

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

УДК 692.232.4

А. В. РАДКЕВИЧ¹, Т. В. ТКАЧ², К. М. НЕТЕСА^{3*}

¹Каф. «Будівельне виробництво та геодезія», Дніпровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (056) 371 51 02, ел. пошта anatolij.radkevich@gmail.com, ORCID 0000-0001-6325-8517

²Каф. «Планування і організація будівництва», Придніпровська державна академія будівництва та архітектури, вул. Чернишевського, 24а, Дніпро, Україна, 49600, тел. +38 (096) 231 35 79, ел. пошта taisiatkach@gmail.com, ORCID 0000-0002-9433-7514

^{3*}Каф. «Будівельне виробництво та геодезія», Дніпровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, +38 (095) 062 60 09, ел. пошта netesakostia@meta.ua, ORCID 0000-0002-4087-5552

РОЗРОБКА АЛГОРИТМУ ВИБОРУ РАЦІОНАЛЬНОЇ ФАСАДНОЇ СИСТЕМИ БАГАТОПОВЕРХОВИХ БУДІВЕЛЬ

Мета. За основну мету роботи автори ставлять сформуванню алгоритму вибору раціональної фасадної системи для конкретного будівельного об'єкта з урахуванням кліматичних, організаційно-технологічних та експлуатаційних властивостей, який може бути застосований будь-яким учасником будівельного процесу. **Методика.** Визначено критерії вибору раціональної фасадної системи. Проаналізовано стан питання вибору та застосовності сучасних фасадних систем для нового будівництва та капітального ремонту на території України. На основі визначених факторів, які впливають на вибір найбільш раціональної фасадної системи багатоповерхової житлової або громадської будівлі, сформовано зручний та об'єктивний алгоритм вибору фасадної системи з урахуванням основних особливостей об'єкта будівництва, а також параметрів експлуатації. Цей алгоритм адаптовано до практичного застосування. **Результати.** Установлено вплив значень параметрів вибору фасадної системи на процес улаштування, експлуатації та ремонту сучасної фасадної системи. Виконано успішну апробацію отриманого алгоритму вибору раціональної фасадної системи шляхом оцінки значень факторів впливу із залученням провідних проектних організацій м. Дніпро. Під час проходження відповідних алгоритмів на сумісних нарадах проектувальника, замовника та підрядника встановлено найбільш раціональні фасадні системи для конкретних будівельних об'єктів зі значною об'єктивністю вибору. Адаптивність алгоритму шляхом відкидання незначних чинників призводить до збільшення наочності процесу вибору фасадної системи. **Наукова новизна.** Установлено закономірність впливу ряду організаційно-технологічних та експлуатаційних чинників на процес вибору раціональної фасадної системи. Підвищено ефективність визначення відповідної системи для конкретних умов будівництва з урахуванням особливостей експлуатації та призначення будівлі. **Практична значимість.** Учасник будівництва шляхом проходження нескладного алгоритму має змогу наочно оцінити вплив організаційно-технологічних та експлуатаційних факторів на вибір раціональної фасадної системи та під час оцінювання придатних параметрів відповідних факторів визначити найбільш раціональну фасадну систему для конкретного об'єкта. Унаслідок суттєво знижується вартість експлуатації фасадної системи за оптимізації тривалості міжремонтних періодів та поліпшення умов роботи її складових.

Ключові слова: раціональна фасадна система; параметри впливу; алгоритм; учасники будівництва

Вступ

Сьогоднішній день важливим завданням експлуатації наявного фонду будівель та споруд є вчасне проведення реконструкції з метою поліпшення енергоефективності, архітектурно-естетичної привабливості, сприяння відповідності обліку будівель загальній концепції розвитку населених міст. Особливо актуальною ця проблема залишається для будівель транспортної інфраструктури. Оскільки основна частина таких об'єктів зведена протягом 60–80-х років ХХ сторіччя, теплоізолявальні якості фасадних систем не витримують сучасних задач щодо енергоефективності та теплозбереження.

Головним фактором, який впливає на енергоефективність будівель незалежно від їх призначення, є здатність огорожувальних конструкцій чинити опір процесу передачі теплової енергії крізь них. Згідно з вимогами нормативних документів, відповідні конструкції мають забезпечувати встановлений опір тепловтрат зі зменшенням теплопровідних включень, володіти значними пароізоляційними властивостями для скорочення можливості проникнення в огорожувальну конструкцію водяної пари із зовнішнього середовища та унеможливити накопичення вологи під час експлуатації. Використання однонаправлених парозахисних мембран призводить до ефективного відведення вологи, що поліпшує мікроклімат внутрішніх приміщень та підвищує експлуатаційні властивості.

В умовах гострої проблеми енергозбереження та заощадження ресурсів на створення мікроклімату приміщень, постає питання вибору раціональної фасадної системи об'єкта будівництва [4–6]. Наявні технологічні регламенти від сучасних виробників систем передбачають порівняння тільки за 2–3 параметрами (переважно за терміном експлуатації, вартістю, теплосмістю) без урахування ряду додаткових факторів, значення яких притаманні конкретним умовам будівництва [1–3, 7]. Тому важливим є об'єктивне порівняння кількох видів фасадних систем для зваженого вибору найбільш раціональної з них [8, 9, 11, 12].

Невирішеним залишається питання забезпечення надійної експлуатації фасадних систем за збереження енергоефективності огорожувальних конструкцій [10, 13–18].

Мета

Відповідно до викладеного, метою даної статті є формування алгоритму вибору раціональної фасадної системи для конкретного будівельного об'єкта з урахуванням кліматичних, організаційно-технологічних та експлуатаційних властивостей.

Методика

На підставі експертного оцінювання важливості чинників, що впливають на вибір раціональної фасадної системи, встановлено:

– найбільше значення мають чинники, що обумовлюють термін служби фасадної системи, вартість і трудомісткість її улаштування та тривалість міжремонтних періодів. Спостерігається зацікавленість учасників будівельного процесу в зменшенні тривалості виконання робіт та підвищенні термінів безвідмовної експлуатації, навіть шляхом збільшення вартості улаштування фасадної системи;

– менше значення мають взаємовиключні визначальні чинники, такі як розрізненість елементів фасаду, їх світлопрозорість, наявність «мокрих» процесів під час виконання робіт. Також експерти зацікавлені в підвищенні енергоефективності фасадної системи, зручності обстеження її поточного стану, а також можливості миття зовнішнього шару фасаду для підвищення естетичних властивостей та поліпшення умов експлуатації;

– найменше значення мають чинники, які забезпечують адаптацію конструкцій фасадної системи до зміни кліматичних факторів, а також повторного використання окремих елементів системи.

Оскільки серед факторів, притаманних різним фасадним системам, є як якісні, так і кількісні показники, у тому числі взаємовиключні, класичний алгоритм вибору типу блок-схеми є неефективним. Тому доцільним буде створення комплексної методики, яка шляхом проходження нескладного алгоритму визначить найбільш раціональну фасадну систему за сукупною кількістю показників.

Приклад алгоритму вибору раціональної фасадної системи наведено в табл. 1.

У ньому запропоновано таку послідовність дій із вибору раціональної фасадної системи для об'єкта будівництва:

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

1. Оцінюють кожен чинник залежно від застосованості його значення до зовнішнього вигляду будівлі, умов виконання робіт та подальшої експлуатації об'єкта будівництва. При цьому найбільш раціональні значення чинників підкреслюють.

2. Обирають фасадну систему, колонка якої має найбільшу кількість позначок чинників. Саме ця фасадна система й буде найбільш раціональною для використання в конкретному проекті. У разі, якщо декілька фасадних систем мають однакове (близьке) число позначок, відкидаються невідповідні системи, після чого оцінку повторюють.

3. У разі відсутності в прогнозованій найбільш раціональній фасадній системі обраних взаємовиключних чинників оцінку повторюють з урахуванням цих чинників або ж приймають рішення щодо вибору відповідної системи.

4. Після вибору найбільш раціональної фасадної системи всі учасники будівництва виконують її оцінку на предмет збігу результатів та можливості застосування до конкретного об'єкта будівництва. Якщо результати не збігаються, виконують сумісну відкриту нараду з метою обґрунтування кожного з факторів вибору раціональних фасадних систем та знаходження

найбільш придатної до конкретних умов будівництва й експлуатації.

5. Учасники будівельного процесу розпочинають реалізацію обраної найбільш раціональної фасадної системи в об'єкт будівництва.

У цьому алгоритмі користувач послідовно підкреслює (або позначає іншим методом) значення факторів, яким має відповідати раціональна фасадна система об'єкта будівництва. У випадку, якщо декілька видів фасадних систем мають однакове значення фактора, підкреслюють усі варіанти. У другій частині алгоритму виділяють значення взаємовиключних показників. Після чого обирають фасадну систему з найбільшою кількістю обраних факторів.

Якщо вибір неоднозначний відносно взаємовиключних факторів, окремо розглядають кожен із них з метою однозначного вибору найбільш раціональної фасадної системи для конкретних умов і конкретного об'єкта будівництва.

Результати

Із метою аналізу результатів алгоритму виконаємо його тестове проходження. За приклад обираємо архітектурно-конструктивне рішення з такими параметрами:

Таблица 1

Алгоритм вибору раціональної фасадної системи

Table 1

Algorithm for choosing a rational facade system

Кількісні показники	Вартість 1 м ² фасаду, грн		
	700	1 500	8 000
	Трудомісткість улаштування 1 м ² фасадної системи, люд.год		
	10	4	1,6
	Термін служби фасадної системи, років		
	20	50	100
	Тривалість періоду між поточними ремонтами, років		
	5	20	30
	Тривалість періоду між капітальними ремонтами, років		
	15	30	50
	Питома трудомісткість та вартість капремонтів відносно нової системи		
	130 %	80 %	50 %

Продовження табл. 1
Continuation of Table 1

Якісні взаємовиключні показники	Наявність технологічних пауз на твердження матеріалів під час виконання робіт		
	Так	Ні	Ні
	Наявність «мокрих процесів» під час виконання зовнішніх робіт		
	Так	Ні	Ні
	Можливість візуального та інструментального обстеження елементів системи		
	Ні	Так	Так
	Можливість повторного використання елементів системи під час ремонту		
	Ні	Так	Так
	Світлопрозорість системи		
	Ні	Ні	Так
	Можливість миття зовнішнього шару системи		
	Ні	Так	Так
	Розрізненість елементів фасадної системи		
	Ні	Так	Так
	Можливість навішування обладнання, розташування кріпильних елементів		
	Ні	Так	Ні
Підвищення енергоефективності шляхом заміни модульних елементів			
Ні	Можливо	Так	
Можливість адаптації системи до нових чинників шляхом внесення незначних змін			
Ні	Так	Так	
Результуюча система			
	«Мокрий» фасад	Вентильований фасад	Скляний фасад

– багатоповерхова будівля громадського призначення, із цокольним та 10 типовими поверхами, на яких розташовані офісні приміщення;

- конструктивна система – стінова, з несучими поздовжніми стінами із силікатної цегли;
- перекриття – збірні, із пустотних залізобетонних плит безперервного формування;
- альтернативною каркасною системою може бути монолітний залізобетонний каркас із заповненням стінами з газобетону товщиною 400 мм;

– будівля розташована в місті Дніпро. Оскільки товщина стін складає 380 або 510 мм, із внутрішнім шаром штукатурки, розрахункова товщина утеплювача (мінераловатні плити) становить 90 мм.

Необхідно визначити раціональну фасадну систему. Визначення будемо виконувати шляхом проходження алгоритму (табл. 2), система має задовольняти таким вимогам:

Таблиця 2

Заповнення алгоритму вибору раціональної фасадної системи

Table 2

Filling the algorithm for choosing a rational facade system

Кількісні показники	Трудомісткість улаштування 1 м ² фасадної системи, люд.год		
	10	4	1,6
	Термін служби фасадної системи, років		
	20	50	100
	Тривалість періоду між поточними ремонтами, років		
	5	20	30
	Тривалість періоду між капітальними ремонтами, років		
	15	30	50
	Питома трудомісткість та вартість капремонтів відносно нової системи		
130 %	80 %	50 %	
Якісні взаємовиключні показники	Наявність технологічних пауз на твердження матеріалів під час виконання робіт		
	Так	Ні	Ні
	Наявність «мокрих процесів» під час виконання зовнішніх робіт		
	Так	Ні	Ні
	Можливість візуального та інструментального обстеження елементів системи		
	Ні	Так	Так
	Можливість повторного використання елементів системи під час ремонту		
	Ні	Так	Так
	Світлопрозорість системи		
	Ні	Ні	Так
	Можливість миття зовнішнього шару системи		
	Ні	Так	Так
	Розрізненість елементів фасадної системи		
	Ні	Так	Так
	Можливість навішування обладнання, розташування кріпильних елементів		
Ні	Так	Ні	
Можливість адаптації системи до нових чинників шляхом внесення незначних змін до конструкції			
Ні	Так	Так	
Результуюча система			
«Мокрий» фасад	Вентильований фасад	Скляний фасад	

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

- розрахунковий термін служби має складати не менше 50 років;
- тривалість міжремонтного періоду має бути максимальною;
- трудомісткість улаштування фасадної системи має складати не більше 8 люд.год/м², із метою максимального прискорення термінів улаштування системи та, відповідно, будівлі в цілому;
- вартість ремонту має бути мінімальною для оптимізації витрат на утримання фасаду;
- необхідна можливість простого та ефективного контролю поточного стану складових фасадної системи, вимір ефективності роботи всіх елементів, включаючи теплоізоляційні властивості та рівень вологості. Причому фасадна система має відводити вологу з середини приміщень для підтримання оптимального мікроклімату;
- світлопрозорість системи фасаду не має вирішального значення;
- з огляду на особливості експлуатації (великий потік людей біля будівлі, експлуатація прибудинкової території тощо) необхідно забезпечити розрізненість елементів фасаду та можливість повторного використання його елементів під час поточних і капітальних ремонтів для мінімізації вартості ремонтних робіт;
- фасадна система повинна забезпечувати можливість монтажу устаткування (зовнішні блоки кондиціонерів);
- під час капітального ремонту необхідно забезпечити повну заміну утеплювача, мембран, можливо, на нові більш ефективні та довговічні елементи.

Очевидно, що на етапі вибору значень факторів найбільш раціональною здавалась система скляного фасаду. Проте значення фактора «вартість улаштування 1 м² фасаду» перевищує вимоги замовника. Крім того, замовнику в цьому прикладі потрібна непрозора фасадна система. Оскільки можливо було зменшити міжремонтні періоди та загальний термін експлуатації фасадної системи, з урахуванням доцільної вартості улаштування 1 500 грн/м² обрано найбільш раціональну фасадну систему для конкретного об'єкта – фасадну систему з вентиляльованим повітряним прошарком, так звану систему «вентилюваний фасад». Більш дешева на етапі улаштування система типу «мокрый фасад» хоча й призводить до першочергового заощадження

коштів, потребує більших працевитрат. Крім того, у подальшій експлуатації її утримання дорожче у зв'язку зі збільшенням термінів ремонту, зменшення загальної довговічності та тривалості міжремонтних періодів. Тому ця система не є ефективною для конкретних умов будівництва.

Апробація розробок під час проектування багатопверхових житлових та громадських будівель відбувалась протягом 2018–2020 рр. у практичній діяльності ТОВ «Архітектурне бюро «Алюр», ТОВ «Омега–СКС» та ТОВ «ОМЕГА АРХИТЕКЧЕРАЛ БЮРО».

Діяльність цих організацій полягає в проектуванні переважно багатопверхових будівель та багатфункціональних комплексів громадсько-житлового призначення на території України. Відповідно, часто постає питання вибору раціональної фасадної системи для багатопверхових будівель.

Оскільки вказані вище організації виконують переважну більшість проектів для приватних замовників, деякі з проектних рішень, зокрема вартість проектних робіт, вартість деяких елементів будівлі (у тому числі й вартість фасадних систем), а також конкретні рішення фасадних систем складають комерційну таємницю. Тому алгоритм вибору раціональної фасадної системи з табл. 2 на наступних прикладах буде змінено.

1. У ТОВ «Архітектурне бюро «Алюр» запровадження алгоритму вибору раціональної фасадної системи наочно видно з проекту «Нове будівництво багатоквартирного житлового будинку в районі вул. Херсонської – вул. Костомарівської – пров. Ушинського – просп. Пушкіна, м. Дніпро». Цей проект має на меті забудову наявної ділянки з частковим використанням залишків монолітного залізобетонного каркасу багатопверхової будівлі поблизу пішохідної частини бульв. Кучеревського в м. Дніпро. Об'ємно-планувальні рішення передбачають розміщення житлового будинку з вбудовано-прибудованими нежитловими приміщеннями, а саме чотири 12-поверхові секції, прибудовані двоповерхові нежитлові приміщення та дворівневий паркінг. Проектні роботи виконано протягом 2020 року.

На нараді із замовником було встановлено такі вимоги до фасадної системи, крім теплотехнічних вимог згідно з нормативними документами:

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

– термін служби фасадної системи не менше 50 років; максимальна тривалість міжремонтних періодів для поліпшення експлуатації системи;

– мінімальна трудомісткість улаштування фасадної системи для скорочення термінів виконання робіт;

– обов’язкова можливість миття зовнішнього шару фасаду для поліпшення естетичного сприйняття та архітектурної виразності будівлі під час експлуатації;

– розрізненість елементів фасаду для швидкого ремонту в разі пошкодження;

– можливість розташування кріпильних елементів у середині фасадної системи з метою навішування обладнання для кондиціонування тощо.

– світлопрозорість фасадної системи не потрібна.

Найбільшу кількість обраних факторів (табл. 3) отримала фасадна система з вентиляльованим повітряним прошарком. У результаті сумісних рішень обрано комплексну систему фасадної теплоізоляції з негорючим утеплювачем – мінераловатними плитами, з індустриальним опорядженням та вентиляльованим повітряним прошарком. Теплоізоляційний шар системи передбачено влаштовувати з мінераловатних плит «ТЕХНО» марки «ТЕХНОВЕНТ ЕКСТРА СП» товщиною 100 мм для керамічних блоків та 150 мм для залізобетону густиною 80 кг/м³. Індустриальне опорядження фасаду – керамогранітні плити.

Таблиця 3

Заповнений алгоритм вибору раціональної фасадної системи під час апробації в ТОВ «Архітектурне бюро «Алюр»»

Table 3

Filled out algorithm for choosing a rational facade system during testing in Architectural Bureau Allure LLC

Кількісні показники	Вартість 1 м ² фасаду, грн		
	700	1 500	8 000
	Трудомісткість улаштування 1 м ² фасадної системи, люд.год		
	10	4	1,6
	Термін служби фасадної системи, років		
	20	50	100
	Тривалість періоду між поточними ремонтами, років		
	5	20	30
	Тривалість періоду між капітальними ремонтами, років		
	15	30	50
	Питома трудомісткість та вартість капремонтів відносно нової системи		
	130 %	80 %	50 %
Якісні взаємо-виключні показники	Наявність технологічних пауз на твердження матеріалів під час виконання робіт		
	Так	Ні	Ні
	Наявність «мокрих процесів» під час виконання зовнішніх робіт		
Так	Ні	Ні	

Продовження табл. 3
Continuation of Table 3

Якісні взаємовиключні показники	Можливість візуального та інструментального обстеження елементів системи		
	Ні	Так	Так
	Можливість повторного використання елементів системи під час ремонту		
	Ні	Так	Так
	Світлопрозорість системи		
	Ні	Ні	Так
	Можливість миття зовнішнього шару системи		
	Ні	Так	Так
	Розрізненість елементів фасадної системи		
	Ні	Так	Так
	Можливість навішування обладнання, розташування кріпильних елементів		
	Ні	Так	Ні
	Підвищення енергоефективності шляхом заміни модульних елементів		
	Ні	Можливо	Так
Можливість адаптації системи до нових чинників шляхом внесення незначних змін до конструкції			
Ні	Так	Так	
Результуюча система			
	«Мокрий» фасад	Вентильований фасад	Скляний фасад

2. У ТОВ «Омега–СКС» упровадження алгоритму вибору раціональної фасадної системи видно з проекту «Будівництво житлового комплексу з вбудовано-прибудованими приміщеннями та підземним паркінгом по вул. Антона Цедіка, 14а, у Шевченківському районі м. Києва». Будівля являє собою 3 житлових секції 16 та 9 поверхів, які з'єднані 2-поверховими прибудованими приміщеннями комерційного призначення, а також передбачений однорівневий підземний паркінг. Будівля має бути виконана в монолітному залізобетонному каркасі із заповненням керамічною цеглою. Проектні роботи виконано протягом 2020 року.

На сумісній нараді проектувальником та замовник заповнили бланк алгоритму вибору раціональної фасадної системи (табл. 4) за такими вимогами:

- термін служби фасадної системи не менше 50 років; максимальна тривалість міжремонтних періодів для поліпшення експлуатації системи;
- мінімальна трудомісткість улаштування фасадної системи для скорочення термінів виконання робіт;
- обов'язкова можливість миття зовнішнього шару фасаду для поліпшення естетичного сприйняття та архітектурної виразності будівлі під час експлуатації;
- розрізненість елементів фасаду для швидкого ремонту в разі пошкодження;
- світлопрозорість фасадної системи не потрібна, проте необхідно забезпечити стикування фасадної системи з елементами панорамного застакнення будівлі.

Таблиця 4

**Заповнений алгоритм вибору раціональної фасадної системи
під час апробації в ТОВ «Омега–СКС»**

Table 4

Filled out algorithm for choosing a rational facade system during testing in Omega-SKS LLC

Кількісні показники	Трудомісткість улаштування 1 м ² фасадної системи, люд.год		
	10	4	1,6
	Термін служби фасадної системи, років		
	20	50	100
	Тривалість періоду між поточними ремонтами, років		
	5	20	30
	Тривалість періоду між капітальними ремонтами, років		
	15	30	50
	Питома трудомісткість та вартість капремонтів відносно нової системи		
130 %	80 %	50 %	
Якісні взаємовиключні показники	Наявність технологічних пауз на твердження матеріалів під час виконання робіт		
	Так	Ні	Ні
	Наявність «мокрих процесів» під час виконання зовнішніх робіт		
	Так	Ні	Ні
	Можливість візуального та інструментального обстеження елементів системи		
	Ні	Так	Так
	Можливість повторного використання елементів системи під час ремонту		
	Ні	Так	Так
	Світлопрозорість системи		
	Ні	Ні	Так
	Можливість миття зовнішнього шару системи		
	Ні	Так	Так
	Розрізненість елементів фасадної системи		
	Ні	Так	Так
Можливість навішування обладнання, розташування кріпильних елементів			
Ні	Так	Ні	
Результуюча система			
«Мокрий» фасад	Вентилюваний фасад	Скляний фасад	

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

Найбільшу кількість обраних факторів отримала фасадна система з вентиляльованим повітряним прошарком. У результаті сумісних рішень обрано комплексну систему фасадної теплоізоляції з негорючим утеплювачем – мінераловатними плитами, з індустріальним опорядженням та вентиляльованим повітряним прошарком. Теплоізоляційний шар системи передбачено влаштувати з мінераловатних плит «ТЕХНО» марки «ТЕХНОВЕНТ ЕКСТРА СП» товщиною 100 мм для керамічних блоків та 150 мм для залізобетону густиною 80 кг/м³. Опорядження фасаду – керамогранітні плити.

Найбільшу кількість обраних факторів отримали фасадна система з вентиляльованим повітряним прошарком та система скляного фасаду. Проте через наявність взаємовиключних факторів (відсутність прозорості фасадної системи) під час сумісної наради із замовником було вирішено зупинитись на системі вентиляльованого фасаду. У результаті обрано таку систему фасаду:

- повнотіла керамічна цегла марки 100 на цементно-піщаному розчині марки М100, примикання цегляної кладки до залізобетонних конструкцій здійснюється через демпферну стрічку зі спіненого поліетилену товщиною 10 мм;
- шар із мінеральною плитою NG, 45 кг – 50 мм;
- шар мінеральної плити NG, 80 кг – 50 мм;
- повітряний прошарок – 50 мм;
- керамограніт – 10 мм.

3. У ТОВ «ОМЕГА АРХИТЕКЧЕРАЛ БЮРО» впровадження алгоритму вибору раціональної фасадної системи видно з проекту «Реконструкція магазину (літ. Д) під адміністративну будівлю за адресою: вул. Теліги Олени, 4, у Шевченківському районі м. Київ». Проектом передбачено знесення наявних будівель на майданчику забудови, розробку котловану під захистом шпунтового огороження та зведення нової офісної будівлі. Будівля являє собою прямокутний у плані адміністративний будинок зі стилбогатом та підземним паркінгом. На першому поверсі знаходяться вестибюль та офісні приміщення. На 2–8-му поверхах – офісні приміщення.

На нараді з замовником було встановлено такі вимоги до фасадної системи, крім теплоте-

хнічних вимог згідно з нормативними документами:

- термін служби фасадної системи не менше 100 років; максимальна тривалість міжремонтних періодів для поліпшення експлуатації системи;
- мінімальна трудомісткість улаштування фасадної системи для скорочення термінів виконання робіт;
- обов'язкова можливість миття зовнішнього шару фасаду для поліпшення естетичного сприйняття та архітектурної виразності будівлі під час експлуатації;
- обов'язкова прозорість фасадної системи для забезпечення максимальної архітектурної виразності офісної будівлі;
- розрізненість елементів фасаду для швидкого ремонту в разі пошкодження.

За цими вимогами на сумісній нараді проєктувальник та замовник заповнили бланк алгоритму вибору фасадної системи (табл. 5).

У результаті обрано сучасну систему панорамного фасадного скління. Значна тривалість міжремонтних періодів, а також застосування сучасних енергоефективних склопакетів призводить до значного заощадження коштів, що компенсує підвищені витрати на улаштування системи.

Наукова новизна та практична значимість

Установлено закономірність впливу ряду організаційно-технологічних та експлуатаційних чинників на процес вибору раціональної фасадної системи. Підвищено ефективність визначення відповідної системи для конкретних умов будівництва з урахуванням особливостей експлуатації та призначення будівлі.

Учасник будівництва шляхом проходження нескладного алгоритму має змогу наочно оцінити вплив організаційно-технологічних та експлуатаційних факторів на вибір раціональної фасадної системи. Під час оцінювання придатних параметрів відповідних факторів визначають найбільш раціональну фасадну систему для конкретного об'єкта. Унаслідок суттєво знижується вартість експлуатації фасадної системи за оптимізації тривалості міжремонтних періодів та поліпшення умов роботи її складових.

Таблиця 5

**Заповнений алгоритм вибору раціональної фасадної системи під час апробації
в ТОВ «ОМЕГА АРХИТЕКТУРАЛ БЮРО»**

Table 5

**Filled out algorithm for choosing a rational facade system during testing
in OMEGA ARCHITECTURAL BUREAU LLC**

Кількісні показники	Трудомісткість улаштування 1 м ² фасадної системи, люд.год		
	10	4	1,6
	Термін служби фасадної системи, років		
	20	50	100
	Тривалість періоду між поточними ремонтами, років		
	5	20	30
	Тривалість періоду між капітальними ремонтами, років		
	15	30	50
	Питома трудомісткість та вартість капремонту відносно нової системи		
130 %	80 %	50 %	
Якісні взаємовиключні показники	Наявність технологічних пауз на твердження матеріалів під час виконання робіт		
	Так	Ні	Ні
	Наявність «мокрих процесів» під час виконання зовнішніх робіт		
	Так	Ні	Ні
	Можливість візуального та інструментального обстеження елементів системи		
	Ні	Так	Так
	Можливість повторного використання елементів системи під час ремонту		
	Ні	Так	Так
	Світлопрозорість системи		
	Ні	Ні	Так
	Можливість миття зовнішнього шару системи		
	Ні	Так	Так
	Розрізненість елементів фасадної системи		
	Ні	Так	Так
Можливість навішування обладнання, розташування кріпильних елементів			
Ні	Так	Ні	
Результуюча система			
«Мокрий» фасад	Вентилюваний фасад	Скляний фасад	

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

Висновки

Таким чином, розроблена методика вибору раціональної фасадної системи шляхом проходження нескладного алгоритму дає змогу будь-якому учаснику будівельного процесу підібрати найбільш раціональну систему фасаду для конк-

ретного об'єкта будівництва з урахуванням особливостей експлуатації, місцевих кліматичних та організаційно-технологічних умов, і як наслідок – заощадити кошти за рахунок найбільш доцільного підбору термінів виконання ремонтних робіт і тривалості міжремонтних періодів, які можуть мати вирішальний вплив на експлуатацію фасадної системи.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Гагарин В. Г. Теплоизоляционные фасады с тонким штукатурным слоем. *Вентиляция, отопление, кондиционирование воздуха, теплоснабжение и строительная теплофизика (АВОК)*. 2007. № 6. С. 82–90.
2. Галушко В. А., Ролитенко Ю. Е. Использование холодного склеивания как альтернатива механическому способу крепления кровельных материалов. *Мости та тунелі : теорія, дослідження, практика*. 2006. № 9. С. 4–8.
3. *ДСТУ-Н Б В.1.2-13:2008. Настанова основи проектування конструкцій*. [Чинний від 2009-07-01]. Київ : Мінрегіонбуд України, 2009. 81 с.
4. Емельянова В. А., Немова Д. В., Мифтахова Д. Р. Оптимизированная конструкция навесного вентилируемого фасада. *Инженерно-строительный журнал*. 2014. № 6 (50). С. 53–60. DOI: <https://doi.org/10.5862/mce.50.6>
5. Еноткина С. А. Эксплуатация многослойных ограждающих конструкций. *Молодой ученый*. 2011. № 6 (29). Т. 1. С. 49–52.
6. Радкевич А. В., Арутюнян І. А., Данкевич Н. О. Аналіз існуючих методів і моделей при обґрунтуванні організаційно-технологічних рішень будівництва об'єктів. 2017. *Мости та тунелі : теорія, дослідження, практика*. 2017. Вип. 11. С. 74–80.
7. Радкевич А. В., Нетеса, К. Н. Проблематика современных фасадных систем многоэтажных жилых зданий. *Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури*. 2016. Вып. 61. С. 358–364.
8. Савйовский В. В. Безопасность и надежность эксплуатации современных зданий. *Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури*. 2011. № 11–12. С. 50–54.
9. Савйовский В. В., Джалалов М. Н., Савйовский А. В., Муляр А. Н. Энергоаудит и термомодернизация зданий. *Будівництво України*. 2010. № 6. С. 3–7.
10. Туснина О. А., Емельянов А. А., Туснина В. М. Теплотехнические свойства различных конструктивных систем навесных вентилируемых фасадов. *Инженерно-строительный журнал*. 2013. № 8 (43). С. 54–63. DOI: <https://doi.org/10.5862/mce.43.8>
11. Block P., Schlueter A., Veenendaal D., Bakker J., Begle M., Hischer I., ... Lydon G. P. NEST HiLo : investigating lightweight construction and adaptive energy systems. *Journal of Building Engineering*. 2017. Vol. 12. P. 332–341. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2017.06.013>
12. Ciampi M., Leccese F., Tuoni G. Some thermal parameters influence on the energy performance of the ventilated walls. *Proceedings of 20th UIT National Heat Transfer Conference*. 2002. P. 357–362.
13. Falagan D. H. Towards a pragmatic architecture. The case of Tous & Fargas. *Research Journal*. 2017. Vol. 4. Iss. 2. P. 119–147. DOI: <https://doi.org/10.4995/vlc.2017.6952>
14. Figaszewski J., Sokolowska-Moskwiak J. The concept of multifunctional wall—an energy system integrated in a single wall. *Architecture Civil Engineering Environment*. 2017. Vol. 10. Iss. 1. P. 5–10. DOI: <https://doi.org/10.21307/acee-2017-001>
15. Gallo P., Romano R. Adaptive facades, developed with innovative nanomaterials, for a sustainable architecture in the Mediterranean area. *Procedia engineering*. 2017. Vol. 180. P. 1274–1283. DOI: [10.1016/j.proeng.2017.04.289](https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.04.289)
16. Park S., Neizert T., Kim Y., Lee S. Properties of Lightweight Composites Using Industry Wastes with NaOH Alkaline Activator. *Journal of Asian Architecture and Building Engineering*. 2017. Vol. 16. Iss. 3. P. 619–624. DOI: <https://doi.org/10.3130/jaabe.16.619>

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

17. Pittau F., Malighetti L. E., Iannaccone G., Masera G. Prefabrication as large-scale efficient strategy for the energy retrofit of the housing stock : An Italian case study. *Procedia engineering*. 2017. Vol. 180. P. 1160–1169. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.04.276>
18. Radkevych A. V., Netesa K. M. Aspects definition of reliability evaluation facade systems from the view point of Eurocode. *Наука та прогрес транспорту*. 2015. № 4 (58). P. 205–212. DOI: <https://doi.org/10.15802/stp2015/49287>

А. В. РАДКЕВИЧ¹, Т. В. ТКАЧ², К. Н. НЕТЕСА^{3*}

¹Каф. «Строительное производство и геодезия», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепро, Украина, 49010, тел. +38 (056) 371 51 02, эл. почта anatolij.radkevich@gmail.com, ORCID 0000-0001-6325-8517

²Каф. «Планирование и организация строительства», Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры, ул. Чернышевского, 24а, Днепро, Украина, 49600, тел. +38 (096) 231 35 79, эл. почта taisiatkach@gmail.com, ORCID 0000-0002-9433-7514

^{3*}Каф. «Строительное производство и геодезия», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепро, Украина, +38 (095) 062 60 09, эл. почта netesakostia@meta.ua, ORCID 0000-0002-4087-5552

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ВЫБОРА РАЦИОНАЛЬНОЙ ФАСАДНОЙ СИСТЕМЫ МНОГОЭТАЖНЫХ ЗДАНИЙ

Цель. В качестве основной цели авторы предусматривают сформировать алгоритм выбора рациональной фасадной системы для конкретного строительного объекта с учетом климатических, организационно-технологических и эксплуатационных свойств, который может быть применен любым участником строительного процесса. **Методика.** Определены критерии выбора рациональной фасадной системы. Проведен анализ состояния вопроса выбора и применимости современных фасадных систем для нового строительства и капитального ремонта на территории Украины. На основе определенных факторов, влияющих на выбор наиболее рациональной фасадной системы многоэтажного жилого или общественного здания, сформирован удобный и объективный алгоритм выбора фасадной системы с учетом основных особенностей объекта строительства, а также параметров эксплуатации. Данный алгоритм адаптирован к практическому применению. **Результаты.** Установлено влияние значений параметров выбора фасадной системы на процесс устройства, эксплуатации и ремонта современной фасадной системы. Выполнена успешная апробация полученного алгоритма выбора рациональной фасадной системы путем оценки значений факторов влияния с привлечением ведущих проектных организаций г. Днепро. При прохождении соответствующих алгоритмов на совместных совещаниях проектировщика, заказчика и подрядчика установлены наиболее рациональные фасадные системы для конкретных строительных объектов со значительной объективностью выбора. Адаптивность алгоритма путем отбрасывания незначительных факторов приводит к увеличению наглядности процесса выбора фасадной системы. **Научная новизна.** Установлена закономерность влияния ряда организационно-технологических и эксплуатационных факторов на процесс выбора рациональной фасадной системы. Повышена эффективность определения соответствующей системы для конкретных условий строительства с учетом особенностей эксплуатации и назначения здания. **Практическая значимость.** Участник строительства путем прохождения несложного алгоритма имеет возможность наглядно оценить влияние организационно-технологических и эксплуатационных факторов на выбор рациональной фасадной системы и при оценивании параметров соответствующих факторов определить наиболее рациональную фасадную систему для конкретного объекта. Вследствие существенно снижается стоимость эксплуатации фасадной системы при оптимизации продолжительности межремонтных периодов и улучшения условий работы ее составляющих.

Ключевые слова: рациональная фасадная система; параметры влияния; алгоритм; участники строительства

A. V. RADKEVYCH¹, T. V. TKACH², K. M. NETESA^{3*}

¹Dep. «Construction Operation and Geodesy», Dnipro National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryana St., 2, Dnipro, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 371 51 02, e-mail anatolij.radkevich@gmail.com, ORCID 0000-0001-6325-8517

²Dep. «Construction Planning and Organization», Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture, Chernyshevskoho St., 24a, Dnipro, Ukraine, 49010, tel. +38 (096) 231 35 79, e-mail taisiatakach@gmail.com, ORCID 0000-0002-9433-7514

^{3*}Dep. «Construction Operation and Geodesy», Dnipro National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryana St., 2, Dnipro, Ukraine, 49010, tel. +38(095) 062 60 09, e-mail netesakostia@meta.ua, ORCID 0000-0002-4087-5552

DEVELOPMENT OF ALGORITHM FOR CHOOSING A RATIONAL FACADE SYSTEM OF MULTI-STOREY BUILDINGS

Purpose. The authors aimed to form an algorithm for choosing a rational facade system for a specific construction site, taking into account climatic, organizational-technological and operational properties, applicable to use by any participant in the construction process. **Methodology.** The criteria for choosing a rational facade system were determined. The state of choosing and applicability of modern facade systems for new construction and overhaul in Ukraine was analyzed. Based on certain factors influencing the choice of the most rational facade system of a multi-storey residential or public building the authors formed a convenient and objective algorithm for choosing a facade system, taking into account the main features of the construction object, as well as operating parameters. The algorithm was adapted to practical application. **Findings.** The influence of the parameters of choosing facade system on the process of arrangement, operation and repair of the modern facade system is established. The obtained algorithm for choosing a rational facade system by an estimation of values of influence factors in activity of the leading design organizations of Dnipro was successfully tested. By passing the appropriate algorithms at the joint meetings of the designer, customer and contractor, the most rational facade systems were found for specific construction projects with significant objectivity of choice. The adaptability of the algorithm by discarding minor factors leads to increased visibility of the process of choosing a facade system. **Originality.** The regularity of the influence of a number of organizational-technological and operational factors on the process of choosing a rational facade system is established. The efficiency of determining the appropriate system for specific construction conditions has been increased, taking into account the peculiarities of operation and purpose of the building. **Practical value.** The participant of construction by passing a simple algorithm has the opportunity to clearly assess the influence of organizational, technological and operational factors on the choice of a rational facade system. By evaluating the parameters of the corresponding factors, the most rational facade system for a particular object was determined. As a result, the cost of operation of the facade system is significantly reduced while optimizing the duration of repair periods and improving the working conditions of the components of the facade system.

Keywords: facade system; parameters of influence; algorithm; construction participants

REFERENCES

1. Gagarin, V. G. (2007). Teploizolyatsionnye fasady s tonkim shtukaturnym sloem. *Ventilation, Heating, Air Conditioning, Heat Supply and Building Thermal Physics*, 6, 82-90. (in Russian)
2. Galushko, V., & Rolitienko, Y. (2016). The use of cold bonding as an alternative to mechanical fastening method of roofing materials. *Bridges and tunnels: Theory, Research, Practice*, 9, 4-8. (in Russian)
3. *Nastanova osnovy proektuvannia konstruktsiim, 81 DSTU-N B V.1.2-13:2008* (2009). (in Ukrainian)
4. Emelianova, V. A., Nemova, N. D., & Miftakhova, D. R. (2014). Optimized structure of ventilated facades. *Magazine of Civil Engineering*, 6(50), 53-66. DOI: <https://doi.org/10.5862/mce.50.6> (in Russian)
5. Yenotkina, S. A. (2011). Ekspluatatsiya mnogosloynnykh ograzhdayushchikh konstruktsiy. *Young Scientist*, 6((29)1), 49-52. (in Russian)
6. Radkevich, A. V., Arutyunyan, I. A., & Dankevich, N. O. (2017). Analysis of existing methods and models when rationale of organizational-technological solutions of construction objects. *Bridges and tunnels: Theory, Research, Practice*, 11, 74-80. (in Ukrainian)
7. Radkevich, A. V., & Netesa, K. N. Problematika sovremennykh fasadnykh sistem mnogoetazhnykh zhilykh zdaniy. *Bulletin of Odessa state academy of civil engineering and architecture*, 61, 358-364. (in Russian)

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

8. Savyovskiy, V. V. (2011). Bezopasnost i nadezhnost ekspluatatsii sovremennykh zdaniy. *Bulletin of Prydniprov'ska State Academy of Civil Engineering and Architecture*, 11-12, 50-54. (in Russian)
9. Savyovskiy, V. V., Dzhalalov, M. N., Savyovskiy, A. V., & Mulyar, A. N. (2010). Energoaudit i termomodernizatsiya zdaniy. *Budivnytstvo Ukrainy*, 6, 3-7. (in Russian)
10. Tushina, O. A., Emelianov, A. A., & Tushina, V. M. (2013). Thermal insulation properties of various ventilated facade systems. *Magazine of Civil Engineering*, 8(43), 54-63. DOI: <https://doi.org/10.5862/mce.43.8> (in Russian)
11. Block, P., Schlueter, A., Veenendaal, D., Bakker, J., Begle, M., Hischier, I., ... Lydon, G. P. (2017). NEST HiLo: Investigating lightweight construction and adaptive energy systems. *Journal of Building Engineering*, 12, 332-341. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2017.06.013> (in English)
12. Ciampi, M., Leccese, F., & Tuoni, G. (2002). Some thermal parameters influence on the energy performance of the ventilated walls. In *Proceedings of 20th UIT National Heat Transfer Conference* (pp. 357-362), Maratea, Italy. (in Italian)
13. Falagan, D. H. (2017). Towards a pragmatic architecture. The case of Tous & Fargas. *Research Journal*, 4(2), 119-147. DOI: <https://doi.org/10.4995/vlc.2017.6952> (in English)
14. Figaszewski, J., & Sokołowska-Moskwiak, J. (2017). The concept of multifunctional wall - an energy system integrated in a single wall. *Architecture, Civil Engineering, Environment*, 10(1), 5-10. DOI: <https://doi.org/10.21307/acee-2017-001> (in English)
15. Gallo, P., & Romano, R. (2017). Adaptive Facades, Developed with Innovative Nanomaterials, for a Sustainable Architecture in the Mediterranean Area. *Procedia Engineering*, 180, 1274-1283. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.04.289> (in English)
16. Park, S., Neizert, T., Kim, Y., & Lee, S. (2017). Properties of Lightweight Composites Using Industry Wastes with NaOH Alkaline Activator. *Journal of Asian Architecture and Building Engineering*, 16(3), 619-624. DOI: <https://doi.org/10.3130/jaabe.16.619> (in English)
17. Pittau, F., Malighetti, L. E., Iannaccone, G., & Maserà, G. (2017). Prefabrication as Large-scale Efficient Strategy for the Energy Retrofit of the Housing Stock: An Italian Case Study. *Procedia Engineering*, 180, 1160-1169. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.04.276> (in English)
18. Radkevych, A. V., & Netesa, K. M. (2015). Aspects definition of reliability evaluation facade systems from the view point of eurocode. *Science and Transport Progress*, 4(58), 205-212. DOI: <https://doi.org/10.15802/stp2015/49287> (in English)

Надійшла до редколегії: 10.08.2020

Прийнята до друку: 11.12.2020