

## АНОТАЦІЯ

*Саад Салем.* Технологія виготовлення бетонних труб для систем меліорації Лівану. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 192 «Будівництво та цивільна інженерія» (19 «Архітектура та містобудування»). – Харківський національний університет будівництва та архітектури, Харків, 2021.

Дисертаційна робота присвячена дослідженню можливості використання бетонних неармованих труб для підземних розподільних іригаційних систем трубопроводів, які транспортують воду в самопливно-напірному режимі; визначенню необхідної міцності бетону для труб, які прокладено в землі, з тим, щоб бетонна труба по міцності відповідала армованим залізобетонним трубам; встановленню ефективності нового технічного рішення.

У роботі проведено обґрунтування теми досліджень, сформульована мета та задачі досліджень, наведено наукову новизну та практичне значення отриманих результатів.

Здійснено аналіз наукових публікацій і праць, які присвячені вивченню стану питань про технологічні та фізико-хімічні аспекти створення бетонних неармованих труб, які можуть використовуватися в іригаційних системах Лівану. Проведено аналіз світового досвіду використання мікрокремнезему для модифікації цементних систем. Проведено огляд особливостей застосування суперпластифікаторів і механізмів модифікації цементної матриці. Проведено огляд сучасних видів мікроармування бетонів і обґрунтовано переваги використання поліпропіленової фібри для створення неармованих труб для систем меліорації. Наведено відомості про використані матеріали та методи досліджень. У якості матеріалів дослідження обрані портландцемент марки ПЦ І-

500 Н, що відповідає вимогам ДСТУ Б В.2.7-46:2010, гранітний відсів, який виготовлено в результаті дроблення та просіювання гранітної породи, поліпропіленова фібра довжиною 6, 12 та 18 мм, шлам мокрого газоочищення після виробництва феросиліцію на феросплавному заводі Зук аль-Хараб і Мар (Ліван), комплексна суперпластифікуюча та суперводоредукуюча добавка-прискорювач для тужавіння бетонів і розчинів «Sika® Antifreeze № 9».

Для вивчення й аналізу складу та властивостей сировинних матеріалів і виробів були використані як новітні фізико-хімічні методи дослідження (рентгенофазовий аналіз, растрова мікроскопія та ртутна порометрія), так і стандартні методики визначення властивостей сировини та виробів.

Достовірність наукових результатів і висновків у дисертаційній роботі забезпечено експериментальними дослідженнями, які проведені в акредитованій лабораторії на атестованому обладнанні та приладах, а також сучасними методиками обробки інформації, математичним методом ортогонального центрального композиційного планування експерименту та сучасним програмним забезпеченням (пакет «Model Vision Studium» (MvS, версія 4), програми «Sigma Plot» та «Statistik»).

Проведено вивчення властивостей модифікованих дрібнозернистих бетонів із поліпропіленовою фіброю на основі багатокомпонентного в'язучого.

Встановлено, що оптимальним варіантом за фізико-механічними показниками є додавання шламу мокрого газоочищення в кількості 15 %. Подальше збільшення вмісту шламу в суміші майже не впливає на міцність, однак додавання його значно ускладнює технологію приготування.

Доведено, що використання шламу мокрого газоочищення виробництва феросиліцію у складі багатокомпонентного в'язучого сприяє утворенню поліморфних модифікацій оксиду кремнію та низькоосновних гідросилікатів кальцію типу CSH (I) при зниженні частки гідроксиду кальцію  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ .

Експериментально доведено, що при введенні шламу структура цементного каменю ущільнюється, а заземлення поліпропіленової фібри підвищується. За рахунок утворення навколо волокон додаткових новоутворень типу CSH (I), поліпропіленова фібра стає основою для формування кристалічних зростків.

За результатами рентгеноструктурних і мікроструктурних досліджень встановлено, що суперпластифікатор «Sika® Antifreeze № 9» утворює адсорбційні оболонки, які покращують змочувальну здатність волокон фібри, прискорюють гідратацію цементу, згладжують поверхню наповнювачів та зменшують тертя між частинками, тим самим поліпшуючи реологічні і технологічні властивості суміші. Варто зазначити, що спільна взаємодія шламу мокрого газоочищення, суперпластифікатора «Sika® Antifreeze № 9» і поліпропіленової фібри підвищує седиментаційну та коагуляційну стійкість системи, створює умови для прискореного набору міцності та збільшення ступеня гідратації цементу з часом.

Вивчено закономірності впливу співвідношення поліпропіленової фібри та суперпластифікатора «Sika® Antifreeze № 9» на фізико-механічні характеристики мікрофібрових бетонів, склад яких розроблено здобувачем. Для цього використаний повний факторний експеримент і побудовано поверхні відгуку властивостей в залежності від складу.

Показано, що найбільшого розповсюдження у виробництві бетонних труб отримали два способи формування: радіальне й осьове пресування. Аналіз ефективності кожного із способів на основі виконаних експериментально-теоретичних розробок показав, що при радіальному пресуванні міцність і водонепроникність залежить від товщини стінки труби: при збільшенні діаметру міцність і водонепроникність бетону знижується.

На основі проведеного аналізу розроблено новий спосіб для виробництва бетонних труб методом вібровакумування, який дозволяє підвищити показники міцності бетонних виробів за рахунок більш ефективного ущільнення складових

бетону: видалення 30-40 % рідкої фази, що знаходиться в суміші, та збільшення контактної зони між наповнювачем і в'язучим.

Виконано перетворення відомих залежностей, які дозволяють визначити нормальні кільцеві напруження від зовнішнього навантаження та внутрішнього тиску. Це дозволило отримати нові залежності для обчислення напружень у трубах при спільній дії внутрішнього тиску та зовнішнього (зведеного) навантаження. Використання отриманих рівнянь дозволяє визначити діапазон областей застосування та підбирати необхідний показник міцності труб з модифікованого бетону.

На основі техніко-економічного аналізу доведено, що масове впровадження у виробництво запропонованих трубопроводів є стратегічним завданням, оскільки воно дозволить забезпечити подальше зниження вартості будівництва та сприятиме зниженню сировинних, а як наслідок і фінансових, витрат.

Проведена експертна оцінка ефективності трубопроводів з використанням моделі порівняльного аналізу за основними факторами, які впливають на ефективне використання та якість трубопроводів. Доведено, що фібробетонні трубопроводи раціональніше використовувати замість існуючих залізобетонних трубопроводів.

**Ключові слова:** бетонні труби, мікроармування, мікрокремнезем, технологія вібровакуумування, модифіковані бетони, підвищення міцності, системи меліорації.

## SUMMARY

*Saad Salem.* Manufacturing technology of concrete pipe details for the reclamation systems of Lebanon. – Qualifying scientific work on the rights of the manuscript.

Thesis for a Doctor of Philosophy degree in specialty 192 «Construction and Civil Engineering» (19 «Architecture and Construction»). – Kharkiv National University of Civil Engineering and Architecture, Kharkiv, 2021.

The thesis is devoted to studying the possibility of using concrete unreinforced pipes for underground distribution irrigation systems of pipelines transporting water in a gravity-pressure mode, determining the necessary strength of concrete for pipes laid in the ground, so that the concrete pipe in terms of strength corresponds to a reinforced concrete pipe, and establishing how effective such a technical solution is.

The paper substantiates the research topic, formulates the purpose and objectives of research, presents the scientific novelty and practical significance of the results.

An analysis of scientific publications and works devoted to the study of the state of issues on technological and physicochemical aspects of the creation of unreinforced concrete pipes that can be used in the irrigation systems of Lebanon. The analysis of the world experience of using microsilica for modification of cement systems is carried out. The review of features of application of superplasticizers and mechanisms of modification of a cement matrix is carried out. The review of modern types of microreinforcement of concrete is carried out and the advantages of using polypropylene fiber for creation of unreinforced pipes for reclamation systems are substantiated.

Information on the used materials and research methods is given. Portland cement of the IIII I-500 H brand meeting the requirements of DSTU Б B.2.7-46:2010, granite screening formed as a result of crushing and sifting of granite rock, polypropylene fiber 6, 12 and 18 mm long, wet scrubbing sludge after ferrosilicon production at the Zuk al-

Harab and Mar ferroalloy plant (Lebanon), a complex superplasticizing and superwater-reducing additive-accelerator for hardening of concrete and mortars Sika® Antifreeze № 9.

Both modern research methods (X-ray phase analysis, scanning microscopy and mercury porometry) and standard methods for determining the properties of raw materials and products were used to study and analyze the composition and properties of raw materials and products.

The reliability of scientific results and conclusions in the thesis is ensured by experiments and research conducted in an accredited laboratory on certified equipment and devices, as well as modern methods of information processing, mathematical method of orthogonal central compositional planning of the experiment and modern software (package ModelVisionStum (MvS, version 4), SigmaPlot and Statistik programs).

The properties of modified fine grained concrete with polypropylene fiber on the basis of multicomponent binder are studied.

It is established that the best option in terms of physical and mechanical parameters is the introduction of wet gas treatment sludge in the amount of 15%. Further increase in its content, slightly affects the strength of the property, and its introduction is complicated.

It is shown that the use of wet gas treatment sludge of ferrosilicon production in the composition of a multicomponent binder promotes the formation of polymorphic modifications of silicon oxide and low-basic calcium hydrosilicates type CSH (I) while reducing the proportion of calcium hydroxide  $\text{Ca(OH)}_2$ .

It is experimentally proved that the introduction of wet scrubbing sludge compacts the structure of cement stone and increases the anchoring of polypropylene fiber, which is the substrate for the formation of crystalline growths, due to the formation around the fibers of additional tumors type CSH (I).

X-ray and microstructural studies have shown that the Sika superplasticizer creates adsorption shells that improve the wettability of the fibers, accelerate the hydration of the cement, smooth the surface of the fillers and reduce their friction with each other, improving the rheological and technological properties of the mixture. And the joint interaction of wet gas sludge, Sika superplasticizer and polypropylene fiber increases the sedimentation and coagulation resistance of the system, creates conditions for accelerated accumulation of strength and increase the degree of hydration of cement over time.

The patterns of the influence of the ratio of polypropylene fiber and Sika superplasticizer on the physical and mechanical characteristics of the developed microreinforced concrete have been studied. For this purpose, a complete factorial experiment was used and the response surface was constructed.

It is shown that the most widespread in the production of concrete pipes are two methods of formation: radial and axial pressing. Analysis of the effectiveness of each of the methods on the basis of experimental and theoretical developments showed that the radial compression strength and water resistance depends on the wall thickness of the pipe, but with increasing diameter, the strength and water resistance of concrete decreases.

Based on the analysis, a new method for the production of concrete pipes by vibrovacuuming was developed, which allows to increase the strength of concrete products due to stronger compaction of concrete components, removal of 30-40% of the liquid phase in the mixture and increase the contact zone between aggregate and astringent.

The transformation of the known dependencies, which allow to determine the normal ring stresses from the external load  $P$  and the internal pressure  $q$ , which allowed to obtain new dependencies for calculating the stresses in the pipes under the combined action of internal pressure and external (consolidated) load. The use of the obtained

equations allows to determine the range of areas of application of pipes made of modified concrete and to select the required indicator of its strength.

Based on technical and economic analysis, it is proved that the mass introduction into production of the proposed modified fiber reinforced concrete pipelines will solve an important problem, the solution of which can further reduce the cost of construction of reclamation systems and will be an additional significant reserve of material savings and financial costs.

An expert assessment of the efficiency of pipelines using a model of comparative analysis of the main factors influencing the efficient use and quality of pipelines, which proves the feasibility of replacing reinforced concrete pipelines with fiber reinforced pipelines.

**Key words:** concrete pipes, microreinforcement, microsilica, vibrovacuum technology, modified concrete, strength increase, reclamation systems.

## СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА

*Публікацій у в закордонних виданнях, проіндексованих у базах даних Web of Science Core Collection та/або Scopus:*

1. Dedeneva E., Kazimagomedov I., Salem S., Younis B. N., Yakimenko M. Mathematical model of consolidation of fine concrete mixtures with different mobility, casted by vacuumizing and axial pressing in layers. *MATEC Web of Conferences*. 2017. 116. Article Number 01003. DOI: <https://doi.org/10.1051/mateccconf/201711601003>  
(*Особистий внесок: проведення порівняльного аналізу з використанням математичного моделювання міцності труб в залежності від технології виробництва*).
2. Younis B., Kazimahomedov I., Salem S., T. Kostuk, Dedenyova E. Casting of concrete and reinforced concrete pipes by vibro-vacuum technique. *MATEC Web of*



*Conferences.* 2018. 230. Article Number 03022.  
DOI:10.1051/matecconf/201823003022

*(Особистий внесок: розробив технології виготовлення труб і провів експериментальне підтвердження підвищення властивостей міцності труб, одержаних за технологією вібровакуумування).*

3. Younis B., Saienko L., Kazimahomedov I., Salem S. Tensile strength of the pipe material determination according to the ultimate tensile strength. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2020. 907(1). Article Number 012053. DOI: 10.1088/1757-899X/907/1/012053

*(Особистий внесок: виявив можливість підвищення показника міцності бетону при розтязі шляхом його модифікації методом введення комплексу добавок; розробив рішення, які дозволять використовувати запропонований матеріал для виготовлення труб з метою використання їх у самопливно-напірних іригаційних водоводах).*

***Публікації в наукових виданнях, включених до переліку наукових фахових видань України з присвоєнням категорії “Б”***

4. Казимагомедов И. Э., Башир Ю., Салем С. Обоснование замены открытых каналов водоснабжения Ливана неармированными бетонными трубами. *Будівельні матеріали та вироби*. 2017. № 5-6. С. 48-49. Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/smii\\_2017\\_5-6\\_15](http://nbuv.gov.ua/UJRN/smii_2017_5-6_15)

*(Особистий внесок: проведення критичного аналізу стану систем водопостачання Лівану та порівняльний аналіз ефективності використання залізобетонних неармованих бетонних труб).*

5. Казимагомедов И. Э., Юнис Б., Саад С. Перспективы использования бетонных микроармированных труб для водоснабжения Ливана. *Будівельні матеріали та вироби*. 2018. № 1-2. С. 38-40. Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/smii\\_2018\\_1-2\\_12](http://nbuv.gov.ua/UJRN/smii_2018_1-2_12)

*(Особистий внесок: проведення експериментальних досліджень впливу мікронаповнювачів на фізико-механічні властивості та обґрунтування доцільності їх використання).*

6. Казимагомедов И. Э., Юнис Б., Саад С. Фильтры для колодцев из крупнопористого бетона [Електронний ресурс]. *Будівельні матеріали та вироб.* 2019. № 1-2. С. 40-41. Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/smii\\_2019\\_1-2\\_14](http://nbuv.gov.ua/UJRN/smii_2019_1-2_14)  
*(Особистий внесок: удосконалення технології виробництва кілець з покращеною водонепроникністю для водоносних шарів з низьким вмістом води).*

7. Казимагомедов И. Э., Юнис Б., Саад С. Оцінка факторів ефективності заміни мереж трубопроводів мікроармованими трубами. *Будівельні матеріали та вироб.* 2020. № 1-2. С. 30-33. Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/smii\\_2020\\_1-2\\_10](http://nbuv.gov.ua/UJRN/smii_2020_1-2_10)  
*(Особистий внесок: порівняльний аналіз факторів, що впливають на якість та вартість експлуатації та прокладки мікроармованих та залізбетонних трубопроводів).*

#### ***Публікації, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:***

8. Казимагомедов И. Э., Юнис Б., Саад С. Безнапорные бетонные трубы, полученные способом радиального прессования. *Ресурс і безпека експлуатації конструкцій, будівель та споруд* : матеріали 8 Міжнар. наук. конф. 18-19 жовтня 2017 р. Харків : ХНУБА. С. 98-99

*(Особистий внесок: провів аналіз існуючих технологій; виконав розрахунок сили зчеплення удосконалення існуючої технології за рахунок вібро- та вакуумформування).*

9. Казимагомедов И. Э., Юнис Б., Саад С. Мікроармовані бетонні труби для зрошення. *73 наук.-техн. конф. ХНУБА* : тези доповідей 6-7 лютого 2018 р. Харків : ХНУБА. С. 51

*(Особистий внесок: проведення експериментальних досліджень впливу мікронаповнювачів на фізико-механічні властивості).*

10. Юнис Б., Казимагомедов И. Э., Саад С., Костюк Т. О., Деденева Е. Б. Способ формования бетонных и железобетонных труб вибровакуумированием. *Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті* : тези доповідей VII Міжнар. наук.-техн. конф. 14-16 листопада 2018 р. Харків : УкрДУЗТ. С. 219.

*(Особистий внесок: розробив технології виготовлення труб і провів експериментальне підтвердження підвищення властивостей міцності труб, одержаних за технологією вібровакуумування).*

11. Саад С., Казимагомедов И. Е., Юнис Б. Способи підвищення несучої здатності та довговічності бетонних труб. 74 наук.-техн. конф. ХНУБА : тези доповідей 6-7 лютого 2019 р. Харків : ХНУБА. С. 67

*(Особистий внесок: розробив лабораторне обладнання та технологію виготовлення та випробування зразків бетону, які відповідають технологічним особливостям формування труб.).*

12. Саад С., Казимагомедов И. Э., Юнис Б. Повышение механических характеристик бетонных труб путем его модификации. *Ресурс і безпека експлуатації конструкцій, будівель та споруд* : матеріали IX Міжнар. наук. конф. 15-16 жовтня 2019 р. Харків : ХНУБА. С. 36.

*(Особистий внесок: розробив склад бетону з введенням модифікуючих речовин, які підвищують опір бетону до навантажень, що діють на труби; встановив вплив характеру технологічних процесів при ущільненні бетонної суміші на його структурні характеристики та кінцеву міцність; провів лабораторні дослідження показників бетону при різних технологічних впливах і при введенні модифікуючих добавок).*