, РФ, 2012.

[48] А. В. Налимова, «Полимерцементные композиции с компенсированной усадкой для наливных полов», автореф. дис. канд. наук., Ростовский гос. строительный ун-т, Ростов-на-Дону, РФ, 2006.

[49] Т. І. Піщева, «Оптимізація реологічних та експлуатаційних властивостей спеціальних штукатурних розчинів із сухих сумішей», автореф. дис. канд. наук, ОДАБА, Одеса, Україна, 2002.

[50] І. М. Риженко, «Ефективні цементно-золяні сухі будівельні суміші для мурувальних розчинів», дис. канд. наук, Нац. ун-т водного госп-ва та природокорист, Рівне, Україна, 2009.

[51] Э. Р. Акжигитова, «Сухие строительные смеси с применением добавок на основе смешанослойных глин», автореф. дис. канд. наук, ФГБОУ ВПО «Пензенский гос. ун-т архитектуры и строительства», Пенза, РФ, 2013.

[52] Т. С. Химич, «Модифицированная добавка бентонитовой глины для штукатурных растворов на основе портландцемента», дис. канд. наук., ГОУ Сибирская государственная автомобильно-дорожная академия, Омск, РФ, 2006.

[53] ДСТУ Б В.2.7-171:2008. *Будівельні матеріали. Добавки для бетонів і будівельних розчинів. Загальні технічні умови.* [Чинний від 2009-01-01]. Вид. офіц. К.: Мінрегіонбуд України, 2010. 93 с.

[54] В. А. Вознесенский, В. М. Выровой, и В. Я. Керш, *Современные методы оптимизации композиционных материалов.* Киев, Украина: Будівельник, 1983.

[55] В. А. Вознесенский, *Статистические методы планирования эксперимента в технико-экономических исследованиях.* Москва: Финансы и статистика, 1981.

[56] В. А. Вознесенский, Т. В. Ляшенко, и Б. Л. Огарков, *Численные методы решения строительно-технологических задач на ЭВМ*. Киев, Украина: Вища школа, 1989.

[57] О. Л. Дворкин, и Л. И. Дворкин, *Проектирование составов бетона (основы теории и методологии): Монография*. Ровно, Украина: УДУВГП, 2003.

[58] Л. Й. Дворкін, О. Л. Дворкін та В. В. Житковський, *Розв'язування будівельно-технологічних задач методами математичного планування експерименту*. Рівне, Україна: НУВГП, 2011.

[59] К. К. Пушкарьова, *Принципи композиційної побудови та властивості розчинів як композиційних матеріалів. сухі суміші різного призначення, особливості проектування їх складу, технологія виробництва*. Київ, Україна: КНУБА, 2001.

[60] С. А. Дергунов, «Комплексный подход к проектированию составов сухих строительных смесей общестроительного назначения», автореф. дис. канд. наук., Оренбургский гос. ун-т, Оренбург, РФ, 2005.

[61] Н. Є. Теліцина, «Проектування оптимального складу сухих будівельних сумішей для мурувальних робіт», автореф. дис. канд. наук., ОДАБА, Одеса, Україна, 2009.

[62] Д. О. Бондаренко, «Суха будівельна суміш для отримання теплоізоляційних матеріалів зниженої паропроникності», автореф. дис. канд. наук., Українська державна академія залізничного транспорту, Харків, Україна, 2010.

[63] Н. В. Ширина, «Сухие теплоизоляционные штукатурные смеси», дис. канд. наук., Белгород. гос. технол. ун-т им. В.Г. Шухова, Белгород, РФ, 2008.

[64] Р. М. Ахмедьянов, «Легкие наружные штукатурные строительные растворы с вермикулитовым наполнителем», дис. канд. наук., Южно-Уральский гос. ун-т, Челябинск, РФ, 2002.

[65] С. А. Удодов, «Штукатурные и кладочные составы пониженной плотности для ячеистого бетона», автореф. дис. канд. наук., Кубанский гос. Технологический ун-т, Ростов н/Д, РФ, 2006.

[66] А. И. Емельянов, «Разработка составов сухих смесей и технологии получения на их основе неавтоклавных пенобетонов», дис. канд. наук., Мордовский гос. ун-т им. Н. П. Огарева, Саранск, РФ, 2005.

[67] И. А. Погорелова, «Сухие строительные смеси для неавтоклавных ячеистых бетонов», дис. канд. наук.; Белгород. гос. технол. ун-т им. В.Г. Шухова, Белгород, РФ, 2009.

[68] А. В. Бородуля, «Сухие строительные смеси на цементной основе с улучшенными теплозащитными свойствами», автореф. дис. канд. наук., Петербургский гос. ун-т путей сообщения, Санкт-Петербург, РФ, 2004.

[69] Н. М. Красникова, «Сухие смеси для неавтоклавного пенобетона», дис. канд. наук., Казан. гос. архитектур.-строит. акад., Казань, РФ, 2010.

[70] E. E. Berry, V. M. Malhotra, «Fly Ash for use in concrete – a critical review», *ACIJ*, 2(3), p. 59–73, 1982.

[71] І. В. Барабаш, *Механохімічна активація мінеральних в'язучих речовин*. Одеса, Україна: Астропрінт, 2002.

[72] І. В. Барабаш, «Бетони на механоактивованих мінеральних в'язучих», автореф. дис. д-ра. наук., ОДАБА, Одеса, Україна, 2005.

[73] В. Н. Выровой, И. В. Барабаш, и А. В. Дорофеев *Механоактивация в технологии бетонов*. Одесса, Украина: ОГАСА, 2014.

[74] В. І. Гоц, «Ефективні будівельні матеріали та вироби на основі активованих паливних зол і шлаків», автореф. дис. д-ра. наук., КНУБА, Київ, Україна, 2009.

[75] П. В. Кривенко, Е. К. Пушкарева, В. И. Гоц, и Г. Ю. Ковальчук, *Цементы и бетоны на основе топливных зол и шлаков*. Киев, Украина: ООО «ИПК ЭкспрессПолиграф», 2012.

[76] Л. Й. Дворкін, О. Л. Дворкін, К. К. Пушкарьова, М. О. Кочевих, та М. А. Мохорт, *Використання техногенних продуктів у будівництві*. Рівне, Україна: НУВГП, 2009.

[77] В. П. Ковальський, та В. П. Очеретний, *Комплексне золоцементне в'язуче, модифіковане лужною алюмоферитною добавкою: монографія*. Вінниця, Україна: ВНТУ, 2010.

[78] P. V. Krivenko, G. Yu. Kovalchuk, and O. Yu. Kovalchuk, «Alkaline Cements Based on High Volumes of Industrial Wastes: Application in Cellular Concrete Technology», in *Proceed. 10th Conf. "Ekologie a nove stavebni hmoty a vyrobky"*, Telc (Czech Republic), 2006, p. 89-93.

[79] V. M. Malhotra, and P. K. Mehta, «High-Performance, «High-Volume Fly Ash Concrete», *Materials, Mixture Proportioning, Properties, Construction Practice, and Case Histories, Supplementary Cementing Materials for Sustainable Development, Inc.*, Ottawa, Canada, 2002.

[80] Zhang Min-Hong, Mirza Jahangir, and V. M. Malhotra, «Mechanical Properties and Freezing and Thawing Durability of Polypropylene Fiber-Reinforced Shotcrete Incorporating Silica Fume and High Volumes of Fly Ash», *Cement Concrete and Aggregates*, № 21, p. 117-125, 1999.

[81] М. М. Орфанова, та В. І. Пустогов, «Перспективи використання методу механоактивації з метою утилізації зол ТЕС в наповнювачі будівельних матеріалів», *Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит*, № 5. с. 58-62, 2013.

[82] К. К. Пушкарьова, О. А. Гончар, та В. В. Павлюк, «Перспективні технології утилізації відходів паливно-енергетичної промисловості та ефективність їх застосування при отриманні будівельних матеріалів з підвищеними експлуатаційними характеристиками», *Строительные материалы и изделия*. № 4. с. 20-23, 2005.

[83] Р. Ф. Рунова, «Использование промышленных отходов в производстве сухих строительных смесей: возможности и проблемы» на *Конференции «Современные технологии сухих строительных смесей»*, Киев, 2004, с. 72-79.

[84] Л. Й. Дворкін, та О. М. Бордюженко, «Дослідження складів сухих сумішей та властивостей пінобетонів на їх основі», *Будівельні матеріали, виробництва та санітарна техніка: Збірник наукових праць*, № 40, с. 69-72, 2011.

[85] Л. И. Дворкин, и О. М. Бордюженко «Сухая строительная смесь для производства неавтоклавного пенобетона», *Сухие строительные смеси*. № 4, с. 28-30, 2009.

[86] Ю. О. Степасюк, «Ефективні бетони та розчини на малоклінкерному шлакопортландцементі», дис. канд. наук., НУВГП, Рівне, Україна, 2016.

[87] С. Ю. Шептун, «Сухі суміші на основі портландцементу та мінеральних добавок для наливних підлог підвищеної зносостійкості», дис. канд. наук., Укр. держ.

ун-т залізн. трансп., Харків, Україна, 2018.

[88] Г. П. Сахаров, «Теоретические предпосылки создания неавтоклавного поробетона повышенной прочности по энергосберегающей технологии», *Изв. вузов. Строительство*. № 7, с. 51-54, 2004.

[89] В. В. Белов, и Ю. Ю. Курятников, «Модифицирование сухих поробетонных смесей на основе техногенных вторичных ресурсов», *Строительные материалы*, № 2, с. 6-7, 2008.

[90] В. Д. Черкасов, В. И. Булузуков, и А. И. Емельянов, «Сухие смеси для производства ячеистого бетона: получение эффективной порообразующей добавки». [Электронный ресурс]. Доступно:

http://www.stroymehhanika.ru/article_32.php. Дата обращения: 11.10.2012.

[91] В. В. Белов, и Ю. Ю. Курятников, «Дисперсно-армированный поробетон неавтоклавного твердения», *Вестник Тверского государственного технического университета*, № 10, с. 8-12, 2007.

[92] В. І. Мосьпан, «Пінобетон, армований дискретними поліпропіленовими волокнами», автореф. дис. канд. наук., Придніпр. держ. акад. буд-ва та архітектури, Дніпро, Україна, 2011.

[93] Л. В. Саламаха, «Сухі будівельні суміші з базальтовими волокнами для влаштування елементів підлоги», автореф. дис. канд. наук., Придніпр. держ. акад. буд-ва та архітектури, Дніпро, Україна, 2010.

[94] А. А. Максименко, «Сухі будівельні суміші для підлог на основі магнезійних композицій», автореф. дис. канд. наук., Придніпр. держ. акад. буд-ва та архіт., Дніпро, Україна, 2013.

[95] ДСТУ Б В.2.7-46:2010. *Будівельні матеріали. Цементи загальнобудівельного призначення. Технічні умови.* [Чинний від 2011-09-01]. Вид. офіц. К.: Мінрегіонбуд України, 2011. 20 с.

[96] ДСТУ Б EN 197-1:2015 (EN 197-1:2011, IDT). *Цемент. Частина 1. Склад, технічні умови та критерії відповідності для звичайних цементів.* [Чинний від 2016-07-01]. Вид. офіц. К.: Мінрегіон України, 2016. 59 с.

[97] ДСТУ Б В.2.7-273:2011 (ГОСТ 23732-79, MOD). *Будівельні матеріали. Вода для бетонів і розчинів. Технічні умови.* [Чинний від 2012-12-01]. Вид. офіц. К.: ДП «НДІБМВ», 2011. 20 с.

[98] ДСТУ Б В.2.7-27-95. *Пісок із вапняків-черепашиників для будівельних робіт. Технічні умови.* [Чинний від 1996-01-01]. Вид. офіц. К.: Держкоммістобудування України, 1996. 8 с.

[99] ДСТУ Б В.2.7-29-95. *Дрібні заповнювачі природні, із відходів промисловості, штучні для будівельних матеріалів, виробів, конструкцій та робіт.*

Класифікація. [Чинний від 1996-01-01]. Вид. офіц. К.: Держкоммістобудування України, 1996. 17 с.

[100] НРБУ-97 ДГН 6.6.1-6.5.001-98. *Норми радіаційної безпеки України. Державні гігієнічні нормативи*. [Чинний від 1997-12-01]. Вид. офіц. К: МОЗ України, 1998. 135 с.

[101] Офіційний сайт Сакського заводу будівельних матеріалів. [Електронний ресурс]. Доступно: <http://rakushka.info/>. Дата звернення: Лютий 10, 2018.

[102] ДСТУ Б В.2.7-32-95. *Будівельні матеріали. Пісок щільний природний для будівельних матеріалів, виробів, конструкцій і робіт. Технічні умови*. [Чинний від 1996-01-01]. Вид. офіц. К.: Держкомстандарт України, 1996. 20 с.

[103] ДСТУ Б В.2.7-232:2010. *Будівельні матеріали. Пісок для будівельних робіт. Методи випробувань*. [Чинний від 2011-01-01]. Вид. офіц. К.: ДП «НДІБМВ», 2010. 28 с.

[104] ДСТУ Б В.2.7-128:2006. *Будівельні матеріали. Добавки активні мінеральні та добавки-наповнювачі до цементу*. [Чинний від 01-12-2007]. Вид. офіц. К: Міністерство будівництва, архітектури та житлово-комунального господарства України, 2006. 12 с.

[105] В. Самилін, та В. Білецький, *Спеціальні методи збагачення корисних копалин*. Донецьк, Україна: Східний видавничий дім, 2003.

[106] Персональний сайт компанії ООО «Внешхимопт». Смола SDO-L (ПН). [Електронний ресурс]. Доступно: <http://leghim52.narod.ru/index/0-4>. Дата звернення: Янв. 20, 2019.

[107] Офіційний сайт виробителя ООО «ФИРМА «СОЮЗ, ЛТД». Пенообразователь для пенобетона «СОФИР-ПБ». [Електронний ресурс]. Доступно: http://sofir.com.ua/?page_id=41. Дата звернення: Янв. 20, 2019.

[108] ДСТУ 3789:2015. *Піноутворювачі загального призначення для гасіння пожеж. Загальні технічні вимоги і методи випробування*. [Чинний від 2016-07-01]. Вид. офіц. К.: ДП «УкрНДНЦ», 2016. 32 с.

[109] Офіційний сайт спілки виробників будівельних матеріалів ЛЬВІВБЛОКБУД. Піноутворювач для пінобетону «LORI». [Електронний ресурс]. Доступно: <http://blokbud.lviv.ua/Lori.html>. Дата звернення: Березень 12, 2015.

[110] Официальный сайт компании UNISELL: строительная химия. Пенообразователь «UNISELL». [Электронный ресурс]. Доступно: <https://unisell.org.ua/product/penoobrazovatel-unisell/>. Дата обращения: Май, 11, 2018.

[111] Офіційний сайт ТОВ «Будхім». Ефіри целюлози BERMOCOLL®. [Електронний ресурс]. Доступно: <http://budhim.com.ua/uk/category/produktsiya/budivelna-khimiya/efiri-tselyulozi-bermocoll®>. Дата звернення: Квітень 28, 2017.

[112] Офіційний сайт ТОВ «Будхім». Редиспергируючі полімерні порошки ELOTEX®. [Електронний ресурс]. Доступно: <http://budhim.com.ua/uk/category/produktsiya/budivelna-khimiya/redispergiruyuchi-polimerni-poroshki-elotex®>. Дата звернення: Квітень 28, 2017.

[113] Офіційний сайт ООО «Санпол-Україна». Суперпластифікатор для теплої підлоги. [Електронний ресурс]. Доступно: <https://sanpol.ua/ru/catalogue/otoplenie-i-vodosnabzhenie/vodyanoy-teplyu-pol/plastifikator-dlya-betona/>. Дата звернення: Квітень 28, 2017.

[114] Официальный сайт компании Coral. Coral MasterTherm. [Электронный ресурс]. Доступно: <http://coral.ua/coral-mastertherm/>. Дата обращения: Май, 11, 2018.

[115] Официальный сайт компании Coral. ТУ У В.2.7-24.6-35365973-001:2008 зі змінами №1 «Добавки комплексні для бетонів, будівельних розчинів та цементів «Coral» різних марок, суперпластифікатор «С-3». [Электронный ресурс]. Доступно: <http://coral.ua/>. Дата обращения: Май, 11, 2018.

[116] Официальное представительство Польской торговой марки BarwaSAM в Украине ООО «Барвасам Украина». БЕТО-ПЛАСТ ® — пластификатор в бетон и для стяжки теплого пол. [Электронный ресурс]. Доступно: <http://plastificator.com.ua>. Дата обращения: Май, 11, 2018.

[117] Офіційний сайт компанії «Сіка Україна». [Електронний ресурс]. Доступно: <https://ukr.sika.com/>. Дата звернення: Лютий 18, 2018.

[118] Офіційний сайт компанії «ZIP». [Електронний ресурс]. Доступно: <https://www.zip.ua/sfery-zastosuvannya-ridkogo-skla/>. Дата звернення: Лютий 18, 2018.

[119] ДСТУ-Н Б В.2.7-175:2010. *Будівельні матеріали. Настанова щодо застосування хімічних добавок у бетонах і будівельних розчинах*. [Чинний від 2009-01-01]. Вид. офіц. К: Держбуд України, 2009. 30 с.

[120] ТУ У 24.7-32781078-001:2006. Волокно армуюче поліпропіленове (ВАП). [Електронний ресурс]. Доступно: <http://plastificator.com.ua/cert/Fibers.pdf>. Дата звернення: Квітень 28, 2017.

[121] ДСТУ-Н Б В.2.7-308:2015. *Настанова з виготовлення виробів з ніздрюватого бетону*. [Чинний від 2016-10-01]. Вид. офіц. К: Мінрегіон України, 2016. с. 83.

[122] ДСТУ Б В.2.7-239:2010. *Розчини будівельні. Методи випробувань*. [Чинний від 2011-08-01]. Вид. офіц. К: Мінрегіонбуд України, 2010. 11 с.

[123] ДСТУ Б В.2.7-170:2008. *Будівельні матеріали. Бетони. Методи визначення середньої густини, вологості, водопоглинання, пористості і водонепроникності*. [Чинний від 2009-07-01]. Вид. офіц. К: Мінрегіонбуд, 2009. 39 с.

[124] ДСТУ Б В.2.7-185:2009. *Будівельні матеріали. Цементи. Методи визначення нормальної густоти, строків тужавлення та рівномірності зміни об'єму*. [Чинний від 2009-12-01]. Вид. офіц. К: Мінрегіонбуд, 2010. 9 с.

[125] ДСТУ EN 196-6:2007. *Методи випробування цементу. Частина 6 Визначення тонкості помелу.* [Чинний від 05-02-2007]. Вид. офіц. К: Мінбуд України, 2007. 11 с.

[126] Ю. П. Адлер, Е. В. Маркова, и Ю. В. Грановский, *Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий.* Москва: Наука, 1976.

[127] ДБН В.1.1-31:2013. *Захист територій, будинків і споруд від шуму.* [Чинний від 01-06-2014]. Вид. офіц. К: Мінрегіон України, 2014. 75 с.

[128] ДСТУ-Н Б В.1.1-34:2013. *Настанова з розрахунку та проектування звукоізоляції огорожувальних конструкцій житлових і громадських будинків.* [Чинний від 01-01-2014]. Вид. офіц. К: Мінрегіон України, 2014. 88 с.

[129] Є. А. Бондаренко, В. А. Дрончак, Р. Я. Дупляк, О. В. Кобилянський, та Терещенко О. П., *Основи охорони праці:Лабораторний практикум.* Вінниця, Україна: ВНТУ, 2007.

[130] Н. М. Дубошина, «Эффективные сухие строительные смеси на основе местных материалов», дис. канд. наук., Пензенская государственная архитектурно-строительная академия, Пенза, РФ, 1999.

[131] І. М. Добрянський, та І. І. Ніонець, «Вплив мікроструктури цементного каменю на його фізико-механічні властивості», Будівництво України, № 3, с. 35-36, 2009.

[132] Ю. М. Баженов, Л. А. Алимов, и В. В. Воронин, *Технология бетона, строительных изделий и конструкций: Учебник.* Москва, РФ: Издательство АСВ, 2016.

[133] С. П. Сивков, «Особенности процессов гидратации цементов в сухих строительных смесях», *Строительные материалы*, № 2, с. 4-5, 2008.

[134] С. П. Сивков, С. А. Голунов, Е. А. Косинов, и В. Е. Зайцев, «Влияние редисперсионных полимерных порошков на свойства самонивелирующихся композиций», *Строительные материалы*, № 10, с. 58-61, 2006.

[135] В. Г. Батраков, *Модифицированные бетоны. Теория и практика*. Москва, РФ, 1998.

[136] Ф. Н. Иванов, «Добавки в бетон и перспективы применения суперпластификаторов», *Бетон с эффективными суперпластификаторами*, с. 6-21, 1979.

[137] М. Ш. Файнер, *Новые закономерности в бетоне и их практическое приложение*. Київ, Україна: Наукова думка, 2001.

[138] М. Ш. Файнер, «Добавки до бетонних сумішей та будівельних розчинів (стан та концепція розвитку)», *Будівництво України*, № 2-3, с. 3-7, 2007.

[139] Г. Б. Гірштель, та С. В. Глазкова, «Довавка поліфункціональної дії для цементних розчинів та сухих будівельних сумішей», *Будівництво України*, № 4, с. 19-22, 2009.

[140] В. И. Большаков, и В. А. Мартыненко, «Необходимые свойства пенообразователей для производства пенобетона», *Вопросы химии и химической технологии*, № 3, с. 35-39, 2001.

[141] В. Н. Моргун, «Теоретическое обоснование закономерностей конструирования структуры пенобетонов» на *Международном конгрессе «Наука и инновации в строительстве SIB-2008»*. *Современные проблемы строительного материаловедения и технологии*, Воронежский ГАСУ, 2008, Т. 1, с. 29-35.

[142] А. В. Бондар, «Технологія виготовлення полегшених складів цементних сухих будівельних сумішей з мінеральними добавками», *International Academy Journal Web of Scholar: Multidisciplinary Scientific*, Edition, 2 (32), pp. 3-9, 2019.

[143] Л. В. Моргун, и В. Н. Моргун, «О взаимосвязи между термодинамическими свойствами воды и пенобетонов», *Строительные материалы*, № 1, с. 14-16, 2009.

[144] П. М. Кругляков, и Д. Р. Ексерова, *Пены и пенные пленки*. Москва: Химия, 1990.

[145] А. А. Абрамзон, *Поверхностно-активные вещества: свойства и применение*. Ленинград: Химия, 1981.

[146] Л. Д. Шахова, «Роль пенообразователей в технологии пенобетона», *Строительные материалы*, № 4, с. 16-19, 2007.

[147] С. А. Белых, и А. М. Фадеева, «Малозергоместные способы получения воздухововлекающих добавок в сухие строительные смеси», *Сухие строительные смеси*, № 1. – с. 64-66, 2008.

[148] П. И. Юхневский, *Влияние химической природы добавок на свойства бетонов*. Минск: БНТУ, 2013.

[149] Н. Л. Золотарева, Е. И. Щмитько, и Т. Н. Пояркова, «Устойчивость газовой фазы и структура поризованного бетона», *Строительные материалы*, № 4, с. 20-21, 2007.

[150] В. П. Очеретний, В. П. Ковальський, В. В. Смоляк, та А. В. Бондар, «Проектування складів сухих будівельних сумішей з мінеральними добавками», *Науково-технічний збірник «Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві»*, № 1, с. 48-54, 2010.

[151] И. Б. Прохоров, «Применение микронаполнителя в бетонах», *Современные наукоемкие технологии*, №2, с. 160-161, 2004.

[152] В. П. Очеретний, В. П. Ковальський, та А. В. Бондар, «Вплив мінеральних мікронаповнювачів на властивості поризованих сухих будівельних сумішей», *Вісник Сумського національного аграрного університету. Серія: «Будівництво»*, Випуск 10 (18), с. 44-47, 2014.

[153] D. C. Montgomery, A Samarin, «Adhesion between concrete and treated or untreated flat metal surfaces», in *Bond. Cementious Compos.: Symp., Boston, Mass., Dec/ 2 – 4, 1987, Pittsbyrgh, 1988, pp. 263–270.*

[154] В. П. Очеретний, В. П. Ковальський, М. П. Машницький, та А. В. Бондар, «Залежність теплотехнічних та фізико-механічних властивостей ніздрюватих бетонів від параметрів виготовлення», *Науково-технічний збірник «Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві»*, № 2, с. 34-39, 2009.

[155] К. В. Томилин, и Н. С. Сторчай, «Ячеистый бетон – перспективы развития», *Бетон и железобетон в Украине*, № 3, с. 2006.

[156] А. А. Портник, *Все о пенобетоне*. Санкт-Петербург, 2003.

[157] В. П. Очеретний, В. П. Ковальський, А. В. Бондар, та А. Ф. Діденко, «Технологічні особливості введення піноутворювачів при виготовленні ніздрюватих бетонів», на *IV Міжнародній конференції молодих вчених GAC-2011 «Геодезія, архітектура та будівництво»*, Львів: Львівська політехніка, 2011, с. 126-129.

[158] В. П. Очеретний, В. П. Ковальський, та А. В. Бондар, «Викоритання поверхнево-активних речовин у якості поризуючої добавки до сухих будівельних сумішей», *Науково-технічний збірник «Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві»*, № 1, с. 36-40, 2011.

[159] В. П. Очеретний, В. П. Ковальський, і А. В. Бондар, «Суша будівельна суміш», *МПК С 04 В 28/02, С 04 В 14/10. № UA 76518 U*, 10.01.2013, Бюл. №1.

[160] В. П. Очеретний, В. П. Ковальський, і А. В. Бондар, «Суша будівельна суміш», *МПК С 04 В 28/02, С 04 В 14/10, С 04 В 14/16, С 04 В 14/26, С 04 В 18/10, № UA 91008 U*, 25.06.2014, Бюл. №12.

[161] М. И. Гельфман, О. В. Ковалевич, и В. П. Юстратов, *Коллоидная химия*. Москва, РФ: Лань, 2008.

[162] А. П. Морозов, *Пенобетоны и другие теплоизоляционные материалы*. Магнитогорск, РФ, 2008. [Электронный ресурс]. Доступно: <http://elima.ru/books/index.php?id=1589>. Дата обращения: Янв. 20, 2019.

[163] И. С. Семириков, *Физическая химия строительных материалов: Учебное пособие*. Екатеринбург, РФ: ГОУ УГТУ-УПИ, 2002.

[164] В. П. Ковальський, В. П. Очеретний, А. В. Бондар, та А. С. Кузьмич, «Використання глиняного порошку як мінерального мікронаповнювача у сухих будівельних сумішах», *Международное периодическое научное издание «Научные труды SWorld»*, Выпуск 2 (43). Том 7, с. 86-92, 2016.

[165] В. П. Очеретний, В. П. Ковальський, та А. В. Бондарь, «Поризованные сухие строительные смеси: эффективность получения сухого пенообразователя методом сорбции и выпаривания», *Приволжский научный вестник*, № 10 (26), с. 36-40, 2013.

[166] П. В. Кривенко, *Будівельне матеріалознавство: підручник*. Київ, Україна: «Видавництво Ліра-К», 2015.

[167] А. В. Бондар, «Вплив технологічних факторів на властивості поризованих будівельних розчинів на основі сухих будівельних сумішей» *Науково-технічний збірник «Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві»*, № 2, с. 31-36, 2018.

[168] А. В. Бондар, «Вплив гранулометрії глиняного мікронаповнювача на властивості сухих будівельних сумішей», на *III Міжнародній науково-практичній конференції «Теорія і практика актуальних наукових досліджень»*, м. Запоріжжя, 2018, Ч. 2, с. 25-27.

[169] П. В. Куляев, «Эффективный мелкозернистый карбонатный бетон», дис. канд. наук., Тверской гос. Технический ун-т, Тверь, РФ, 2017.

[170] В. В. Белов, Ю. Ю. Курятников, и П. В. Куляев, «Карбонатные бетоны плотной и ячеистой структуры с дисперсным наполнителем», *Вестник Центрального регионального отделения РААСН*, Вып. 12, с. 234–242, 2013.

[171] Н. А. Дыйканбаева, «Неавтоклавный газобетон из техногенного и природного сырья», дис. канд. наук., Кыргызско-российский славянский университет им. Б. Н. Ельцина, Бишкек, Киргизия, 2018.

[172] С. И. Федоркин, и М. А. Лукьянченко, «Механохимическая активация известняков при высокоскоростном измельчении и ее роль в формировании

свойств карбонатных материалов на силикат-натриевом вяжущем», *Сб. научн. тр. «Инновационные технологии диагностики, ремонта и восстановления объектов строительства и транспорта»*, Вып. 30, с. 10-15, 2004.

[173] А. В. Бондарь, В. П. Ковальский, и В. П. Очеретный, «Использование карбонатных пород как микронаполнителей в сухих строительных смесях пористой структуры», на *Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы архитектуры, строительства, энергоэффективности и экологии – 2016»*, Тюмень: Тюменский индустриальный университет, 2016, с. 207-213.

[174] Т. П. Кропивницька, М. А. Саницький, та І. М. Гев'юк, «Вплив карбонатних добавок на властивості портландцементу композиційного», *Вісник Національного університету «Львівська політехніка»: Теорія і практика будівництва*, № 755, с. 214-220, 2013.

[175] Б. Г. Русин, «Високофункціональні бетони на основі портландцементів, модифікованих ультрадисперсними мінеральними добавками», арэф. дис. канд. наук., Національний ун-т «Львівська політехніка», Львів, Україна, 2014.

[176] І. М. Гев'юк, Т. П. Кропивницька, та М. А. Саницький, «Композиційні портландцементи з добавками природного цеоліту та вапняку», *Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди*, Вип. 31, с. 149-156, 2015.

[177] М. Саницький, О. Позняк, Б. Русин, І. Гев'юк, « Вплив мінеральних добавок на властивості цементуючих систем для високофункціональних бетонів», *Вісник Національного університету «Львівська політехніка»: Теорія і практика будівництва*, № 737, с. 184-191, 2012.

[178] А. В. Бондар, «Вплив мінеральних мікронаповнювачів і полімерних добавок на властивості сухих будівельних сумішей», на *Міжнародній науково-технічній конференції «Інноваційні технології в будівництві»*, Вінниця: ВНТУ, 2018, с. 215-218.

[179] А. В. Бондар, «Вплив карбонатних добавок на властивості поризованих сухих будівельних сумішей», *Науково-технічний журнал «Нові технології в будівництві»*, Випуск № 35, с. 63-67, 2018.

[180] А. В. Бондар, В. П. Ковальський, В. П. Бурлаков, та Є. Р. Матвійчук, «Утилізація відходів промисловості шляхом виготовлення на їх основі сухих будівельних сумішей», *Екологічні науки: науково-практичний журнал*, № 3 (22), с. 21-24, 2018.

[181] Л. О. Кєсова, та Г. В. Кравчук «Перспективні заходи утилізації золошламових відходів ТЕС», *Науковий збірник «Проблеми загальної енергетики»*, № 1(52), с. 59-64, 2018.

[182] В. П. Ковальський, та О. С. Сідлак, «Використання золи виносу ТЕС у будівельних матеріалах», *Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві*, № 1, с. 35-40, 2014.

[183] Г. А. Статюха, Н. Е. Телицына, и И. В. Суруп, «Оптимизация гранулометрического состава наполнителей для сухих строительных смесей», *Хімічні технології і екологія. Вісник ЧДТУ*, № 4, с.57-61, 2008.

[184] В. В. Белов, и И. В. Образцов, «Оптимизация структуры мелкозернистого карбонатного бетона с применением компьютерного моделирования», *Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура*, № 31-2 (50), с. 555-562, 2013.

[185] E. P. Kearsley, and H. F. Mostert, «The effect of fibre reinforcing on the properties of foamed concrete», on *Role of Concrete in Sustainable Development: proceeding of International congress*, Dundee, Scotland, 2003, P. 557-566.

[186] Е. О. Спорягін, і К. Є. Варлан, *Теоретичні основи та технологія виробництва полімерних композиційних матеріалів: навч. посіб.* Д.: Вид-во ДНУ, 2012.

[187] А. В. Бондар, «Вплив мінеральних мікронаповнювачів і полімерних добавок на властивості сухих будівельних сумішей», на *Міжнародній науково-технічній конференції «Інноваційні технології в будівництві»*, Вінниця: ВНТУ, 2018, с. 215-218.

[188] Г. М. Шабанова, О. П. Васильчук, А. М. Корогодська, О. О. Гапонова, Ф. А. Васютін, і Т. С. Бондаренко, «Теплоізоляційно-конструкційний пінобетон з підвищеними експлуатаційними характеристиками», *Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Тематичний випуск «Хімія, хімічна технологія та екологія»*, Випуск № 40, с. 169-176, 2009.

[189] А. В. Бондар, В. П. Ковальський, В. П. Очеретний, Д. В. Мороз, та І. М. Вознюк, «Вплив механічної активації мінеральних складових на властивості полегшених складів цементних сухих сумішей для підлог», Наукове видання «*Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури*»: збірник наукових праць, Випуск № 74 (березень 2019), с. 82-94, 2019. DOI: 10.31650/2415-377X-2019-74-82-96.

[190] А. В. Балбалин, «Цементные композиты на основе сухих строительных смесей с использованием комплексных модификаторов», дис. канд. наук., Мордовский гос. ун-т им. Н. П. Огарева, Саранск, РФ, 2015.

[191] Б. А. Усов, «Технология производства сухих смесей: термо- и механохимическая активация их компонентов, добавки», *Журнал «СтройПРОФИль»*, № 8(70), с. 61-63, 2008.

[192] С. Н. Попельнюхов, А. Р. Железняк, К. С. Шубин, и М. А. Передреев, «Преимущества и особенности механоактивации сырьевых материалов при производстве сухих строительных смесей», *«ALITinform» международное аналитическое обозрение*, № 4 (1), с. 72-78, 2011.

[193] В. П. Кузьмина, «Эффективность применения механоактивации при производстве сухих строительных смесей» на *Конференции BALTIMIX-2010*. [Электронный ресурс]. Доступно:

http://www.spsss.ru/confer/confer_archive/reports/doclad10/kuzmina.pdf.

Дата

обращения: Янв. 29, 2019.

[194] Горшкова А. В. «Сухие строительные смеси с модифицирующей добавкой на основе торфа», дис. канд. наук., Томский гос. архитектурно-строительный институт, Томск, РФ, 2015.

[195] Р. С. Федюк, А. В. Мочалов, и В. С. Лесовик, «Современные способы активации вяжущего и бетонных смесей (обзор)», *Вестник инженерной школы ДВФУ*, № 4(37), с. 85-99, 2018. DOI.org/10.5281/zenodo.2008670.

[196] В. В. Власова, и А. И. Власов, «Особенности процесса механоактивации золошлаковых отходов теплоэлектростаций», *Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал)*, с. 351-355, 2009.

[197] А. В. Бондарь, В. П., Ковальский, В. П. Очеретный, и В. П. Бурлаков, «Цементные сухие строительные смеси с улучшенными теплозвукоизоляционными свойствами для устройства элементов полов гражданских зданий», *Международный периодический рецензируемый научный журнал «International periodic scientific journal SWorldJournal»*, Issue № 1, pp. 46-52, 2019. DOI: 10.30888/2410-6615.2019-01-01-043. (Index Copernicus).

[198] А. В. Бондарь, В. П. Ковальский, и В. П. Очеретный, «Звукоизоляционные сухие строительные смеси на основании отходов производства», на *IV Междунар. науч.-практ. конф. Инновационное развитие территорий*, Череповец: ЧГУ, 2016, с. 73-78.

[199] В. П. Ковальський, А. В. Бондар, В. П. Бурлаков, А. О. Бричанський, та А. В. Ковальський, «Сухі будівельні суміші для підлог цивільних будівель», in *The development of technical sciences: problems and solutions: Conference Proceedings*, Brno: Baltija Publishing, pp. 65-68, 2018.

[200] А. В. Бондарь, и В. П. Ковальский, «Использование отходов для производства строительных материалов», *IX Молодежной экологической*

конференции «Северная Пальмира», Санкт-Петербург: НИЦЭБ РАН, 2018, с. 148-151.

[201] И. С. Семириков, *Физическая химия строительных материалов: Учебное пособие*. Екатеринбург, РФ: ГОУ УГТУ-УПИ, 2002.

[202] Ю. П. Горлов, *Технология теплоизоляционных и акустических материалов и изделий*. Москва: Высшая школа, 1989.

ДОДАТКИ

ДОДАТОК А
СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ ТА
ВІДОМОСТІ ПРО АПРОБАЦІЮ РЕЗУЛЬТАТІВ ДИСЕРТАЦІЇ

Публікації у наукових фахових виданнях України та у виданнях, включених до міжнародних наукометричних баз:

[1] В. П. Очеретний, В. П. Ковальський, та А. В. Бондар, «Використання відходів вапняку та промислових відходів у виробництві сухих будівельних сумішей», *Науково-технічний збірник «Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві»*, № 1, с. 36-40, 2009.

[2] В. П. Очеретний, В. П. Ковальський, М. П. Машницький, та А. В. Бондар, «Залежність теплотехнічних та фізико-механічних властивостей ніздрюватих бетонів від параметрів виготовлення», *Науково-технічний збірник «Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві»*, № 2, с. 34-39, 2009.

[3] В. П. Очеретний, В. П. Ковальський, В. В. Смоляк, та А. В. Бондар, «Проектування складів сухих будівельних сумішей з мінеральними добавками», *Науково-технічний збірник «Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві»*, № 1, с. 48-54, 2010.

[4] В. П. Очеретний, В. П. Ковальський, та А. В. Бондар, «Використання поверхнево-активних речовин як поризуючої добавки до сухих будівельних сумішей», *Науково-технічний збірник «Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві»*, № 1, с. 33-40, 2011.

[5] В. П. Очеретний, та А. В. Бондар, «Перспективи виробництва і використання поризованих сухих будівельних сумішей», *Науково-технічний збірник «Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві»*, № 2, с. 36-39, 2011.

[6] А. В. Бондар, «Технологічні аспекти виготовлення поризованих складів сухих будівельних сумішей», *Науково-технічний збірник «Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві»*, № 1, с. 24-27, 2013.

[7] В. П. Очеретный, В. П. Ковальский, та А. В. Бондарь, «Поризованные сухие строительные смеси: эффективность получения сухого пенообразователя методом сорбции и выпаривания», *Приволжский научный вестник*, № 10 (26), с. 36-40, 2013.

[8] В. П. Ковальський, М. С. Лемешев, В. П. Очеретний, та А. В. Бондар, «Обґрунтування доцільності використання золошламового в'язучого для приготування сухих будівельних сумішей», *Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди*, Вип. 26, с. 186-193, 2013.

[9] В. П. Очеретний, В. П. Ковальський, та А. В. Бондар, «Вплив мінеральних мікронаповнювачів на властивості поризованих сухих будівельних сумішей», *Вісник Сумського національного аграрного університету. Серія: «Будівництво»*, Випуск 10 (18), с. 44-47, 2014.

[10] В. П. Ковальський, В. П. Очеретний, А. В. Бондар, та А. С. Кузьмич, «Використання глиняного порошку як мінерального мікронаповнювача у сухих будівельних сумішах», *Международное периодическое научное издание «Научные труды SWorld»*, Выпуск 2 (43). Том 7, с. 86-92, 2016.

[11] А. В. Бондар, В. П. Ковальський, В. П. Бурлаков, та Є. Р. Матвійчук, «Утилізація відходів промисловості шляхом виготовлення на їх основі сухих будівельних сумішей», *Екологічні науки: науково-практичний журнал*, № 3 (22), с. 21-24, 2018.

[12] А. В. Бондар, «Вплив технологічних факторів на властивості поризованих будівельних розчинів на основі сухих будівельних сумішей» *Науково-технічний збірник «Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві»*, № 2, с. 31-36, 2018. DOI: 10.31649/2311-1429-2018-2-31-36.

[13] А. В. Бондар, «Вплив карбонатних добавок на властивості поризованих сухих будівельних сумішей», *Науково-технічний журнал «Нові технології в будівництві»*, Випуск № 35, с. 63-67, 2018.

[14] А. В. Бондар, «Технологія виготовлення полегшених складів цементних сухих будівельних сумішей з мінеральними добавками», *International Academy Journal Web of Scholar: Multidisciplinary Scientific*, Edition, 2 (32), pp. 3-9, 2019. DOI: https://doi.org/10.31435/rsglobal_wos/28022019/6339.

[15] А. В. Бондарь, В. П., Ковальский, В. П. Очеретный, и В. П. Бурлаков, «Цементные сухие строительные смеси с улучшенными теплозвукоизоляционными свойствами для устройства элементов полов гражданских зданий», *Международный периодический рецензируемый научный журнал «International periodic scientific journal SWorldJournal»*, Issue № 1, pp. 46-52, 2019. DOI: 10.30888/2410-6615.2019-01-01-043.

[16] А. В. Бондар, В. П. Ковальський, В. П. Очеретний, Д. В. Мороз, та І. М. Вознюк, «Вплив механічної активації мінеральних складових на властивості полегшених складів цементних сухих сумішей для підлог», Наукове видання «Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури»: збірник наукових праць, Випуск № 74 (березень 2019), с. 82-94, 2019. DOI: 10.31650/2415-377X-2019-74-82-96.

Публікації апробаційного характеру:

[17] В. П. Очеретний, В. П. Ковальський, А. В. Бондар, та А. Ф. Діденко, «Технологічні особливості введення піноутворювачів при виготовленні ніздрюватих бетонів», на *IV Міжнародній конференції молодих вчених GAC-2011 «Геодезія, архітектура та будівництво»*, Львів: Львівська політехніка, 2011, с. 126-129.

[18] А. В. Бондарь, В. П. Ковальский, и В. П. Очеретный, «Использование карбонатных пород как микронаполнителей в сухих строительных смесях пористой структуры», на *Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы архитектуры, строительства, энергоэффективности и экологии – 2016»*, Тюмень: Тюменский индустриальный университет, 2016, с. 207-213.

[19] А. В. Бондарь, В. П. Ковальский, и В. П. Очеретный, «Звукоизоляционные сухие строительные смеси на основании отходов производства», на *IV Междунар. науч.-практ. конф. Инновационное развитие территорий*, Череповец: ЧГУ, 2016, с. 73-78.

[20] В. П. Ковальський, А. В. Бондар, В. П. Бурлаков, А. О. Бричанський, та А. В. Ковальський, «Сухі будівельні суміші для підлог цивільних будівель», in *The development of technical sciences: problems and solutions: Conference Proceedings*, Brno: Baltija Publishing, pp. 65-68, 2018.

[21] А. В. Бондарь, и В. П. Ковальский, «Использование отходов для производства строительных материалов», *IX Молодежной экологической конференции «Северная Пальмира»*, Санкт-Петербург: НИЦЭБ РАН, 2018, с. 148-151.

[22] А. В. Бондар, «Вплив гранулометрії глиняного мікронаповнювача на властивості сухих будівельних сумішей», на *III Міжнародній науково-практичній конференції «Теорія і практика актуальних наукових досліджень»*, м. Запоріжжя, 2018, Ч. 2, с. 25-27.

[23] А. В. Бондар, «Вплив мінеральних мікронаповнювачів і полімерних добавок на властивості сухих будівельних сумішей», на *Міжнародній науково-технічній конференції «Інноваційні технології в будівництві»*, Вінниця: ВНТУ, 2018, с. 215-218.

Патенти:

[24] В. П. Очеретний, В. П. Ковальський, і А. В. Бондар, «Суха будівельна суміш», *МПК С 04 В 28/02, С 04 В 14/10. № UA 76518 U*, 10.01.2013, Бюл. №1.

[25] В. П. Очеретний, В. П. Ковальський, і А. В. Бондар, «Суха будівельна суміш», *МПК С 04 В 28/02, С 04 В 14/10, С 04 В 14/16, С 04 В 14/26, С 04 В 18/10, № UA 91008 U*, 25.06.2014, Бюл. №12.

Апробація результатів дисертації:

Результати дисертаційної роботи обговорювались та доповідались на таких конференціях:

– на XXXVIII, XXXIX, XL, XLV регіональних науково-технічних конференціях професорсько-викладацького складу, співробітників та студентів університету з участю працівників науково-дослідних організацій та інженерно-технічних працівників підприємств. (м. Вінниця, ВНТУ, 2009 р., 2010 р., 2011 р., 2016 р., очна участь);

– на XLVII Науково-технічній конференції факультету будівництва, теплоенергетики та газопостачання (м. Вінниця, ВНТУ, 21.03.2018 – 23.03.2018, очна участь);

– на IV Міжнародній конференції молодих вчених GAC-2011 «Геодезія, архітектура та будівництво» (м. Львів, Львівська політехніка, 2011 р., заочна участь);

– на VIII науково-практичному семінарі «Низькоенергоємні в'язучі, бетони і розчини» (м. Рівне, НУВГП 30-31 жовтня 2013 р., заочна участь);

– на Міжнародній науково-технічній конференції «Інноваційні технології в будівництві» (м. Вінниця, ВНТУ, 18-20 листопада 2014 р., очна участь);

– на XXIV міжнародній науково-практичній конференції «Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я» (Харків, НТУ «ХП», 18-20 травня 2016 р., заочна участь);

– на Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы архитектуры, строительства, энергоэффективности и экологии – 2016» (Россия, г. Тюмень, РИО ФГБОУ ВО Тюменский индустриальный университет, 2016 г., заочное участие);

– на IV Международной научно-практической конференции «Инновационное развитие территорий» (Россия, г. Череповец, ЧГУ, 26 февраля 2016 г., заочное участие);

– на Международной научно-практической Интернет-конференции «Современные проблемы и пути их решения в науке, транспорте, производстве и образовании'2016» (Россия, г. Иваново, 7-14 июня 2016 г., заочное участие);

– на Міжнародній науково-технічній конференції «Екологічна безпека та відновлювальні джерела енергії» (Вінниця, ВНТУ, 24-25 травня 2017 р., очна участь);

– на Міжнародній науково-практичній Интернет-конференції «Молодь в технічних науках: дослідження, проблеми, перспективи/ Технології, матеріали і конструкції в будівництві та теплоенергетиці» (м. Вінниця, ВНТУ, 2017 р., очна участь);

– in The international research and practical conference «The development of technical sciences: problems and solutions» (Czech Republic, Brno, April 27–28, 2018, заочна участь);

– на II міжнародній науково-практичній конференції «Прикладні науково-технічні дослідження» (м. Івано-Франківськ, Академія технічних наук України, 3-5 квіт. 2018 р., заочна участь);

– на IX Молодежной экологической конференции «Северная Пальмира» (г. Санкт-Петербург, НИЦЭБ РАН, 22-23 ноября 2018 г., заочное участие);

– на III Міжнародній науково-практичній конференції «Теорія і практика актуальних наукових досліджень» (м. Запоріжжя, 28-29 вересня 2018 року, очна участь);

– на Міжнародній науково-технічній конференції «Інноваційні технології в будівництві» (Вінниця: ВНТУ, 13-15 листопада 2018 р., очна участь);

– на III міжнародній науково-практичній конференції «Прикладні науково-технічні дослідження: матеріали» (м. Івано-Франківськ, Академія технічних наук України, 3-5 квіт. 2019 р., заочна участь);

– на Международной научно-практической конференции «Инновации вокруг нас '2019» (Bulgaria, Svishtov, Tsenov Academy of Economics, 27 February 2019, очное участие).

ДОДАТОК Б

АКТ ВПРОВАДЖЕННЯ ДИСЕРТАЦІЙНОЇ РОБОТИ У НАВЧАЛЬНИЙ ПРОЦЕС



ЗАТВЕРДЖУЮ:

Перший проректор з науково-педагогічної роботи по організації навчального процесу та його науково-методичного забезпечення
Вінницького національного технічного університету

д.т.н., проф. Васілевський О.М.

« 29 » 08 2019 р.

АКТ

впровадження результатів дисертаційної роботи

Бондар Альони Василівни

на тему: «Ефективні сухі будівельні суміші для елементів підлог цивільних будівель»
у навчальний процес

Члени комісії у складі декана факультету будівництва, теплоенергетики та газопостачання, професора Ратушняка Г.С., заступника декана з наукової роботи, доцента Степанова Д.В., завідувача кафедри будівництва, міського господарства та архітектури, професора Моргун А.С. склали цей акт про те, що у Вінницькому національному технічному університеті для вивчення дисциплін «Будівельне матеріалознавство», «Виробнича база будівництва» та «Архітектура будівель і споруд» для студентів спеціальності 192 – «Будівництво та цивільна інженерія» впроваджено такі результати, розроблені асистентом Бондар А.В.:

- теоретичні, практичні та методичні розробки сучасних ефективних композиційних будівельних матеріалів з використанням відходів та побічних продуктів промисловості включені до відповідних розділів лекційного та лабораторного курсу у програмі дисципліни «Будівельне матеріалознавство», а саме – поняття сухих будівельних сумішей як сучасного композиційного матеріалу для широкого спектру будівельних робіт та виготовлення штучних виробів і монолітних конструкційних елементів будівель, визначення основних властивостей відходів виробництва та їх вплив на фізико-механічні властивості будівельних матеріалів (розчинів різного призначення, дрібнозернистих та підрюватих бетонів), проектування та розробка складів сухих будівельних сумішей та розчинів на їх основі, в тому числі з покращеними тепло-звукоізоляційними властивостями, визначення їх фізичних, механічних, гідрофізичних та спеціальних властивостей;

- у програмі дисципліни «Виробнича база будівництва» – розробка технологічних схем та процесів виготовлення сухих будівельних сумішей на основі відходів промисловості та місцевих сировинних матеріалів;

- у програмі дисципліни «Архітектура будівель і споруд» – вивчення та визначення залежності коефіцієнту теплопровідності та звукопоглинання від середньої густини, складу та структури будівельного матеріалу.

Впровадження результатів дисертаційного дослідження відбувалось шляхом виконання науково-дослідної роботи студентів та аспірантів, підготовки наукових доповідей та презентацій разом із студентами, проведення тематичних лекцій та практичних, семінарських і лабораторних занять з питань розробки ефективних і економічних будівельних матеріалів на основі відходів та побічних продуктів промисловості та місцевих сировинних матеріалів, що позитивно впливає на ресурсозбереження та екологічну ситуацію в регіоні.

Декан ФБТЕГП

Заступник декана ФБТЕГП

Завідувач кафедри БМГА

Ратушняк Г.С.

Степанов Д.В.

Моргун А.С.

ДОДАТОК В

АКТИ ДОСЛІДНО-ПРОМИСЛОВОГО ВПРОВАДЖЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

ФОП «Хмара»

 Хмара В.В.

«14» 05 2019 р.

АКТ

дослідно-промислового впровадження результатів дисертаційної роботи
Бондар Альони Василівни
на тему: «ЕФЕКТИВНІ СУХІ БУДІВЕЛЬНІ СУМІШІ ДЛЯ
ЕЛЕМЕНТІВ ПІДЛОГ ЦИВІЛЬНИХ БУДІВЕЛЬ»

Виданий представнику ВНТУ асистенту кафедри БМГА Бондар А. В., про те що проведені нею дослідження в галузі проектування складів ефективних сухих будівельних сумішей з використанням відходів та побічних продуктів промисловості у 2010-2019 рр. були застосовані при випуску дослідної партії сухої будівельної суміші для поризованих розчинів, що будуть використані при влаштуванні стяжок та прошарків підлог із покращеними звукоізоляційними характеристиками.

Загальний економічний ефект від впровадження наукових розробок становить 123 грн. 80 коп. – 877 грн. 76 коп. на 1 т сухої суміші з активованими мінеральними наповнювачами з відходів виробництва у порівнянні із сумішами на пористих заповнювачах типу перліту для влаштування звукоізоляційних стяжок і прошарків підлог (економічний ефект залежить від вартості і кількості компонентів аналогових сумішей, затрат ПЦ М500 або М400 та функціональних добавок на отримання поризованого розчину М150, М100, М75, М50, М25, М10, М4).

Склад 1 т сухої суміші для виготовлення поризованого розчину для стяжки групи СТ1: цемент М500 – 370 кг; пісок кварцовий з $M_k = 1,2$ мм – 50 кг, $M_k = 0,315$ мм – 50 кг; зола-винесення Ладжикинської ТЕС – 220 кг; відходи каменерізання вапняку з $M_k < 0,14$ мм – 83,2 кг; фракції 0,315-0,63 мм – 123,2 кг, фракції 0,63-1,25 мм – 103,6 кг; піноутворювач UNICELL (або LORI, або аналогічний) – 1,6% (5,92 кг 25% концентрації); редиспергований порошок ElotexFX2320 – 4% (14,8 кг); ефір целюлози Vertocol SAА – 0,3% (1,11 кг); суперпластифікатор SikaMixPlus (або аналогічний) – 0,2% (0,74 кг); фібра поліпропіленова MicroArm довжиною 4 мм – 0,3 кг. Вартість 2693 грн. 42 коп.

Склад 1 т сухої суміші для виготовлення поризованого розчину для прошарку групи ПР1: цемент М500 – 370 кг; пісок кварцовий – з $M_k = 0,63$ мм – 45 кг, $M_k = 0,315$ мм – 55 кг; зола-винесення Ладжикинської ТЕС – 175 кг; відходи каменерізання вапняку з $M_k < 0,14$ мм – 117 кг, фракції 0,14-0,315 мм – 77 кг, фракції 0,315-0,63 – 114 кг; глина високопластична – 47 кг; піноутворювач UNICELL (або LORI, або аналогічний) – 1,6% (5,92 кг 25% концентрації); редиспергований порошок ElotexFX2320 – 4% (14,8 кг); ефір целюлози Vertocol SAА – 0,3% (1,11 кг); суперпластифікатор – 0,2% (0,74 кг); фібра поліпропіленова MicroArm довжиною 2 мм – 0,2 кг. Вартість 2665 грн. 77 коп.


Випущені сухі будівельні суміші для елементів підлог відповідають марці М150, середня густина поризованого розчину із СБС $\rho_{in} = 900$ кг/м³, що дозволяє її застосовувати у цивільному будівництві всередині будівель.

ФОП «Хмара»

Представник ВНТУ:
асистент кафедри БМГА



 Хмара В.В.

 Бондар А.В.



ГРУПА КОМПАНІЙ

ТОВ ПП "ІЗОТЕРМ-С"

33001, м.Рівне, вул. Дворецька, 128
 тел. факс: (0362) 625-664, 625-665
 www.stolit.ua

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Директор ТОВ ПП "ІЗОТЕРМ-С"

Ю. Я. Сень

2019 р.

АКТ**про впровадження результатів дисертаційного дослідження**

Цим актом підтверджується, що результати роботи

«Ефективні сухі будівельні суміші для елементів підлог цивільних будівель»

(назва роботи)

що виконана в Вінницькому національному технічному університеті, на кафедрі будівництва, міського господарства та архітектури

(найменування вищого навчального закладу)

асистентом кафедри БМГА Бондар Альоною Василівною

(відповідальний виконавець)

впроваджені на підприємстві ТОВАРИСТВО З ОБМЕЖЕНОЮ ВІДПОВІДАЛЬНІСТЮ - ПІДПРИЄМСТВО З ІНОЗЕМНОЮ ІНВЕСТИЦІЄЮ "ІЗОТЕРМ-С"

(найменування підприємства, де виконано впровадження)

1. Вид впроваджених результатів:

Виробництво сухої будівельної суміші для проширку із покращеною звукоізоляцією

Виробництво сухої будівельної суміші для вирівнюючої стяжки

(вироби, технології)

2. Характеристика масштабів впровадження: Партія

(одиничне, партія, серійне, масове)

3. Форма впровадження: Суха будівельна суміш, фасована в мішки по 25 кг

(вироби, технології)

4. Новизна результатів науково-дослідних робіт: Модифікація складів та введення багатостадійної механічної активації у технологічну схему виробництва сухих сумішей дозволила підвищити міцність елементів підлог на 26-31%, знизити середню густину на 54-61%, а також підвищити закриту пористість до 45% (від загальної), за рахунок чого досягається звукоізолявальна спроможність проширків підлог у 2,2 рази вище аналогічних пористих матеріалів та сухих сумішей на легких заповнювачах.

(якісно нове, модифікація, модернізація)

5. Очікуваний економічний ефект: на 1000 тон.


6. Соціальний та екологічний ефект: зменшується кількість техногенних відходів, що зберігаються у відвалах, знижується необхідність будівництва нових відвалів на сільськогосподарських землях; можливість використання сировинних матеріалів та побічних відходів видобутку корисних копалин, які через їх тонкодисперсність не придатні для виготовлення звичайних важких розчинів та бетонів.

Від ВНТУ

к.т.н. доц. каф. БМГА

 В. П. Очеретний

асистент каф. БМГА

 А. В. Бондар

к.т.н., доц. каф. БМГА

 В. П. Ковальський



Від підприємства

Директор

Ю. Я. Сень

Підписав: Р. М. Мандзюк

Р. М. Мандзюк



АКТ

дослідно-промислових випробувань сухих будівельних сумішей

Результати дисертаційної роботи Бондар А. В. були використані при отриманні шести дослідних партій сухих будівельних сумішей для елементів підлог у кількості 250 кг кожна.

Для проведення випробувань використовувались матеріали: загальнобудівельний бездомішковий портландцемент ПЦ І-500 Кам'янець-Подільського цементного заводу, відходи каменерізання карбонатних гірських порід Джуринського-1 родовища, дрібні піски кварцові з розміром часток до 1,2 мм Жеребелівського родовища, зола-винесення Ладижинської ТЕС, глини високопластичні Вендичанського-2 родовища Вінницької області. Як добавки використовувались наступні компоненти: сухі піноутворювачі UNICELL/ LORI, неіонні водорозчинні ефіри целюлози BERMOCOLL САА 425, редиспергований полімерний порошок Elotex FX2320, фібра поліпропіленова MicroArm довжиною 2, 4 мм, суперпластифікатори (при необхідності Mellflux 2651F у суху суміш, SikaMixPlus у розчин).

Витрати матеріалів наведені в таблиці 1.

Таблиця 1

Склади сумішей

Найменування матеріалу	Вміст компонентів					
	I	II	III	IV	V	VI
ПЦ І-500, мас. ч	20	30	37	20	30	37
Пісок кварцовий, мас. ч.	17	15	10	17	15	10
Пісок вапняковий, мас. ч.	33	30	31	35,5	32,5	30,8
Зола-винесення, мас. ч.	30	25	22	12,5	15,5	17,5
Глина високопластична, мас. ч.	-	-	-	15	7	4,7
*Піноутворювач сухий, мас. ч.	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6
*Редиспергований порошок, мас. ч.	4	4	4	4	4	4
*Ефір целюлози, мас. ч.	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
Фібра поліпропіленова 2 мм, кг/1 т	-	-	-	0,2	0,2	0,2
Фібра поліпропіленова 4 мм, кг/1 т	0,3	0,3	0,3	-	-	-
*Суперпластифікатор, мас. ч.	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2

* мас. ч. від витрат ПЦ

Виготовлення сумішей виконувалось на існуючій лінії підприємства ТОВ ПП "ІЗОТЕРМ-С", яка оснащена основним технологічним обладнанням: електросушильний барабан, подрібнювачі фракційні, сита, бункери, вагові дозатори, змішувачі, фасувочна машина.

Для проведення лабораторних випробувань було виготовлено поризовані розчини, які тверділи при нормальних умовах.

Результати лабораторних випробувань основних властивостей розчинових сумішей наведені у таблиці 2, затверділих розчинів у таблиці 3.

Таблиця 2

Результати дослідно-промислових випробувань розчинових сумішей

Характеристики	Номер складу					
	I	II	III	IV	V	VI
Час приготування розчинової суміші, хв	5	5	5	5	5	5
Розтічність, см	-	-	-	18	20,8	21,6
Рухомість, см	10,1	12,4	14,2	-	-	-
Термін придатності, хв, не менше	65	50	45	60	50	45
*В/Т відношення	0,21	0,25	0,28	0,23	0,27	0,32
*Середня густина розчинової суміші, кг/м ³	995	1042	1086	947	1016	1047

* не нормується ДСТУ Б В.2.7-126:2011

Таблиця 3

Результати дослідно-промислових випробувань затверділих розчинів

Характеристики	Номер складу					
	I	II	III	IV	V	VI
Усадка, мм/м	2	2	2	2	2	2
Границя міцності на стиск, через три доби, МПа	3,27	4,34	5,73	2,92	3,86	5,10
Границя міцності на стиск, через 28 діб, МПа	12,85	14,55	16,30	11,32	13,83	15,07
Границя міцності на розтяг, через 28 діб, МПа	8,31	9,10	10,98	7,13	8,16	9,73
Міцність зчеплення з бетонною основою після витримання в повітряно-сухих умовах, МПа	0,70	0,82	1,18	0,58	0,65	0,73
*Середня густина затверділого розчину, кг/м ³	810	847	890	770	853	897

* не нормується ДСТУ Б В.2.7-126:2011

ЗАКЛЮЧЕННЯ

Проведені дослідно-промислові випробування показали технічну можливість отримання сухих будівельних сумішей для поризованих розчинів, які мають високі експлуатаційні характеристики. Отримані сухі будівельні суміші можна рекомендувати для влаштування прошарків підлог групи ПР1 та вирівнюючих стяжок групи СТ1 згідно чинного державного стандарту ДСТУ Б В.2.7-126:2011 «Суміші будівельні сухі модифіковані. Загальні технічні умови».

Представники ВНТУ

к.т.н., доц. каф. БМГА

асистент каф. БМГА

к.т.н., доц. каф. БМГА

В. П. Очеретний

А. В. Бондар

В. П. Ковальський

Представники ТОВ ПП "ІЗОТЕРМ-С"

директор

начальник цеху СБС



Ю. Я. Сень

І. М. Мандзюк

**ТОВАРИСТВО З ОБМЕЖЕНОЮ ВІДПОВІДАЛЬНІСТЮ
«ДЕВЕЛОПМЕНТ БІЛДІНГ ГРУП»**

04070, м. Київ, вул. Фролівська, буд. 1/6
Код ЄДРПОУ №30519952

№ 11/08-16в
від 15 серпня 2019 р.

АКТ

**дослідно-промислового впровадження результатів дисертаційної роботи
Бондар Альони Василівни**

**на тему: «ЕФЕКТИВНІ СУХІ БУДІВЕЛЬНІ СУМІШІ ДЛЯ ЕЛЕМЕНТІВ ПІДЛОГ
ЦИВІЛЬНИХ БУДІВЕЛЬ»**

Даний акт складено про те, що результати кандидатської дисертаційної роботи впроваджені компанією ТОВ «ДЕВЕЛОПМЕНТ БІЛДІНГ ГРУП» при будівництві житлового багатоповерхового будинку у м. Києві.

Економічний ефект дослідно-промислового впровадження сухої будівельної суміші та поризованих розчинів на її основі при будівництві житлового багатоповерхового будинку у м. Києві склав:

-19,27 грн. і вище на 1 м² при влаштуванні звукоізоляційного прошарку міжповерхового перекриття товщиною 50 мм у порівнянні із базовою сумішшю на легких заповнювачах для звукоізоляції;

- 10,96 грн. на 1 м² при влаштуванні вирівнюючої стяжки товщиною 30 мм у порівнянні із базовим цементно-піщаним розчином М150.

Суміш відповідала марці М150, середній густині 900 кг/м³.

Директор
ТОВ «ДЕВЕЛОПМЕНТ БІЛДІНГ ГРУП»



Кучеренко О.М.

Таблиця 2 - Матриці планування експерименту для середньої щільності поризованого розчину

витрата піноутворювача X1	витрата цементу X2	V/T=X3	У-сер. щільність	номер досліду	X0	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	Y
0,5	190	0,395	727	1	1	0,5	190	0,395	95	0,1975	75,05	0,25	36100	0,156025	727
0,6	190	0,395	736	2	1	0,6	190	0,395	114	0,237	75,05	0,36	36100	0,156025	736
0,7	190	0,395	586	3	1	0,7	190	0,395	133	0,2765	75,05	0,49	36100	0,156025	586
0,8	190	0,395	690	4	1	0,8	190	0,395	152	0,316	75,05	0,64	36100	0,156025	690
0,9	190	0,395	800	5	1	0,9	190	0,395	171	0,3555	75,05	0,81	36100	0,156025	800
1	190	0,395	779	6	1	1	190	0,395	190	0,395	75,05	1	36100	0,156025	779
1	190	0,263	808	7	1	1	190	0,263	190	0,263	49,97	1	36100	0,069169	808
1	190	0,316	1040	8	1	1	190	0,316	190	0,316	60,04	1	36100	0,099856	1040
1	190	0,33	870	9	1	1	190	0,33	190	0,33	62,7	1	36100	0,1089	870
1	190	0,342	780	10	1	1	190	0,342	190	0,342	64,98	1	36100	0,116964	780
1	190	0,368	740	11	1	1	190	0,368	190	0,368	69,92	1	36100	0,135424	740
1	240	0,417	932	12	1	1	240	0,417	240	0,417	100,08	1	57600	0,173889	932
1	240	0,42	650	13	1	1	240	0,42	240	0,42	100,8	1	57600	0,1764	650
1	180	0,256	808	14	1	1	180	0,256	180	0,256	46,08	1	32400	0,065536	808
1	171	0,33	830	15	1	1	171	0,33	171	0,33	56,43	1	29241	0,1089	830
1	152	0,33	950	16	1	1	152	0,33	152	0,33	50,16	1	23104	0,1089	950
1	133	0,33	930	17	1	1	133	0,33	133	0,33	43,89	1	17689	0,1089	930
1	164	0,37	940	18	1	1	164	0,37	164	0,37	60,68	1	26896	0,1369	940
1	145	0,26	820	19	1	1	145	0,26	145	0,26	37,7	1	21025	0,0676	820
1	76	0,363	560	20	1	1	76	0,363	76	0,363	27,588	1	5776	0,131769	560
1	171	0,263	1070	21	1	1	171	0,263	171	0,263	44,973	1	29241	0,069169	1070
1	152	0,263	860	22	1	1	152	0,263	152	0,263	39,976	1	23104	0,069169	860
1,2	240	0,313	770	23	1	1,2	240	0,313	288	0,3756	75,12	1,44	57600	0,097969	770
1,3	240	0,313	905	24	1	1,3	240	0,313	312	0,4069	75,12	1,69	57600	0,097969	905
1,4	240	0,313	795	25	1	1,4	240	0,313	336	0,4382	75,12	1,96	57600	0,097969	795
1,5	190	0,395	720	26	1	1,5	190	0,395	285	0,5925	75,05	2,25	36100	0,156025	720
1,5	240	0,313	830	27	1	1,5	240	0,313	360	0,4695	75,12	2,25	57600	0,097969	830
2	190	0,395	940	28	1	2	190	0,395	380	0,79	75,05	4	36100	0,156025	940
2,5	190	0,395	1290	29	1	2,5	190	0,395	475	0,9875	75,05	6,25	36100	0,156025	1290
2,6	190	0,395	780	30	1	2,6	190	0,395	494	1,027	75,05	6,76	36100	0,156025	780

витрата піноутворювача X1	витрата цементу X2	V/T=X3	У-сер. щільність	номер досліду	X0	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	Y
0,55	190	0,395	732	1	1	0,55	190	0,395	104,5	0,21725	75,05	0,3025	36100	0,156025	732
0,7	190	0,395	586	2	1	0,7	190	0,395	133	0,2765	75,05	0,49	36100	0,156025	586
0,8	190	0,395	690	3	1	0,8	190	0,395	152	0,316	75,05	0,64	36100	0,156025	690
0,9	190	0,395	800	4	1	0,9	190	0,395	171	0,3555	75,05	0,81	36100	0,156025	800
1	161	0,32	838	5	1	1	161	0,32	161	0,32	51,52	1	25921	0,1024	838
1,25	240	0,313	837	6	1	1,25	240	0,313	300	0,39125	75,12	1,5625	57600	0,097969	837
1,4	240	0,313	795	7	1	1,4	240	0,313	336	0,4382	75,12	1,96	57600	0,097969	795
1,5	215	0,36	775	8	1	1,5	215	0,36	322,5	0,54	77,4	2,25	46225	0,1296	775
2	190	0,395	940	9	1	2	190	0,395	380	0,79	75,05	4	36100	0,156025	940
2,5	190	0,395	1035	10	1	2,5	190	0,395	475	0,9875	75,05	6,25	36100	0,156025	1035

витрата піноутворювача const	витрата цементу X1	V/T=X2	У-сер. щільність	номер досліду	X0	X1	X2	X3	X4	X5	Y
1	190	0,34	836	1	1	190	0,34	65	36100	0,1156	836
1	240	0,417	791	2	1	240	0,417	100	57600	0,173889	791
1	180	0,256	808	3	1	180	0,256	46	32400	0,065536	808
1	171	0,29	950	4	1	171	0,29	50	29241	0,0841	950
1	152	0,29	905	5	1	152	0,29	44	23104	0,0841	905
1	133	0,33	930	6	1	133	0,33	44	17689	0,1089	930
1	164	0,37	940	7	1	164	0,37	61	26896	0,1369	940
1	145	0,26	820	8	1	145	0,26	38	21025	0,0676	820
1	76	0,363	560	9	1	76	0,363	28	5776	0,131769	560

Таблиця 4. Матриця планування та складу сухої будівельної суміші

№	Натуральні значення факторів							Експериментальні значення властивостей розчину						
	Ц М500	П (до 12 мм)	ВП (>0,14 мм)	ВП (0,14-0,315 мм)	ВП (0,315-0,63 мм)	ВП (0,63-1,25 мм)	ВП (1,25-2,5 мм)	П	ЗВ	П/ВП	Ц/З(Н)	ВТ	ρ _с кг/м ³	R _с , МПа, 28 діб
1	0,25	0,55	0,15	0	0	0	0	0,05	0	3,67	0,36	0,316	930	1,1
2	0,25	0,525	0,175	0	0	0	0	0,05	0	3,00	0,36	0,316	930	1,28
3	0,25	0,5	0,2	0	0	0	0	0,05	0	2,50	0,36	0,316	930	1,47
4	0,25	0,475	0,225	0	0	0	0	0,05	0	2,11	0,36	0,316	930	1,65
5	0,25	0,45	0,25	0	0	0	0	0,05	0	1,80	0,36	0,316	930	1,83
6	0,3	0,5	0,15	0	0	0	0	0,05	0	3,33	0,46	0,316	930	2,26
7	0,3	0,475	0,175	0	0	0	0	0,05	0	2,71	0,46	0,316	930	2,84
8	0,3	0,45	0,2	0	0	0	0	0,05	0	2,25	0,46	0,316	930	3,31
9	0,3	0,425	0,225	0	0	0	0	0,05	0	1,89	0,46	0,316	930	3,79
10	0,3	0,4	0,25	0	0	0	0	0,05	0	1,60	0,46	0,316	1000	4,26
11	0,35	0,45	0,15	0	0	0	0	0,05	0	3,00	0,58	0,316	1030	5,05
12	0,35	0,425	0,175	0	0	0	0	0,05	0	2,43	0,58	0,316	1060	5,48
13	0,35	0,4	0,2	0	0	0	0	0,05	0	2,00	0,58	0,316	1080	5,9
14	0,35	0,375	0,225	0	0	0	0	0,05	0	1,67	0,58	0,316	1100	6,33
15	0,35	0,35	0,25	0	0	0	0	0,05	0	1,40	0,58	0,316	1130	6,77
16	0,25	0,55	0	0,15	0	0	0	0,05	0	3,67	0,36	0,268	870	1,25
17	0,25	0,525	0	0,175	0	0	0	0,05	0	3,00	0,36	0,248	920	1,67
18	0,25	0,5	0	0,2	0	0	0	0,05	0	2,50	0,36	0,248	950	3,42
19	0,25	0,475	0	0,225	0	0	0	0,05	0	2,11	0,36	0,248	980	5,16
20	0,25	0,45	0	0,25	0	0	0	0,05	0	1,80	0,36	0,248	1000	5,63
21	0,3	0,5	0	0,15	0	0	0	0,05	0	3,33	0,46	0,248	1030	6,35
22	0,3	0,475	0	0,175	0	0	0	0,05	0	2,71	0,46	0,248	1065	7,05
23	0,3	0,45	0	0,2	0	0	0	0,05	0	2,25	0,46	0,248	1070	7,21
24	0,3	0,425	0	0,225	0	0	0	0,05	0	1,89	0,46	0,248	1100	8,11
25	0,3	0,4	0	0,25	0	0	0	0,05	0	1,60	0,46	0,248	1120	9,02
26	0,35	0,45	0	0,15	0	0	0	0,05	0	3,00	0,58	0,248	1150	10,53
27	0,35	0,425	0	0,175	0	0	0	0,05	0	2,43	0,58	0,248	1180	11,62
28	0,35	0,4	0	0,2	0	0	0	0,05	0	2,00	0,58	0,248	1210	12,69
29	0,35	0,375	0	0,225	0	0	0	0,05	0	1,67	0,58	0,248	1260	13,72
30	0,35	0,35	0	0,25	0	0	0	0,05	0	1,40	0,58	0,248	1315	14,82
31	0,25	0,55	0	0	0,15	0	0	0,05	0	3,67	0,36	0,271	760	2,14
32	0,25	0,525	0	0	0,175	0	0	0,05	0	3	0,36	0,271	790	2,5
33	0,25	0,5	0	0	0,2	0	0	0,05	0	2,5	0,36	0,271	900	2,74
34	0,25	0,475	0	0	0,225	0	0	0,05	0	2,11	0,36	0,271	1150	2,21
35	0,25	0,4	0	0	0,25	0	0	0,05	0	1,8	0,38	0,271	1026	4,93
36	0,3	0,5	0	0	0,15	0	0	0,05	0	3,33	0,46	0,271	1060	4,95
37	0,3	0,475	0	0	0,175	0	0	0,05	0	2,71	0,46	0,271	1050	4,87
38	0,3	0,45	0	0	0,2	0	0	0,05	0	2,25	0,46	0,271	1070	4,87
39	0,3	0,425	0	0	0,225	0	0	0,05	0	1,89	0,46	0,271	1110	5,06
40	0,3	0,35	0	0	0,25	0	0	0,05	0	1,6	0,50	0,271	1100	5,1
41	0,35	0,45	0	0	0,15	0	0	0,05	0	3	0,58	0,271	1100	5,17
42	0,35	0,425	0	0	0,175	0	0	0,05	0	2,43	0,58	0,271	1145	5,38
43	0,35	0,4	0	0	0,2	0	0	0,05	0	2	0,58	0,271	1210	5,53
44	0,35	0,375	0	0	0,225	0	0	0,05	0	1,67	0,58	0,271	1235	5,77
45	0,35	0,35	0	0	0,25	0	0	0,05	0	1,4	0,60	0,271	1370	6,02
46	0,25	0,55	0	0	0	0,15	0	0,05	0	3,67	0,36	0,268	990	1,24
47	0,25	0,525	0	0	0	0,175	0	0,05	0	3	0,36	0,268	950	1,33
48	0,25	0,5	0	0	0	0,2	0	0,05	0	2,5	0,36	0,268	880	1,38
49	0,25	0,475	0	0	0,225	0	0	0,05	0	2,11	0,36	0,268	880	1,75
50	0,25	0,45	0	0	0,25	0	0	0,05	0	1,8	0,36	0,268	880	2,12
51	0,3	0,5	0	0	0,15	0	0	0,05	0	3,33	0,46	0,268	880	2,84
52	0,3	0,475	0	0	0,175	0	0	0,05	0	2,71	0,46	0,268	900	3,01
53	0,3	0,45	0	0	0,2	0	0	0,05	0	2,25	0,46	0,268	920	3,17
54	0,3	0,425	0	0	0,225	0	0	0,05	0	1,89	0,46	0,268	990	3,33
55	0,3	0,4	0	0	0,25	0	0	0,05	0	1,6	0,46	0,268	1045	3,63
56	0,35	0,45	0	0	0,15	0	0	0,05	0	3	0,58	0,268	1080	4,5
57	0,35	0,425	0	0	0,175	0	0	0,05	0	2,43	0,58	0,268	1115	5,37
58	0,35	0,4	0	0	0,2	0	0	0,05	0	2	0,58	0,268	1160	5,66
59	0,35	0,375	0	0	0,225	0	0	0,05	0	1,67	0,58	0,268	1200	7,13
60	0,35	0,35	0	0	0,25	0	0	0,05	0	1,4	0,58	0,268	1240	8,87
61	0,25	0,55	0	0	0	0,15	0	0,05	0	3,67	0,36	0,245	980	1,54
62	0,25	0,525	0	0	0	0,175	0	0,05	0	3	0,36	0,245	980	1,55
63	0,25	0,5	0	0	0	0,2	0	0,05	0	2,5	0,36	0,245	980	1,57
64	0,25	0,475	0	0	0	0,225	0	0,05	0	2,11	0,36	0,245	980	1,59
65	0,25	0,45	0	0	0	0,25	0	0,05	0	1,8	0,36	0,245	980	1,62
66	0,3	0,5	0	0	0,15	0	0	0,05	0	3,33	0,46	0,245	980	1,64
67	0,3	0,475	0	0	0,175	0	0	0,05	0	2,71	0,46	0,245	980	1,65
68	0,3	0,45	0	0	0,2	0	0	0,05	0	2,25	0,46	0,245	990	1,66
69	0,3	0,425	0	0	0,225	0	0	0,05	0	1,89	0,46	0,245	990	1,67
70	0,3	0,4	0	0	0,25	0	0	0,05	0	1,6	0,46	0,245	990	1,68
71	0,35	0,45	0	0	0	0,15	0	0,05	0	3	0,58	0,245	990	1,69
72	0,35	0,425	0	0	0,175	0	0	0,05	0	2,43	0,58	0,245	990	1,71
73	0,35	0,4	0	0	0,2	0	0	0,05	0	2	0,58	0,245	1000	1,73
74	0,35	0,375	0	0	0	0,225	0	0,05	0	1,67	0,58	0,245	1000	1,75
75	0,35	0,35	0	0	0	0,25	0	0,05	0	1,4	0,58	0,245	1000	1,77
76	0,3	0,25	0,25	0	0	0	0	0,05	0,15	1	0,18	0,351	770	5,21
77	0,3	0,2	0,25	0	0	0	0	0,05	0,2	0,8	0,21	0,351	835	5,65
78	0,3	0,175	0,25	0	0	0	0	0,05	0,225	0,7	0,22	0,351	900	6,09
79	0,3	0,15	0,25	0	0	0	0	0,05	0,25	0,6	0,24	0,351	970	6,61
80	0,3	0,1	0,25	0	0	0	0	0,05	0,3	0,4	0,29	0,351	1080	6,99
81	0,3	0,25	0	0,25	0	0	0	0,05	0,15	1	0,18	0,276	880	5,82
82	0,3	0,2	0	0,25	0	0	0	0,05	0,2	0,8	0,21	0,276	880	7,76
83	0,3	0,175	0	0,25	0	0	0	0,05	0,225	0,7	0,22	0,276	988	8,74
84	0,3	0,15	0	0,25	0	0	0	0,05	0,25	0,6	0,24	0,276	1062	9,85
85	0,3	0,1	0	0,25	0	0	0	0,05	0,3	0,4	0,29	0,276	1080	10,28
86	0,3	0,25	0	0	0,25	0	0	0,05	0,15	1	0,18	0,28	813	6,74
87	0,3	0,2	0	0	0,25	0	0	0,05	0,2	0,8	0,21	0,28	935	6,92
88	0,3	0,175	0	0	0,25	0	0	0,05	0,225	0,7	0,22	0,28	982	7,16
89	0,3	0,15	0	0	0,25	0	0	0,05	0,25	0,6	0,24	0,28	1070	7,3
90	0,3	0,1	0	0	0,25	0	0	0,05	0,3	0,4	0,29	0,28	1151	7,57
91	0,3	0,25	0	0	0,25	0	0	0,05	0,15	1	0,18	0,275	870	7,18
92	0,3	0,2	0	0	0,25	0	0	0,05	0,2	0,8	0,21	0,275	890	7,62
93	0,3	0,175	0	0	0,25	0	0	0,05	0,225	0,7	0,22	0,275	900	8,05
94	0,3	0,15	0	0	0,25	0	0	0,05	0,25	0,6	0,24	0,275	970	7,38
95	0,3	0,1	0	0	0,25	0	0	0,05	0,3	0,4	0,29	0,275	1033	7,41
96	0,3	0,25	0	0	0	0,25	0	0,05	0,15	1	0,21	0,29	830	5,61
97	0,3	0,2	0	0	0	0,25	0	0,05	0,2	0,8	0,25	0,29	870	7,48
98	0,3	0,175	0	0	0	0,25	0	0,05						

ДОДАТОК Д

ПАТЕНТИ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **76518** (13) **U**
(51) МПК**C04B 28/02** (2006.01)**C04B 14/10** (2006.01)

ДЕРЖАВНА СЛУЖБА
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ
УКРАЇНИ

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

<p>(21) Номер заявки: u 2012 06574</p> <p>(22) Дата подання заявки: 30.05.2012</p> <p>(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: 10.01.2013</p> <p>(46) Публікація відомостей про видачу патенту: 10.01.2013, Бюл.№ 1</p>	<p>(72) Винахідник(и): Очеретний Володимир Петрович (UA), Ковальський Віктор Павлович (UA), Бондар Альона Василівна (UA)</p> <p>(73) Власник(и): ВІННИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ, Хмельницьке шосе, 95, м. Вінниця, 21021 (UA)</p>
---	--

(54) СУХА БУДІВЕЛЬНА СУМІШ**(57) Реферат:**

Суха будівельна суміш включає глину, цемент, карбонатний пісок.

UA 76518 U



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **91008** (13) **U**

(51) МПК

C04B 28/04 (2006.01)**C04B 14/10** (2006.01)**C04B 14/06** (2006.01)**C04B 14/26** (2006.01)**C04B 18/10** (2006.01)

ДЕРЖАВНА СЛУЖБА
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ
УКРАЇНИ

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

<p>(21) Номер заявки: u 2013 06189</p> <p>(22) Дата подання заявки: 20.05.2013</p> <p>(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: 25.06.2014</p> <p>(46) Публікація відомостей про видачу патенту: 25.06.2014, Бюл.№ 12</p>	<p>(72) Винахідник(и): Очеретний Володимир Петрович (UA), Ковальський Віктор Павлович (UA), Бондар Альона Василівна (UA)</p> <p>(73) Власник(и): ВІННИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ, Хмельницьке шосе, 95, м. Вінниця, 21021 (UA)</p>
--	--

(54) СУХА БУДІВЕЛЬНА СУМІШ**(57) Реферат:**

Суха будівельна суміш містить глину, цемент, карбонатний пісок, кварцовий пісок, золу-виносення теплоелектростанцій. Розміри часток глини та карбонатного піску повинні бути не менше 0,315 мм але не більше 0,63 мм, а кварцового піску не більше 1,2 мм.

UA 91008 U