

Висновки та напрям подальших досліджень. Виконаний аналіз сучасного приладдя, доводить можливість використання його при маркшейдерсько-геодезичних зйомках, з метою підвищення продуктивності праці на шламосховищах, кар'єрах, проммайданчиках гірничодобувних підприємств. Основною метою подальших досліджень є вибір та розробка ефективного методу виконання зйомки для забезпечення робіт на хвостосховищах.

Список літератури

1. Антонович, К.М. Использование спутниковых радионавигационных систем в геодезии. В 2 т. Т. 1. Монографія. ГОУ ВПО «Сибирская государственная геодезическая академия». – М.: ФГУП «Картгеоцентр», 2005. – 334 с.
2. Глотов В. М., Гуніна А. В. Аналіз можливостей застосування безпілотних літальних апаратів для аерознімальних процесів. Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва, 2014. – вип. II(28).
3. Глотов В. М. Гуніна А. В. Колесніченко О. В. Прохорчук О. В. Юрків М. І. Розробка та дослідження БПЛА для аерознімання. Національний університет «Львівська політехніка» – 10 с.
4. Долгіх Л. В., Діхтяр С. В., Томашевська А. О. Використання методів цифрової фотограмметрії в умовах підземних гірничих виробок. Вісник Криворізького національного університету, 2021. – вип. 52, – С. 85- 89.
5. Долгіх О.В. Вибір типу знімальної камери для маркшейдерського забезпечення гірничодобувних підприємств. Вісник Криворізького національного університету, 2022. – вип. 54, С. – 63-69.
6. Карпінський Ю. О., А. А. Лященко, М. В. Горковчук. Концептуальні засади оцінювання та забезпечення якості геопросторових даних. Вісник геодезії та картографії, 2012. – вип. 4. – С. 33-42.
7. Корецька Г. А., Кузнецов П. І., Васил'єв Д. А. Опыт применения GPS-технологий на открытых горных работах. VIII міжнародна науково-практична конференція «СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ И ИННОВАЦИИ В НАУКЕ И ПРОИЗВОДСТВЕ», 2019. С. 121
8. Скубієв С.І., Использование беспилотных летательных аппаратов для целей картографии. Тезиси Х Ювілейної міжнародної науково-технічної конференції «От снимка к карте: цифровые фотограмметрические технологии». Гаэта, Італія. – 2010.
9. Тихонов А. А. Акматов Д. Ж. Обзор программ для обработки данных аэрофотосъемки. Гірничий інформаційно-аналітичний бюлетень, 2018. – вип. 12. С. 192–198.
10. Правила виконання маркшейдерських робіт під час розробки родовищ рудних та нерудних корисних копалин [Електронний ресурс] – Наказ Міністерства розвитку економіки, торгівлі та сільського господарства України 31 березня 2021 року № 669. Режим доступу - <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0884-21#Text>
11. International mining – October, 2018. – P. 26-29.

УДК 624.131:624.15

Р.О. ТИМЧЕНКО, д-р техн. наук., проф., Д.А. КРІШКО, канд. техн. наук, ст. викладач,
Т.М. СЛИНЬКО, С.А. ГЛУХАНЬКО, О.О. БЕРЕЗКА, Р.В. БОРАК, магістранти
Криворізький національний університет

МЕТОД ОЦІНКИ СТАНУ БАГАТОШАРОВИХ ОГОРОДЖУВАЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ

Мета. Встановлення закономірностей зміни паропроникності різних матеріалів від їхньої вологості та розроблення на цій основі методу оцінки вологісного стану багатошарових огороджувальних конструкцій.

Методи дослідження. В якості теоретичної бази для дослідження використано фундаментальні закони нерівноважної термодинаміки (закон ентропії, лінійні закони Фур'є та Фіка) і результати відомих наукових досліджень з розрахунку вологісного стану огороджувальних конструкцій.

Наукова новизна. Для випробування у роботі матеріалів встановлено, що при збільшенні відносної вологості повітря в порах матеріалів від 20 до 80 % коефіцієнт паропроникності зростає в 1,5-2,5 рази; отримано емпіричні рівняння цієї залежності. Розроблено метод визначення коефіцієнта паропроникності матеріалів у складі багатошарових зовнішніх стін, який ґрунтується на математичному методі простих ітерацій і полягає в послідовному перерахунку коефіцієнтів паропроникності матеріалів за значеннями відносної вологості повітря у відповідних матеріальних шарах зовнішніх стін до встановлення збіжності із заданою похибкою.

Практична значимість. Розроблено метод оцінювання вологісного стану зовнішніх стін з урахуванням коефіцієнтів паропроникності матеріальних шарів, що змінюються протягом року, що дає змогу визначати параметри вологості зовнішніх стін на стадії їхнього проектування.

Результати. Розширення досліджень зі збільшення спектра будівельних матеріалів, конструктивних рішень багатошарових зовнішніх стін і систематизації характеристик масопереносу під час експлуатаційних впливів. Результати роботи можуть бути використані під час дослідження закономірностей паропроникності традиційних і новостворюваних матеріалів під час різних експлуатаційних впливів (метод для оцінювання паропроникності матеріалів), а також для прогнозного оцінювання вологістийкого стану зовнішніх стін на стадії їхнього проектування для різних

кліматичних районів (метод оцінювання вологостійкого стану зовнішніх стін із урахуванням мінливості коефіцієнта паропроникності матеріалів під час експлуатації).

Ключові слова: багатошарова огорожувальна конструкція, паропроникність, вологісний стан зовнішніх стін, відносна вологість повітря.

doi: 10.31721/2306-5451-2023-1-56-184-191

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Від вологісного стану залежить ефективність та довговічність теплозахисту огорожувальних конструкцій. Захист від перезволоження конструкції забезпечується згідно з чинним нормативом [1]: своєчасним видаленням вологи з конструкції, запобіганням накопиченню вологи в конструкції за річний період експлуатації. Однією з визначальних характеристик для забезпечення необхідного вологісного стану огорожувальних конструкцій є коефіцієнт паропроникності використовуваних матеріалів. Існуючі інженерні методи визначення вологісного стану конструкції використовують постійне значення коефіцієнта паропроникності і не враховують його зміну від режиму експлуатації. Однак відомо, що значення коефіцієнта паропроникності матеріалів значною мірою залежать від їхньої вологості.

Численні дослідження зовнішніх стін вказують на широкий діапазон експлуатаційної вологості використовуваних матеріалів. На етапі проектування огорожень із різними конструктивними рішеннями відсутні методи оцінювання дійсної експлуатаційної вологості матеріалів, які використовуються. Відсутність методів і недостатня експериментальна база дослідження характеристик паропроникності матеріалів за різних умов експлуатації не дає змоги теоретично обґрунтувати залежність паропроникності матеріалу від його вологості та враховувати її на етапі проектування огорожувальних конструкцій. Отже, наявні інженерні методи визначення вологісного стану конструкцій недостатньо точно відображають закономірності масопереносу в реальних експлуатаційних умовах. У зв'язку з цим актуальним завданням є дослідження закономірностей зміни паропроникності матеріалів в експлуатаційних умовах і розробка на цій основі розрахункових методів для визначення вологісного стану огорожувальних конструкцій [2-6].

Аналіз досліджень і публікацій. Дослідженням і розробкою методів визначення вологісного стану огорожувальних конструкцій займалися: В.М. Богословський, В.Г. Гагарін, В.М. Іллінський, Н. Klorfer, К. Kiebl, К.М. Künzel, В.В. Козлов, В.А. Ликов, В.Д. Мачинський, А.Г. Перехоженцев, С.В. Федосов, К.Ф. Фокін, А.У. Франчук, А.С. Епштейн та ін. Дослідження вологісних характеристик матеріалів проводилися такими вченими як: Б.В. Дерягін, В. Вайцекаускас, Ц.Г. Югансон, Е.Е. Монствілас, В. Планскін, Н.В. Чураєв, Х.Г. Еденхольм, А.С. Епштейн та ін. Наразі ступінь розробленості проблеми з оцінювання вологісного стану огорожувальних конструкцій виявився недостатнім через відсутність бази даних щодо випробування паропроникності багатошарових конструкцій зовнішніх стін під час різних експлуатаційних впливів, великого розмаїття сучасних матеріалів та їхніх комбінацій в огорожувальних конструкціях [7-21].

Постановка задачі. Встановлення закономірностей зміни паропроникності різних матеріалів від їхньої вологості та розроблення на цій основі методу оцінки вологісного стану багатошарових огорожувальних конструкцій.

Викладення матеріалу та результати. Порівняльний аналіз наявних методів визначення паропроникності матеріалів дозволив виявити відсутність комплексного врахування низки експлуатаційних впливів: зміна вологості матеріалу; взаємне розташування шарів матеріалів відносно один одного; наявність градієнту температур за перерізом зразка; вплив вітрових впливів на фасади будівель.

Таким чином, виникає необхідність у створенні розрахункових методів визначення паропроникності фасадних конструкцій з урахуванням їхніх конструктивних особливостей і експлуатаційних впливів. Аналіз існуючих методів дав змогу встановити, що коефіцієнт паропроникності в них приймається постійним, розрахунки не враховують його залежність від зміни температурно-вологісних умов експлуатації.

Дослідження паропроникності матеріалів за різних значень відносної вологості повітря в зразках проводили згідно з нормативом з тією різницею, що зразки поміщали між середовищами з різною відносною вологістю повітря (20, 35, 50 і 80 % за температури 20°C) до досягнення стаціонарного стану. Результати вимірювань занесені в табл. 1.

Значення коефіцієнта паропроникності μ (мг/м-год·Па) за середньої відносної вологості повітря $\varphi_{сер}$ % у зразку

Середня відносна вологість повітря у зразку $\varphi_{сер}$ %	20 %	35 %	50 %	80 %
Матеріал				
ніздрюватий бетон ($\rho = 500$ кг/м ³)	0,137	0,170	0,186	0,199
керамічна цегла	0,014	0,016	0,022	0,036
силікатна цегла	0,016	0,020	0,019	0,031
мінеральна вата ($\rho = 90$ кг/м ³)	0,264	0,339	0,414	0,514
пінополістирол ($\rho = 10$ кг/м ³)	0,044	0,051	0,067	0,069

Можна бачити, що паропроникність матеріалів збільшується з підвищенням відносної вологості повітря в зразку. Найсуттєвішу зміну встановлено в керамічній цеглі (у 2,4 раза), силікатній цеглі (в 1,92 раза) і мінеральній ваті (в 1,94 раза). З метою встановлення залежності паропроникності матеріалів від сорбційної вологості було експериментально визначено їхні ізотерми сорбції згідно з нормативом. За отриманими даними було побудовано графіки залежності коефіцієнтів паропроникності матеріалів від їхньої сорбційної вологості (рис. 1).

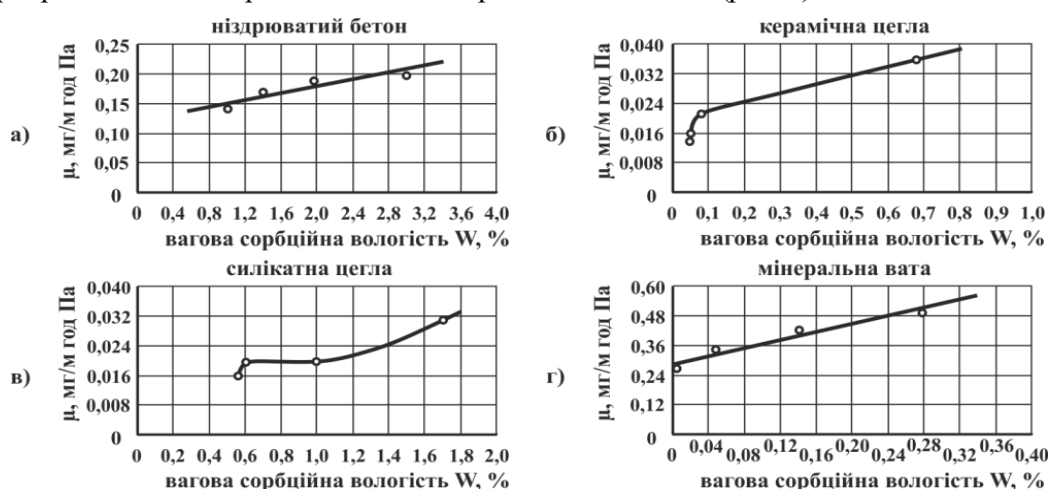


Рис. 1. Залежність коефіцієнта паропроникності μ (мг/м-год·Па) матеріалу від його сорбційної вологості W , %

Можна бачити, що паропроникність ніздрюватого бетону та мінеральної вати лінійно залежить від їхньої сорбційної вологості, в той час як у зразках із силікатної та керамічної цегли ці залежності не є лінійними (рис. 1б,в). Також можна бачити, що суттєві зміни паропроникності цих матеріалів відбуваються на "коротких" ділянках ізотерм сорбції (0,045-0,08 і 0,55-0,6 % для керамічної та силікатної цегли, відповідно), що може суттєво підвищити ефективність при практичному застосуванні цієї закономірності. Представлення отриманих результатів у вигляді залежності μ від відносної вологості повітря у зразках φ показало, що для всіх випробуваних матеріалів залежність паропроникності від відносної вологості повітря виявилася лінійною (рис. 2а,б).

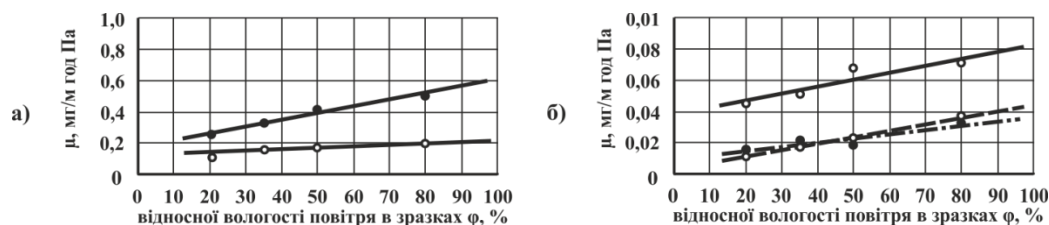


Рис. 2. Залежність коефіцієнту паропроникності μ (мг/м-год·Па) матеріала від середньої відносної вологості повітря у зразку $\varphi_{сер}$ %

Цей факт дозволив обґрунтувати використання цієї залежності під час розроблення методу визначення паропроникності багатошарових зовнішніх стін в експлуатаційних умовах. Емпіричні рівняння цієї залежності для досліджених матеріалів наведено в табл. 2.

Емпірично отримані рівняння залежності коефіцієнту паропроникності від відносної вологості повітря у порах матеріалу

Матеріал	Щільність, ρ , кг/м ³	Рівняння
Ніздрюватий бетон	500	$\mu = 0,00098 \cdot \varphi + 0,12806$, мг / (м · год · Па)
Керамічна цегла	1500	$\mu = 0,00025 \cdot \varphi + 0,01057$, мг / (м · год · Па)
Силікатна цегла	1400	$\mu = 0,00038 \cdot \varphi + 0,00504$, мг / (м · год · Па)
Мінеральна вата	90	$\mu = 0,00415 \cdot \varphi + 0,19149$, мг / (м · год · Па)
Пінополістирол (ППС)	8,6	$\mu = 0,00043 \cdot \varphi + 0,03825$, мг / (м · год · Па)

Розрахункові значення за табличними значеннями коефіцієнтів паропроникності однакові для обох конструкцій, тому що наявний метод розрахунку не враховує взаємного розташування матеріальних шарів конструкції, а визначається простою сумою шарів. Таким чином, виявлено, що значення характеристик паропроникності багатошарових конструкцій залежать від взаємного розташування матеріальних шарів відносно один одного.

Результати дослідження лягли в основу розроблення методу визначення значень паропроникності використовуваних матеріалів в огорожувальній конструкції за експлуатаційних умов.

На основі виявленої закономірності паропроникності від відносної вологості повітря створено метод визначення паропроникності матеріалів у конструкціях зовнішніх стін за експлуатаційних впливів.

З метою використання кліматичних даних, які широко представлені в довідковій літературі, експлуатаційні впливи чисельно приведені до середньомісячних параметрів відносної вологості й температури повітря місця будівництва, і параметрів мікроклімату приміщень. Вхідними параметрами для розрахунку є кліматичні параметри зовнішнього і внутрішнього повітря, теплофізичні характеристики матеріалів, що використовуються, і товщини матеріальних шарів зовнішніх стін (рис. 3, поз. 1).

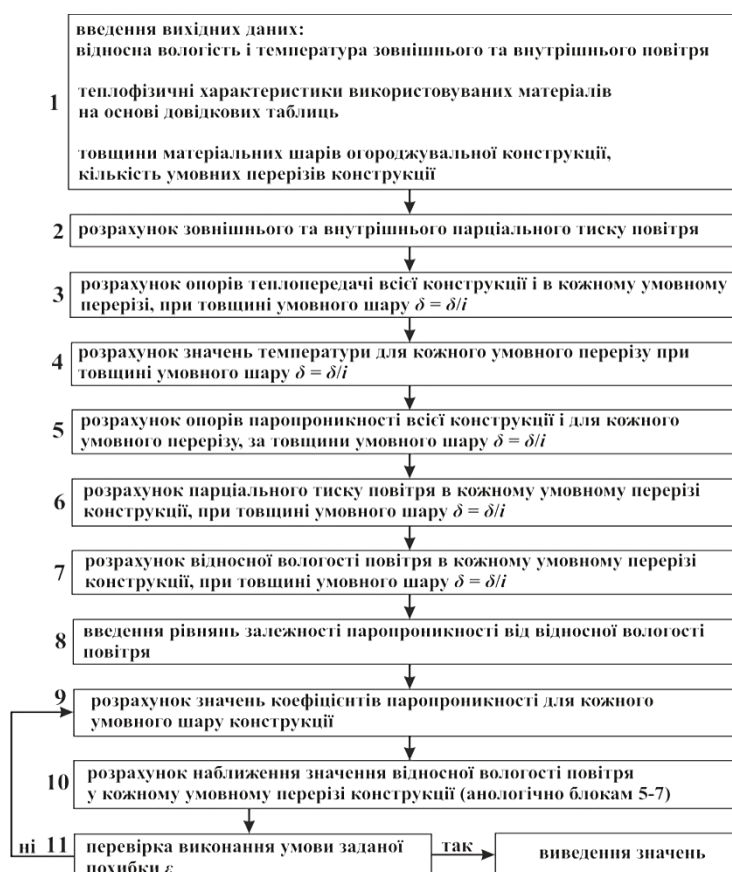


Рис. 3. Алгоритм методу розрахунку паропроникності матеріальних шарів конструкції

Метод ґрунтується на математичному методі простих ітерацій і полягає в послідовному перерахунку значень паропроникності за значеннями відносної вологості повітря в перерізі огорожувальної конструкції до встановлення збіжності із заданою похибкою.

Цей метод можна розбити на три етапи:

розрахунок відносної вологості повітря в шарах конструкції за табличними значеннями паропроникності (рис. 3, поз. 1-7);

визначення паропроникності матеріалів і відносної вологості повітря з використанням експериментально виявленої закономірності (рис. 3, поз. 8-10);

перерахунок відносної вологості і паропроникності до отримання збіжності результатів із заданою похибкою (рис. 3, поз. 11).

При цьому виходимо з припущення, що паропроникність не залежить від температури. За розробленим методом було виконано розрахунок щомісячних значень опору паропроникненню основних типів конструкцій: одношарових, двошарових із зовнішнім теплоізоляційним шаром, двошарових із внутрішнім теплоізоляційним шаром, тришарових із теплоізоляційним шаром по середині. Результати значень опору паропроникненню конструкцій відображено в табл. 3.

Можна бачити, що опір паропроникненню конструкцій змінюється протягом року. Максимальне значення для даних конструкцій досягається в травні, а мінімальне - у січні. Відношення максимального і мінімального значення дає змогу визначити відсоток зміни конструкції за річний період експлуатації (передостанній рядок табл. 3). У табл. 3 наведено результати за тими дослідженими конструкціями, в яких відбуваються найістотніші зміни відносної вологості повітря в матеріальних шарах за річний період. Найменшу зміну встановлено у двошаровій конструкції за системою вентиляований фасад із ніздроватого бетону та зовнішнього шару мінеральної вати (відсоток зміни – 5,5 %). Таким чином, встановлено, що відсоток зміни досліджених конструкцій зовнішніх стін протягом року перебуває в межах від 5,5 до 85,4 %. Порівняльні розрахунки вологісного стану зовнішніх стін за постійного (табличного) значення коефіцієнтів паропроникності матеріалів і значень коефіцієнтів паропроникності, що змінюються в експлуатаційних умовах.

Таблиця 3

Значення опору паропроникненню R_n (m^2 год Па/мг) конструкцій зовнішніх стін з найбільшими змінами R_n

Тип кон- струкції стіни					
	20 640	20 00 380	20 00 380	20 540 100	20 540 100
Місяці					
Листопад	13,91	4,04	5,15	8,49	9,80
Грудень	12,72	3,92	4,95	8,29	9,48
Січень	11,61	3,88	4,87	8,24	9,42
Лютий	11,97	3,90	4,90	8,30	9,48
Березень	14,43	4,15	5,28	8,73	10,08
Квітень	16,18	4,58	5,89	9,80	11,62
Травень	19,32	5,77	7,24	15,29	16,98
Червень	17,64	5,34	6,73	14,13	15,65
Липень	18,19	5,57	6,98	15,09	16,58
Серпень	17,66	5,52	6,90	15,23	16,59
Відсоток зміни R_n	66,4 %	48,7 %	48,6 %	85,4 %	80,25 %

За основу розробленого методу було прийнято вдосконалений метод Фокіна, який дає змогу оцінити температуру початку конденсації, календарний період вологонакопичення і кількість конденсату, що утворюється за період вологонакопичення. Результати розрахунків деяких досліджених конструкцій представлені в табл. 4. Можна бачити, що змінне значення паропроникності істотно впливає як на кількісну оцінку вологонакопичення в конструкції, так і на температури початку конденсації і тривалості календарного періоду вологонакопичення.

З таблиці випливає, що в розрахунках з постійним значенням μ проявляється вплив типу утеплювача на параметр g . Так, під час порівняння стовпців 3 з 4 видно, що під час розрахунків з постійним значенням μ величина g для конструкції з мінеральною ватою втричі перевищує величину g у конструкції з пінополістиролом. Під час розрахунків зі змінним значенням коефіцієнта паропроникності μ величина g практично не залежить від виду утеплювача. Результати, отримані в роботі, дають змогу стверджувати, що врахування змінного значення паропроникності дає змогу найоб'єктивніше оцінити і прогнозувати вологісний стан огорожувальних конструкцій на етапі проектування.

Таблиця 4

Характеристики вологісного стану деяких багатошарових огорожень з урахуванням змінного значення паропроникності μ^* і при постійному μ

Тип кон- струкції стіні	1				2				3				4				
	Вологісні характерис- тики стіні		20 100		540		20 100		540		20 100		380		20 100		380
$t_{нк}, ^\circ\text{C}$	μ^*	-8,7		-10,8		-4,19		-5,7									
	μ	-6,3		-9,2		1,76		0,06									
$T, \text{ доба}$	μ^*	38		-		75		60									
	μ	60		27		135		105									
G_k ($\text{мг} / \text{м}^2 \cdot$ год)	μ^*	20,27		-		9,05		11,25									
	μ	54,24		8,84		56,9		22,57									
$g, \text{ г} / \text{м}^2$	μ^*	18,49		-		16		16									
	μ	78,1		5,73		180		60									

– мін. вата – ніздр. бетон – ППС – кладка з цегли – штукатур. шар – облиц. цегла

Висновки та напрямок подальших досліджень: Основним результатом проведених досліджень є встановлення факту мінливості коефіцієнта паропроникності матеріальних шарів у багатошарових зовнішніх стінах упродовж року відповідно до зміни відносної вологості повітря в порах матеріалів під час експлуатаційних впливів. Метод визначення паропроникності матеріальних шарів і опору паропроникненню зовнішніх стін під час експлуатаційних впливів, вихідними параметрами якого є: теплофізичні властивості матеріалів (табличні), середньомісячні параметри клімату (довідкові) та встановлені в роботі емпіричні залежності коефіцієнта паропроникності від відносної вологості повітря в порах матеріалу. Величина опору паропроникненню конструкцій зовнішніх стін змінюється на 5-85 % залежно від параметрів клімату, конструктивного рішення зовнішніх стін і властивостей матеріалів. Метод оцінки вологісного стану зовнішніх стін, заснований на вдосконаленому графоаналітичному методі Фокіна К.Ф. з урахуванням мінливості коефіцієнта паропроникності матеріалів у річному циклі експлуатації.

Список літератури

1. ДБН В.2.6-31:2021. Теплова ізоляція та енергоефективність будівель – К.: Мікрореґіонбуд, 2019. – 59 с.
2. Тімченко Р.О., Кришко Д.А., Плужнік А.В. Використанням передових технологій і матеріалів для реконструкції житлової забудови // Актуальні питання проблеми створення та експлуатації технічних систем – 2017: Матеріали Міжвузівської науково-практичної конференції молодих вчених та студентів (21 квітня 2017 р.). – Кривий Ріг., 2017. – С. 104-107.
3. Тімченко Р.А., Кришко Д.А., Буренкова А.В. Принципы формирования архитектурных решений энергоэффективных жилых зданий // Сталий розвиток промисловості та суспільства: Матеріали міжнародної науковотехнічної конференції (22-25 травня 2015 р.). – Кривий Ріг, 2015. – С. 122-123.

4. **Тимченко Р.А.** Теплоизоляционные отделочные системы и нормируемые параметры энергоэффективности зданий // Вісник КТУ. – Кривий Ріг, 2007 – Вип. 19, С. 147-151.
5. Нові підходи в проектуванні енергоефективних будівель / **Р. О. Тімченко, Д. А. Крішко, О. В. Шевчук, Л. В. Петрова** // Вісник КНУ. – Кривий Ріг, 2012 – Вип. 31. – С. 95-99.
6. Використання сучасних ефективних утеплювачів для підвищення енергоефективності громадських будівель / **Р. О. Тімченко, Д. А. Крішко, В. О. Савенко, В. М. Яблонська** // Вісник КНУ – Кривий Ріг, 2022 – Вип. 54 – С. 153-159.
7. **Куприянов В.Н.** Паропроницаемость материалов в условиях, приближенных к эксплуатационным // Известия КазГАСУ. – 2013. – № 2 (24). – С. 126-131.
8. Архітектурно-конструктивні енергоефективні оболонки будівель та споруд// **В. А. Лісенко, В. Г. Суханов, Ю. О. Загорчєнний, С. Є. Верьовкіна.** – Одесса, 2015. – 254 с.
9. **Саницький М.А., Позняк О.Р., Марущак У.Д.** Энергозберігаючі технології в будівництві. – Львів, 2013. – 236 с.
10. Посібник з муніципального енергетичного менеджменту // **Є. М. Іншеков, Є. Є. Нікітін, М. В. Тарновский, А. В. Чернявський.** – Київ, 2014. – 247 с.
11. **Барзилович Д.В., Фаренюк Г.Г.** Розвиток системи нормативних документів України із забезпечення енергозбереження та енергоефективності будівель // Будівельні конструкції. – 2013. – Вип. 77. – С. 3-9.
12. **Агєєва Т.П.** Методичні основи оцінки енергозбереження та прогнозування енергоспоживання в сфері житлового та комунально-побутового обслуговування населення України: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук. – 2002. — 20 с.
13. **Волынский Б. Н.** Конструктивные решения энергосберегающих зданий // Энергосбережение. – 2001. – № 3. – С 67.
14. **Гагарин В. Г.** К обоснованию повышения теплозащиты ограждающих конструкций зданий // Стройпрофиль. – 2010. – № 1. – С. 21-23.
15. **Алоян Р.М., Федосов С.В., Опарина Л.А.** Энергоэффективные здания – состояние, проблемы и пути решения. – Иваново, 2016. – 276 с.
16. **Афанасьева А.В.** Проектирование наружных стен зданий с учетом энергосбережения. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. – 2002. – 148 с.
17. **Дмитриев А.Н.** Энергосберегающие ограждающие конструкции гражданских зданий с эффективными утеплителями. Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук. – 2001. – 374 с.
18. **Малявина Е. Г.** Строительная теплофизика: учебное пособие – М.: МГСУ, 2011. – 152 с.
19. **Гагарин В.Г., Козлов В.В.** Теоретические предпосылки расчета приведенного сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций // Строительные материалы – 2010. – № 12 – С. 4-12.
20. **Хоменко О.Г.** Энергозберігаючі технології в будівництві. – Глухів, 2019. – 118 с.
21. **Куприянов В.И., Петров А.С.** Влияние различной скорости движения воздуха на паропроницаемость теплоизоляционных материалов // Строительные материалы. – 2013. – № 6. – С. 20-21