



Alexandra A. Shyshkina

**Шишкіна
Олександра
Олександрівна**

УДК 666.97

FINE-GRAINED CONCRETE FOR REPAIR OF HYDRAULIC STRUCTURES

ДРІБНОЗЕРНИСТИЙ БЕТОН ДЛЯ РЕМОНТУ ГІДРОТЕХНІЧНИХ СПОРУД

DOI [https://doi.org/10.15589/smi2020.2\(14\).3](https://doi.org/10.15589/smi2020.2(14).3)

Alexandra A. Shyshkina Шишкіна Олександра Олександрівна,
канд. техн. наук, доц.
5691180@gmail.com ORCID: 0000-0003-3716-9347

Alexander A. Shyshkin Шишкін Олександр Олексійович,
докт. техн. наук, проф.
5691180@gmail.com ORCID: 0000-0003-3331-1422



Alexander A. Shyshkin

**Шишкін
Олександр
Олексійович**

Kryvyi Rih National University, Kryvyi Rih
Криворізький національний університет, м. Кривий Ріг

Abstract. Various materials are used for the manufacture of building structures of hydraulic structures, which can be divided into metallic and non-metallic. The latter in turn are divided into materials of inorganic origin and organic materials. Chemical processes of destruction of materials include the processes occurring in direct chemical interaction between the material of the building structure and the environment. It is accompanied by: loss of chemically bound water from crystal hydrates; decomposition of individual oxides; phase transformations of minerals; thermal decomposition of individual oxides. Building materials operated under aggressive environments, in particular, the action of sea water, are simultaneously affected by both mechanical and chemical influences of the environment, causing them both mechanical and chemical destruction. Therefore, in the General case, when repairing building structures of hydraulic structures, it is necessary to ensure the resistance of the materials used to the action of all the above external influences. The repair layer intended for protection (finishing) of building constructions does not directly perceive action of external operational loadings, it is exposed only to centrifugal action of efforts which arise in it owing to deformation of an element of a building design under the influence of operational loadings. In view of the above, there is currently no concrete that would meet most of the requirements for concrete intended for the manufacture and protection of reinforced concrete or concrete hydraulic structures. Under the conditions of the experiment, the presence of water in the system, which is structured by a hydrophobic surfactant, reduces the effect of negative temperatures on the strength of concrete by 20–30%, increases the strength of concrete by 15–20% when it hardens in medium 0,01 N HCL solution. The introduction into the system of water structured with a hydrophobic surfactant reduces the effect of sulfate solutions on concrete. Simultaneous use of colloidal hydrophobic surfactant and molecular surfactant – polyalcohol, as part of a complex modifier of water structure, leads to an increase in the strength of cement stone.

Key words: concrete, surfactant, polyalcohol, strength, structure.

Анотація. Для виготовлення будівельних конструкцій гідротехнічних споруд застосовуються різні матеріали, які можна розділити на металеві й неметалеві. Останні своєю чергою поділяють на матеріали неорганічного походження й органічні матеріали. До хімічних процесів руйнування матеріалів належать процеси, що протікають у процесі безпосередньої хімічної взаємодії між матеріалом

будівельної конструкції і навколишнім середовищем. Цей процес супроводжується втрагою хімічно зв'язаної води із кристалогідратів, розкладанням окремих оксидів; фазовими перетвореннями мінералів. На будівельні матеріали, що експлуатуються в умовах дії агресивних середовищ, зокрема, дії морської води, одночасно впливають, як механічні, так і хімічні впливи зовнішнього середовища, викликаючи їх як механічне, так і хімічне руйнування. Отже, загалом при ремонті будівельних конструкцій гідротехнічних споруд необхідно забезпечувати стійкість використовуваних матеріалів до дії всіх перерахованих вище зовнішніх впливів. Ремонтний шар, призначений для захисту (оздоблювання) будівельних конструкцій безпосередньо не сприймає дію зовнішніх експлуатаційних навантажень, він піддається тільки відцентровій дії зусиль, які виникають у ньому внаслідок деформування елемента будівельної конструкції під дією експлуатаційних навантажень. З огляду на вищенаведене, на цей час відсутній бетон, який відповідав би більшості вимог до бетонів, призначених для виготовлення та захисту залізобетонних або бетонних гідротехнічних споруд. Встановлено, що в умовах проведення експерименту наявність у системі води, яка структурована гідрофобною поверхнево-активною речовиною, призводить до зменшення впливу на 20–30% негативних температур на міцність бетону, підвищує останню на 15–20% при його твердінні в середовищі 0,01 Н розчину HCL. Введення в систему води, яка структурована гідрофобною поверхнево-активною речовиною, зменшує вплив розчинів сульфатів на бетон. Одночасне застосування колоїдної гідрофобної поверхнево-активної речовини та молекулярної поверхнево-активної речовини – поліспирту у складі комплексного модифікатора структури води призводить до збільшення міцності цементного каменю.

Ключові слова: бетон, поверхнево-активна речовина, поліспирт, міцність, структура.

References

- [1] Mishutin A.V., Mishutin N.V. (2011) Povyshenie dolgovechnosti betonov morskikh zhelezobetonnykh plavuchikh i statsionarnykh sooruzheniy [Increasing the durability of concrete of marine reinforced concrete floating and stationary structures]. Odessa: Even. 292 [in Russian]
- [2] Sturm R.D., Mc Askill N., Burg R.G., Morgan D.R. (1999) Evaluation of lightweight concrete performance in 55 to 80 year old ships. *ACI SP 189-7 on Highperformance concrete: Research to Practice*. 101–120.
- [3] Helland S., Aarstein R., Maage M. (2010) In-field performance of North Sea offshore platforms with regard to chloride resistance. *Structural Concrete (J. of fib)*. Vol. 11, No. 1. 15–24.
- [4] Shishkin Alexandr Alexeevich. (2003) Spetsialnye betony dlya usileniya stroitelnykh konstruktsiy, ekspluatiruyushchikhsya v usloviyakh deystviya agressivnykh sred [Special concretes for reinforcement of building structures operating in aggressive environments]: Dis. ... d-ra tekhn. nauk: 05.23.05 / Krivorozhskiy tekhnicheskiiy un-t. Krivoy Rog.: KTU. 336. [in Russian]
- [5] Aleksashin S.V., Bulgakov B.I. (2013) Melkozernisty beton dlya gidrotekhnicheskogo stroitelstva, modifitsirovanny kompleksnoy organomineralnoy dobavkoy [Fine-grained concrete for hydraulic engineering, modified with a complex organic mineral additive]. *Vestnik MGSU*. 8. 97–103 [in Russian]
- [6] Bazhenov Yu.M., Lukutsova N.P., Karpikov Ye.G. (2013) Melkozernisty beton, modifitsirovanny kompleksnoy mikrodispersnoy dobavkoy [Fine-grained concrete modified with a complex microdispersed additive]. *Vestnik MGSU*. 2. 94–100 [in Russian]
- [7] Khiris N.S., Akchurin T.K. (2014) Vysokonaplnenny melkodispersnyy beton dlya fundamentov gidrotekhnicheskikh sooruzheniy [Highly filled fine concrete for foundations of hydraulic structures]. *Vestnik PNIPU*. 4. 298–304. [in Russian]
- [8] Kong H.J., Bike S.G., Li V.C. (2006) Effects of a strong polyelectrolyte on the rheological properties of concentrated cementitious suspensions *Cem. Concr. Res.* Vol. 36. 5. 851–857.
- [9] Lange, K.R. (2005) Poverkhnostno-aktivnye veshchestva. Sintez, svoystva, analiz, primeneniye [Surfactants. Synthesis, properties, analysis, application]. Sankt-Peterburg, 240 [in Russian].
- [10] Fleysher G.Yu., Tokarchuk V.V., Vasilkevich O.I., Sviderskiy V.A. (2014) Vpliv spirtiv yak dobavok-priskoryuvachiv tverdneniya na vlastivosti tsementu [Injection of spirits and additives-accelerating solid on the strength of cement]. *Technological audit and production reserves*. № 4/1(18). 32–36. [in Ukrainian]
- [11] Zakharova, L.Ya. Konovalov, A. I. (2012) Upramolekulyarnye sistemy na osnove kationnykh poverkhnostno-aktivnykh veshchestv i difilnykh makrotsiklov [Upramolecular systems based on cationic surfactants and diphilic macrocycles] *Kolloidnyy zhurnal*. vol. 74. no 2. 209–221 [in Russian].

Постановка проблеми. Для виготовлення будівельних конструкцій гідротехнічних споруд застосовуються різні матеріали, які можна розділити на металеві й неметалічні. Останні своєю чергою діляться на матеріали неорганічного походження й органічні матеріали.

У процесі експлуатації на матеріалах, з яких виготовлені будівельні конструкції, позначаються механічні, хімічні, електрохімічні й енергетичні зовнішні впливи [1].

Механічне руйнування матеріалів, згідно з роботою [1], відбувається під дією зовнішніх навантажень, стирання, вивітрювання й (або) замерзаючої в порах матеріалу рідини. До хімічних процесів руйнування матеріалів належать процеси, що протікають під час безпосередньої хімічної взаємодії між матеріалом будівельної конструкції й навколишнім середовищем [2]. Воно супроводжується втратою хімічно зв'язаної води із кристалогідратів, розкладанням окремих оксидів, фазовими перетвореннями мінералів, термічним розкладанням окремих оксидів. До електрохімічної корозії належать корозійні процеси, що протікають у водяних розчинах електролітів. При цьому виді корозії виникає електричний струм, не спричинений його зовнішнім додатком [3], тому що розчини електролітів переважають у технологічних виробничих процесах, та й матеріали будівельних конструкцій в основному піддаються електрохімічній корозії [3].

Корозія неметалічних матеріалів відбувається як на їхній поверхні, так і в порах цих матеріалів. При цьому відбувається кристалізація солей у відкритих порах і руйнування матеріалу від внутрішніх напружень [2]. При енергетичних впливах зовнішнього середовища на матеріали будівельних конструкцій їх руйнування відбувається через розходження коефіцієнтів термічного розширення їхніх окремих складників, а також розплавлення окремих мінералів.

На будівельні матеріали, що експлуатуються в умовах дії агресивних середовищ, зокрема дії морської води, одночасно впливають як механічні, так і хімічні впливи зовнішнього середовища, викликаючи їх як механічне, так і хімічне руйнування. Отже,

загалом під час ремонту будівельних конструкцій гідротехнічних споруд необхідно забезпечувати стійкість використовуваних матеріалів до дії всіх перерахованих вище зовнішніх впливів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Напружено-деформований стан ремонтного шару бетону залежить від його положення щодо елементів гідротехнічної споруди й умов сприйняття ним зовнішніх (щодо розглянутої системи) навантажень [4]. При цьому ремонтний шар або сприймає разом з елементом споруди зовнішні експлуатаційні навантаження, або не сприймає їх безпосередньо, а через елементи споруди.

Ремонтний шар, призначений для захисту (оздоблювання) будівельних конструкцій, безпосередньо не сприймає дію зовнішніх експлуатаційних навантажень, він підданий тільки відцентрової дії зусиль, які виникають у ньому внаслідок деформування елемента будівельної конструкції під дією експлуатаційних навантажень.

Дані виконаного аналізу узгоджуються з результатами досліджень [4], в яких встановлено, що для ефективного перерозподілу напруг між матеріалом, яким здійснюється ремонт конструкції, і матеріалом конструкції, яку ремонтують, із метою зниження напруг в останньому, а також забезпечення спільної роботи ремонтного шару бетону й конструкції, яку ремонтують, застосовуваний для ремонту бетон повинен мати міцність вище міцності бетону ремонтваної конструкції.

Ефективність, захисного матеріалу досягається стійкістю його стосовно навколишнього середовища й експлуатаційних навантажень достатньої для цих умов експлуатації, високим ступенем адгезії до матеріалу, що захищається, непроникністю, неагресивністю стосовно основного матеріалу конструкції, що захищається [1]. З технологічної точки зору бетон, призначений для захисту бетонних гідротехнічних споруд, повинен бути дрібнозернистим, мати високу міцність та швидкість її формування.

Виокремлення не вирішених раніше частин загальної проблеми. З огляду на вищенаведене, на цей час відсутній бетон,

який би відповідав би більшості вимог до бетонів, призначених для захисту (а також ремонту) залізобетонних або бетонних гідротехнічних споруд [5–7].

Мета дослідження – одержати дрібнозернистий бетон, призначений для будівництва та ремонту річкових та морських гідротехнічних споруд, який володіє високою швидкістю формування структури та міцністю, достатніми водонепроникністю й морозостійкістю шляхом регулювання формування його структури шляхом використання ефекту над малих концентрацій та застосування гідрофобної гідратації колоїдних поверхнево-активних речовин.

Методи, об'єкт та предмет дослідження. Застосований системний підхід для оцінювання властивостей дрібнозернистого бетону для виготовлення або ремонту гідротехнічних споруд. Досліджуваний бетон виготовлявся із застосуванням портландцементу М500 Криворізького цементного заводу, дрібнозернистих відходів Південного гірничо-збагачувального комбінату, а також із використанням поліспирту (гліцерину), колоїдної поверхнево-активної речовини (етиленгліколю та олеату натрію).

Основний матеріал (результати). Стійкість бетону до дії негативних температур є його властивістю, що забезпечує йому довговічність. У цій групі експериментів досліджений вплив негативних температур на міцність бетону як композиційного матеріалу, отриманого в результаті твердіння системи «портландцемент – активна мінеральна добавка – заповнювач – вода, структурована колоїдною поверхнево-активною речовиною», залежно від її складу й умісту води, структурованої колоїдною поверхнево-активною речовиною (МПАР).

В умовах проведення експерименту наявність у системі води, структурованої МПАР, призводить до зменшення впливу негативних температур на міцність бетону на 20–30% (табл. 1), що може бути пояснено зниженням його проникності.

У наступній групі експериментів досліджено вплив дії агресивних середовищ на міцність бетону залежно від його складу й виду агресивного середовища.

Таблиця 1. Морозостійкість бетону

АМД, %	В/Ц	Концентрація МПАР у воді, %	Морозостійкість, цикли
0	0,4	-	110
20		-	135
		0,00028	145
0	0,6	-	75
20		-	95
		0,00022	100

Примітка: АМД – активна мінеральна добавка – відходи збагачення залізних руд

Під час проведення досліджень визначалися вплив кислоти, агресивних розчинів та чистої води залежно від виду АМД і його кількості при концентрації 0,0008% МПАР у воді замішування для бетону складу 1:1,8 (цемент : заповнювач).

Визначення впливу кислоти проводилося випробуванням на вигин зразків-призм розміром 10x10x40 см, що зберігалися у водному розчині кислоти протягом 6 міс.

В умовах проведення експерименту введення в систему води, структурованої МПАР, підвищує міцність бетону на 15–20% при його твердінні в середовищі 0,01 Н розчину HCL (табл. 2).

Вплив на міцність бетону водяних розчинів сульфатів визначалася при застосуванні розчинів різного складу:

- 1) питна вода (контрольний);
- 2) 5% -ний розчин Na_2SO_4 ;
- 3) 1% -ний розчин $MgSO_4$;
- 4) 5%-ний розчин рівної суміші Na_2SO_4 і $MgSO_4$.

Таблиця 2. Міцність бетону при дії 0,01н розчину HCl

Водоцементне відношення	Міцність бетону при згині, МПа, при вмісті АМД, %			
	0	20	30	40
0,40	10,0	8,4	7,5	6,2
0,45	9,5	8,0	7,1	5,7
0,50	8,6	7,9	7,2	5,9

Примітка: АМД – активна мінеральна добавка – відходи збагачення залізних руд

Після шести місяців зберігання в зазначених розчинах бетонні зразки-балочки, які мали розмір 10x10x40 см, виготовлені з бетону складу 1:1,8 були випробувані на вигин. В умовах експерименту введення в систему води, структурованої МПАР, зменшує вплив розчинів сульфатів на бетон (табл. 3).

Таблиця 3. Відносна міцність бетону при дії агресивних середовищ

Водоцементне відношення	Коефіцієнт стійкості бетону, при вмісті АМД,%, для середовищ											
	0			20			30			40		
	2	3	4	2	3	4	2	3	4	2	3	4
0,40	0,99	1,2	1,1	0,96	1,08	0,9	0,94	1,05	0,9	0,99	1,0	0,9
0,45	0,92	1,0	0,9	0,8	1,0	0,9	0,91	1,02	0,98	0,92	1,0	0,9
0,50	0,90	0,9	0,8	0,88	1,0	0,9	0,90	0,97	0,95	0,97	1,0	0,9

Примітка: АМД – активна мінеральна добавка – відходи збагачення залізних руд

Визначення впливу дистильованої води на міцність бетону, отриманого на основі системи «портландцемент – АМД – заповнювач – вода, структурована МПАР», здійснювали випробуванням на вигин зразків-балочок розміром 10x10x40 см, приготованих із бетону складу 1:1,8 на портландцементі, після їх зберігання протягом 6 міс. у проточній дистильованій воді. Результати дослідів показали (табл. 4), що цей бетон володіє досить високою стійкістю до корозії 1-го виду.

Таблиця 4. Стійкість бетону до вилугування

Склад дисперсної частини системи, %		Міцність бетону при згині, МПа, у віці, міс.		
ПЦ	АМД	0,033	3	6
100	0	8,0	7,8	7,1
90	10	9,0	9,0	7,3
80	20	10,6	9,7	8,8
60	40	8,9	7,8	6,6

Примітки: 1) АМД – активна мінеральна добавка – відходи збагачення залізних руд, ПЦ – портландцемент; 2) концентрація МПАР у воді – 0,0008%

Таким чином, проведені дослідження показали, що досліджені впливи зовнішнього середовища менше впливають на міцність бетону, отриманого на основі системи «портландцемент – АМД – заповнювач – вода, структурована МПАР» порівняно з бетоном, отриманим на портландцементі без добавок.

Використання сполучень двох або кількох ПАР дає змогу змінити або розширити якісні показники або властивості композиції. Неадитивну зміну того чи іншого показника часто пов'язують із синергізмом або, навпаки, антагонізмом між молекулами ПАР.

Прикладом синергізму, зумовленого наявністю взаємодії, може служити система «колоїдна поверхнево-активна речовина – вищий спирт – вода».

У досліджах міцність цементного каменю без добавок становила: у віці 3 доби – 12,7 МПа, 7 діб – 27,1 МПа, 28 діб – 43,3 МПа. Ці величини міцності прийнято за 100% для певного віку цементного каменю. Проведені дослідження показали (рис. 1), що одночасне застосування колоїдної МПАР та молекулярної ПАР – поліспирту у складі комплексного модифікатора структури води, призводить до збільшення міцності цементного каменю в будь-якому віці його твердіння в межах експерименту (від 3 до 28 діб).

Обговорення отриманих результатів.

Отримані результати можна пояснити наведеним нижче чином. У воді при певній концентрації молекули гідрофобної поверхнево-активної речовини (МПАР) об'єднуються в асоціати – міцели (рис. 2). Добавки вищих жирних спиртів знижують критичну концентрацію міцелоутворення (ККМ) колоїдної поверхнево-активної речовини, поверхневий натяг, підвищують в'язкість адсорбційних шарів колоїдної поверхнево-активної речовини й, як наслідок, збільшують стабільність дисперсій. Причиною цього служить утворення водневого зв'язку між гідроксилом спирту і карбоксильною групою колоїдної поверхнево-активної речовини [8].

Дослідження показують, що в процесі додавання певних кількостей спирту до води спостерігається стабілізація розчину, яка зумовлюється в основному асоціацією частинок, а також переходом менш упорядкованих структур у більш упорядковані. Оскільки рідка вода складається з областей певної будови, званих кластерами, в процесі додавання спирту спочатку заповнюються порожнечі між кластерами (клатрати), що призводить до їх стабілізації, а потім молекули спирту починають конкурувати за водневий зв'язки всередині кластерів.

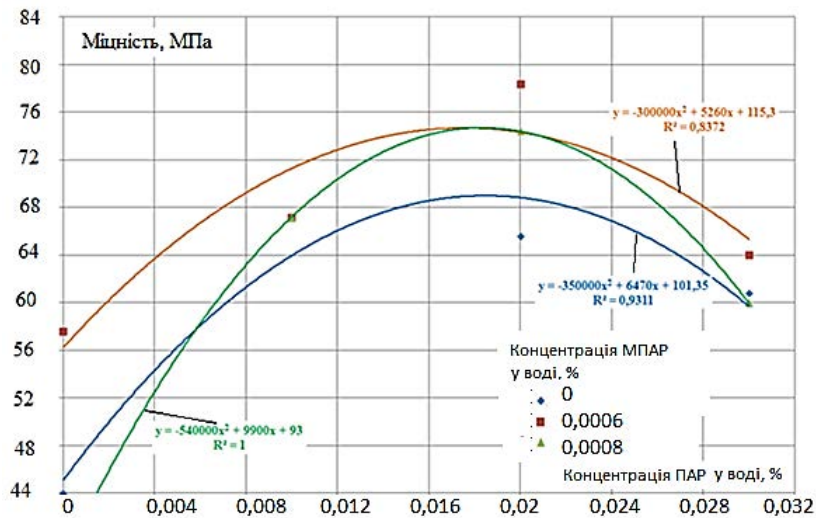


Рис. 1. Міцність цементного каменю (ПАР – гліцерин)

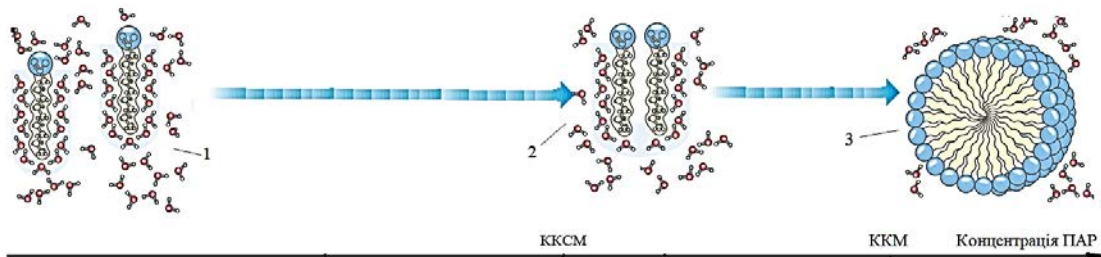


Рис. 2. Зміни структури системи «вода – колоїдна ПАР (МПАР)»: 1 – вільні молекули пар; 2 – димери молекул МПАР; 3 – міцела

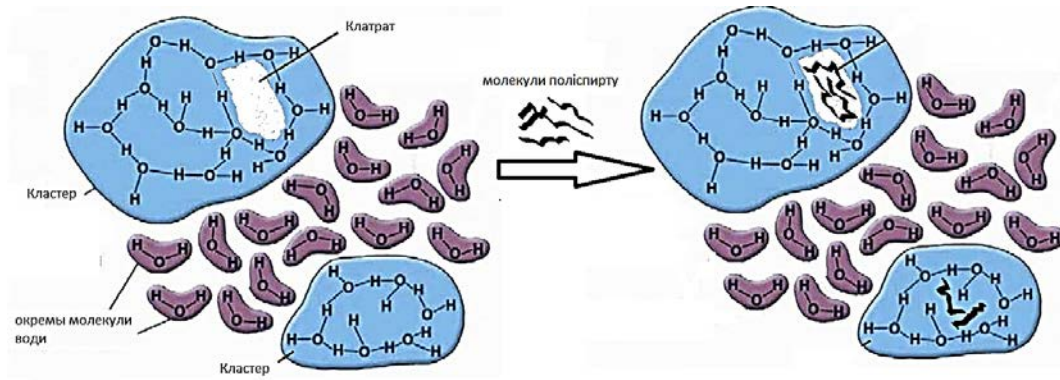


Рис. 3. Стабілізація води поліспиртом

При цьому гідрофільні групи спиртів можуть заміщати молекули води в локальних утвореннях. Особливо легко в структуру води впроваджуються невеликі за розміром молекули спирту, які, потрапляючи в локальні молекулярні утворення, зберігають просторове розташування молекул води (рис. 2).

Це підтверджує той факт, що в разі додавання спирту до води спостерігається змен-

шення міжшарових відстаней порівняно з тими ж значеннями для води.

Зі зростанням алкільного радикалу відбувається поступове збільшення міжшарових відстаней, що доводить руйнівний вплив більш об'ємних молекул спирту, яке супроводжується більш істотними перебудовами просторового розташування молекул у локальних утвореннях води.

Спирти впорядковують водну структуру, що полегшує переміщення протонів та іонів гідроксилу по сітці водневих зв'язків (естафетний механізм електропровідності). У присутності спирту через гідрофобні взаємодії вода вже частково структурована [8].

У науковій літературі немає однозначних рекомендацій із застосування спиртів як компонентів комплексних добавок [9]. Так, у роботі [10] рекомендують використовувати як компонент комплексної добавки етанол, а автор роботи [11] рекомендує для отримання комплексних ПАР спирти із $C_5 - C_{12}$.

Введення в систему «портландцемент – вода» поліспиртів (наприклад, гліцерину або етиленгліколю) у перші терміни гідратації практично не змінює кінетику розчинення силікатів і мало відбивається на складі рідкої фази [11]. Але в подальшому буде відбуватися поглинання поліспиртом іонів Ca^{2+} із рідкої фази з утворенням, наприклад, гліцератів кальцію. Тобто поліспирт у системі, що розглядається, у більш пізні терміни виконує роль пуцоланової добавки.

Завдяки екрануючій дії не диссоційованих полярних груп спирту зменшуються сили електричного відштовхування між однойменно зарядженими полярними групами ПАР, що призводить до зменшення ККМ, та критичне концентрація утворення димерів (ККСМ), тобто зменшує кількість МПАР у системі [11].

Під час введення у воду, структуровану поліспиртом, молекул гідрофобної поверх-

нево-активної речовини (МПАР), які знаходяться у вигляді димерів (рис. 2), відбувається додаткове структурування води (рис. 4).

Тобто димери МПАР, які залежно від виду МПАР мають розміри від 5 до 50 нм (тобто за розмірами належать до наночастинок), ефективно здійснюють хімічну активацію води, що й пояснює отримані результати досліджень.

Висновки. Установлено, що одночасне введення у воду поліспирту та гідрофобної поверхнево-активної речовини за рахунок ефекту гідрофобної гідратації дає змогу отримати з її застосуванням дрібнозернисті бетони, фізико-механічні властивості яких перевищують відповідні фізико-механічні властивості бетонів без добавок.

Отримані ефекти пояснюються впливом поліспирту та гідрофобної поверхнево-активної речовини на структуру води, молекули якої утворюють суцільну фрактальну сітку, надаючи воді специфічних властивостей. Концентрація поліспирту та гідрофобної поверхнево-активної речовини у воді для отримання значного ефекту становить ϵ від 10^{-4} до 10^{-6} М, що свідчить про наявність ефекту надмалих концентрацій.

Таким чином, застосування ефектів гідрофобної гідратації та надмалих концентрацій дає змогу отримувати високоякісні дрібнозернисті бетони для спорудження та ремонту гідротехнічних споруд, які відповідають вимогам будівельних норм на відповідні гідротехнічні споруди.

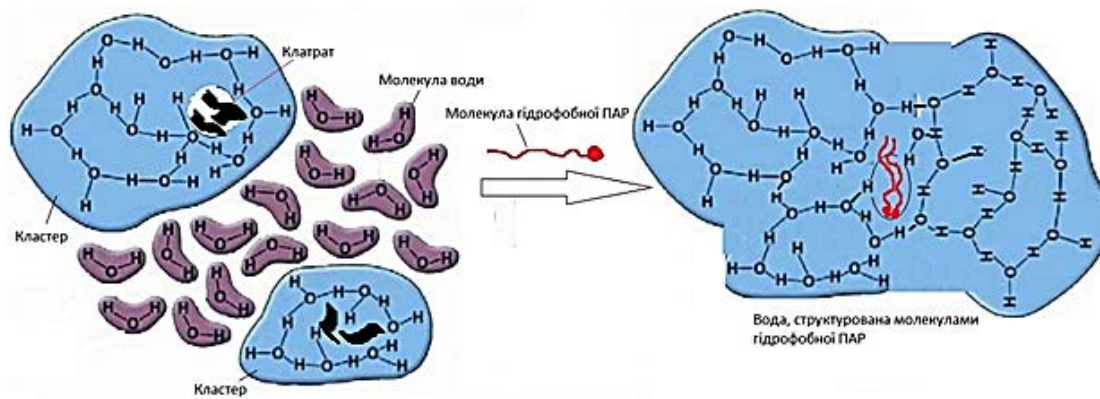


Рис. 4. Структурування води МПАР

Список літератури

- [1] Мишутин А.В., Мишутин Н.В. Повышение долговечности бетонов морских железобетонных плавучих и стационарных сооружений. Одесса : Эвен, 2011. 292 с.
- [2] Sturm R.D., Mc Askill N., Burg R.G., Morgan D.R. Evaluation of lightweight concrete performance in 55 to 80 year old ships. AC ISP 189-7 on Highperformance concrete: Research to Practice, 1999. Pp. 101–120.
- [3] Helland S., Aarstein R., Maage M. In-field performance of North Sea offshore platforms with regard to chloride resistance. *Structural Concrete (J. of fib)*. 2010, Vol. 11, No. 1. Pp. 15–24.
- [4] Шишкин А.А. Специальные бетоны для усиления строительных конструкций, эксплуатирующихся в условиях действия агрессивных сред : дис. ... д-ра техн. наук : 05.23.05 / Криворожский технический ун-т. Кривой Рог, 2003. 336 с.
- [5] Алексакин С.В., Булгаков Б.И. Мелкозернистый бетон для гидротехнического строительства, модифицированный комплексной органоминеральной добавкой. *Вестник МГСУ*. 2013. № 8. 97–103.
- [6] Баженов Ю.М., Лукутцова Н.П., Карпиков Е.Г. Мелкозернистый бетон, модифицированный комплексной микродисперсной добавкой. *Вестник МГСУ*. 2013. № 2. С. 94–100.
- [7] Хирис Н.С., Акчурин Т.К. Высокнаполненный мелкодисперсный бетон для фундаментов гидротехнических сооружений. *Вестник ПНИПУ*. 2014. № 4. С. 298–304.
- [8] Kong H.J., Bike S.G., Li V.C. (2006) Effects of a strong polyelectrolyte on the rheological properties of concentrated cementitious suspensions *Cem. Concr. Res.* Vol. 36. № 5. 851–857.
- [9] Ланге К.Р. Поверхностно-активные вещества. Синтез, свойства, анализ, применение. Санкт-Петербург, 2005. 240 с.
- [10] Флейшер Г.Ю., Токарчук В.В., Василькевич О.І., Свідерський В.А. Вплив спиртів як добавок-прискорювачів тверднення на властивості цементу. *Технологический аудит и резервы производства*. 2014. № 4/1(18). С. 32–36.
- [11] Захарова Л.Я., Коновалов А.И. Упрямомолекулярные системы на основе катионных поверхностно-активных веществ и дифильных макроциклов. *Коллоидный журнал*. 2012. Том 74. № 2. С. 209–221.

© Шишкіна О. О., Шишкін О. О.

Дата надходження статті до редакції: 30.10.2020

Дата затвердження статті до друку: 27.11.2020