

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ:

1. Устройство для аварийного спуска людей с высотных зданий. Пат 2265465 Россия, МПК А 62 В 1/10 ОАО «З-д им. В. А. Дегтярева», Клопов Н.В. №2004126575/12; Заявл. 01.09.2004; Оpubл. 10.12.2005 Рус.
2. Канат для спасения с постоянной скоростью. Constant velocity cable lowering device: Заявка 2394214 Великобритания, МПК А 62 В 1/00, 35/00. Williams David Hume. №02239432; Заявл. 15. 10 2002; Оpubл. 21. 04. 2004; НПК В8М. Англ..
3. Персональная система эвакуации с высотных зданий (США). Egress: personal building evacuation system. Clothier David Elevator World 2005 53, №3, с 63-64 Англ.
4. Roscard Y. Dynamique generale des vibrations. Paris. Masson, 1949.
5. Пановко Я.Г., Губанова И.И. Устойчивость и колебания упругих систем: Современные концепции, парадоксы и ошибки. – 4-е изд., перераб. – М.: Наука. Гл. ред.. физ.-мат. лит., 1987. – 352 с.
6. Блехман И.И. Синхронизация динамических систем. – М.: Наука. Гл. ред.. физ.-мат. лит., 1971. – 896 с.
7. Гидравлический привод. Гавриленко Б.А., Минин В.А., Рождественский С.Н. «Машиностроение», 1968, - 502 с.
8. Шашин В. М. Гидромеханика. – М.: Высш. шк., 1990. – 384 с.
9. Алямовский А.А. и др. SolidWorks. Компьютерное моделирование в инженерной практике. СПб.: БХВ – Петербург, 2005. – 800 с.

УДК 625.7.07:330.15

Ю.І. Орловський д.т.н., проф. (Вармінсько-Мазурський університет в Ольштині, Польща)

Р.В. Пархоменко, к.т.н. (Львівський державний університет безпеки життєдіяльності)

К.В. Орловська, к.т.н. (Національна академія природоохоронного і курортного будівництва)

РАДОНОВА НЕБЕЗПЕКА В БУДІВНИЦТВІ ТА ЗАХИСТ ВІД НЕЇ

У статті розглядається питання радіоактивної небезпеки від дії газоподібного водорозчинного радону на будівельні конструкції і джерела його утворення в природі. Накопичення в будівлях радону є наслідком капілярно-пористої структури будівельних матеріалів, зокрема бетону. Описана методика визначення параметрів дифузного процесу радону і результати експериментів за визначенням газопроникності радону через цементний і сірчаний бетони. Як захист від радону пропонуються протирадонові бар'єри з газовологонепроникних матеріалів, зокрема, сірчаних мастик і бетонів

Радіоактивний радон і його джерела. Більше половини серед природних джерел радіоактивного випромінювання (41,4 %) становить радон (^{222}Rn). Це безбарвний газ, без смаку і запаху, в 7,5 разів важчий за повітря. Утворюється при радіоактивному розпаді радію (^{226}Ra) з періодом розпаду 3,8 дня. Продукти його розпаду, наприклад, полоній (^{218}Po), свинець (^{214}Pb), вісмут (^{214}Bi), характеризуються коротким періодом розпаду, вимірюваним хвилинами і, на відміну від газоподібного радону, є металами. Радон не горить, розчиняється у воді і деяких органічних розчинниках - спиртах, вуглеводнях та ін. Радіоактивні продукти його розпаду самі або пов'язані з частинками пилу можуть вдихатись разом з повітрям і бути причиною раку легенів.

Результати наукових досліджень UNSCEAR (United Nations Committee on the Effects of Radiation) підтверджують, що первинним джерелом радону в навколишньому середовищі є уран (^{238}U), другим - ґрунтові води і третім - будівельні матеріали. Зважаючи на розчинність радону у воді, вплив дифузії, конвекції повітря і градієнта температур, спостерігається тісний взаємозв'язок між зволоженням будівельних матеріалів і елементів будівель та розповсюдженням радону, що є відмінною особливістю їх сумісної дії [1, 2, 3].

Вміст радону, що звільняється із земної кори, значно відрізняється в різних місцях земної кулі, в окремих країнах і регіонах. Це пов'язано з природним вмістом радонів в породах і щільністю забудови. До зон підвищеного ризику відносяться Україна і Польща, де відсутні дослідження по виявленню джерел радону, його сумісної дії з вологістю, а також розробка ефективних способів і методів захисту будівельних об'єктів від сумісної їх дії.

Радон накопичується, в основному (39,8 %), усередині житлових і громадських будівель (особливо непровітрюваних). Радон просочується через ґрунти основ і фундаменти. Середня концентрація радону в повітрі на висоті 1 м від поверхні землі становить 1,2 - 8,6 Бк/м³ (в середньому 4,4 Бк/м³), тоді як в будівлях коливається від 4 до 600 Бк/м³ (в середньому близько 40 Бк/м³). Вміст радону в малоповерхових будівлях залежить, перш за все, від виду ґрунтів основи і якості ізоляції фундаментів і підлоги нижніх поверхів. Близько 75 % радону в повітря приміщень проникає через основу і лише 20 - 25 % становить випромінювання від матеріалів фундаментів, підлоги і ін.

В даний час у різних країнах затверджені норми середньорічного вмісту радону у приміщеннях постійного перебування людей. Так, у США ця норма становить 150, у Німеччині - 250, у Польщі - 200 Бк/м³ [4].

Метою даної роботи є розроблення ефективних протирадонових бар'єрів на основі сірчаного бетону.

Для досягнення поставленої мети необхідно: проаналізувати механізм газової дифузії радону через цементні бетони; провести випробування газопроникності цементного бетону, сірчаного мастики та сірчаного бетону; розробити рекомендації щодо захисту будівель від вологості, радону та їх сумісної дії.

Газопроникність цементних бетонів та газова дифузія радону. Основними конструкційними матеріалами для фундаментів є бетон і залізобетон на основі портландцементу. Такі матеріали характеризуються капілярно-пористою структурою, що утворилася в процесі тверднення цементного каменю і формування структури бетону. Ця структура є складною системою хаотично розташованих капілярів розміром від 10^{-2} до 10^{-7} см і окремих пор діаметром від 10^{-2} до 0,5 см. За даними [6, 7] 60 - 80 % сумарної пористості цементного каменю і бетону припадає на капіляри з радіусом 10^{-5} см. Окрім пор і капілярів цементного каменю, на газопроникність бетону впливають пористість заповнювачів, нещільності зони контакту цементного каменю і заповнювачів, технологічні дефекти бетону.

Механізми перенесення флюїдів - газів і рідин через цементні бетони, залежать, перш за все, від структури і розміру пор. Оскільки в бетонах є пори і капіляри різного розміру, одночасно можуть діяти різні механізми перенесення (табл. 1). Особливо істотний вплив на масоперенос має утворення наскрізних шляхів фільтрації в результаті процесів седиментації і розвитку макропор, що відбуваються під час формування і структуроутворення бетону.

Відомо, що газопроникність бетону залежить від водоцементного співвідношення. Так, наприклад, збільшення В/Ц від 0,3 до 0,6 приводить до зростання газопроникності в 25 разів [8, с. 118-121]. Очевидно, що від пористості бетону буде залежати дифузія радіоактивних газів, які проникають через бетонні і залізобетонні конструкції всередину будівель і приміщень. Відомі дослідження параметрів дифузії радону дозволили оцінити з використанням розробленого кінетичного методу стійкість цементного бетону до дії цього газу [9]. Встановлено, що бетон, який є гетерогенним композиційним матеріалом, може вважатися по відношенню до радону гомогенно-дифузійним середовищем. Даний метод

дозволив відносно швидко і з достатньою точністю визначити основні параметри дифузійного процесу: дифузійну довжину, пористість матеріалу і коефіцієнт дифузії. Вони для бетону з об'ємною масою 2,40 і 2,25 г/см³ дорівнюють відповідно 12,6 і 16,9; 0,068 і 0,32; 3,34·10⁻⁴ і 6,01⁻⁴ см²/с, що добре узгоджується з параметрами дифузії, отриманими за допомогою інших методів.

Таблиця 1

Механізми перенесення газів і рідин через бетон [10]

Флюїди	Механізм перенесення	Коефіцієнт проникності, см ³ ·см/см ² ·с·ат	Розмір радіусів максимальних пор, см
Гази	Молекулярна дифузія	< 10 ⁻⁵	< 10 ⁻⁵
	Молекулярний потік	10 ⁻⁵ – 10 ⁻³	10 ⁻⁵ – 10 ⁻⁴
	В'язкісний потік	> 10 ⁻³	> 10 ⁻⁴
Рідини	Молекулярна дифузія	< 10 ⁻⁷	< 10 ⁻⁵
	Капілярний потік	10 ⁻⁷ – 10 ⁻⁴	10 ⁻⁵ – 10 ⁻³
	В'язкісний потік	> 10 ⁻⁵ – 10 ⁻⁴	> 10 ⁻⁴ – 10 ⁻³

Згідно з класичним уявленням і вітчизняним дослідженням, проведеним ще в 1962-68 рр. [13-15], газопроникність пористих тіл, зокрема цементного каменю і бетону, може характеризуватися в'язкісним і молекулярним механізмами перенесення газу, відмінність між якими визначається співвідношенням довжини вільного пробігу молекул і радіусом капіляра. Якщо радіус значно більший за довжину пробігу, газ є в'язкісним і характеризується зіткненням молекул між собою. Якщо радіус значно менший за довжину, потік газу є молекулярним і характеризується ударами молекул об стінки капіляра. При нормальному тиску і довжині пробігу молекул 10⁻⁵ см, в'язкісний і молекулярний потоки розрізняють залежно від радіусу капілярів: при r > 10⁻⁵ см - в'язкісний, при r < 10⁻⁵ см - молекулярний [8, с.119]. Ю.В. Чеховський [13], Ю.А.Саввіна [14], А.Г.Грайфер [15] вважають, що для щільних цементних бетонів характерне, головним чином, перенесення газів за в'язкісним законом. Молекулярний потік не є визначальним, оскільки капіляри з радіусом менше 10⁻⁵ см за нормальних умов заповнені вологою.

Для створення умов перенесення газу в цементному камені і бетоні молекулярним механізмом капіляри повинні бути заповнені водою при надмірному тиску. На рис. 1а і в табл. 2 показана залежність зміни коефіцієнта газопроникності бетону насиченого водою (серія ЦБ-2) при тиску 8 ат, а потім випробуваного азотом при тому ж тиску і за даними Ю.А.Саввіної [8] середні значення коефіцієнта газопроникності становило 4·10⁻⁹ см²/с·ат. Впродовж 5 год проникність бетону була незмінною, і механізм перенесення газу в цей момент характеризувався як молекулярний; після встановлення стаціонарного потоку, механізм набув в'язкісного характеру. Різниця в коефіцієнтах проникності на три порядки свідчить про те, що при протіканні обох механізмів перенесення газу через бетон механізм молекулярної дифузії не є визначальним.

Як показують дослідження і згідно з сучасними уявленнями про форму зв'язку вологи в бетоні, наявність адсорбованої вологи в порах має велике значення для газопроникності. Кількість такої вологи залежить від характеру порової структури, вологості і температури середовища, а від них, у свою чергу, існує залежність між «вологовою рівновагою» бетону і відносною вологістю повітря.

Дослідження залежності газопроникності від вологості повітря показали, що із збільшенням вологи різко знижується коефіцієнт газопроникності. На рис. 1б і в табл. 2 наведено результати досліджень проникності цементного бетону різного стану вологості і міцності, проведені Ю.А.Саввіною [8, с.120-121]. Відомо, що міцність бетону і В/Ц побічно характеризують сумарну пористість бетону і рівноважна вологість при різній міцності має не однакову величину. Із збільшенням міцності і зниженням В/Ц рівноважна вологість зростає в

порівнянні з вологістю водонасиченого бетону, у той час як вологість останнього знижується. Це також свідчить про збільшення об'єму капілярів менших розмірів.

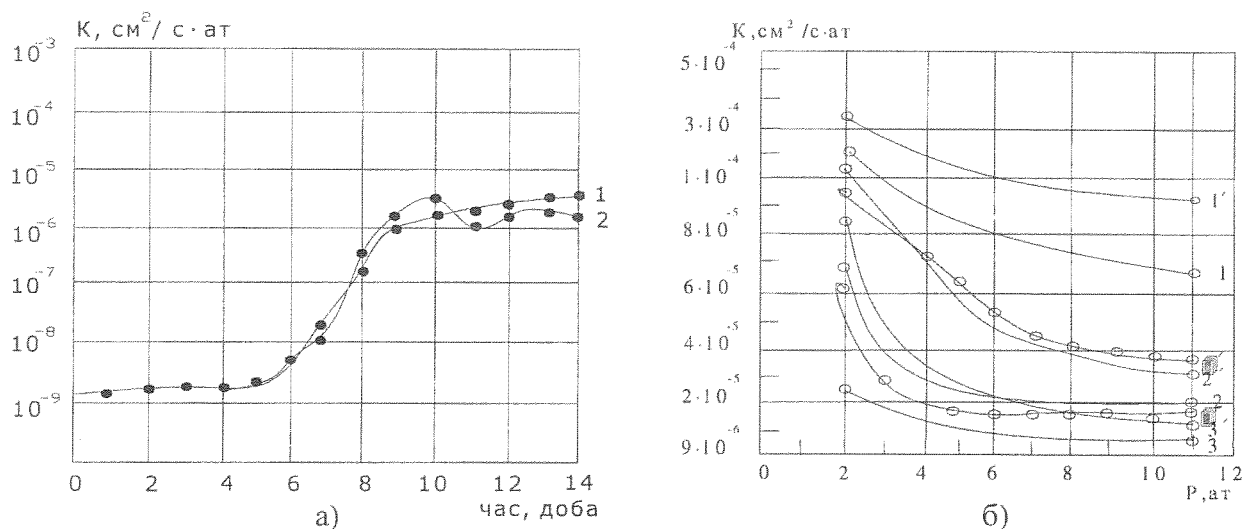


Рис. 1. Зміна коефіцієнтів газопроникності зразків цементного бетону: насичених водою при тиску 8 ат (а): 1 - серія ЦБ-2; 2 - серія ЦБ-4; зразків різного стану за вологістю залежно від тиску (б): 1 - бетон класу В-2; 2 - те ж, В-6 (серія ЦБ-2 табл.2); 3 - те ж, класу В-10 (зразки рівноважної вологості); 4 - те ж, класу В-6 (серія ЦБ-4 табл.2), 1' -4' - те ж, висушені до постійної маси [8], серія ЦБ-4 дані автора

Таким чином, однозначно встановлено, що обезводнення бетону значно збільшує коефіцієнт його газопроникності. Співвідношення абсолютних величин між міцністю висушених зразків менше, ніж зразків з рівноважною вологістю, чим пояснюється вплив адсорбційної вологи на газопроникність бетону. З проведених досліджень, зокрема Ю.В Чеховського [13], можна зробити ще один важливий висновок. При розгляді капілярно-пористої структури бетону слід виділити пори і капіляри в цементному камені, пори в зоні його контактів із заповнювачами, пори самого заповнювача. Проте основними порами, що впливають на такі властивості бетону, як проникність, морозостійкість, корозійна стійкість є пори цементного каменю. Порівняно з цементним каменем газопроникність бетону зменшується, що пояснюється збільшенням в структурі тупикових пор і зменшенням кількості фільтруючих каналів. Хоча з цим можна не погодитися, оскільки в структурі бетонів можуть бути технологічні тріщини і тріщини, що виникають в процесі експлуатації бетонів.

Газопроникність сірчаної мастики та бетону. Аналіз результатів випробувань. Як відомо [12], дослідження, проведені Американським інститутом сірки у Вашингтоні «American Sulphur Institut» показали, що сірчаний бетон газонепроникний для багатьох газів, зокрема радону. У вітчизняній літературі нам такі дані не траплялися, тому для підтвердження даного висновку, нами була проведена дослідна оцінка коефіцієнтів газонепроникності цементних і сірчаних бетонів, виготовлених на однакових компонентах і технічній сірці, з урахуванням методик випробувань [9, 13, 14].

Мета і завдання - визначення коефіцієнтів газопроникності сірчаних мастик і бетонів, розробка пропозицій щодо їх зниження для протирадонових бар'єрів при будівництві в радоновонебезпечних зонах.

Об'єктами досліджень були цементний бетон на основі портландцементу, кварцового піску і гранітного щебеню, сірчана мастика (технічна сірка, модифікована кварцовою мукою, коефіцієнт наповнення 0,33 і 1,0) і бетон на її основі з використанням тих же заповнювачів, що і для цементного бетону.

Предметом досліджень було встановлення механізму перенесення газу через дослідні зразки з рахуванням впливу їх стану щодо вологості, зовнішнього тиску і особливостей структури при порівняльному аналізі коефіцієнтів газопроникності цементного бетону, сірчаної мастики і бетону.

Передбачалося, що структура сірчаної мастики, в якій відсутні активні пори і капіляри, характерні для цементного каменю і цементно-піщаного розчину, є газонепроникною. Проте результати випробувань структур і складів дослідних зразків (табл.2), приведені на рис. 2 (а, б) показали, що спостерігається проникність як мастики, так і бетону, величина якої залежить від щільності їх структур. Перший склад характеризується щільною структурою без порожот, другий - пористою з порожотами, що свідчить про недостатню кількість сірки у складі мастики.

З рис.2а видно, що впродовж 14 діб при постійному тиску 8 ат коефіцієнти газорадіопроникності як сірчаної мастики, так і бетону залишалися постійними і в середньому становили: для мастики серій СМ-1 і СМ-2 - $2,45 \cdot 10^{-11}$ і $6,50 \cdot 10^{-11}$; для бетонів серії СБ-1 і СБ-2 – $8,75 \cdot 10^{-10}$ і $2,35 \cdot 10^{-10}$ $\text{см}^2/\text{с} \cdot \text{ат}$ відповідно. З дослідних величин коефіцієнтів видно, що газорадіопроникність досліджених складів мастики на порядок нижча, ніж бетону. Коефіцієнт газопроникності цементного водонасиченого бетону в аналогічних умовах за 14 діб змінився на три порядки від $9 \cdot 10^{-8}$ до $5 \cdot 10^{-5}$ $\text{см}^2/\text{с} \cdot \text{ат}$ (рис.1 а).

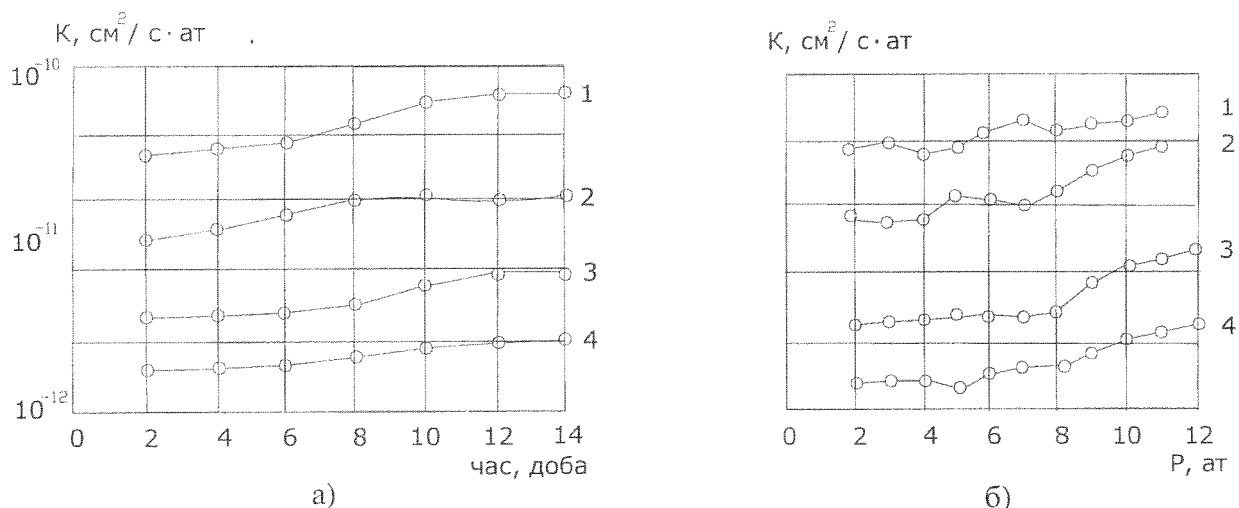


Рис.2. Зміна коефіцієнтів газопроникності сірчаної мастики і бетону: а) у часі при постійному тиску 8 ат; б) залежно від тиску: 1 - сірчаний бетон серії СБ-2; 2 - те ж, серія СБ-1; 3 - сірчана мастика серії СМ-2; 4 - те ж, серія СМ-1

Нижчу газопроникність сірчаних мастик і бетонів можна пояснити таким чином. Відомо, що при фазовому переході сірки з розплавленого в твердий стан відбувається перебудова її кристалічної решітки з призматичної в більш метастабільну ромбічну меншої щільності. Така трансформація супроводжується підвищенням температурно-усадковим напруженням в результаті появи розтягувальних деформацій. При наповненні розплаву сірки мінеральними наповнювачами напруження ростуть або знижуються, оскільки між коефіцієнтами температурного розширення сірки і наповнювачів, як правило, значна різниця. Якщо напруження перевищують величини адгезійних і когезійних зв'язків між компонентами, в структурі мастики і бетону можуть виникнути технологічні мікротріщини, через які проникають гази, зокрема радон. При цьому коефіцієнти газоперенесення збільшуються із зростанням дефектності структур і зовнішнього тиску (рис.2), проте їх величини, як показали результати експериментів, залишаються значно нижчими, ніж у цементного бетону (рис.1б).

Склади і характеристика дослідних зразків

Шифр, № серії	Вид бетону, умови тужавіння	Склад	В/Ц	γ , кг/м ³	R ₂₈ , МПа	Середня вологість		
						W _n	W _p	W _n /W _p
ЦБ-1	Цементний бетон, в камері нормального тужавіння	Ц:П:Щ=						
ЦБ-2		1:2,06:3,89	0,61	-	B2	7,2	2,3	32
ЦБ-3		1:1,79:3,10	0,50	-	B6	6,4	2,5	48
ЦБ-4		1:1,45:2,65	0,40	-	B10	5,2	3,5	67
		1:1,74:3,10	0,50	2370	33,2	6,0	2,6	43
СМ-1	Сірчана мастика, в повітряно-сухих умовах лабораторії	С:Н =						
СМ-2		1:1	-	2180	42,5	0,5	0	0
		1:3	-	2240	35,6	1,0	0,4	40
СБ-1	Сірчаний бетон, те ж	С:Н:П:Щ=						
СБ-2		1:2:2:1,76	-	2355	41,4	0,8	0,3	38
		1:2:2:2,30	-	2380	32,7	1,3	0,5	39

Примітка: W_n - повне водонасичення; W_p - рівновагова вологість. Серії ЦБ-1, ЦБ-2, ЦБ-3 досліджені Ю.А.Саввіною в 1975 р. в НДІЗБ Держбуду СРСР під кер. проф. В.М.Москвіна [8]; ЦБ-4 досліджена авторами статті під кер. проф. Ю.І.Орловського.

Як видно з табл. 2, вологість рівновагова і водонасичених зразків практично однакові, тому адсорбування води у відкритих порах і капілярах, які практично відсутні в даних структурах, не грають визначальної ролі, на відміну від цементного каменю та бетону. Результати показують, що оскільки вологість бетону і відносна вологість повітря для мастик і бетону не є значущими, коефіцієнт газопроникності істотно не залежить від їх міцності, а залежить від щільності структур, зокрема модифікованого стану сірки, складу сумішей, характеристики компонентів і стану контактної зони.

Рекомендації щодо захисту будівель від вологості, радону та їх сумісної дії.

Одним з найбільш ефективних конструктивних захисних заходів є влаштування протирадонових бар'єрів з різних волого-газонепроникних матеріалів. Щоб обгрунтувати включення в список матеріалів на основі сірчаного в'язучого необхідно відзначити: сірка гідрофобна, нерозчинна у воді і більшості розчинниках, є хорошим діелектриком, діаманітна, сірчані бетони характеризуються високою корозійною стійкістю, особливо в сольових і багатьох кислих середовищах, зокрема, при дії сульфатів, вони відрізняються високою морозостійкістю, що особливо важливо при експлуатації протирадонових бар'єрів, фундаментів, підлог і стін підвальних приміщень. Крім того, останні дослідження [16, 17], проведені в Національному університеті «Львівська політехніка» за участю Київського університету під керівництвом проф. Ю.І.Орловського і Пензенського технічного університету під керівництвом проф. А.П.Прошкіна [18, 19], додатково виявили високі радіаційно-захисні і електроізоляційні властивості цих бетонів, що також важливо для матеріалів при влаштуванні протирадонових бар'єрів.

Сірчані бетони і мастики добре суміщають дві функції, які необхідні у разі створення бар'єрів подвійної дії: радоно- і вологопроникності. Це підтверджують результати досліджень властивостей сірки і композитів на її основі.

Враховуючи здатність радону розчинятися у воді, виникає необхідність влаштування не тільки газорадононепроникних бар'єрів, але і універсальних бар'єрів з матеріалів, що забезпечують захист від сумісної дії води і радону. Тому, при проектуванні таких бар'єрів, слід враховувати фізико-механічні, фізико-хімічні властивості і довговічність матеріалів.

Науково обгрунтовані рекомендації із застосування тих або інших матеріалів повинні базуватися на комплексних натурних випробуваннях, проте на даний час їх проведено дуже

мало. Як приклад, можна навести останню роботу Ф. Курілла [1, 2000 р.], в якій автор досліджував дев'ять об'єктів, з метою визначення ефективності конструкції бар'єрів подвійної ізоляційної захисної дії від сумісного впливу вологості і радону. Протирадоніві бар'єри були вибрані з урахуванням об'ємно-планувальних рішень, потужності джерела радону, виду матеріалів фундаментів і стін. Бар'єри виготовлялися з матеріалів, характеристики яких наведені в табл. 3.

Таблиця 3

Характеристика матеріалів для протирадонівих бар'єрів [1]

Матеріал	Коефіцієнт дифузії радону $D, \text{м}^2 \cdot \text{с}^{-1}$	Довжина дифузії $R, \text{мм}$	Товщина бар'єру $h, \text{мм}$
Гума	$(4,5 \pm 0,3) \cdot 10^{-10}$	$14,3 \pm 1,1$	1,4
Поліетилен 1	$(4,5 \pm 0,4) \cdot 10^{-12}$	$1,47 \pm 0,13$	0,012
Поліетилен 2	$(2,1 \pm 0,3) \cdot 10^{-12}$	$1,00 \pm 0,14$	1,55
Поліпропілен	$(5,5 \pm 0,6) \cdot 10^{-13}$	$0,50 \pm 0,05$	0,09
Полівінілхлорид 1	$(5,4 \pm 0,6) \cdot 10^{-12}$	$1,60 \pm 0,17$	1,3
Полівінілхлорид 2	$(6,4 \pm 0,6) \cdot 10^{-12}$	$1,74 \pm 0,17$	0,23
Полівінілхлорид Р	$(3,8 \pm 0,5) \cdot 10^{-12}$	$1,35 \pm 0,17$	2,0
Алюмінієва фольга	$(4,3 \pm 1,1) \cdot 10^{-15}$	$0,05 \pm 0,01$	0,035
Модифікований асфальт	$(1,3 \pm 0,3) \cdot 10^{-13}$	$0,80 \pm 0,18$	3,0

Аналіз результатів оцінки ефективності досліджуваних матеріалів (табл. 4) дозволив вибрати найбільш сприятливі і ефективні умови їх застосування, залежно від потужності джерела і характеру проникнення радону в приміщення.

Таблиця 4

Ефективність застосування матеріалів протирадонівих бар'єрів [1]

Матеріал	Об'ємна активність радону, $\text{Бк} \cdot \text{м}^{-3}$ (OAR)					
	Початкова	1 місяць	3 місяці	6 місяців	1 рік	2 роки
Гума	80,0	42,0	21,3	14,1	7,8	7,9
Поліетилен 1	78,5	38,5	19,8	12,7	6,3	6,6
Поліетилен 2	72,7	31,3	17,4	11,4	5,8	5,5
Поліпропілен	93,9	43,6	21,2	14,5	6,9	7,1
Полівінілхлорид 1	71,4	35,1	16,3	11,8	7,1	6,8
Полівінілхлорид 2	64,9	31,9	12,3	7,3	4,6	4,7
Полівінілхлорид Р	101,4	50,9	23,8	11,9	6,2	5,9
Алюмінієва фольга	85,7	43,9	25,0	12,4	6,4	5,4
Модифікований асфальт	82,9	41,7	20,5	10,8	5,3	5,0

Висновки

З метою ефективного попередження негативних наслідків дії радону необхідно подолати існуючі стереотипи, що тільки радіаційні аварії або витoki радіоактивних відходів можуть створювати загрозу для здоров'я людей.

Основним джерелом радону є геопатогенні зони (розломи) земної кори, де радон утворюється в результаті радіоактивного природного розпаду радію-226, повсюдно поширеного в природі.

Проникаючи крізь тріщини, щілини і стики у фундаментах, підлоги, стіни будівель в перші поверхи і підвальні приміщення, затримується в них і накопичується. Розчинність радону у воді, коливання рівня ґрунтових вод сприяє шкідливій подвійній дії вологості і радону.

Проведені попередні дослідження показали, що сірчані мастики і бетони можуть розглядатися як ефективні матеріали для створення протирадонових бар'єрів поліфункціонального призначення (газонепроникних, гідроізоляційних, радіаційно-захисних і ін.). Сірчані бетони, на відміну від цементних, характеризуються відсутністю активної пористо-капілярної структури, що дозволяє рекомендувати їх при розробленні захисних систем для газонепроникних конструкцій.

Впровадження конструкційних способів захисту вимагає комплексних досліджень і розробку рекомендацій щодо створення протирадонових бар'єрів з урахуванням особливостей фізико-механічних, хімічних, технологічних властивостей і довговічності будівельних матеріалів.

Подальше підвищення газонепроникності і щільності сірчанних композиційних матеріалів повинно реалізовуватися шляхом модифікації сірки різними хімічними добавками і наповнювачами, використання ефективних ущільнюючих сумішей, технологій формування виробів (вібропресування, вібрації з навантаженням і таке інше).

В найближчому майбутньому слід в ДСТУ з проектування житлових і громадських будівель внести категорії радонового ризику в ґрунтах, ґрунтових водах, а також величину максимальної активності радіо-226 на рівні $120 \text{ Бк}\cdot\text{кг}^{-1}$ при перевірці будівельних матеріалів на наявність природних радіонуклідів з метою охорони здоров'я громадян і поліпшення екології навколишнього середовища.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ:

1. Курілла Ф. Особливості збереження і регенерації історико-архітектурного середовища в умовах надмірної вологості та радонових забруднень: Автореф. дис. канд. архітектури: 18.00.01-Львів, Національний ун-т «Львівська політехніка», 2006. – 20 с.
2. Курілла Ф., Печеник О.М. Радон як чинник ризику для здоров'я людей в матеріальному середовищі будинків //36. наук. праць вищих навчальних закладів художньо-будівельного профілю України та Росії: «Традиції та новації у вищій архітектурно-художній освіті» Харківського художньо-промислового інституту, вип.-2.-3/1, Харків, 2001-2002. – С. 114-115.
3. Kurilla F. Protiradonove difuzne bariery. Stavebnicky casopis, Rosnic:51 cislo:3, Ustav Stavebnictva a architektury SAV, 2003, Bratislava.- S.12-16.
4. Pienkowski B. Materialy budowlane a promieniotworczosc // Materialy Budowlane. - 1997/- №8 (300).- S.53-54.
5. Платонов А.П. Строительные материалы и экология //Автомобильные дороги. - 1992.-№3. -С. 16.
6. Ступаченко П.П. Структурная пористость и проницаемость цементного камня в бетоне // Изв. вузов. Строительство и архитектура.- 1958. - № 3.
7. Эдельман Л.И., Соминский Д.С., Копчикова Н. В. Исследование распределения пор по размерам в цементном камне //Коллоидный журнал. - Т. 23. - № 2. - 1961.
8. Повышение стойкости бетона и железобетона при воздействии агрессивных сред. Под ред. В. М. Москвина и Ю.А. Саввиной. -М. :Стройиздат,1975. - 236 с. (10. Газопроницаемость бетона. - С. 118 - 121).
9. Zapalas G. H. A time – dependent method for characterizing the diffusion of ^{222}Rn in concrete // Health Phys. – 1983, 45, №2. Spes. Issue Indoor Radon. –Pp. 377- 383.
10. Дворкин Л.И., Дворкин О.Л. Основы бетоноведения. – Санкт-Петербург: ООО «Строй-Бетон», 2006.- 690 с.
11. Орловский Ю. И. Бетоны, модифицированные серой :Дис... д-ра техн. наук: 05.23.05. - Харьков, ХИСИ,1992. - 529 с.
12. Betony siarkowe – stabilizacja odpadow. Osrodek Badawczo-rozwojowy Przemyslu siarkowego «Siarkopol». Tarnobrzeg, 2003.- S.225.

13. Чеховский Ю.В. Исследование структуры пор и проницаемости цементного камня: Автореф. дис. канд. техн. наук: 05.23.05 / НИИЖБ, М., 1963.

14. Защита строительных конструкций от коррозии. Материалы координационного совещания. Под ред. В.М. Москвина и В.М. Медведева. - М.: Стройиздат. - С. 43-55. Саввина Ю.А. О проницаемости бетона.

15. Грайфер А.Г. Особенности технологии плотных бетонов применительно к сооружениям для транспорта и хранения газообразных продуктов: Автореф. дис. канд. техн. наук: 05.23.05 / НИИЖБ, М., 1968.

16. Жук Н.Н. Специальные свойства бетонов, модифицированных серой: Дис... канд. техн. наук: 05.23.05 / ОГАСиА, Одесса, 2002. - 208 с.

17. Орловский Ю.И., Жук Н.Н., Королев Е.Я., Лецевский Д. Радиационно-защитные свойства полимерсерного бетона // Материалы III научно-практического семинара: Структура, свойства и состав бетона. - Ровно, 2003. - Рівне: Видавництво Рівненського державного центру науково-технічної і економічної інформації. - С. 126-137.

18. Королев Е.А., Прошин А.П., Баженов Ю.М., Соколова Ю.А. Радиационностойкие серные строительные материалы. - М.: Палеотип, 2004. - 464 с.

19. Прошин А.П., Королев Е.А., Болтышев С.А. Сверхтяжелые серные бетоны для защиты от радиации. - Пенза: ПГАСА, 2005. - 224 с.

УДК 66.0(07)

М.Ф.Юрим, к.т.н., доц., А.В.Сибірний, к.б.н., О.-Р.В.Мартиняк, к.т.н., доц., Н.М.Гринчишин, к.с.-г.н. (Львівський державний університет безпеки життєдіяльності)

ОПТИМІЗАЦІЯ ПРОЦЕСУ ПЕРЕРОБКИ ФОСФОГІПСУ МЕТОДОМ СТАТИСТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ

Процес переробки і утилізації фосфогіпсу є надзвичайно актуальною задачею багатотоннажних виробництв мінеральних добрив, на яких утворюються ці відходи. Проблема вимагає постановки великої кількості дослідів на напівпромислових і промислових установках, що в реальних умовах, вимагає величезних капітальних, енергетичних і часових затрат. Авторами був використаний і реалізований метод статистичного планування експерименту. В основі цього методу лежить використання впорядкованого плану розміщення експериментальних точок у факторному просторі і перехід до нової системи координат.

Одержані в роботі теоретичні та експериментальні дослідження можуть бути використані для практичного застосування в реальній технологічній схемі переробки надзвичайно токсичних відходів, до яких належить фосфогіпс, що забруднює всі складові частини біосфери

Процес переробки і утилізації фосфогіпсу є надзвичайно актуальною задачею багатотоннажних виробництв мінеральних добрив, на яких утворюються ці відходи. Проблема вимагає постановки великої кількості дослідів на напівпромислових і промислових установках, що в реальних умовах, вимагає величезних капітальних, енергетичних і часових затрат. Тому, авторами був використаний і реалізований так званий метод статистичного планування експерименту [1]. В основі цього методу лежить використання впорядкованого плану розміщення експериментальних точок у факторному просторі і перехід до нової системи координат.

Далі задача зводилась до пошуку оптимальних умов, при яких можливо отримати максимальне прискорення процесу переробки фосфогіпсу. Для цього було проведено