

Міністерство освіти і науки України
Національний технічний університет
«Дніпровська політехніка»

ФАКУЛЬТЕТ БУДІВНИЦТВА

Кафедра будівництва, геотехніки і геомеханіки

СЕМЕНОВА ГАННА АНДРІЇВНА

ДОСЛІДЖЕННЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ
ЕЛЕМЕНТІВ КАРКАСУ ВЕНТИЛЬОВАНИХ ФАСАДНИХ

192 Будівництво та цивільна інженерія
за освітньо-професійною програмою «Промислове та цивільне будівництво»
магістр

2018

РЕФЕРАТ

кваліфікаційної роботи ступеню магістра Семенової Ганни Андріївни, студента групи 192м-17-1 спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія» НТУ «Дніпровська політехніка» на тему: «Дослідження напружено-деформованого стану елементів каркасу вентилязованих фасадних систем»

Пояснювальна записка містить 87 сторінок тексту, 48 рисунків, 9 таблиці, 46 літературне джерело.

Метою дослідження є на основі чисельності моделювання напружено-деформованого стану уточнення розрахункової моделі деформування і алгоритмів розрахунку.

Об'єктами дослідження - несучі конструкції фасадних систем з вентилязованим повітряним зазором.

Предмет дослідження – напружено-деформованих станів конструкцій каркаса.

У першому розділі виконано аналіз енергозбереження у будівельній галузі в Україні. Розглянуто основні системи вентилязованих фасадів.

У другому розділі наведено технологію облаштування фасадів будинків та обстеженні фасадні системи в Україні. Визначені розрахунки порівняння характеристик різних утеплювачів для заповнення вентилязованого фасаду та нормативне забезпечення визначення пожежної небезпеки зовнішніх стін з фасадною теплоізоляцією.

У третьому розділі запропоновано оцінку напружено-деформованого стану несучих елементів вентилязованої фасадної системи. Розраховано несучі конструкції фасадних систем, методом кінцевих елементів по континуальній схемі елементи конструкції та кронштейнів з урахуванням зсуву по стрижневій системі.

В четвертому розділі розглянуто розрахунок несучих конструкцій фасаду як рамної системи. В розділі наведено алгоритм підбору перерізів елементів фасадних систем та вибрано розрахункові схеми.

В додатку 1-3 представлені: характерні дефекти вентилязованих фасадних систем, приклади будинків з вентилязованими фасадними системами в Україні та приклади кріплення вентилязованого фасаду до стіни.

Ключові слова: напружено-деформованого стан, енергозбереження, системи вентилязованих фасадів, пожежна небезпека, методом кінцевих елементів.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	3
РОЗДІЛ 1	6
ОГЛЯД КОНСТРУКТИВНИХ РІШЕНЬ ТЕПЛООВОГО ЗАХИСТУ БУДІВЕЛЬ ФАСАДНИМИ СИСТЕМИ З ПОВІТРЯНИМ ЗАЗОРОМ.....	6
1.1 Аналіз енергозбереження у будівельній галузі в Україні.....	6
1.2. Сформована інженерна практика щодо підвищення теплового захисту огороджувальних конструкцій будівель.....	10
1.3. Основні системи вентилязованих фасадів.	15
1.4. Дефекти, переваги і недоліки вентилязованих фасадних систем.....	17
Висновки по розділу 1	19
РОЗДІЛ 2	21
ОБЛАШТУВАННЯ ФАСАДІВ БУДИНКІВ ВЕНТИЛЬОВАНИМИ ФАСАДНИМИ СИСТЕМАМИ	21
2.1. Технологія облаштування фасадів будинків.....	21
2.2. Обстеження фасадних систем в Україні.....	28
2.3. Розрахунки порівняння характеристик різних утеплювачів для заповнення вентильованого фасаду.....	28
2.4. Нормативне забезпечення визначення пожежної небезпеки зовнішніх стін з фасадною теплоізоляцією	31
Висновки по розділу 2	35
РОЗДІЛ 3	36
ЧИСЕЛЬНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ЕЛЕМЕНТІВ НЕСУЧИХ КОНСТРУКЦІЙ ФАСАДНИХ СИСТЕМ	36

3.1. Оцінка напружено-деформованого стану несучих елементів вентильованої фасадної системи	36
3.2. Розрахунку несучих конструкцій фасадних систем	36
3.3. Розрахунок по стрижневій схемі	43
3.4. Розрахунок методом кінцевих елементів по континуальній схемі.....	46
3.5. Розрахунок кронштейнів з урахуванням зсуву по стрижневій системі	47
Висновки по розділу 3	51
РОЗДІЛ 4	52
РОЗРАХУНКОВІ СХЕМИ ЕЛЕМЕНТІВ ВЕНТИЛЬОВАНИХ ФАСАДНИХ СИСТЕМ	52
4.1. Розрахунок несучих конструкцій фасаду як рамної системи.....	52
4.2. Алгоритм підбору перерізів елементів фасадних систем.	62
4.3. Вибір розрахункової схеми	63
Висновки по розділу 4	66
ВИСНОВОК.....	67
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	68
ДОДАТОК 1.....	73
ХАРАКТЕРНІ ДЕФЕКТИ ВЕНТИЛЬОВАНИХ ФАСАДНИХ СИСТЕМ.....	73
ДОДАТОК 2.....	79
ПРИКЛАДИ БУДИНКІВ З ВЕНТИЛЬОВАНИМИ ФАСАДНИМИ СИСТЕМАМИ В УКРАЇНІ	79
ДОДАТОК 3.....	82
ПРИКЛАДИ КРІПЛЕННЯ ВЕНТИЛЬОВАНОГО ФАСАДА ДО СТІНИ.....	82

ВСТУП

Актуальність теми. Обумовлена необхідністю економії паливно енергетичних ресурсів, що досягається скороченням теплових втрат через огорожувальні конструкції будівель і споруд. Вирішуючи проблему економії енергоресурсів за допомогою поліпшення теплозахисту будинків слід враховувати витрати енергії на отримання самої теплоізоляційної конструкції. Застосування фасадних систем з вентиляльованим повітряним зазором уможливорює створення огорожувальних конструкцій, що відповідають сучасним вимогам архітектури і будівництва, а також дозволяє скоротити експлуатаційні витрати будівель за рахунок зниження тепловтрат через зовнішні огороження.

За даними енергетичних обстеження житлових будинків масової забудови минуло років в Україні, біля 42% тепловтрат відбувається через стіни. Одним з найбільших споживачів енергетичних ресурсів є житлово-комунальне господарство. При цьому витрати на обігрів 1 кв.м площі будівлі у нас більш чим в 1,5 рази перевищують закордонні показники. З цього випливає, що Найшвидший спосіб зберегти тепло в будинку це утеплити його фасад.

Фасадні системи з вентиляльованим повітряним зазором, мають слабкі місця, які потребують детальної і якісного опрацювання. Копіювання конструктивних рішень, які використовуються в європейській зоні, без урахування особливостей клімату, не підкріплене методиками дослідження зміни їх властивостей в умовах частих змін температури, вологості, вітрових навантажень і інших впливів, може привести до негативних проявів.

Конструктивні схеми фасадних систем з вентиляльованим повітряним зазором повинні з мінімальними експлуатаційними витратами забезпечувати можливість моніторингу працездатності всіх елементів системи і в необхідних випадках проведення ремонтно-реконструкційних робіт.

Мета роботи: на основі чисельності моделювання напружено-деформованого стану уточнення розрахункової моделі деформування і алгоритмів розрахунку.

Задачі дослідження: чисельне дослідження напружено-деформованого стану несе кронштейна, як окремого елемента;

Обґрунтування розрахункових моделей і алгоритмів розрахунку різних типів кронштейнів;

Аналіз розрахункових схем несучого каркаса фасадної системи;

Оцінка ПДВ та вдосконалення вузлового сполучення кронштейна з вертикальним профілем;

Об'єктами дослідження - несучі конструкції фасадних систем з вентиляльованим повітряним зазором.

Предмет дослідження - напружено деформованих станів конструкцій каркаса.

Методи дослідження – аналітичні і чисельні методи вирішення завдань напружено-деформованого стану.

Наукова новизна роботи:

Обґрунтування нового типу розрахункової моделі кронштейна.

Перехід від традиційної стрижневий схеми до моделі з урахуванням зсуву.

Практичне значення отриманих результатів полягає в тому, що конструктивні рішення дозволяють результати роботи прийняти для практичного використання при проектуванні, виготовленні і монтажі несучих конструкцій фасаду.

Публікації. Деякі частини дослідження публікувалися на наступних конференціях

«Форум гірників 2018» Несучі конструкції фасадних систем з вентиляльованим повітряним зазором. Г.А. Семенова, В.Є. Волкова НТУ «Дніпровська політехніка» Україна.

«Молодь: наука та інновації» Технологія облаштування фасадів будинків вентиляльованими фасадними системами. Г.А. Семенова, В.Є. Волкова НТУ «Дніпровська політехніка» Україна.

Структура і обсяг роботи: магістерська робота складається зі вступу, 4 розділів, що включають теоретичну і розрахункову частини, висновків, списку використаних джерел та 3 додатків.

РОЗДІЛ 1

ОГЛЯД КОНСТРУКТИВНИХ РІШЕНЬ ТЕПЛООВОГО ЗАХИСТУ БУДІВЕЛЬ ФАСАДНИМИ СИСТЕМИ З ПОВІТРЯНИМ ЗАЗОРОМ

1.1 Аналіз енергозбереження у будівельній галузі в Україні

В Україні майже 20 років ведеться посилена робота з енергозбереженням у будівельній галузі при проектуванні і зведенні нових будівель і споруд, а також модернізації і реконструкції побудованих раніше. Різного роду державні та галузеві програми, що покликані зменшити споживання енергоресурсів, вкладаються мільярди бюджетних коштів.

В даний час будівництво в Україні супроводжується значними труднощами. Складна економічна умова в поєднанні зі зниженням купівельної спроможності населення призводить до необхідності зниження вартості будівництва. Аналіз досвіду будівництва в Україні свідчить, що найбільш ефективним методом зниження вартості будівництва будівель є, крім раціонального вибору архітектурно-конструктивних та об'ємно-планувальних рішень, використання інноваційних технологій пристрою каркаса будівлі в цілому, а зокрема - його фасадної системи. Максимальний економічний ефект і раціональне скорочення термінів пристрою фасадних систем досягається підвищенням технологічності виконуваних робіт, зниженням обсягів штукатурно-фарбувальних робіт в зовнішній обробці [1].

Вирішення питання енергозбережень в чому визначає вихід України з економічної кризи. Прагнучі знизити свої витрати на опалення квартир і будинків, люди в першу чергу замислюються про утеплення фасадів.

Одним з найбільших споживачів енергетичних ресурсів є житлово-комунальне господарство. При цьому витрати на обігрів 1 кв. м площі будівлі у нас більш чим в 1,5 рази перевищують закордонні показники.

За даними енергетичних обстежень житлових будинків масової забудови минулих років в Україні, біля 42% тепловтрат відбувається через стіни. З цього

впливає, що найшвидший спосіб зберегти тепло в будинку це утеплити його фасад. Існують різні варіанти вирішення цієї проблеми.

Одним з таких варіантів, що застосовується при утепленні зовнішніх стін, є спосіб так званої скріпленої теплоізоляції стін із застосуванням мінераловатного або пінополістирольного утеплювача з наступним нанесенням оздоблювальної штукатурної системи, це так званий вологий метод, який є з першого погляду найбільш ефективним і недорогим методом збереження тепла в будинку [4].

Необхідно відмітити, що стихійне виконання робіт, наприклад, при утеплюванні будинків, що зведені в минулі роки, без перегляду з боку проектних організацій, може призвести до руйнування питань комерційної торгівлі елементів конструктиву стіні, а також до погіршення мікроклімату в приміщеннях. Відсутність досвіду довгострокової експлуатації будівель, що утепляються вказаним методом, вимагає приділяти більшу увагу до правильності виконання робіт особливо на великопанельних будинках, рух плит в яких за даними інституту Київпроект не припиняється багато років.

Говорити про архітектурну виразність будівель після стихійного утеплення таким способом і зовсім не доводиться. І найголовніше, неправильне утеплення може привести до повної непридатності приміщень для проживання в них мешканців. Надлишок волога, яка утворюється в результаті життєдіяльності людей, не виводиться через пінопласт, в результаті чого стіні при відсутності певного повітрообміну зволожуються і в них розвивається грибок.

Найбільш прогресивним є спосіб теплозахисту будівель фасадними елементами з повітряними прошарками, що дозволяє надійно захистити зовнішню стіну від впливу вологи атмосферного повітря, а також від вологи, яка утворюється в конструкції стіни з боку внутрішнього шару при експлуатації будівлі.

Ще в 60 – і роки минулого століття, коли в Європі стало питання енергозбереження, у зв'язку з енергетичною кризою та відсутністю власних

енергоносіїв на замовлення уряду Швеції група інженерів розробила систему вентилязованих фасадів підвищеної надійності, з можливістю виконання монтажних робіт цілий рік з пониженою вартістю.

Шведські вчені розробили систему фасадів, яка дозволяла економити до 40% енергоресурсів на опалення будинків. Унікальною особливістю цієї системи, що відрізняє її від інших методів утеплення, є активний повітряний канал між утеплювачем і фасадним камінням. За рахунок різниці температур більш теплого повітря всередині каналу і менш нагрітого зовні, в ньому утворюється повітряний потік спрямований вгору, так званий ефект тяги труби. Цей потік значний зменшує температурні впливи на стіну будівлі і забезпечує вентиляцію, яка виводить надлишок вологи з утеплювача і стін. Такий підхід дозволяє утеплювачу максимально використовувати свої енергозберігаючі властивості і зберігати оптимальну температуру всередині будинку за будь-яких погодних умов.

Можливість здійснювати утеплення фасаду будівель цілий рік, довговічність більше 100 років і високі показники ремонтпридатності дозволили системі швидко стати популярною для утеплення фасадів житлових будинків в країнах Скандинавії, Центральної Європи та Прибалтики. Наприклад, проведення теплової санації в Швеції з використанням вентилязованих фасадів дозволило заощадити \$ 20 млрд., в період з 1978 по 1988 рік. За більш ніж 30 років використання систем вентилязованих фасадів в Європі цим методом проводилося приблизно 30% всіх робіт з утеплення фасадів нових будинків і більше 50% будівель, що підлягають тепловій санації [19].

Сьогодні в Україні крім «Комплексної державної програми енергозбереження» діє цілий ряд галузевих програм, розрахованих на період до 2015 року. У цих документах крім коштів на модернізацію теплоенергетичного обладнання, законодавці заклали достатньо великий обсяг бюджету на утеплення будинків, які були побудовані в радянській період. Важливо, щоб мешканці будинків, які потрапляють під теплову санацію за рахунок державного бюджету,

могли аргументовано вимагати від виконавців професійного і грамотного утеплення фасадів, а не примітивного наклеювання пінопласту, яке може обернутися серйозними експлуатаційними проблемами в майбутньому [3].

Нові нормативні вимоги до теплотехнічних показників огорожувальних конструкцій будинків і споруд (ДБН В.2.6- 31:2006) встановили мінімально допустимі значення опору теплопередачі огорожувальних конструкцій для житлових будинків на рівні $2,8 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$ [2].

Основна мотивація більш ефективного використання енергії наступна: зниження витрат на опалення і гаряче водопостачання будинків; поліпшення якості внутрішнього мікроклімату; економія коштів платників податків з метою використання цих коштів в інших областях національної політики; розширення міжнародної торгівлі новими енергоефективними технологіями, розробленими в розвинених країнах; зниження залежності від первинних джерел енергії; поліпшення якості зовнішньої повітряної середовища.

Найбільш ефективний шлях економії в будівництві - підвищення рівня теплозахисту будинків, зниження тепловтрат через огорожувальні конструкції і в системі вентиляції. З урахуванням тривалого терміну експлуатації будівель це може не тільки забезпечити в цілому по країні значну економію, а й зменшити екологічну шкоду від вилучення з надр, доставки і спалювання сотень мільйонів тон палива [23].

Таким чином, створення енергоефективних будівель і їх конструкцій (на основі адаптованих до місцевих умов) стає тим напрямком в архітектурі і будівництві, яке дозволяє найбільш раціонально використовувати обмежені паливно-енергетичні та матеріальні ресурси при отриманні максимального техніко-економічного, соціального та економічного ефекту.

В останні роки почалася активна компанія з утеплення будівель, особливо житлових. Раніше, коли створювався масовий житловий фонд, в країні приділяли увагу зниженню кошторисної вартості будівництва і не замислювалися про подальші експлуатаційні витрати, зокрема, на обігрів будівлі. Це зрозуміло:

тепло і електроенергія тоді фактично не мали ціни - коштували «копійки». Тому стіни і вікна, побудовані в режимі «економії будівельних матеріалів» будинків погано тримають тепло, що призводить до перевитрати палива на обігрів [5].

1.2. Сформована інженерна практика щодо підвищення теплового захисту огорожувальних конструкцій будівель

Одним з найбільш ефективних способів вирішення завдання енергозбереження на опаленні будівель є перехід на багатошарові конструкції утеплення та оздоблення зовнішніх стін з вентиляваним повітряним зазором. Така система в будь-який період року дозволяє підтримувати необхідний режим теплообміну.

При зовнішньому пристрої теплового захисту будівлі створюються сприятливі температури та вологі умови роботи стіни, що та сприяє підвищенню довговічності зовнішньої огорожувальної конструкції. Перш за все, зовнішня теплоізоляція захищає стіну від зовнішніх впливів: добових і сезонних температурних коливань, які в результаті нерівномірних деформацій елементів цього шару можуть привести до виникнення тріщини, розкриття швів панельних стін, відшарування штукатурки. А також від атмосферних опадів, обледеніння і промерзання, змінного замерзання і відтавання капілярної вологи, що виробляє руйнівну дію в поверхневому шарі огорожувальної конструкції [6].

Встановлено, що найбільша теплоакumuлююча здатність, яка характеризується кількістю тепла, накопичуються в 1 м поверхні при сталому тепловому потоці, володіє конструкція із зовнішньою теплоізоляцією [6]. Вона в кілька разів повільніше остигає при відключенні джерела тепла і створює найбільш комфортні температурні умови в приміщенні завдяки тому, що коливання температури зовнішнього повітря мало впливають на зміну температури внутрішньої поверхні стіни. Завдяки цим перевагам можна досягти значної економії енергії опалювальної системи шляхом регулювання подачі тепла, наприклад, періодичного її відключення, що, може бути успішно

використано в приватних і в будинках з місцевим опаленням, а також у всіх будівлях з регульованою системою теплопостачання.

Усі системи утеплення мають однакове конструктивне рішення, яке полягає в тому, що на несучі конструкції зовнішньої стіни з зовнішнього боку встановлюють і фіксують суцільний шар утеплювача і елементи несучого каркаса, за допомогою якого на стіні, з певним зазором щодо шару утеплювача, монтується плитний або листовий оздоблювальний матеріал (екран) [7]. Зазор між екраном і шаром утеплювача необхідний для ефективного видалення вологи і пари. Він працює за принципом витяжки або каміна: перепад тиску і різниця температур зовні і всередині зазору змушують повітря в просторі між зовнішнім облицюванням і поверхнею ізоляційного матеріалу циркулювати [8].

Відмінними рисами між системами є різні способи кріплення плит утеплювача на конструкціях зовнішньої стіни, матеріали і геометрія окремих елементів конструкції, а також схеми їх розташування на поверхні, вибір оздоблювальних матеріалів і способи їх кріплення до несучого каркасу. Системи відрізняються способами вирішення архітектурного вигляду фасаду, в тому числі, по можливості надання будівлям індивідуальної виразності.

При виборі матеріалів і виробів, при проектуванні і монтажі фасадної системи з вентиляльованим повітряним зазором необхідно враховувати наступні вимоги та рекомендації [9,10]: вплив усіх зовнішніх чинників на фасадну систему, в тому числі вітрового тиску, снігового навантаження тощо; повітряний прошарок повинен бути не менше 60 мм і не більше 150 мм, слід передбачати розтин повітряного потоку по висоті на кожні три поверхи з перфорованих перегородок; слід враховувати всі теплопровідні включення, включаючи кріплення елементів облицювання і теплоізоляції; застосування жорстких теплоізоляційних матеріалів щільністю не менше 80 – 90 кг/м³; корозійну стійкість матеріалів в конкретних умовах експлуатації; скоби, які використовуються для кріплення фасадних плит, що працюють в особливо агресивних умовах, рекомендується виготовляти з корозійностійких сталей.

У табл. 1.1 наведені основні елементи фасадних систем з вентиляваним повітряним зазором і їх функціональне призначення.

Таблиця 1.1

Основні елементи фасадних систем з вентиляваним повітряним зазором

Найменування елемента системи	Опис	Призначення
1	2	3
Основа	Матеріал несучого шару стіни	Кріплення несучих елементів фасаду
Несучий каркас: кронштейни анкерні дюбелі профілі	Комплект металевих елементів, закріплених на основі. Металеві елементи з розвиненим розміром по нормалі до поверхні основи, закріплюється безпосередньо на стіні. Металеві з розпирним пристроєм, підібрані під матеріал підстави. Горизонтальні або вертикальні елементи, кріпляться до кронштейнів.	Забезпечує несучу здатність системи. З'єднання інших елементів несучого каркаса з основою. Закріплення кронштейнів. Несучий елемент облицювального шару
Утеплювач	Плитний, негорючий теплоізоляційний матеріал розрахункової товщини	Теплоізоляційний шар системи

Продовження табл. 1.1

1	2	3
Вітрозахисна мембрана	паронепроникна плівка	Вітрозахисний шар утеплювача
Тарілчасті дюбелі	Забивні, гвинтові анкерні дюбелі з притискної шайбою	Закріплення плитного утеплювача на підставі
Елементи кріплення	Самонарізні болти, заклепки, кляммери тощо.	З'єднання профілів з кронштейнами, облицювання до профілів
Вентильований повітряний прошарок	Розташована між теплоізоляційним і облицювальною шаром фасадної системи	Вентиляція простору між утеплювачем і облицюванням
Облицювання	Листовий або плитний матеріал, касети	Захист від зовнішніх пошкоджень, вид фасаду
Елементи примикання	Металеві добірні елементи	Зовнішній вигляд фасаду, в приляганнях

Вентильований фасад з'явився в Україні з 2002 року і зайняв потужний сегмент на українському будівельні ринку [26]. Вентильований фасад складається з несучої стіні, ефективного теплоізоляційного шару, активного повітряного прошарку і декоративного захисного покриття, схема на рис.1.1. Це робить дану технологію екологічно безпечною для людей і середовища.

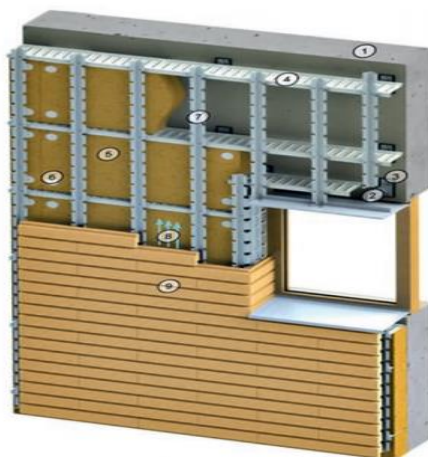


Рис. 1.1. Конструкція системи: 1 – стіна будинку, 2 – консоль, 3 – термоізоляційна прокладка, 4 – горизонтальний профіль, 5 – утеплювач, 6 – тарілчастій дюбель, 7 – вертикальний профіль, 8 – повітряний канал, 9 – фасадний камінь

Спеціальні профілі і консолі забезпечують просте та надійне кріплення плитки на фасаді. Система виключає негативний вплив «мостиків холоду», що несучі конструкції не мають безпосереднього контакту із зовнішнім середовищем.

Збереження металевих елементів системи забезпечується завдяки ефективній вентиляції у повітряному зазорі та створення сухого внутрішнього середовища в системі, схема якого представлена на рис. 1.2.

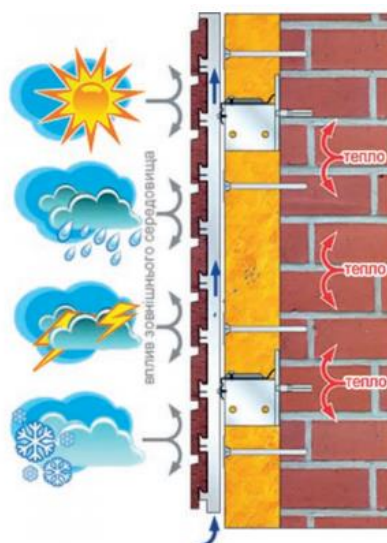


Рис. 1.2. Схема тепло-повітряних потоків

При використанні фасадної системи зменшується вплив вуличного шуму приблизно на 25%, а також конструкція, на яку кріпиться плитка, компенсує процеси усадки таким чином, що на фасаді не утворюються тріщини.

Впровадження технології будівництва великопанельних будинків з фасадом, що вентилюється, зводить будинки, які не тільки відповідають сучасним нормам теплозахисту, а і покращують архітектурний вирази, а також надійність і довговічність фасадів.

На вітчизняному ринку існують різні фасадні системи з вентиляльованим повітряним зазором для утеплення зовнішніх огорожувальних конструкцій будівель.

1.3. Основні системи вентиляльованих фасадів.

Основні системи вентиляльованих фасадів:

У фасадній системі «Краспан» несучий каркас виготовлений з оцинкованої або з нержавіючої сталі, або з алюмінієвих сплавів. Кронштейни Г-подібної форми, що складаються з двох частин, виготовляються штампуванням. Добре регулюється виліт кронштейна (відстань від підстави до облицювального матеріалу), за рахунок цього легко усуваються всі нерівності поверхні, і може застосовуватися утеплювач необхідної товщини. Несучі елементи працюють не тільки на розтяг з вигином, а й на закручування, це пояснюється тим, що кріплення до несучої конструкції, що обгороджує здійснюється одним анкерним закріп, розташованим по центру опорної частини. Велику роль відіграє точність виготовлення. Нерухома і рухома частини повинні бути з'єднані між собою двома болтами, так як якщо кріплення здійснюється одним болтом, то при додатку навантаження рухома частина може вийти з пазів і повернутися щодо болтового з'єднання. Поздовжні ребра жорсткості в опорній частині зменшують площу примикання до основи [6].

У фасадній системі «Волна» застосовується П-образний кронштейн, який виготовляється з листової оцинкованої сталі гнуттям. Він складається з двох

частин, з'єднаних між собою болтовим з'єднанням, розташованим у верхній частині поперечного перерізу. Потрібна велика точність виготовлення несучого елемента, так як його поперечний переріз виконується з мінімальним зазором між собою для можливості телескопічного переміщення відносно один одного. У разі неточного виготовлення, він буде мати меншу несучу здатність. При цьому, якщо нерухома і рухома частини з'єднані між собою тільки болтовим з'єднанням, то при додатку навантаження, рухома частина буде виходити з нерухомою. Щоб цього не сталося, їх потрібно обов'язково між собою закріпити додатково по боках самонарізними гвинтами або заклепками, що веде до подорожчання вартості і підвищення трудомісткості при монтажі. Так як анкерний закріп розташований всередині кронштейна, то досить складно затягнути його до потрібної величини [6].

У фасадній системі «Гранитогрес» Г-подібний кронштейн складається з двох частин, універсального, виготовленого з алюмінієвого листа, зігнутого під кутом 90° і добірною. Кронштейн має меншу твердість, так як немає поздовжніх ребр жорсткості. Але має більшу несучу здатність, так як кріплення до несучих огорожувальних конструкцій здійснюється двома анкерними закріп, що зменшує його закручування щодо опорної частини. У той же час, несучий елемент має велику площу примикання і, отже, збільшується можливість виникнення «містка холоду». У літературних джерелах немає відомостей, за рахунок чого регулюється виліт кронштейна [6].

Фасадна система «Метроспецстрой». На перший погляд здається, що вона має велику несучу здатність і невеликий матеріаломісткістю і трудомісткістю, в порівнянні з перерахованими вище системами. До недоліків можна віднести, що відстань від підстави до облицювального матеріалу можна змінювати тільки в певних межах. Через розташування анкерного закріп всередині кронштейна можуть виникнути труднощі при монтажі [6].

Фасадна система «Полиалпан». До недоліків слід віднести: повинна бути дуже хороша точність при виготовленні несучих конструкцій; труднощі з

вирівнюванням площині, так як кронштейни виготовляють з профілю необхідної довжини; велика матеріаломісткість і трудомісткість, можуть виникнути труднощі при монтажі [6].

Система «Сканрок» - це ефективна фасадна система, яка складається з фасадного каменю, несучих профілів і кріпильних елементів. Камінь виробляється з мармурової крихти, цементу, фарбувальних добавок і обробляється водовідштовхувальним складом. У проміжку між стіною і фасадним камінням розташовується теплоізоляція (мінеральна вата "PAROC"), яка укладається на Z-подібний профіль. Конструкція направляючого профілю створює активний повітряний канал товщиною 15 мм між утеплювачем і фасадним камінням. Область застосування системи від котеджного до багатоповерхового будівництва (будівлі висотою до 100 метрів) [6].

1.4. Дефекти, переваги і недоліки вентиляованих фасадних систем.

Переваги вентиляованого фасаду значно перевершують недоліки за кількістю, тому розберемо їх докладніше: простота (основною перевагою вважають простоту в процесі установки фасаду, а також легку заміну пошкоджених складових); безпека (переважна більшість матеріалів є абсолютно безпечними для здоров'я людини, а також не горять в результаті пожеж); відсутність необхідності в вирівнювання (стіна не вимагає попереднього вирівнювання перед установкою); різноманітність матеріалів (достаток видів матеріалів дозволяє розробити унікальний дизайн проекту, що зробить вашу споруду оригінальною і захоплюючою погляди); захист від вологи (стіни надійно захищаються від надмірної вологи, що зберігає їх цілісність десятиліттями); можливість установки в будь-який час року (встановлювати даний тип облицювання можна в будь-який час року, що є відсиланням до простого типу монтажу); стійкість до перепадів температур (перепади температур практично ніяк не впливають на утворення тріщини, оскільки цьому сприяють певні монтажні особливості); довговічність (за результатами наукових досліджень

доведено, що деякі матеріали, використовувані при зведенні вентиляованих фасадів, можуть стояти без додаткового обслуговування близько 50 років); ефективно збереження тепла (вентилюваний фасад сприяє кращому збереженню тепла в будинку в період холодів) [28].

Недоліки вентиляованого фасаду не так великі, як його переваги, але можна виділити кілька основних мінусів при експлуатації даного виду облицювання: ймовірність появи сторонніх звуків (при значному вітровому навантаженні на стіну фасад може почати «підвивати» і «свистіти», що чується навіть в кімнаті з закритими вікнами); легке потріскування і шурхіт (легке потріскування і шелестіння при різких змінах температури є абсолютно нормальним фізичним чинником, але для багатьох це стає мінусом. викликано це зменшенням і розширенням алюмінієвого профілю під впливом навколишнього середовища); дорожнеча і складність замірів (відносна дорожнеча матеріалів укупі зі складними попередніми вимірами загальної площі робіт можуть доставити певні незручності, особливо якщо робота потрібна швидко) [11].

Основні дефекти (фото наведені в додатку 1), які виявлені під час огляду вентиляованих фасадних систем будівель: нерівні вертикальні і кутові шви; деформації елементів несучих конструкцій; вихід плитки з кріплення; випадання заклепок і самонарізних гвинтів; злом облицювання в районі її кріплення до несучого каркасу, тріщини або поломка облицювальних плит; деформації облицювальних плит, нерівна поверхня фасаду; руйнування захисного покриття облицювальних плит і осипання кам'яної крихти; патьоки на облицювальних плитах; відсутність вітрозахисної плівки; якість монтажу.

Вплив дефектів на експлуатаційні характеристики фасадних систем: поява дефектів облицювальний матеріал (відхилення по вертикалі, деформації, тріщини в місці її кріплення до несучого каркасу), може привести до його обвалення; недотримання мінімальної відстані від заклепок до краю облицювальної плити (2,5 діаметра) може привести до утворення тріщини в місці

їх кріплення і в результаті до обвалення захисно-декоративного екрану; руйнування захисного шару заклепок і декоративних планок може привести до їх корозії і згодом до обвалення облицювальних плит; дефекти в області швів (нерівні вертикальні, горизонтальні і кутові, не дотримання відстані між облицювальними плитами) призводять до проникнення атмосферних опадів, що веде до порушення експлуатаційних властивостей утеплювача, а також провокує корозію металевих конструкцій (несучого каркаса) [25].

Висновки по розділу 1

Представлений аналіз підтверджує актуальність і підвищену увагу науково-інженерної громадськості до даної проблеми як з позицій необхідності пошуку нових інженерних рішень і технологій енергозбереження в існуючих і знову споруджуваних будинках, так і з позицій оцінки безвідмовної роботи, ремонтпридатності, надійності і довговічності несучих елементів фасадних систем.

Незважаючи на більш пізній початок, в порівнянні із західними європейськими країнами, використання фасадних систем з вентильованим повітряним зазором, кількість конструктивних варіантів збільшення термічного опору зовнішніх стін за допомогою плиткового утеплювача і захисно декоративного екрану вже збільшилася. Всі фасадні системи, представлені на українському ринку, працюють приблизно за однією схемою. Їх основна відмінність полягає в номенклатурі матеріалів, що застосовуються для виготовлення несучої підсистеми і захисно-декоративного екрану, типом каркаса фасадної системи і вузловими з'єднаннями елементів каркаса, включаючи вузол сполучення несучого кронштейна з основним стіновим огорожею.

Всі названі конструктивні варіанти використовуються в різних кліматичних зонах без якогось порівняльного аналізу з виявленням пріоритетів того чи іншого варіанту.

Абсолютно очевидні прогностні оцінки погіршення стану огорожень при подовженні терміну експлуатації на кілька десятків років.

РОЗДІЛ 2

ОБЛАШТУВАННЯ ФАСАДІВ БУДИНКІВ ВЕНТИЛЬОВАНИМИ ФАСАДНИМИ СИСТЕМАМИ

2.1. Технологія облаштування фасадів будинків

Термічний опір конструкцій існуючих будівель близький до $0,9 \text{ м}^2 \times \text{К}/\text{Вт}$, що в 2 - 4 рази нижче нормативних вимог країн Західної Європи з аналогічним або і теплішим кліматом. Енергоспоживання в Україні та країнах Східної Європи становить 250 – 400 кВт.год./м² житлової площі в рік, в той час, в країнах Західної Європи цей показник дорівнює 150 – 200 кВт.год./м², а в країнах Скандинавії добре ізольовані будівлі споживають 60 – 80 кВт.год./м² у рік [46].

Основні втрати тепла в будівлях житлового фонду України відбуваються через: стіни з низьким термічним опором; покрівлі(особливо м'які рулонні та з низьким термічним опором); вікна і балконні двері, конструкція яких не відповідає сучасним вимогам (часто внаслідок фізичного зносу мають надто великі нещільності, які сприяють інфільтрації повітря); фундаменти та стіни підвалів, які виконані без теплоізоляції; вхідні двері (внаслідок фізичного зносу); зовнішні виступаючі конструкції (балкони, лоджії, еркери, тераси), які є містками передачі тепла в навколишнє середовище.

Найбільш поширеними видами теплоізоляційних матеріалів є утеплювачі на основі базальтових та скляних волокон, виготовлених з розплаву мінеральних гірських порід або скломаси. В'яжучою речовиною при виробництві волокнистих утеплювачів є фенолспирти, кількість яких знаходиться в межах 3-5% від маси, залежно від необхідної міцності виробів. Структура волокон у виробках буває поздовжньої, вертикальної та змішаної орієнтації. Густина виробів із скловолна – від 9 до 140 кг/м³, а виробів із мінеральних волокон 20 – 240 кг/м³. Теплопровідність матеріалів залежить від густини і становить 0,032 – 0,042 Вт/м×К. Найголовнішою властивістю волокнистих утеплювачів є їх негорючість; до +250⁰С вироби зберігають свою форму та міцність [42].

Недоліком волокнистих утеплювачів є зниження теплоізоляційних властивостей при збільшенні вологості матеріалу. При нормальній вологості приміщення волога, за рахунок термовологодифузії, завжди потрапляє в товщу конструкції. Накопичення вологи в товщі конструкції – головна причина погіршення теплоізоляційних характеристик і руйнування конструкції у процесі експлуатації. Для вирішення цієї проблеми у деяких фасадних системах передбачають вентиляційний канал (прошарок) завтовшки не менше 40 мм, який дає змогу забезпечити оптимальний тепловий режим фасаду. У навісних вентиляльованих фасадах волога проходить через всю конструкцію і виноситься через вентиляційний канал (прошарок).

З метою захисту утеплювача від інфільтрації рекомендоване використання вітробар'єр мембранного типу, відсутність його може призвести до зниження опору теплопередачі системи утеплення до 40-50%.

Вентильований фасад являє собою конструкцію (рис. 2.11), яка складається з елементів облицювання – 1 (плит або листових матеріалів) і каркасу – 2, що, у свою чергу, кріпиться до стіни – 3 таким чином, щоб між захисно-декоративним покриттям і стіною залишався повітряний прошарок. Для додаткового утеплення зовнішніх конструкцій між стіною й облицюванням встановлюють теплоізоляційний шар – 4 – у цьому випадку вентиляційний простір залишається між облицюванням і теплоізоляцією [45].

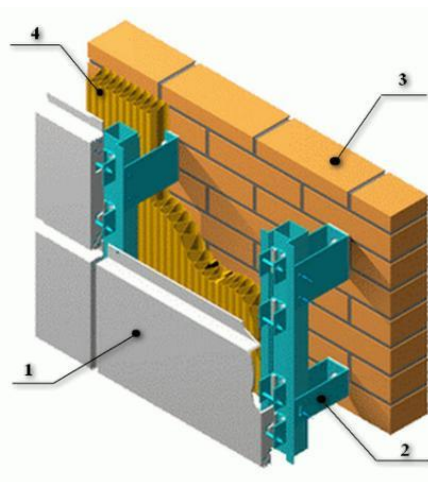


Рис. 2.1. Схема вентиляльованого фасаду

Конструкція підоблицювального каркасу може кріпитися як на несучу, так і на самонесучу у каркасних будівлях стіну, виконану з різних матеріалів (бетон, цегла). Застосовують вентилявані фасади не тільки у новому будівництві, але й при реконструкції існуючих будівель та споруд.

У вентиляваному фасаді окремі шари конструкції розташовуються у такий спосіб: зовнішня стіна, теплоізоляція, повітряний прошарок, захисний екран. Така схема є оптимальною, тому що шари різних матеріалів розміщені по мірі зменшення показників їхньої теплопередачі, а опір паропроникності зростає зовні всередину.

Влаштування додаткової теплоізоляції зовні будівлі краще захищає стіну від змінного замерзання й відтавання. Вирівнюються температурні коливання масиву стіни, що перешкоджає появі деформацій. Точка роси зміщується в зовнішній теплоізоляційний шар, внутрішня частина стіни не зволожується, і не потрібно додаткової пароізоляції.

Наявність повітряного прошарку у вентиляваному фасаді принципово відрізняє його від інших типів фасадів, тому що завдяки перепаду тиску цей проміжок працює за принципом дії витяжної труби. У результаті чого з огорожуючої конструкції у навколишнє середовище видаляється атмосферна й внутрішня волога. Вентиляований повітряний прошарок знижує також і тепловтрати, тому що він практично є температурним буфером. Температура повітря в ньому приблизно на три градуси вища, ніж зовні.

Зовнішній екран з оздоблювальних матеріалів захищає розташований за ним шар теплоізоляції, а також огорожуючу конструкцію від атмосферних впливів. Влітку він виконує функцію сонцезахисного екрану, що відбиває значну частину падаючого на нього теплового потоку [43].

До допоміжних елементів систем вентиляваних фасадів відносяться: ущільнювальні стрічки між облицювальною панеллю й профілем підоблицювальної конструкції, декоративні кутники та вставки для закриття торців і зазорів між панелями, перфоровані металоконструкції для вентиляції

системи знизу й угорі: заклепки, клямери, гребінки, і т.п. для кріплення панелей до профілів.

На даний час у вентиляованих фасадних системах використовують три види матеріалів для елементів кріплень:

1. Алюмінієві сплави;
2. Вуглецеві сталі з захисними покриттями;
3. Корозійна стійка сталь.

Кожен з цих матеріалів має не лише переваги, а й суттєві недоліки. Алюмінієвий сплав – легкий матеріал, що має високу стійкість до дії агресивного середовища. Проте алюмінієві сплави мають схильних до місцевих руйнувань, котрі візуально не виявляються, адже поверхневий шар конструкції практично не пошкоджується, руйнування відбувається всередині. Значно підвищити стійкість сплаву до різних видів корозії дозволяє анодування, яке застосовують багато виробників підконструкцій. Існує ще один аспект, який не можна упускати при використанні алюмінієвих конструкцій – пожежна безпека. Температура при пожежі на внутрішній поверхні екрана може досягати 750°C. Під дією температур, які перевищують 630-670°C, алюміній починає плавитись і при пожежі може відбутись часткове або повне руйнування системи. В цьому плані навісні фасади з несучим каркасом із сталі, температура плавлення якої значно вища, надійніші [44].

Спеціалісти вважають, що до оцинкованих сталей потрібно ставитись дуже уважно. Показники корозійної стійкості оцинкованої сталі значною мірою залежать від товщини цинкового шару, котрий повинен становити не менше 30 мкм. Товщина цинкового шару оцинкованої сталі, що поступає з металургійних заводів України зрідка досягає 20 мкм і при будівництві об'єктів, розрахованих на довгий термін експлуатації, оцинкований метал потрібно додатково захищати полімерним покриттям.

Корозійностійкими сталями вважають сплави заліза, що містять 12,5% хрому. Однак назвати сталь X13 корозійностійкою досить складно. Її, звісно ж,

можна використовувати в будівництві, але не для виготовлення конструкцій навісних фасадів. Для довговічного і безпечного будівництва необхідно застосовувати аустенітні-хромонікелеві, достатньо леговані сталі з додаванням титану. До речі, в Німеччині дозволяється використовувати лише аустенітні сплави.

Для виготовлення монтажних деталей для навісних фасадних систем в Україні використовують: оцинковану сталь, алюмінієві сплави, нержавіючу сталь. Зазвичай їх застосовують в одному кріпильному вузлі, хоча ще 60 років тому було відомо, що такий варіант з'єднання в атмосферних умовах здатен протриматись максимум 10 років; через 10 років, а може й раніше, почнеться руйнування. Російські вчені проводили досліди й встановили, що контакт анодованого алюмінієвого сплаву з оцинкованим кріпленням і нержавіючою сталлю повністю зруйнувався через 35 днів. Алюмінієвий сплав перетворився на труху, оцинкована сталь в місці контакту почала кородувати і саморіз просто "вискочив". Негативно відображається на довговічності і безпечності фасадної системи, перш за все, незадовільна якість кріплення. Дуже відповідальним є вибір анкерних з'єднань. Економія на них може призвести до руйнування всієї системи. До них ставлять найвищі вимоги: міцність, корозійна стійкість, довговічність, збереження фізичних якостей в умовах екстремальних температур і т.д. Діаметр анкерів і глибина їх занурення підбирається згідно розрахунків з урахуванням матеріалу стіни, в яку встановлюється даний анкер. Спеціалісти стверджують, що використовувати саморізи на вентилятованих фасадних конструкціях доволі небезпечно. Це пов'язане ще з тим, що знакозмінні вітрові навантаження призводять до постійних вібрацій навісних елементів, що розгойдує і руйнує всі з'єднання. Часто зустрічаються заклепки з комбінованих матеріалів, причому поєднання можливі самі різноманітні. Спеціалісти наголошують, що алюмінієві заклепки зі звичайним сталевим оцинкованим сердечником дуже швидко "течуть".

Опір теплопередачі стіни характеризує її теплозахисні властивості. Коефіцієнт теплотехнічної однорідності визначається впливом теплопровідних включень і показує ефективність використання теплоізоляції – чим він менший, тим більшою має бути товщина шару теплоізоляції. Усю товщу утеплювача пронизують неоднорідні металеві елементи кріплень, і чим вони масивніші, тим більша теплопровідність металу, чим більша їх кількість і площа перерізу, тим більшою має бути товщина утеплювача. Необхідно також зауважити, що міцність алюмінію в 3 рази менша, ніж у нержавіючої сталі, тобто для досягнення тієї ж несучої здатності системи необхідно застосовувати матеріал у три рази більшої площі перерізу або в три рази частіше ставити кронштейни. Якщо некоректно врахувати ці параметри можна звести нанівець усі переваги вентилязованого фасаду.

У фасадних конструкціях, схильних до періодичного зволоження, існує ще один потенційно небезпечний момент – це контакт металевих конструкцій з утеплювачем. Вчені виявили, що різні теплоізоляційні матеріали дають абсолютно різну величину рНконденсату. Оскільки кожен сплав по-своєму реагує на кислотність навколишнього середовища, то передбачити наслідки поки що не можливо [43].

Вибір утеплювача у фасадних системах з повітряним прошарком значною мірою повинен визначатись матеріалом, що використовується в каркасі. Мінераловатні утеплювачі можна використовувати з будь-якими підконструкціями і лицювальними матеріалами. Складніша справа з використанням скловолокнистих негорючих виробів. У системах зі сталевими підконструкціями і негорючими, або умовно негорючими можливе використання скловолокнистих матеріалів. У фасадних системах з алюмінієвим каркасом скловолокнисті плити використовувати не рекомендується. Справа в тому, що при температурі 550°C відбувається спікання скловолокон і в результаті цього скловолокнисті вироби осідають, оголюючи кронштейни. При проникненні полум'я у повітряний прошарок системи конструкція з алюмінію

може вичерпати свою несучу здатність і втратити стійкість. Каширові утеплювачі теж не рекомендується використовувати, вони мають високий ступінь горючості. На даний момент застосовується декілька варіантів захисно-декоративного екрану. За видом лицювання вентилязовані фасади класифікують: з використанням керамогранітних плит; з композитних матеріалів на основі алюмінію; у вигляді цементно-волокнистих листів або цементного каменю; з металевим лицюванням, касет, панелей тощо.

Під час проведеного дослідження проаналізовано вартість систем навісних вентилязованих фасадів (табл.2.1).

Використання дрібних форматів збільшує кількість "металу" на фасаді, це знижує економію на 80%, але, якщо врахувати трудовитрати, то таке рішення навряд стане дешевшим. Керамограніт – твердий матеріал, тому велика кількість підрізок теж може призвести до загального здорожчання фасаду [44].

Таблиця 2.1

Розрахунок вартості найбільш розповсюджених вентилязованих фасадів (ВФ) за 1м² в грн. з урахуванням ПДВ

Вид ВФ	Вартість облицювальних	Вартість утеплювача 50 мм, грн.	Вартість утеплювача 100	Вартість підсистем, грн.	Вартість кріплень, грн.	Вартість робіт, грн.	Вартість 1м.кв. фасаду без утеплювача, грн.	Вартість 1м.кв. з утеплювачем 50мм грн.	Вартість 1м.кв. з утеплювачем 100 мм, грн.
ВФ з керамограніту	112	47	85	66	18	261	457	504	542
ВФ з фібро-цементних плит	154	47	85	69	27	278	528	575	613
ВФ з композитних панелей	207	47	85	70	31	330	638	685	723
ВФ з металевих касет	112	47	85	63	18	291	484	531	569
ВФ з металосайдингу	67	47	85	27	18	174	286	333	371

2.2. Обстеження фасадних систем в Україні

Розглянемо фасад будівлі «АТБ» (приклади будинків з вентиляльованими фасадами наведено в додатку 2): зовнішні стіни - збірна сендвіч-панель, що складається з зовнішньої системи вентиляльованого фасаду з утепленням мінераловатними плитами на основі базальтового волокна щільністю не менше 80 кг / м³, загальною товщиною, відповідно до теплотехнічного розрахунку.

Застосовувана вентиляльована фасадна система, що складається з облицювальної плитки чорного кольору 600x105 мм (300x105 мм), монтажних консолей, горизонтальних і вертикальних напрямних, теплоізоляційного матеріалу з мінераловатних плит на основі базальтового волокна щільністю не менше 80 кг / м³, вітро-влагозахистної мембрани і кріпильних елементів (див. рис.2.2).



Рис. 2.2. Вентиляльований фасад магазину «АТБ»

Приклади схем кріплення вентиляльованого фасаду надано в додатку 3.

2.3. Розрахунки порівняння характеристик різних утеплювачів для заповнення вентиляльованого фасаду

На даний момент на будівельному ринку представлений великий вибір теплоізоляційних матеріалів, але не всі з них володіють такими критеріями як екологічність, пожежна безпека і доступність в ціні. Добре всім відомий керамзит, який широко застосовується при утепленні міжчердачного перекриття, проявив себе як довговічний, екологічний та пожежобезпечний матеріал.

Керамзит - це легкий пористий будівельний матеріал, що отримується шляхом випалення легкоплавкої глини. За рахунок технології виробництва і натуральному складу, керамзит є екологічно чистим.

За своєю структурою утеплювач паропроницає і для його ефективної роботи необхідно пристрій вентильованого фасаду. У конструкції вентильованого фасаду передбачений повітряний зазор, який дозволяє

висхідним потокам повітря циркулювати між облицювальним матеріалом і стіною, висушуючи шар утеплювача при випаданні конденсату або в разі потрапляння вологи на утеплювач.

Як облицювальні матеріали можливе використання цегли, натурального каменю, дерев'яної фасадної дошки, композитів, керамограніта, рейкового профілю, алюмінієвих листів, азбестоцементних і фіброцементних листів [41].

Порівнюючи мінеральну вату, пінопласт і керамзит по теплопровідності, варто відзначити, що у керамзиту коефіцієнт теплопровідності значно вище. Внаслідок чого, для досягнення мінімально допустимого значення опору теплопередачі конструкції стіни необхідна значна товщина керамзиту, на відміну від пінопласту і мінеральної вати.

Виконаємо наближений розрахунок товщини утеплювача для II зони відповідно до вимог ДБН В.2.6-31: 2006 "Теплова ізоляція будівель".

Дані для розрахунку.

- Температура зовнішнього повітря - -19°C ;
- Температура внутрішнього повітря - $+20^{\circ}\text{C}$;
- Вологість внутрішнього повітря - 55%;
- Вологісний режим приміщень - нормальний;

– Умови експлуатації огорожувальних конструкцій - Б. Шари огорожувальної конструкції стіни:

1. Ракушняк $\rho = 1400 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$, $\lambda_p = 0,58 \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{К}}$, $t = 0.40 \text{ м}$
2. Утеплювач : А. Пінопласт $\rho = 35 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$, $\lambda_p = 0,05 \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{К}}$; Б. Мінеральна вата $\rho = 50 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$, $\lambda_p = 0,052 \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{К}}$; В. Керамзит $\rho = 200 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$, $\lambda_p = 0,12 \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{К}}$.

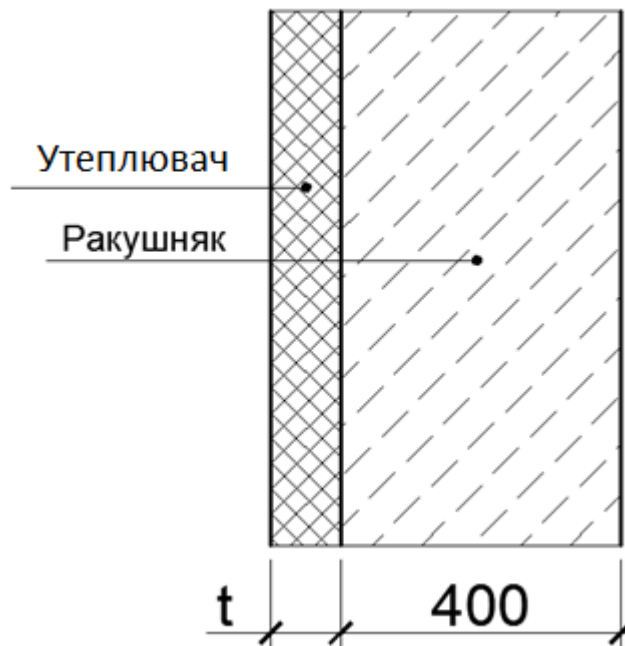


Рис. 2.3. Розрахункова схема стіни

Розрахунок товщини утеплювача.

Термічний опір однорідної огорожувальної конструкції визначається за формулою: $R_{\Sigma} = \frac{1}{\alpha_B} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_{ip}} + \frac{1}{\alpha_H} \geq R_{qmin} = 2.8 \frac{\text{м}^2\cdot\text{К}}{\text{Вт}}$, де α_B, α_H – коефіцієнти теплопередачі внутрішньої і зовнішньої поверхні огорожувальної конструкції, $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2\cdot\text{К}}$, приймаються згідно з додатком Е [39]; λ_{ip} - теплопровідність матеріалу і-го шару конструкції в розрахункових умовах експлуатації, $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2\cdot\text{К}}$, приймаються відповідно до додатка Л [39];

А. Розрахунок товщини утеплювача пінопласту: $\frac{1}{8,7} + \frac{0,4}{0,58} + \frac{t}{0,05} + \frac{1}{23} = 2,8 \Rightarrow t = 10 \text{ см}$

Б. Розрахунок товщини утеплювача з мінеральної вати: $\frac{1}{8,7} + \frac{0,4}{0,58} + \frac{t}{0,052} + \frac{1}{23} = 2,8 \Rightarrow t = 10 \text{ см}$

В. Розрахунок товщини утеплювача з керамзиту: $\frac{1}{8,7} + \frac{0,4}{0,58} + \frac{t}{0,12} + \frac{1}{23} = 2,8 \Rightarrow t = 10 \text{ см}$

Як видно з розрахунків, для досягнення термічного опору огорожувальних конструкцій з утеплювачем з пінопласту або мінеральної вати, товщину утеплення з керамзиту необхідно збільшувати практично в 2,5 рази.

Але не варто забувати про переважаючих властивості керамзиту: висока міцність; хороша звукоізоляція і теплоізоляція; морозостійкість, вологостійкість і вогнестійкість; хімічна інертність і кислостойкість; довговічність; натуральний, екологічно чистий матеріал.

2.4. Нормативне забезпечення визначення пожежної небезпеки зовнішніх стін з фасадною теплоізоляцією

Переваги використання фасадної теплоізоляції для забезпечення нормативних значень теплотехнічних показників стінових конструкцій, захисту конструкцій від впливу навколишнього середовища, забезпечення нормативного мікроклімату приміщень і додання фасадам будівель і споруд привабливого зовнішнього вигляду не викликають сумнівів. Однак, при проектуванні і використанні фасадних систем існує ряд проблем, пов'язаних із забезпеченням їх безпеки, в тому числі і пожежної. Пожежна небезпека конструкції зовнішньої стіни з фасадною теплоізоляцією пов'язана з потенційною здатністю такої конструкції розвивати пожежа. Можна навести деякі дані щодо пожежної небезпеки фасадів.

У 2007 році виникла пожежа в 4-х поверховому офісному центрі, під який було переобладнано Дніпропетровська фабрика ляльок. Вентильований фасад цього будинку був облицьований палим композитним матеріалом. Загоряння сталося близько першої години дня. Полум'я миттєво охопило 100 м² фасаду. Локалізувати пожежу вдалося тільки після повного вигорання композиту через годину.

У 2009 році в Сімферополі три години горів супермаркет «FoxMart». Горів фасад, вогонь моментально поширювався по зовнішній пластиковій облицюванні, площа горіння 1000 м².

Виникнення пожеж на об'єктах із застосуванням фасадних систем, в основному пов'язано з порушенням правил пожежної безпеки при проведенні вогневих робіт при монтажі фасадних конструкцій і порушенням правил улаштування електроустановок при прокладці в фасадній системі електропроводки і пристрою зовнішнього (ілюмінаційного) освітлення. Розвитку і поширенню пожежі в будівлях з фасадними системами сприяють також застосовуються матеріали з підвищеною пожежною небезпекою і конструктивні і проектні недоліки цих систем. Використання в системах зовнішнього утеплення ефективних утеплювачів, в тому числі, пінополістиролу і деяких видів поліуретанів, які за своєю хімічною природою є пожежонебезпечними матеріалами, значно підвищує пожежну небезпеку цих систем. Застосовувані в фасадних системах захисні мембрани крім горючості мають властивість при горінні утворювати розплави, що зумовлює велику швидкість і площа розповсюдження пожежі вниз; наявність повітряного прошарку в вентильованих фасадних системах, яка зумовлює повітряну тягу, сприяє як поширенню пожежі вгору, так і більш ефективному режиму горіння за рахунок припливу свіжого повітря. Недотримання технічних умов при монтажі фасадних систем, відсутність або невиконання конструктивних заходів теж багато в чому збільшують їх пожежну небезпеку при експлуатації будівель.

Наведені вище приклади свідчать про необхідність проведення активної роботи щодо зниження пожежної небезпеки конструкцій зовнішніх стін будівель і споруд з фасадною теплоізоляцією, в тому числі, і зі світлопрозорими елементами. Одним із шляхів є удосконалення нормативної і випробувальної бази.

В даний час в Україні пожежну небезпеку фасадних систем оцінюють за вимогами Державних будівельних норм ДБН В.1.1-7 і ДБН В.2.6-33 [29, 30].

Відповідно до ДБН В.1.1-7 [29] в будівлях I ступеня вогнестійкості забороняється виконувати зовнішню поверхню облицювання зовнішніх стін будинків з використанням горючих матеріалів. У будинках II - III ступенів вогнестійкості допускається виконувати зовнішню поверхню облицювання зовнішніх стін будинків з використанням матеріалів групи горючості Г1 (низької горючості). У внутрішніх шарах системи зовнішнього облицювання стін можуть використовуватися матеріали груп горючості Г1, Г2 (низької і помірної горючості). Допускається проводити утеплення зовнішніх стін з використанням систем, в яких застосовується горючий утеплювач, до висоти не більше 26,5 метра. У розвиток цих вимог в ДБН В.2.6-33 [30] встановлено вимоги до групи горючості матеріалу теплоізоляції і облицювальний матеріал в залежності від конструктивного рішення фасадної системи (класу), висотності і горючості теплоізолюючого і облицювального шарів.

Також в ДБН В.2.6-33 [30] встановлено, що допускається використання конструкцій з облицюванням штукатуркою з горючою тепловою ізоляцією для будинків з умовною висотою $H > 15$ м за умови, що вона не поширює вогонь. Здатність фасадної системи з облицюванням штукатуркою з горючою тепловою ізоляцією поширювати вогонь по фасаду оцінюють за результатами натурних вогневих випробувань, які проводяться до початку будівельно-монтажних робіт. Ці випробування в даний час в Україні проводять за Методикою натурних вогневих випробувань теплоізоляційно-оздоблювальних систем зовнішніх стін будівель і споруд на поширення вогню, розробленою Українським науково-

дослідним інститутом пожежної безпеки МНС України. За основу в цій методиці взяті положення національного стандарту США (Метод випробування для оцінки показників пожежної небезпеки зовнішніх самонесучих стінових панелей, в яких застосовується ізоляція з полістиролу). Випробування проводять на фрагменті двоповерхового будинку. Приміщення першого поверху є вогневої камерою і призначене для створення в ньому протягом 30 хв стандартного температурного режиму. Для цього використовують джерело запалювання у вигляді штабеля брусків з деревини регламентованих розмірів щільності і вологості.

Групу горючості матеріалу визначаються Шляхом лабораторних випробувань за методом, Вказаним в національному стандарті України ДСТУ Б.В.2.7-19 [31].

В Україні Діє Технічний регламент будівельних виробів, будівель і споруд [32] и ДБН В.1.2-7 [33], наведені відносно основних положень, відповідно, до Директиви 89/106 та документу основна вимога № 2. пожежна безпека, який є обов'язковим додатком до директиви. У ДБН В.1.2-7 [33] конкретизовані основні вимоги пожежної безпеки будівель і споруд, Які регламентуються в технічному регламенті. Ці два нормативно-правові документи обов'язкові для виконання всіма суб'єктами господарської діяльності.

Відповідно до технічним регламентом и ДБН В.1.2-7 [33], вироби та матеріали, які забезпечують пожежна безпека будівлі, повинні проходити процедуру оцінки відповідності в рамках обраних систем відповідності нормативним показники пожежної небезпеки стандартизованість методами. Ці методи повинні враховувати положення ДБН В.1.2-7 [33] відносно нормованого теплового впливу на зразок, а також переліку та критеріїв основних характеристик, які забезпечують пожежна безпека вироби або матеріалу.

Оцінювання Реакції на вогонь фасадних систем всіх класів в Україні може бути проведено за ДСТУ Б В.1.1-21 [35] и ДСТУ Б В.1.1-22 [36]. Ці стандарти гармонізовані з міжнародними стандартами зі ступенями відповідності

Середньомасштабні випробування, описані в стандарті ДСТУ Б В.1.1-22 [36], призначені для попереднього оцінювання пожежонебезпеки матеріалів і зменшення витрат на великомасштабні випробування шляхом виключення фасадних теплоізоляційних систем, в яких отримано негативний результат по середньомасштабні випробувань.

Визначення вогнестійкості систем фасадної ізоляції всіх класів в Україні в даний час не проводиться, оскільки відсутні вимоги до вогнестійкості фасадів і немає розроблених методів випробувань на вогнестійкість цих видів конструкцій.

Висновки по розділу 2

На даний момент керамзит набув широкого застосування при утепленні горизонтальних площах будівлі і не є поширеним утеплювачем при утепленні стін будівлі. На відміну від пінопласту і мінеральної вати, керамзит екологічно чистий, природний матеріал, що в свою чергу не ставить під сумнів його вплив на здоров'я людини. За рахунок природної сировини, глини, керамзит регулює температурно-вологості режим, що також сприятливо для мікроклімату приміщень. З огляду на всі позитивні властивості керамзиту, необхідно більш детально розглянути конструкцію вентильованого фасаду, де як утеплювач - керамзит.

Проведений аналіз показав, що пожежна небезпека фасадних систем досить велика внаслідок застосування потенційно пожежонебезпечних матеріалів, особливостей конструкцій різних класів фасадних систем і технології їх виготовлення.

РОЗДІЛ 3

ЧИСЕЛЬНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ЕЛЕМЕНТІВ НЕСУЧИХ КОНСТРУКЦІЙ ФАСАДНИХ СИСТЕМ

3.1. Оцінка напружено-деформованого стану несучих елементів вентильованої фасадної системи

Для оцінки напружено-деформованого стану та аналізу роботи несучого елемента підсистеми потрібне обґрунтування спрощеної розрахункової схеми.

Мета розрахунку - системний аналіз напружено-деформованого стану (коротко НДС) несучих елементів і підсистеми в цілому і уточнення розрахункової моделі. Це обумовлено тим, що в рекомендаціях з проектування і застосування фасадних систем з вентильованим повітряним зазором включені розрахунки для кронштейна лише по 1-ій групі граничних станів (міцність на розтягнення з вигином, на зріз, міцність кріплення кронштейна до стіни, т. е. опір на висмикування анкерного закріп); для вертикального профілю - розрахунки по 1-ій і 2-ій групами граничних станів конструкцій (перевірки міцності на розтягнення з вигином, на зріз в горизонтальній площині, міцність кріплення профілю до несучої кронштейну і перевірку прогину на дію вітрового навантаження) на основі недостатньо обґрунтованою розрахункової схеми [12].

Для виконання поставленої мети вирішувалися наступні завдання: аналіз аналітичних і чисельних рішень по стрижневий і континуальній розрахунковим схемам.

3.2. Розрахунку несучих конструкцій фасадних систем

Великий внесок в алгоритми розрахунку міцності несучих конструкцій фасадних систем з вентильованим повітряним зазором вносить проф. В. С. Зирянов.

Елементи огорожі і несучого каркаса фасадної системи утворюють просторову континуальну-стрижневу систему, яка в процесі експлуатації піддається комплексу впливів. До них в першу чергу слід віднести: власні ваги цих елементів; вітрові впливи; температурного впливу; фактори деградації, які суттєво змінюють (погіршують) НДС елементів конструкцій і особливо їх вузлових сполучень [13].

У роботах практично однотипна просторова система розчленовується на окремі елементи: вертикальний і горизонтальний профілі, що несе кронштейн, облицювальні касети і ін. Відміна особливість проявляється лише у виборі розрахункових схем [13,15].

Так для міцності, проектувальних або перевірочних розрахунків фасадної системи «Краспан» пропонується в якості розрахункової схеми прийняти: для вертикального профілю - двопрогінна балку, защемлення на верхній, нерозрізну на середньої і шарнірно-рухомої оперту на нижній опорі (рис. 3.1, а - б); для кронштейна - консольну балку (рис. 3.1), що прикріплюється до стіни одним болтом з дюбелем. Кронштейн сприймає вертикальну, з ексцентриситетом, що залежать від товщини утеплювача, і горизонтальну навантаження від вертикального профілю. Відзначимо, що рис. 3.1, а суперечить останній вказівки. В виявлено невідповідності обраних розрахункових схем і відповідних їм епюр: для даної розрахункової схеми вертикального профілю на рис. 3.1, а епюра моментів відсутня, а для епюри М (рис. 3.1, а) розрахункова схема наведена на рис. 3.2 [13, 24].

Розрахунок вертикального профілю включає в себе перевірки його міцності на розтяг з вигином в двох напрямках і зрушення в горизонтальній площині; міцності його кріплення до несучого каркасу і жорсткості з площини стіни. Несучий кронштейн перевіряється по міцності на розтягнення і вигин, і на зрушення в місці кріплення до стіни.

Розрахунки за несучою здатністю і жорсткості облицювальних панелей виконані з розрахунковою схемою - балочна плита коробчастого перетину, що працює на вигин під дією вітрового навантаження [16].

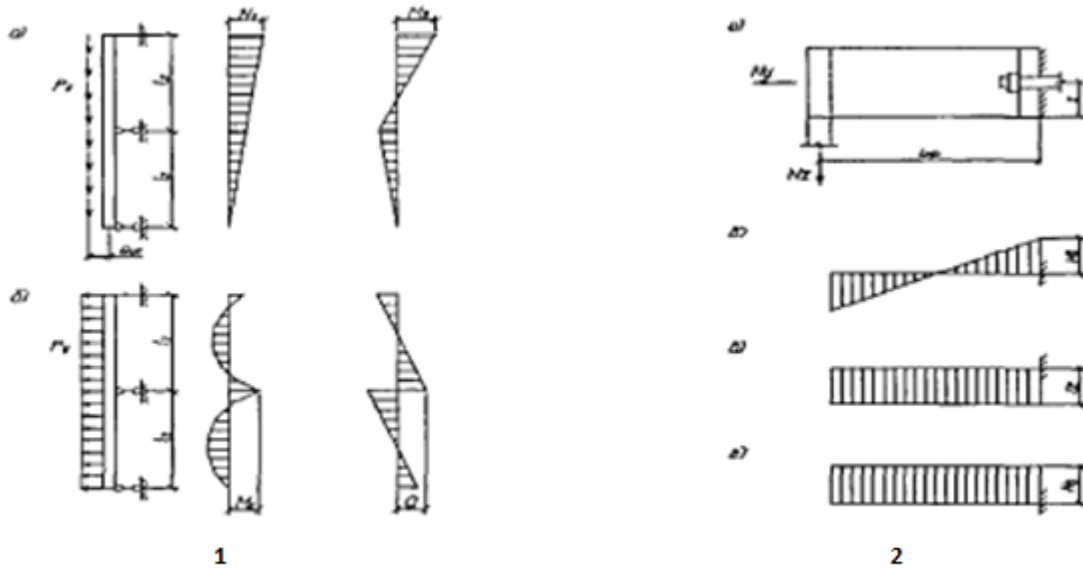


Рис. 3.1. Розрахункова схема: 1 – вертикальний профіль (а - на вертикальні навантаження; б - на горизонтальні навантаження), 2 – несучий кронштейн (а - схема докладання зусиль; б, в, г – епюри M , N і Q , відповідно)

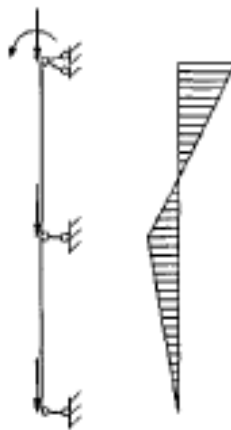


Рис. 3.2. Розрахункова схема для даної епюри M

У міцності розрахунках фасадної системи «Гранитогрес» розрахункові схеми вертикальних профілів прийняті: в напрямку осі y - двопрогінна балка, нерозрізна на проміжній і шарнірно закріплена на верхній і нижній опорах

(рис. 3.3), в напрямку осі z - розтягнутий стрижень. До вертикальних профілів прикладається вертикальне навантаження від власної маси і від маси облицювальних плит і горизонтальна вітрове навантаження [14].

Розрахункова схема несучого кронштейна - консоль з вильотом (рис. 3. 3.). Кронштейни з кроком, відповідним кроку вертикальних профілів, кріпляться до стіни кожен за допомогою двох анкерних болтів з дюбелями. На кронштейни через вертикальні профілі передаються вертикальні, з ексцентриситетом e , і вітрові навантаження. Розрахунок вертикального профілю включає в себе перевірки його міцності на розтяг з вигином, на зрушення (зріз) та перевірку прогину, а несе кронштейн - на розтягнення і на зрушення (зріз) [27].

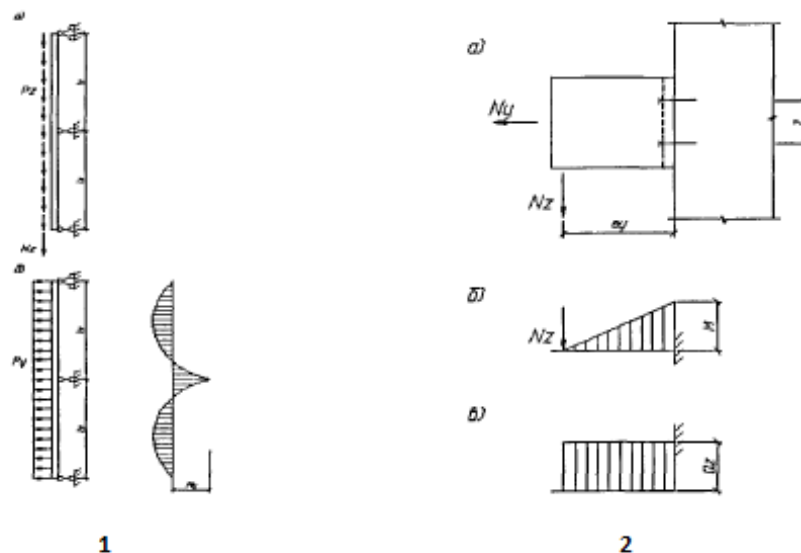


Рис. 3.3. Розрахункова схема: 1 – вертикальний профіль (а - на вертикальні навантаження; б - на вітрові навантаження), 2 – несучий кронштейн (а - схема навантажень; б - момент від вертикального навантаження; в - поперечна сила)

У фасадній системі «Метроспецстрой» розрахункова схема горизонтальних профілів - двопрогінна балка, нерозрізна на середній опорі і шарнірно оперта по кінцях на вертикальні профілі (рис. 3.4). Профілі піддаються в вертикальній площині вигину кручення від позацентрального дії вертикального

навантаження - ваги облицювальних плит (рис. 3.4., а) і вигину в горизонтальній площині від дії вітрового тиску (відсмоктування) (рис. 3.4, б) [17].

Розрахункова схема вертикальних профілів - однопрогонна, шарнірно оперта по кінцях на профілі-кронштейни балка, з нерухомим шарніром у верхнього кінця і рухомим у нижнього кінця (рис. 3.4.). Розрахункова схема кронштейна - консольна балка (аналогічно системі «Гранитогрес»), що прикріплюється до стіни двома болтами з дюбелями, яка сприймає зосереджене навантаження від вертикального профілю.

Розрахунок горизонтального профілю включає в себе перевірки міцності горизонтального профілю на розтяг-стиск при згині і крученні; на зрушення; міцності його кріплення до вертикальному профілю; перевірку прогину і визначення кута повороту при крученні. Розрахунок вертикального профілю включає в себе перевірки міцності профілю на розтяг і вигин в двох напрямках, на зрушення в горизонтальній площині, його кріплення до кронштейна і перевірку прогину. Розрахунок кронштейна - перевірки міцності на вигин і розтягнення, на зрушення, кріплення до стіни.

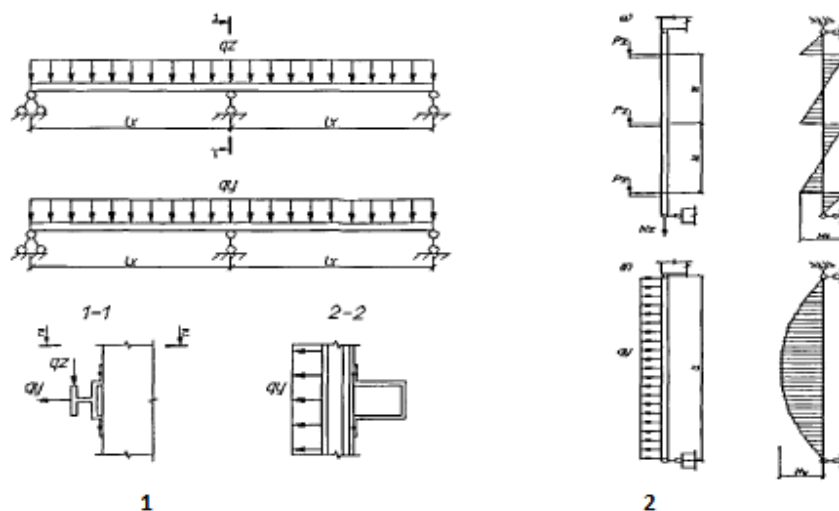


Рис. 3.4. Розрахункова схема: 1 – вертикальний профіль (а - на вертикальні навантаження; б - на вітрові навантаження), 2 – горизонтальний профіль (а - на вертикальні навантаження; б - на вітрові навантаження)

У фасадній системі «Полиалпан» розрахункова схема панелі «Полиалпан» в напрямку осі z - багатопрогонова балка, нерозрізна на середніх опорах і шарнірно оперта на горизонтальний несучий профіль (рис. 3.5). Панель сприймає навантаження від власної ваги, тиску вітру, а також від змін температури зовнішнього повітря. Розрахункова схема горизонтального несучого профіля - багатопрогонова балка, нерозрізна на середніх опорах- кронштейнах і шарнірно оперта на кронштейни по кінцях (рис. 3.5). Горизонтальні несучі профілі сприймають навантаження від власної маси, маси панелей і від вітру[17].

Розрахункова схема кронштейнів - консоль (рис. 3.6). Основні несучі кронштейни, розташовані у низу і верху панелей, сприймають всі перераховані вище навантаження, що передаються через горизонтально несучі профілі. Решта, що підтримують, кронштейни сприймають, аналогічну з основними, вітрове навантаження і зменшену, за рахунок температурного перепаду панелей, вертикальне навантаження.

З'єднання між елементами конструкцій і зі стіною розраховуються на дію зусиль розтягування, вигину, зсуву (зрізу) і відриву від спільної дії перерахованих вище навантажень. Перевірочні розрахунки включають в себе перевірки міцності і жорсткості облицювальних панелей (розтягнення (стиснення) з вигином, зрушення (зріз), прогин від вітрової нормативного навантаження), міцності і жорсткості (міцність на вигин у двох площях, на зрушення в двох площях, прогини), міцності несучих кронштейнів (на розтягнення (стиснення) з вигином, на зрушення), міцності з'єднань.

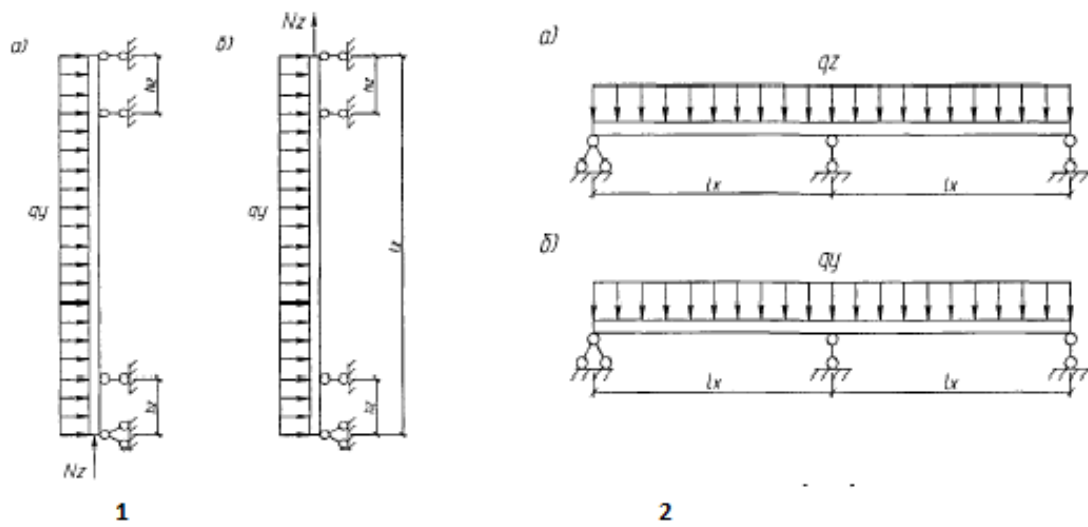


Рис. 3.5. Розрахункова схема: 1 – панелі «Полиалпан» на спільну дію вертикальних і горизонтальних навантажень (а – N_z - стиснення при $(+\Delta t)$; б – N_z - стиснення при $(-\Delta t)$), 2 – горизонтального несучого профілю (а - на вертикальні навантаження; б - на горизонтальні навантаження)

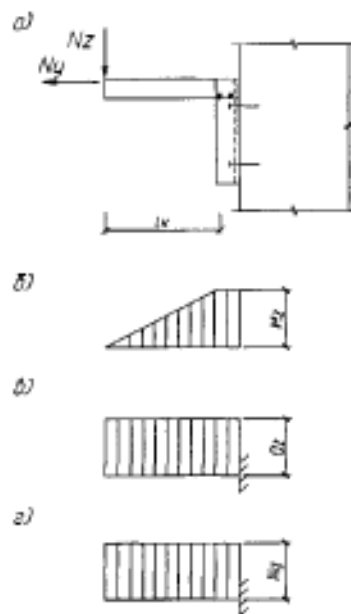


Рис.3.6. Розрахункова схема кронштейна і епюри зусиль

3.3. Розрахунок по стрижневій схемі

Проведена серія аналітичних розрахунків за традиційною стрижневий моделі і з використанням програмних комплексів SCAD і Lira, Mathcad.

Кронштейн розглянемо як консольну балку з розрахунковою схемою (рис. 3.7) - жорстко затиснений консольний стержень [12].

Дослідження проведемо на конкретних прикладах: кронштейни систем типу «Краспан», «Волна», коробчастого поперечного перерізу і Т-образні.

Всі елементи розглянутих систем в залежності від НДС розрахункових перетинів відносяться до 1 класу - НДС, при якому напруга не перевищує розрахункового опору сталі $\sigma \leq R_y$.

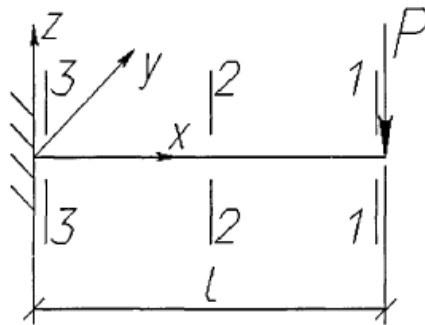


Рис. 3.7. Розрахункова схема кронштейна

Кронштейни виконувалися: із оцинкованої сталі з $E_{zn} = 2.06 \cdot 10^5$ МПа і з алюмінієвих сплавів з $E_{AL} = 0.7 \cdot 10^5$ МПа.

Аналітичний розрахунок виконувався методом початкових параметрів із використанням стрижневої моделі в класичній постановці:

$$y_{1z} = \frac{P}{EJ_x} \left(l \cdot \frac{x^2}{2} - \frac{x^3}{6} \right) \quad (3.1)$$

Чисельні дослідження виконані методом кінцевих елементів (скорочення МКЕ) в фізично і геометрично лінійній постановці з використанням програмних комплексів SCAD і Lira.

Кронштейни системи типу «Краспан».

Геометричні параметри кронштейнів: виліт $l = 180\text{мм}$; розміри поперечного перерізу - $txh = 2x65\text{мм}$ (кронштейн з оцинкованої сталі), $txh = 3,5x65\text{мм}$ (кронштейн з алюмінієвих сплавів).

Проведені чисельні дослідження показали, що практична точність досягається при $l_{ке} < l/4$. У таблиці 3.1 наведені рішення при $l_{ке} < l/10$ відповідно для кронштейнів з оцинкованої сталі (1) і з алюмінієвих сплавів (2).

Таблиця 3.1

Результати чисельних досліджень кронштейну системи типу «Краспан»

№ варіант	Навантаження P, кг	Переміщення u_z , (мм) в перерізі		
		1-1(x = 1)	2-2(x = 1/2)	3-3(x = 0)
1	35	-0,07079	-0,02212	0
2	35	-0,11964	-0,03739	0

Кронштейн системи типу «Волна» (рис. 3.8).

Кронштейн з оцинкованої сталі: виліт $l = 115\text{мм}$; розміри поперечного перетину - $txh = 3,5x65\text{мм}$, $t = 2\text{мм}$. Результати розрахунку при $l_{ке} < l/10$ приведено в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2

Результати чисельних досліджень кронштейну системи типу «Волна»

Навантаження P, кг	Переміщення u_z , (мм) в перерізі		
	1-1(x = 1)	2-2(x = 1/2)	3-3(x = 0)
35	-0,01131	-0,00353	0

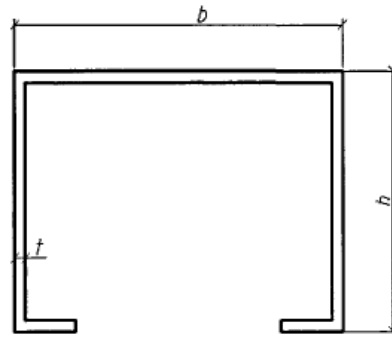


Рис. 3.8. Поперечний переріз кронштейна

Кронштейн коробчастого перетину (рис. 3.9).

Кронштейн з оцинкованої сталі: виліт $l = 115\text{мм}$; розміри поперечного перетину - $txh = 65x45\text{мм}$, $t = 1\text{мм}$. Результати розрахунку при $l_{ке} < l/10$ приведено в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3

Результати чисельних досліджень кронштейну коробчастого перетину

Навантаження P, кг	Переміщення u_z , (мм) в перерізі		
	1-1($x = 1$)	2-2($x = 1/2$)	3-3($x = 0$)
35	-0,01518	-0,00474	0

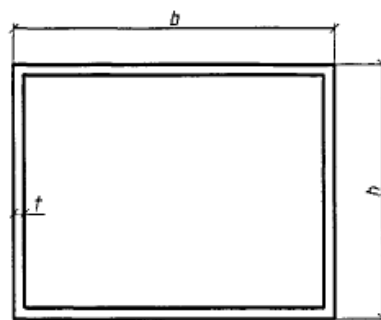


Рис. 3.9. Поперечний переріз кронштейна коробчастого перетину

Т-подібний кронштейн (рис. 3.10).

Геометричні параметри плеча: виліт $l = 215\text{мм}$; розміри поперечного перерізу для нерухомої частини - $t \times h = 4 \times 65\text{мм}$ довжиною від згину $l = 150\text{мм}$, рухомий - $t \times h = 2 \times 65\text{мм}$ довжиною 65мм . Кронштейн з оцинкованої сталі. Результати розрахунку при $l_{\text{ке}} < l/10$ приведено в таблиці 3.4.

Таблиця 3.3

Результати чисельних досліджень кронштейну Т-подібного перетину

Навантаження Р, кг	Переміщення u_z , (мм) в перерізі		
	1-1($x = 1$)	2-2($x = 1/2$)	3-3($x = 0$)
35	-0,0732	-0,03161	0

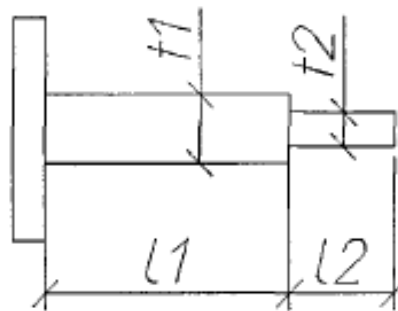


Рис. 3.10. Переріз Т-образного кронштейна

3.4. Розрахунок методом кінцевих елементів по континуальній схемі

Уявімо кронштейн як просторову континуальну систему, що складається з декількох під областей. Побудова аналітичного рішення з використанням такої моделі має труднощі, тому перевагу віддаємо чисельному рішенню в формі МКЕ з моделюванням кронштейна набором пластинчастих прямокутних чотирьох вузлових кінцевих елементів. При призначенні сітки кінцевих елементів було виконано дослідження збіжності МКЕ для розглянутих розрахункових схем. Встановлено, що кількість елементів по кожній стороні повинна становити не менше трьох. Для всіх типів розглянутих кронштейнів розміри кінцевих

елементів прийняті 5x5 мм. Навантаження прикладена в точці $x = l$ до центру тяжіння верхньої полиці кронштейна.

Розрахункові схеми: жорстко затиснений по висоті на згині (кронштейни системи типу «Краспан» і Т-образні); жорстко затиснений в місці примикання до стіни (кронштейни системи «Волна» і коробчастого перетину).

Чисельні результати визначення переміщень кронштейнів представлені в таблиці 3.5: системи типу «Краспан» з оцинкованої сталі (1.1) і з алюмінієвих сплавів (1.2); системи типу «Волна» (2); коробчастого перетину (3) і Т-подібні кронштейни (4).

Таблиця 3.5

Чисельні результати визначення переміщень кронштейнів

№ варіант	Навантаження P, кг	Переміщення u_z , (мм) в перерізі		
		1-1 ($x = 1$)	2-2 ($x = 1/2$)	3-3 ($x = 0$)
1.1	35	-0,0780	-0,03833	0
1.2	35	-0,12915	-0,06294	0
2	35	-0,0130	-0,00488	0
3	35	-0,0181	-0,0103	0
4	35	-0,0859	-0,03928	0

Перехід до іншої за величиною навантаження виконується лінійною екстраполяцією або інтерполяцією.

3.5. Розрахунок кронштейнів з урахуванням зсуву по стрижневій системі

Для балкових елементів в показано, що при $l/h < 10$ не врахування впливу зсуву призводить до значних розбіжностей по максимальному прогину [18].

Використовуємо методику обчислення прогину з урахуванням зсуву методом начільних параметрів (МНП) балкових конструкцій стосовно розглянутих елементів несучого каркаса фасадних систем.

Для елементарного ділянки балки довжиною dx , схильного вигину і зрушення, вихідні диференціальні залежності мають вигляд:

$$q = -\frac{dQ}{dx}; \quad Q = \frac{dM}{dx}; \quad \frac{d\varphi}{dx} = -\frac{M}{EI}; \quad \frac{dy}{dx} = \varphi + \gamma_{\text{ср}}, \quad (3.2)$$

де $\gamma_{\text{ср}} = kQ/(GA)$ - середній кут зсуву елемента,
до k - коефіцієнт, що враховує нерівномірність розподілу дотичних напружень за висотою перерізу [22].

Послідовно, інтегруючи вирази (3.2), отримаємо:

$$Q = -\int_0^x q dx + c_1 \quad (3.3)$$

$$M = -\int_0^x dx \int_0^x q dx + c_1 x + c_2 \quad (3.4)$$

$$\varphi = \frac{1}{EI} \int_0^x dx \int_0^x dx \int_0^x q dx - \frac{1}{EI} \frac{c_1 x^2}{2} - \frac{c_2 x}{EI} + c_3 \quad (3.5)$$

$$y = -\frac{1}{EI} \int_0^x dx \int_0^x dx \int_0^x q dx - \frac{1}{EI} \frac{c_1 x^3}{6} - \frac{c_2 x^2}{2EI} + c_3 - \frac{k}{GA} \int_0^x dx \int_0^x q dx + \frac{k}{GA} c_1 + c_4 \quad (3.6)$$

Довільні постійні, які визначаються з граничних умов (при $x = 0, y = 0, \varphi = 0$ і $x = 1, M = 0, Q = P$):

$c_1 = P, c_2 = -Pl, c_3 = c_4 = 0$. Підставляючи отримані значення в формулу (3.6), отримаємо (3.7):

$$y(x) = \frac{P}{EJ_x} \left(l \cdot \frac{x^2}{2} - \frac{x^3}{6} \right) + \frac{kP}{GA} x \quad (3.7)$$

Вираз для прогинів можна записати у вигляді (3.8):

$$y(x) = y_M(x) + y_Q(x), \quad (3.9)$$

де $y_M(x)$ - прогини, що визначаються без урахування деформації зсуву;
 $y_Q(x)$ - додаткові прогини, викликані зсувними деформаціями
 $y_Q(x) = kf(xM^0(x), EI, GA)$.

Кронштейн типу «Краспан».

Перетин кронштейна близько до прямокутної форми до $k \approx 1,2$.

Результати розрахунку кронштейнів без і з урахуванням зсуву наведені в таблиці 3.6 для кронштейнів з оцинкованої сталі (1) і з алюмінієвих сплавів (2).

Кронштейн типу «Волна»

Висновок коефіцієнта k для поперечного перерізу (рис.3.11):

$$k = \frac{A}{I_x^2} \left(\int_{h_1}^{h_2} \frac{S_1(z)^2}{b_f} dz + \int_0^{h_2} \frac{S_2(z)^2}{t_w} dz \right), \text{ де } S_1(z), S_2(z) - \text{статичні моменти}$$

відсічених частин перетину. Відповідно частина полки, полка і примикаюча до неї, відтята частина стінки; A, I_x - відповідно площа і момент інерції перерізу; h - висота перетину; h_w - висота стінки. Результати розрахунку наведені в таблиці 3.6 (3).

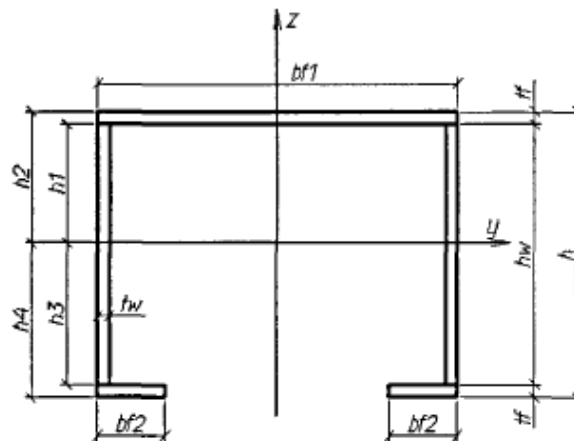


Рис. 3.11. Поперечний переріз кронштейна системи типу «Волна»

Кронштейн коробчастого перетину

Коефіцієнта k для коробчастого поперечного перерізу (рис.3.12): $k = \frac{A}{I_x^2} \left[\frac{b_f}{2} \left(\frac{h^5}{60} - \frac{h_w \cdot h^4}{32} + \frac{h_w \cdot h^2}{48} - \frac{h_w^5}{160} \right) + \frac{1}{(2t_w)} \left(\frac{b_f^2 \cdot h_w \cdot (h^2 - h_w^2)^2}{64} + \frac{b_f \cdot (2t_w) \cdot (h^2 - h_w^2) \cdot h_w^3}{48} + \frac{(2t_w)^2 \cdot h_w^5}{420} \right) \right]$. Результати розрахунку наведені в таблиці 3.6 (4).

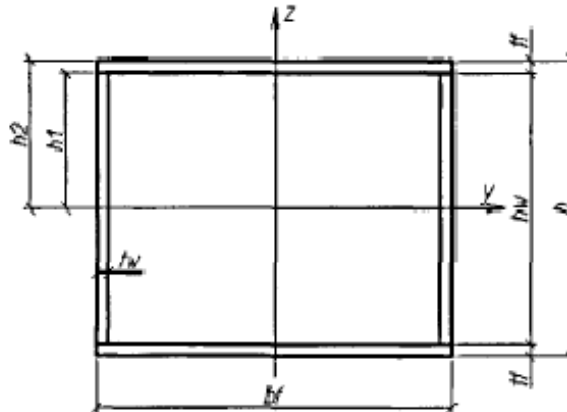


Рис. 3.12. Поперечний переріз кронштейна коробчастого перетину

T-подібний кронштейн.

Розрахунок T-образного кронштейна (рис. 3.10) з урахуванням зсуву МНП по стрижневій схемі аналогічно розрахунку кронштейна типу «Краспан». Результати розрахунку кронштейна наведені в таблиці 3.6 (5).

Таблиця 3.6

Результати чисельних рішень

Варіант	u_M , мм	u , мм	МКЕ	$\frac{u - u_M}{0,01u}$, %	$\frac{u - u_{МКЕ}}{0,01u}$, %
1	0,071	0,078	0,078	8,97	0
2	0,12	0,131	0,13	8,4	-0,76
3	0,0113	0,0133	0,013	15,4	-2,3
4	0,015	0,018	0,018	15,7	0
5	0,0732	0,0859	0,0865	14,8	-0,7

Висновки по розділу 3

Результати досліджень показують: для розрахункової схеми як жорстко защемленого консольного стержня результати розрахунку з урахуванням зсуву добре узгоджуються з чисельними рішеннями МКЕ по континуальній схемі.

У порівнянні з чисельними по континуальній схемою МКЕ та аналітичними рішеннями по стрижневою схемою максимальні прогини відрізняються: для кронштейна системи типу «Краспан» з оцинкованої сталі на 9,2%; для кронштейна системи типу «Краспан» з алюмінієвих сплавів на 7,4%; для кронштейна системи типу «Волна» на 13%; для коробчастого кронштейна на 15%; для Т-образного кронштейна на 14,8%.

Великі розбіжності зумовлюють необхідність вдосконалення розрахункової моделі для аналітичного розрахунку.

Порівняльний аналіз отриманих результатів показує: в схемі 1 (рис. 3.7) кронштейн працює на вигин; в схемі 2 (рис. 3.11) опорна частина працює на кручення з вигином, а сам стрижень на вигин з поворотом в двох площях як жорсткий стрижень.

РОЗДІЛ 4

РОЗРАХУНКОВІ СХЕМИ ЕЛЕМЕНТІВ ВЕНТИЛЬОВАНИХ ФАСАДНИХ СИСТЕМ

4.1. Розрахунок несучих конструкцій фасаду як рамної системи

Фасадна система типу «Краспан».

Розглянемо рамну конструкцію, що складається з кронштейнів вильотом 0,18 м (крок по вертикалі - 1 м) і Т-образного вертикального профілю довжиною 2 м. Несучі елементи з оцинкованої сталі.

При чисельному аналізі розглядалися чотири варіанти розрахункових схем: 1 - жорстке кріплення вертикального профілю до кронштейнів, при цьому вони жорстко защемлені на згині - плоска рамна система (рис.4.1, а); 2 - те ж, кронштейни жорстко затиснені в центрі опорної частини - просторово рамна система (рис.4.1, б); 3 - шарнірне кріплення вертикального профілю до кронштейнів, при цьому вони жорстко затиснені на згині - плоска рамна система (рис. 4.1, в); 4 - те саме, кронштейни жорстко затиснені в центрі опорної частини - просторово рамна система (рис. 4.1, г).

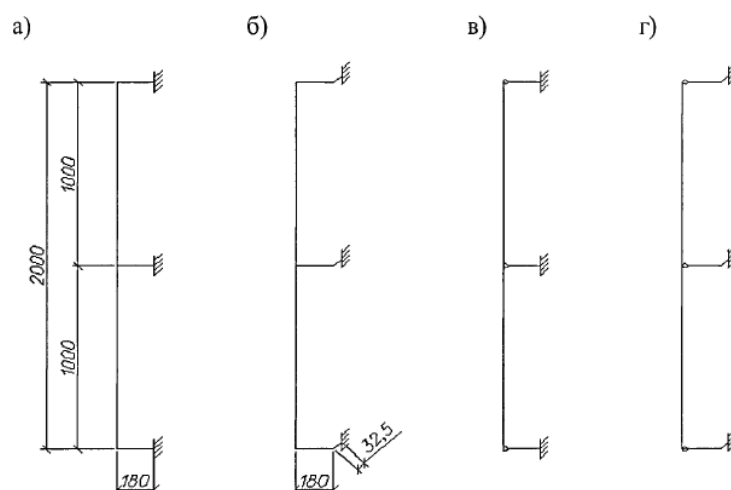


Рис. 4.1. Розрахункові схеми рамної конструкції: а, б - жорстке кріплення вертикального профілю до кронштейнів: жорстке защемлення кронштейна на згині - схема 1 (а); жорстке защемлення кронштейна в центрі опорної частини -

схема 2 (б); в, г - шарнірне кріплення вертикального профілю до кронштейнів жорстке защемлення кронштейна на згині - схема 3 (в); жорстке защемлення кронштейна в центрі опорної частини - схема 4 (г)

Позначення елементів і їх перетинів для розглянутих розрахункових схем рамної конструкції представлені на рис. 4.2.

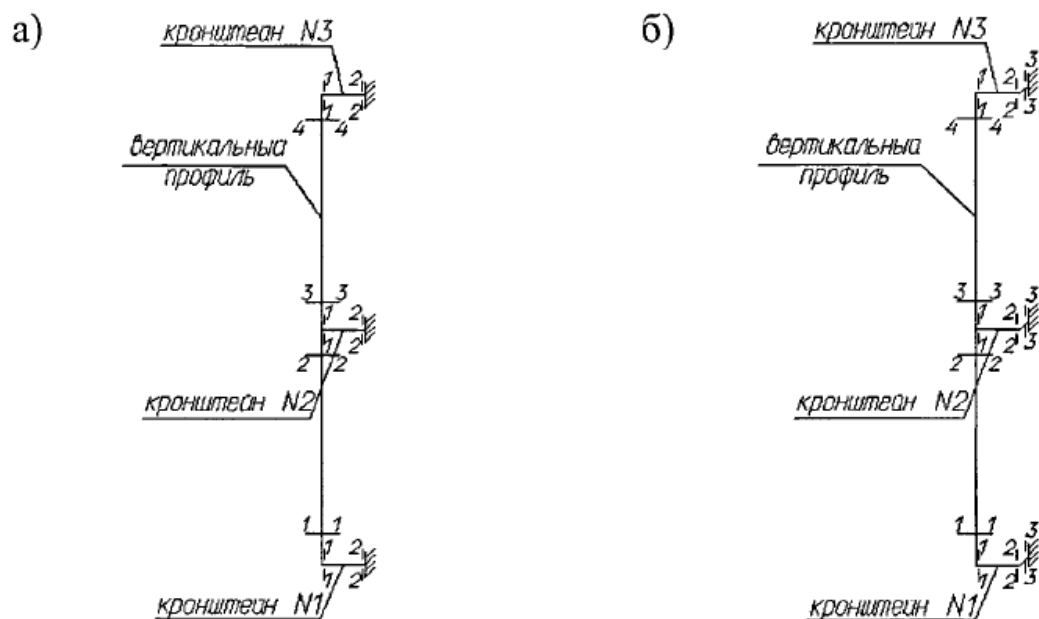


Рис. 4.2. Позначення елементів і їх перетинів: а - плоска рамна система; б - просторова рамна система

Розрахунки проводимо на силове навантаження.

Силове навантаження: вертикальна - власний вагу несучих конструкцій і облицювальний матеріал (зосереджена і момент в точці кріплення вертикального профілю до кронштейну) і горизонтальна - вітровий вплив (рівномірно розподілена, прикладена до вертикального профілю). На рис. 4.3 і 4.4 приведені епюри зусиль, в табл. 4.1 - значення зусиль і переміщень в кронштейнах і вертикальному профілі при дії силового навантаження в залежності від розрахункової схеми

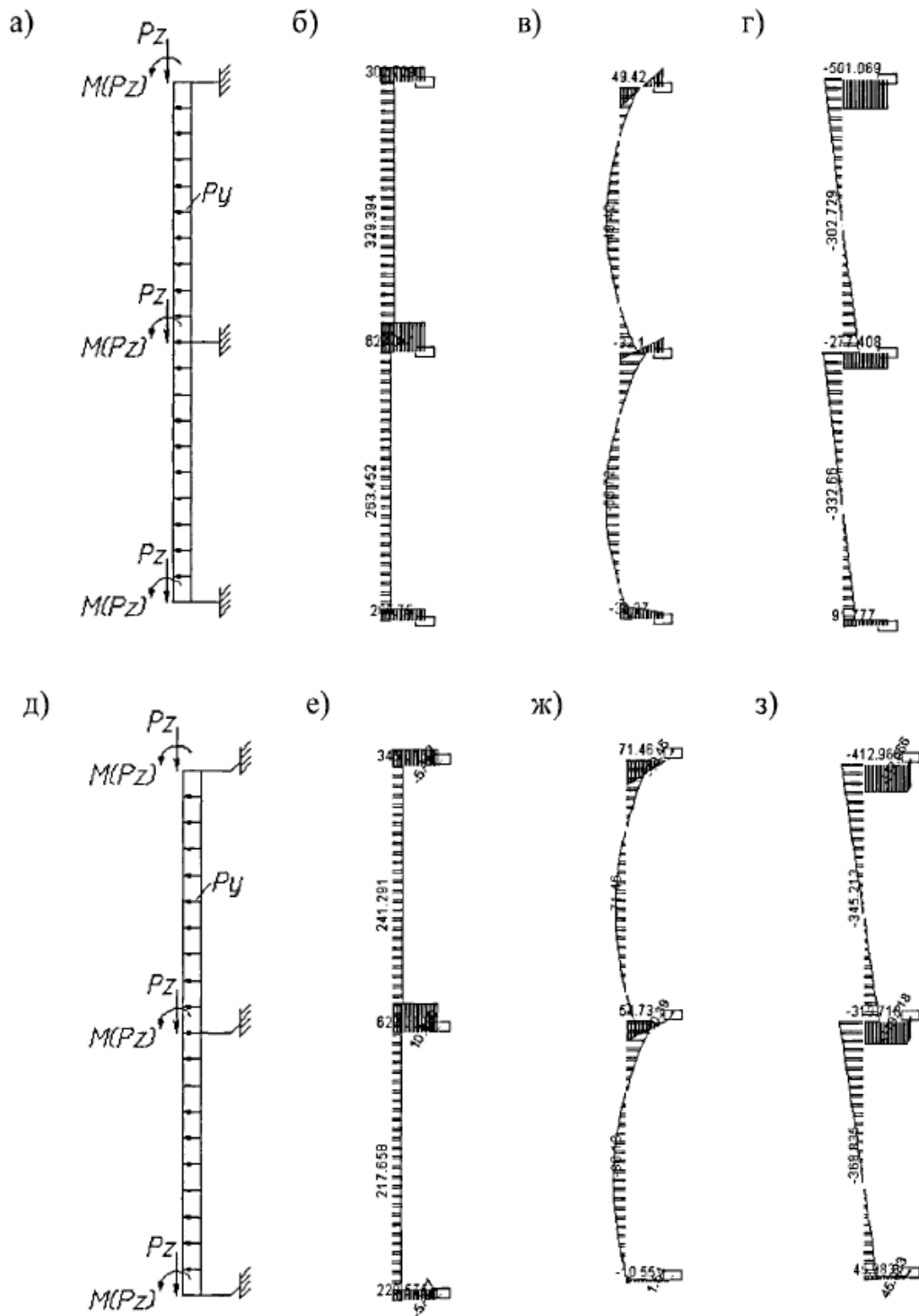


Рис. 4.3. Розрахункова схема - жорстке кріплення вертикального профілю до кронштейнів: а, д - схеми прикладання навантажень; а - г - жорстке защемлення кронштейнів на згині (плоска рамна система), д - з - то ж в центрі опорної частини (просторова рамна система): б, е - епюри поздовжніх сил N, H ; в, ж - епюри згинальних моментів M, Nm ; г, з - епюри поперечних сил Q, H

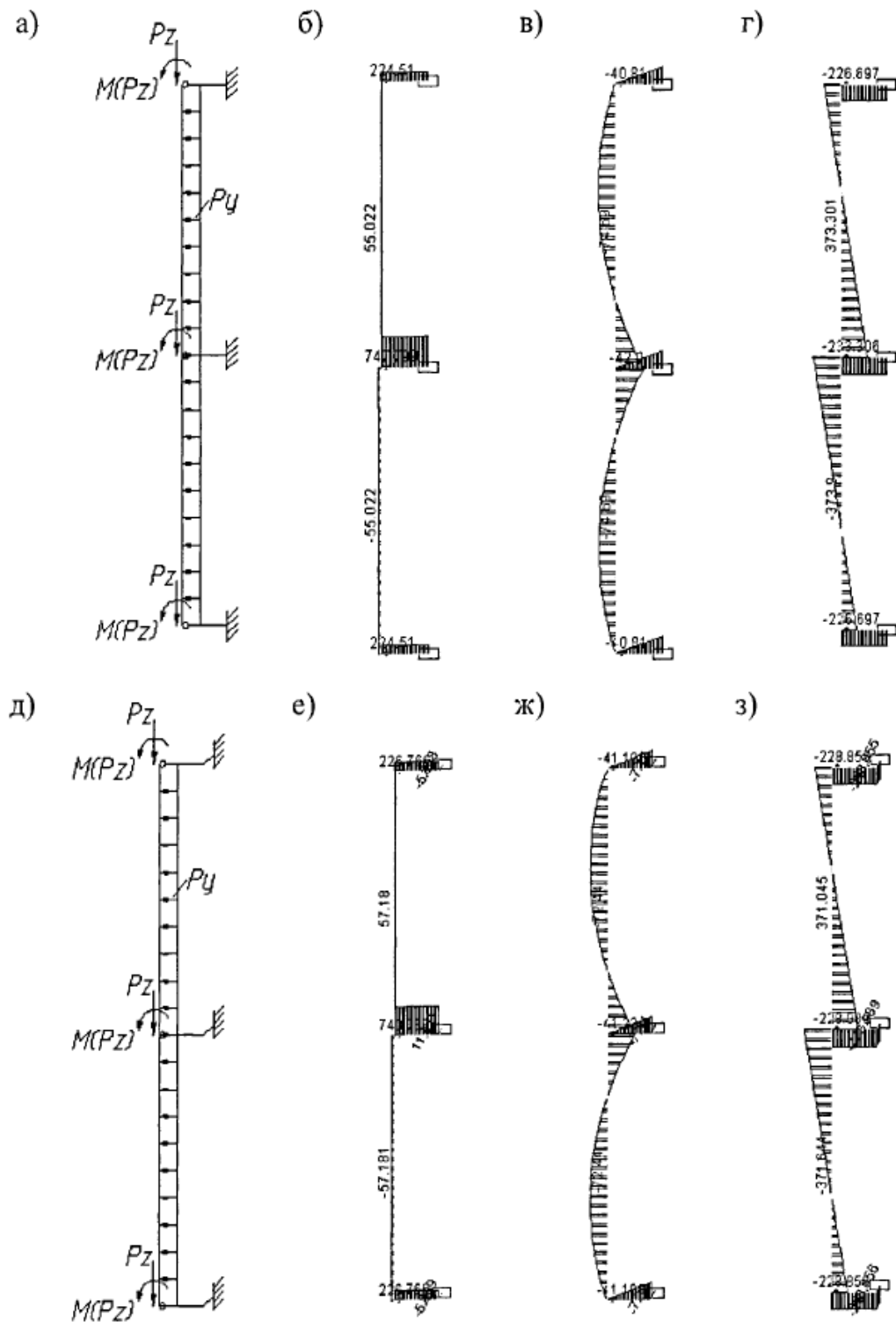


Рис. 4.4.. Розрахункова схема - шарнірне кріплення вертикального профілю до кронштейнів: а, д - схеми прикладання навантажень; а - г - жорстке заземлення кронштейнів на згині (плоска рамна система), д - з - то ж в центрі опорної частини (просторова рамна система): б, е - епюри поздовжніх сил N , H ; в, ж - епюри згинальних моментів M , N_m ; г, з - епюри поперечних сил Q , H

Таблиця 4.1

Зусилля і переміщення несучих елементів від силового впливу

Схеми	Елемент	Перерізи	Зусилля			Переміщення				
			N, Н	M, Н м	Q, Н	X, мм (max)	Y, мм	Z, м м	UZ, рад	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1	Кронштейн № 1	1-1	265,75	-30,27	91,77	-0,002	6,522	-0,03	-0,07	
		2-2	265,75	-13,75	91,77	0	0	0	0	
	Кронштейн № 2	1-1	628,34	17,83	-277,4	-0,004	6,895	-0,02	-0,08	
		2-2	628,34	-32,1	-277,4	0	0	0	0	
	Кронштейн № 3	1-1	302,73	49,41	-501	-0,002	6,522	-0,02	-0,07	
		2-2	302,73	-40,8	-501	0	0	0	0	
	Вертикаль - ний профіль	1-1	263,45	-30,3	265,1	0,5м-	6,435	-0,03	-	
		2-2	263,45	-63,72	-332	-0,193	6,895	-0,03	-	
		3-3	329,39	-45,89	295	0,5м-	6,895	-0,02	-	
		4-4	329,39	-49,42	-302	-0,185	6,435	-0,02	-	
	2	Кронштейн № 1	1-1	229,57	-10,55	45,98	-0,06	7,274	-0,14	-0,07
			2-2	229,57	-2,27	45,98	-0,06	0	0	-0,04
3-3			-5,457	0,049	45,98	0	0	0	0	
Кронштейн № 2		1-1	622,03	54,73	-319	-0,126	7,755	-0,13	-0,08	
		2-2	622,03	-2,815	-319	-0,122	0	0	-0,06	
		3-3	10,9	0,005	-319	0	0	0	0	
Кронштейн № 3		1-1	345,21	71,46	-412	-0,087	7,402	-0,13	-0,07	
		2-2	345,21	-2,875	-412	-0,085	0	0	-0,04	
		3-3	-5,44	-0,039	-412	0	0	0	0	
Вертикаль - ний профіль		1-1	217,66	-10,55	228	0,4 м-	7,238	-0,14	-	
		2-2	217,66	-80,18	-368	-0,314	7,755	-0,14	-	
		3-3	241,29	-25,45	252,6	1,6 м-	7,755	-0,13	-	
	4-4	241,29	-71,49	-345,2	-0,288	7,238	-0,13	-		

Продовження табл. 4.1

3	Кронштейн № 1	1-1	224,5	0	-226,7	-0,002	6,522	-0,046	-0,07	
		2-2	224,5	-40,8	-226,7	0	0	0	0	
	Кронштейн № 2	1-1	747,8	0	-233,3	-0,005	6,895	-0,048	-0,08	
		2-2	747,8	-41,9	-233,3	0	0	0	0	
	Кронштейн № 3	1-1	224,5	0	-226,7	-0,002	6,522	-0,046	-0,07	
		2-2	224,5	-40,8	-226,7	0	0	0	0	
	Вертикаль - ний профіль	1-1	-55,02	0	223,9	0,4 м-	6,435	-0,048	-	
		2-2	-55,02	-74,69	-373,9	-0,323	6,895	-0,048	-	
		3-3	55,02	-74,69	373,9	1,6 м-	6,895	-0,048	-	
		4-4	55,02	0	-224,5	-0,323	6,435	-0,048	-	
	4	Кронштейн № 1	1-1	226,7	0	-228,8	-0,068	7,329	-2,432	-0,07
			2-2	226,7	-41,19	-228,8	-0,066	0	0	-0,04
3-3			-5,8	-41,19	-228,8	0	0	0	0	
Кронштейн № 2		1-1	743,3	0	-228,9	-0,146	7,774	2,433	-0,09	
		2-2	743,3	-41,21	-228,9	-0,141	0	0	-0,07	
		3-3	11,62	-41,21	-228,9	0	0	0	0	
Кронштейн № 3		1-1	226,7	0	-228,8	-0,068	7,329	7,329	-0,07	
		2-2	226,7	-41,19	-228,8	-0,066	0	0	-0,04	
		3-3	-5,8	-0,047	-228,8	0	0	0	0	
Вертикаль - ний профіль		1-1	-57,18	-0,003	226,1	0,4 м-	7,255	-2,433	-	
		2-2	-57,18	-72,44	-371,6	-0,432	7,774	-2,433	-	
		3-3	57,18	-72,44	371	1,6 м-	7,774	-2,433	-	
	4-4	57,18	0	-226,7	-0,432	7,255	-2,433	-		

Фасадна система типу «Волна».

Рамна конструкція, яка складається з кронштейнів вильотом 0,115м (крок по вертикалі - 1м) і вертикального профілю. Несучі елементи з оцинкованої стали. Розглядалися два варіанти плоских рамних систем: 1 - жорстке кріплення

вертикального профілю до кронштейнів (рис. 4.1, а); 2 - шарнірне кріплення профілю до кронштейнів (рис.4.1, в).

Розрахунки проводилися на силове навантаження, аналогічно системі типу «Краспан». Позначення елементів і їх перетинів плоскою рамної системи представлені на рис. 4.2, а.

У таблиці 4.2 наведені значення зусиль і переміщень в кронштейнах і вертикальному профілі. Епюри зусиль аналогічні «Краспан» (рис. 4.3 і 4.4, а).

Таблиця 4.2

Результати розрахунку рамної системи на силові навантаження

Схеми	Елемент	Перерізи	Зусилля			Переміщення			
			N, Н	M, Нм	Q, Н	X, мм (max)	Y, мм	Z, мм	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	
1	Кронштейн № 1	1-1	281,7	-39,45	102,84	-0,005	0,0004	-0,01236	
		2-2	281,7	-27,62	102,84	0	0	0	
	Кронштейн № 2	1-1	619,1	7,15	-278,5	-0,001	0,0009	-0,00556	
		2-2	619,1	-24,88	-278,5	0	0	0	
	Кронштейн № 3	1-1	259,8	46,43	-510,9	-0,005	0,0004	0,00284	
		2-2	259,8	-12,34	-510,9	0	0	0	
	Вертикаль- ний профіль	1-1	274,5	-39,45	281,16	0,5м- 0,176	0,0009	-0,01236	
		2-2	274,5	-56,9	-316,6		0,009	-0,00556	
		3-3	339,3	-49,74	301,92	1,5м- 0,177	0,0009	-0,00556	
		4-4	339,3	-46,43	-295,9		0,009	0,00284	
	2	Кронштейн № 1	1-1	224,4 3	0	-216,5	-0,004	0,0004	-0,0065
			2-2	224,4	-24,9	-216,5	0	0	0

Продовження табл. 4.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9
2	Кронштейн № 2	1-1	747,96	0	-253,5	-0,001	0,0009	-0,0076
		2-2	747,96	-29,16	-253,5	0	0	0
	Кронштейн № 3	1-1	224,43	0	-216,5	-0,004	0,0004	-0,0065
		2-2	224,43	-24,9	-216,5	0	0	0
	Вертикаль - ний профіль	1-1	-44,88	-0,003	223,83	0,4м- 0,3205	0,0009	-0,0076
		2-2	-44,88	-74,77	-373,9		0,009	-0,0076
		3-3	44,88	-74,77	373,98	1,6м- 0,3205	0,0009	-0,0076
		4-4	44,88	0	-224,4		0,009	-0,0076

Фасадна система з кронштейном коробчастого перетину.

Рамна конструкція, яка складається з кронштейнів вильотом 0,115м (крок по вертикалі - 1м) і вертикального профілю. Розглядалися два варіанти плоских рамних систем, аналогічно системі типу «Волна».

Розрахунки проводилися на силові навантаження, аналогічно «Краспан». Позначення елементів і їх перетинів плоскою рамної системи на рис. 4.2. У таблиці 4.3 представлені значення зусиль і переміщень в кронштейнах і вертикальному профілі на дію силового навантаження. епюри зусиль аналогічні «Краспан» (рис. 4.3. і 4.4, а).

Таблиця 4.3

Результати розрахунку рамної системи на силові навантаження

Схеми	Елемент	Перерізи	Зусилля			Переміщення		
			N, Н	M, Нм	Q, Н	X, мм (max)	Y, мм	Z, мм
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Кронштейн № 1	1-1	281,01	-38,99	110,77	-0,007	0,0006	-0,01285
		2-2	281,01	-26,25	110,77	0	0	0

Продовження табл. 4.3

1	Кронштейн № 2	1-1	620,02	7,46	-278,5	-0,001	0,0013	-0,00585	
		2-2	620,02	-24,57	-278,5	0	0	0	
	Кронштейн № 3	1-1	295,79	46,3	-518,9	-0,007	0,0006	0,00275	
		2-2	295,79	-13,37	-518,9	0	0	0	
	Вертикаль- ний профіль	1-1	282,45	-38,99	280,41	0,5м- -0,177	0,0013	-0,01285	
		2-2	282,4	-57,18	-317,4		0,003	0	
		3-3	347,27	-49,72	302,02	1,5м- -0,177	0,0013	0	
		4-4	347,2	-46,3	-295,7		0,001	0,01285	
	2	Кронштейн № 1	1-1	224,44	0	-217,2	-0,005	0,0006	-0,00702
			2-2	224,44	-24,98	-217,2	0	0	0
Кронштейн № 2		1-1	747,93	0	-252,2	-0,001	0,0013	-0,00815	
		2-2	747,93	-29,0	-252,2	0	0	0	
Кронштейн № 3		1-1	224,44	0	-217,2	-0,005	0,0006	-0,00702	
		2-2	224,44	-24,98	-217,2	0	0	0	
Вертикаль - ний профіль		1-1	-45,58	-0,0003	223,85	0,4м- -0,320	0,0013	-0,00132	
		2-2	-45,58	-74,76	-373,9		0,001	-0,00815	
		3-3	45,58	-74,76	373,37	1,6м- -0,320	0,0013	-0,00815	
		4-4	45,58	37,42	-224,4		0,001	-0,00132	

Фасадна система з Т-образними кронштейнами.

Рамна конструкція, що складається з кронштейнів вильотом 0,215м (крок по вертикалі - 1м) і вертикального профілю. Розглядалися два варіанти плоских рамних систем: 1 - жорстке кріплення вертикального профілю до кронштейнів (рис. 4.1,а); 2 - шарнірне кріплення профілю до кронштейнів (рис. 4.1, в).

Розрахунки проводилися на силові навантаження аналогічно системи типу «Краспан». Позначення елементів і їх перетинів плоскою рамної системи

рис. 4.2, а. У таблиці 4.4 - значення зусиль і переміщень в кронштейнах і вертикальному профілі на дію силового навантаження. Епюри зусиль аналогічні «Краспан» (рис. 4.3. і 4.4, а).

Таблиця 4.4

Результати розрахунку рамної системи на силові навантаження

Схеми	Елемент	Перерізи	Зусилля			Переміщення			
			N, Н	M, Нм	Q, Н	X, мм (max)	Y, мм	Z, мм	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	
1	Кронштейн № 1	1-1	267,3	-31,45	52,01	-0,001	1,8317	-0,03267	
		2-2	267,3	-20,6	52,01	0	0	0	
	Кронштейн № 2	1-1	627,77	16,0	-268,8	-0,003	2,1673	-0,02713	
		2-2	627,77	-41,8	-268,8	0	0	0	
	Кронштейн № 3	1-1	301,13	48,65	-469,5	-0,001	1,8317	-0,01975	
		2-2	301,13	-52,37	-469,3	0	0	0	
	Вертикаль- ний профіль	1-1	223,68	-52,37	267,3	0,5м- -0,190	1,8317	-0,03267	
		2-2	223,6	-62,72	-330,5		2,163	-0,03267	
		3-3	298,17	-45,4	296,7	1,5м- -0,183	2,1673	-0,02713	
		4-4	298,1	-48,65	-301,1		1,831	-0,02713	
	2	Кронштейн № 1	1-1	224,5	0	-226,4	-0,001	1,8317	-0,04087
			2-2	224,5	-48,68	-226,4	0	0	0
Кронштейн № 2		1-1	747,35	0	-233,3	-0,003	2,1673	-0,04222	
		2-2	747,35	-50,3	-233,3	0	0	0	
Кронштейн № 3		1-1	224,5	0	-226,4	-0,001	1,8317	-0,4087	
		2-2	224,5	-48,68	-226,4	0	0	0	
Вертикаль - ний профіль		1-1	-54,72	0	223,89	0,4м- -0,322	1,8061	-0,04222	
		2-2	-54,72	-74,7	-373,9		2,167	-0,04222	
		3-3	54,72	-74,7	373,92	1,6м- -0,322	2,1673	-0,04222	
		4-4	54,72	0	-223,8		1,806	-0,04222	

4.2. Алгоритм підбору перерізів елементів фасадних систем.

Метод розрахунку оптимального кроку кронштейнів розглянемо на прикладі фасадної системи типу «Краспан». Заснований на методиці розрахунків міцності.

Збір навантажень. Вертикальне навантаження включає в себе власну вагу облицювальний матеріал (за даними ООО «Краспан»). Вага несучих конструкцій і утеплювача не враховувався.

Підбір максимального оптимального кроку кронштейнів.

При розрахунку крок кронштейнів по осі x приймаємо постійним (в залежності від облицювального матеріалу), а по осі z знаходимо з умови міцності вертикального профілю на розтяг з вигином від двох факторів [20]: $\left(\frac{N_z}{A_n} + \frac{M_b + M_z}{W_n}\right) \cdot \gamma_n \leq R \cdot \gamma_c$; де $N_z^{cp} = N_z/2$ - вертикальне зусилля від розрахункового навантаження, що передається з ексцентриситетом щодо стіни, $N_z = (P_z + P_{zw}) \cdot 2 \cdot l_z$, (Н); M_b - момент в розрахунковому перерізі від вертикальної розрахункового навантаження $M_b = K_{cnp} \cdot p_z \cdot l_z \cdot e_y$; M_Γ - момент в розрахунковому перерізі від горизонтальної розрахункового навантаження: $M_\Gamma = K_{cnp} \cdot p_{ye} \cdot l_z^2$; p_{ye} - горизонтальне навантаження від вітрового тиску на 1м профіля: $p_{ye} = q_{ye} \cdot l_x$; q_{ye} - змінюється в залежності від висоти. P_z - вертикально розрахункове навантаження від ваги плит на 1м довжини профілю: $p_z = q_z \cdot l_z$; P_{zw} - вертикальне навантаження від власної ваги вертикального профілю: $P_{zw} = 14$ (Н/м).

Перевірочні розрахунки підбраного кроку кронштейнів:

1. Перевірка міцності кронштейна на розтяг і вигин: $\left(\frac{N_z}{A} + \frac{M_b + M_z}{W_x}\right) \cdot \gamma_n \leq R \cdot \gamma_c$;
2. Перевірка профілю на зрушення в горизонтальній площині: $\tau_\gamma = \frac{Q_y \cdot S_x}{J_x \cdot t} \cdot \gamma_n \leq R_s \cdot \gamma_c$;
3. Перевірка міцності кріплення профілю до несучої кронштейну: $\sum \tau = \sqrt{\tau_x^2 + \tau_y^2} \cdot \gamma_n < R_s \cdot \gamma_b$;

4. Перевірка прогину вертикального профілю: $\frac{f_y}{l_z} < \left[\frac{f}{l} \right];$
5. Перевірка міцності кронштейна на розтяг і вигин: $\left(\frac{N_z}{A} + \frac{M_b + M_z}{W_x} \right) \cdot \gamma_n \leq R \cdot \gamma_c$
6. Перевірка міцності кронштейна на зріз: $\tau_\gamma = \frac{Q_y \cdot S_x}{J_x \cdot t} \cdot \gamma_n \leq R_s \cdot \gamma_c$
7. Перевірка міцності кріплення кронштейна до стіни: $\frac{Q_{z,2} \cdot \gamma_n}{A_n} \leq R_s \cdot \gamma_b.$

4.3. Вибір розрахункової схеми

Несучий просторовий каркас системи вентилязованих фасадів утворений з наступних елементів: вертикальні (і, або горизонтальні) профілі; несучі кронштейни, що виконують функції зав'язків профілем з основною стіною; облицювальні плити, що навішуються на профілі (функції - декоративно-огороджувальні, передача вітрового навантаження на профілі, роль просторових зав'язків між профілями); вузли сполучення кронштейна зі стіною і профілями, а також облицювальних плит з профілями. Всі ці елементи працюють в єдиній системі і їх напружено-деформований стан взаємозалежно.

Для фасадних систем з регулярним кроком вертикальних профілів без великої втрати точності в оцінці НДС просторову континуально-стрижневу систему можна представити як сукупність плоских однопрогонових багатоповерхових рам (рис. 4.5.), а при обліку конструктивних особливостей вертикальних профілів (розрізаних на відповідні елементи і з'єднаних гнучкими зв'язками) - однопрогонових двоповерхових рам (рис. 4.9.). Рішення для таких рамних систем наводяться в довідниках проектувальника або можуть бути отримані рішенням серії завдань.

Оцінка граничних станів для названих елементів і вузлів при єдиної розрахункової схемою з фіксованими характеристиками вузлових сполучень (наприклад, жорстке сполучення кронштейна з вертикальним профілем, яке в початковому (початковому) стані можливо конструктивною і досягне, але в

подальшому в процесі експлуатації буде порушено) може призводити до помилкових результатів.

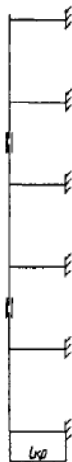


Рис. 4.5. Просторова континуально-стрижнева система

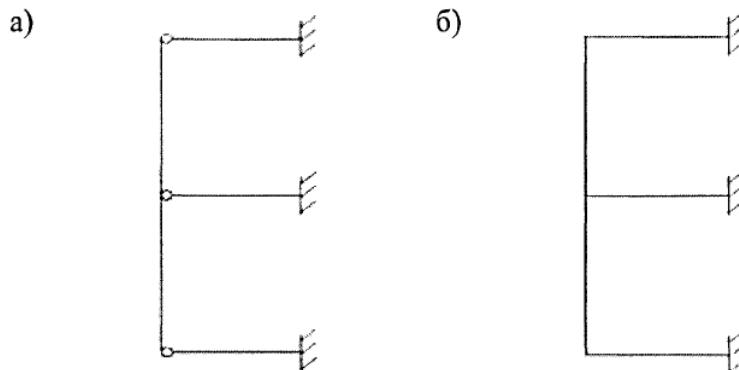


Рис. 4.6. Розрахункова схема-рамна система: а - шарнірне сполучення кронштейнів з вертикальним профілем; б - те ж, жорстке

З практичної точки зору більш доцільною буде методика вибору різних спрощених розрахункових схем, орієнтованих на оцінку НДС конкретного елемента, але при цьому розрахункова схема повинна відповідати найбільш несприятливого стану. Останнє визначає деякі відмінні риси наших пропозицій від рекомендацій, викладених і реалізованих в прикладах [21].

У практиці в місці сполучення кронштейна з вертикальним профілем жорстке сполучення не може бути реалізовано (деградація в процесі експлуатації).

При підборі перетинів всіх елементів, в тому числі і вузлів, ми повинні виходити з найбільш не вигідних результатів на всіх стадіях, тому пропонуємо наступні розрахункові схеми (рис. 4.7.).

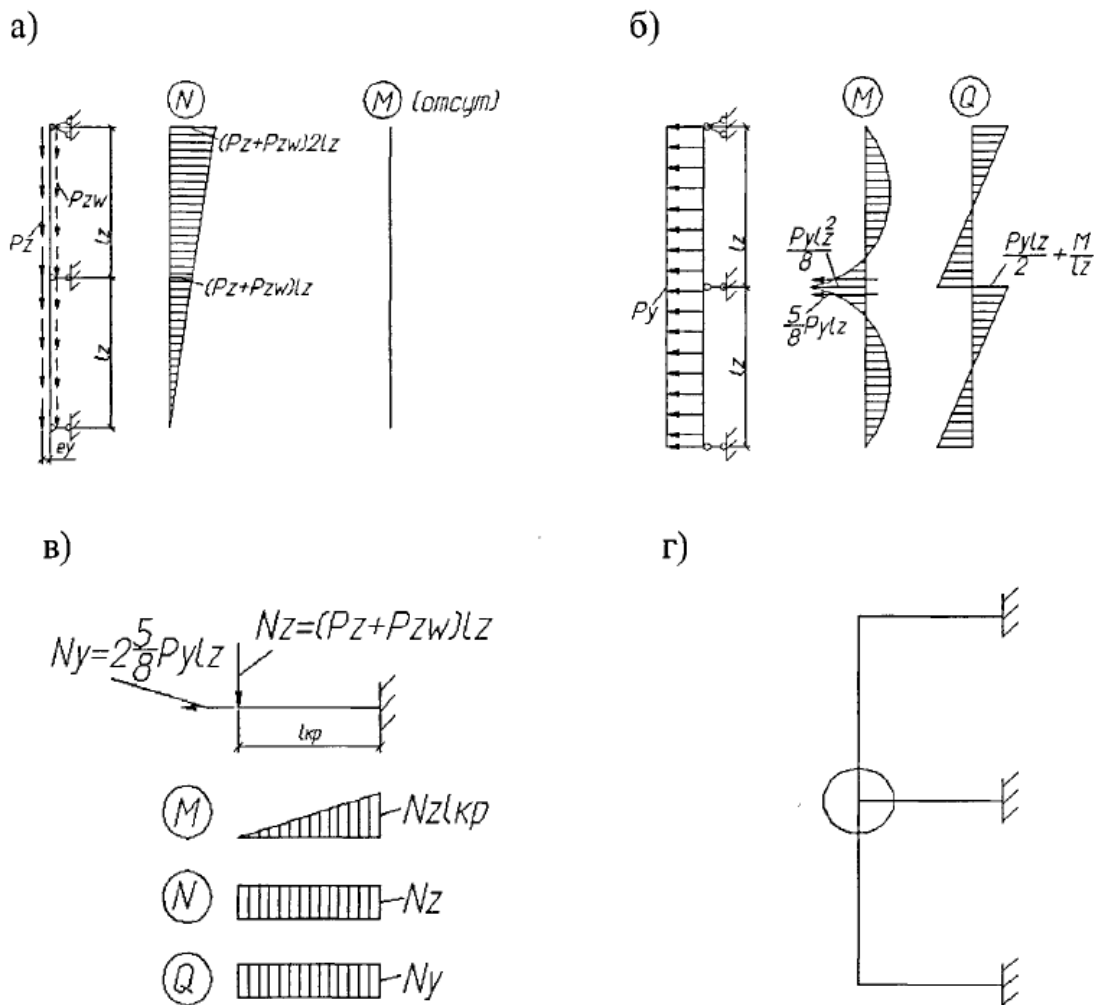


Рис. 4.7. Розрахункові схеми: а - б - для розрахунку вертикального профілю: на вертикальне навантаження (а); на горизонтальне навантаження (б); в - для розрахунку кронштейна; г - для розрахунку вузла кріплення кронштейна до вертикальному профілю

Висновки по розділу 4

Результати теоретичних досліджень показують, що характер деформування і максимальні значення прогинів кронштейнів істотно залежать від їх конструктивних рішень, що обумовлює в кожному конкретному випадку виконувати перевірки несущих, їх елементів фасадної системи з вентиляваним повітряним зазором, як по першій, так і по другій групі граничних станів.

У розглянутих системах кронштейнів на відміну від самостійного елемента працює на розтяг з вигином.

Максимальна сила розриву в кронштейні проявляється при жорсткому заземленні.

Вертикальний профіль працює на розтяг з вигином в більшій ступеня при жорсткому заземленні, а на зріз в горизонтальній площині – при шарнірному кріпленні до кронштейнів

Вибір розрахункової схеми кронштейна як самостійного елемента відіграє істотну роль у формуванні та оцінці його НДС. У найпростіших варіантах можна використовувати стрижневу модель з урахуванням зсуву, в більш складних варіантах - континуальну пластинчасту модель з орієнтацією її реалізації.

Фасадна система з вентиляваним повітряним зазором повинна розглядатися як континуальної або плоска рамна система. Для інженерних розрахунків може розглядатися кожен елемент окремо з використанням розрахункових схем відповідних різних стадій функціонування системи, але призводять до екстремальних розрахунковим зусиллям за елементами.

ВИСНОВОК

У дипломній роботі на основі теоретичних досліджень деформування фасадної системи з вентиляльованим повітряним зазором і її окремих елементів:

доведено, що використовуються розрахункові моделі зокрема щодо визначення переміщень не досконалі;

фасадна система з повітряним зазором повинна розглядатися як континуальної або плоска рамна система з можливим варіюванням розрахунковими схемами, відповідними різних стадіях функціонування системи;

результати досліджень показали, що для розрахункової схеми як жорстко защемленого консольного стержня результати розрахунку з урахуванням зсуву добре узгоджуються з чисельними рішеннями МКЕ по континуальній схемі.

для інженерних розрахунків допустимо розглядати кожен елемент окремо з використанням декількох розрахункових схем, що призводять до екстремальних розрахунковим зусиллям за елементами;

вибір розрахункової схеми кронштейна як самостійний елемент відіграє істотну роль у формуванні та оцінці його НДС. У найпростіших випадках можна використовувати стрижневу модель з урахуванням зсуву, в більш складних варіантах - континуальну пластинчасту модель з орієнтацією її реалізації;

на основі чисельного моделювання декількох типів несучих кронштейнів виявлені специфічні особливості їх деформування, в тому числі і ті, які призводять до настання другого граничного стану (фактично прогин перевищує гранично допустимий) раніше першого. Дана обставина в кожному конкретному випадку виникає нагальна потреба виконання перевірок несучих елементів фасадної системи, як по першій, так і по другій групі граничних станів;

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Еноткіна, С. Експлуатація багат шарових огорожувальних конструкцій / С. Еноткіна // Молодий вчений. - 2011. - № 6 (29). - С. 49-52.
2. Державна програма енергоефективності України на 2010-2015 р.р.
3. ДБН В.2.6-31: 2006 «Конструкції будівель і споруд. Теплова ізоляція будівель».
4. Алабовський А.Н., недужих І.А. Технічна термодинаміка і теплопередача. К.: Вища школа, 1990. 255 с.
5. Проблемы вентиляции в домах, построенных по старым «тепловым» СНиПам [Текст] // Строитель-Енисей. -2006. -№ 5. - С. 4.
6. Рахматуллин, А.А. Обследование зданий с вентилируемыми фасадными системами. Определение основных показателей теплоизоляционных материалов в эксплуатируемых зданиях [Текст] /А.А. Рахматуллин, Т.А. Корнилов, Н.Д. Данилов, А.Е. Местников, В.Н. Иванов // Наука - строительному комплексу Севера: матер, регион, науч.-прак. конф. / Якуте, гос. ун-т им. М.К. Амосова. - Якутск, 2006. - С. 195-199.
7. Петров, А.В. «Тяжелые» вентилируемые фасады - монтажные системы [Текст] / А.В. Петров // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. - 2004. - №4. - С.52-53
8. Заключение по несущей способности и жесткости облицовочных панелей «КраспанМеталлСтоун-К» [Текст] // Москомархитектура.-М., 2004. - 4 с.
9. Мехнецов, И.А. Критерии выбора утеплителей для навесных вентилируемых фасадов [Текст] / И.А. Мехнецов // Строительные материалы. - 2006. -С. 56-59.
10. Тюрин, С. Основные проблемы, долговечности вентилируемых фасадов [Текст] / С. Тюрин // Строитель - Енисей. - 2006. - № 22. - С.5
11. Вентильований фасад: матеріали, рішення, ціна. Режим доступа: <https://fasad-montazh.ru/preimushhestva-i-nedostatki-ventiliruemogo-fasada/#advantages>

12. Граник, Ю.Г. Конструкции наружных ограждений и инженерные системы в новых типах энергоэффективных жилых зданий [Текст] / Ю.Г. Граник, А.А. Магай, В.С. Беляев // Энергосбережение. - 2003. - № 3. с.

13. МГСН 2.01-99 Энергосбережение в зданиях. Нормативы по теплозащите и тепловодоэлектроснабжению. - М.: Изд-во стандартов, 1999.

14. Рекомендации по проектированию и применению для строительства и реконструкции зданий в г. Москве фасадной системы с вентилируемым воздушным зазором «Краспан ВСт о(н)» // Правительство Москвы. Москомархитектура. - М., 2003. - 72 с.

15. Фасадные теплоизоляционные системы с воздушным зазором. Рекомендации по составу и содержанию документов и материалов, представляемых для технической оценки пригодности продукции. - М.: Госстрой России. - 2004.

16. Заключение по несущей способности облицовочных панелей «КраспанМеталлСтоун» [Текст] // Москомархитектура. - М., 2003. - 5 с.

17. Рекомендации по проектированию и применению для строительства и реконструкции зданий в г. Москве фасадной системы с вентилируемым воздушным зазором «Интерал» («Техноком») // Правительство Москвы. Москомархитектура. - М., 2003. - 45 с.

18. Енджиевский, Л.В. Анализ алгоритмов определения прогибов стальных составных двутавровых балок с учетом сдвига [Текст] / Л.В. Енджиевский, А.А. Юрченко // Проблемы архитектуры и строительства: сб. матер. XXII регион. науч.-техн. конф. - Красноярск: КрасГАСА, 2004.

19. <https://fasadinfo.ua/articles/fasad/1017>

20. Чуркин, Д.Н. Метод оценки эффективности теплозащитных характеристик конструкций зданий [Текст] / Д.Н. Чуркин // Автореф. дис.: канд. техн. наук.-М., 2006.

21. МГСН 2.01-99 Энергосбережение в зданиях. Нормативы по теплозащите и тепловодоэлектроснабжению. - М.: Изд-во стандартов, 1999.

22. Александров, А.В. Сопротивление материалов [Текст] /А.В. Александров, В.Д. Потапов, Б.П. Державин. -М.: Высш. шк., 2004. - 560 с.
23. Береговой, А.М. Здания с энергосберегающими конструкциями [Текст] / А.М. Береговой // Автореф. дис.: канд. техн. наук. - Пенза, 2005.
24. Дроздов, П.Ф. Конструирование и расчет несущих систем многоэтажных зданий и их элементов [Текст] / П.Ф. Дроздов: Учеб. пособие для вузов. - 2-е изд. -М.: Стройиздат, 1977. - 223 с.
25. Круглый стол. Вентилируемым фасадам нужны нормативы [Текст] // Строитель-Енисей. - 2006. № 5 (189).
26. Ливчак, В.И. Экспертиза энергоэффективности строительства зданий [Текст] / В.И. Ливчак // АВОК. - 2003. - №7.
27. Феодосьев, В.И. Сопротивление материалов [Текст] / В.И. Феодосьев. -М.: Наука, 1974.-560 с.
28. Цыкановский, Е.Ю. Особенности вентилируемых фасадов системы «Диат» [Текст] /Е.Ю. Цыкановский, А.А. Панкрушин // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. - 2004, №4. - С. 46-49
29. ДБН В.1.1-7-2002 Пожежна безпека об'єктів будівництва.
30. ДБН В.2.6-33: 2008 Конструкції будинків і споруд. Конструкції зовнішніх стін з фасадною теплоізоляцією. Вимоги до проектування, улаштування та експлуатації.
31. ДСТУ Б В.2.7-19-95 (ГОСТ 30244-94) Будівельні матеріали. Методи випробувань на горючість.
32. Технічний регламент будівельних виробів, будівель і споруд (затверджений постановою Кабінету Міністрів України № 1764 від 20.12.2006).
33. ДБН В.1.2-7: 2008 Основні вимоги для будівель і споруд. Пожежна безпека.
34. ДСТУ Б В.1.1-4-98 Захист від пожежі. Будівельні конструкції. методи випробувань на вогнестійкість. Загальні вимоги.

35. ДСТУ Б В.1.1-21: 2009 Захист від пожежі. Конструкції зовнішніх стін з фасадною теплоізоляцією. Метод великомасштабних вогневих випробувань (ISO 13785-2: 2002, MOD).

36. ДСТУ Б В.1.1-22: 2009 Захист від пожежі. Конструкції зовнішніх стін з фасадною теплоізоляцією. Метод середньомасштабних вогневих випробувань (ISO 13785-1: 2002, MOD).

37. Баталін Б.С., Євсєєв Л.Д. експлуатаційні властивості пінополістиролу викликають побоювання / Будівельні матеріали.- 2009 №10.- С. 55-58.

38 ru.wikipedia.org

39 Конструкції будинків і споруд. Теплова ізоляція будівель: ДБН В.2.6-31: 2006. -К .: Мінбуд України, 2006. - 64 с. - (Державні будівельні норми України).

40 Будівельна кліматологія: ДСТУ-Н Б В.1.1-27: 2010 -К .: Мінрегіонбуд України, 2011. - 123 с. - (Державні будівельні норми України).

41 Фокін К.Ф. Будівельна теплотехніка огорожувальних частин зданий. М .: Стройиздат, 1973. 287 с.)

42 ДБН В.2.6-33: 2008 Конструкція будинків і споруд. Конструкції зовнішніх стін з

фасадною теплоізоляцією. Вимоги до проектування, улаштування та експлуатації.

43 2.Технічний регламент будівельних виробів, будівель і споруд (затверджений постановив Кабінету Міністрів України № тисяча сімсот шістдесят чотири від 20.12.2006).

44 Вентильований фасад: матеріали, рішення, ціна. Режим доступа: <http://www.pruszynski.com.ua/ventiliruemiy-fasad/>

45 Види вентильованих фасадів. Режим доступа: <http://www.vekm.ru/ventiliruemye-fasady/>

46 Богословський В.Н. Будівельна теплофізика. М .: Вища. школа ,
1982.415с.

ДОДАТОК 1

ХАРАКТЕРНІ ДЕФЕКТИ ВЕНТИЛЬОВАНИХ ФАСАДНИХ СИСТЕМ



Рис. 1. Нерівний вертикальний шов (Фасадна система з облицюванням керамогранітними плитами)

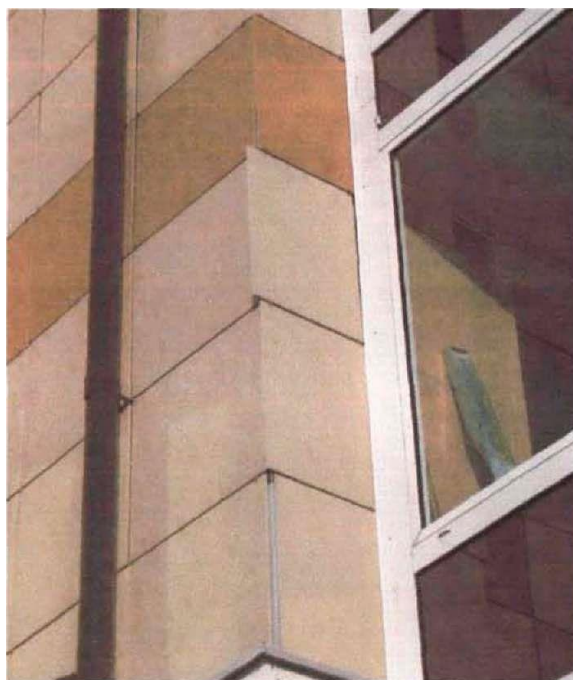


Рис. 2. Кутовий нерівний шов. облицювальна керамогранитная плита вийшла з кріплення

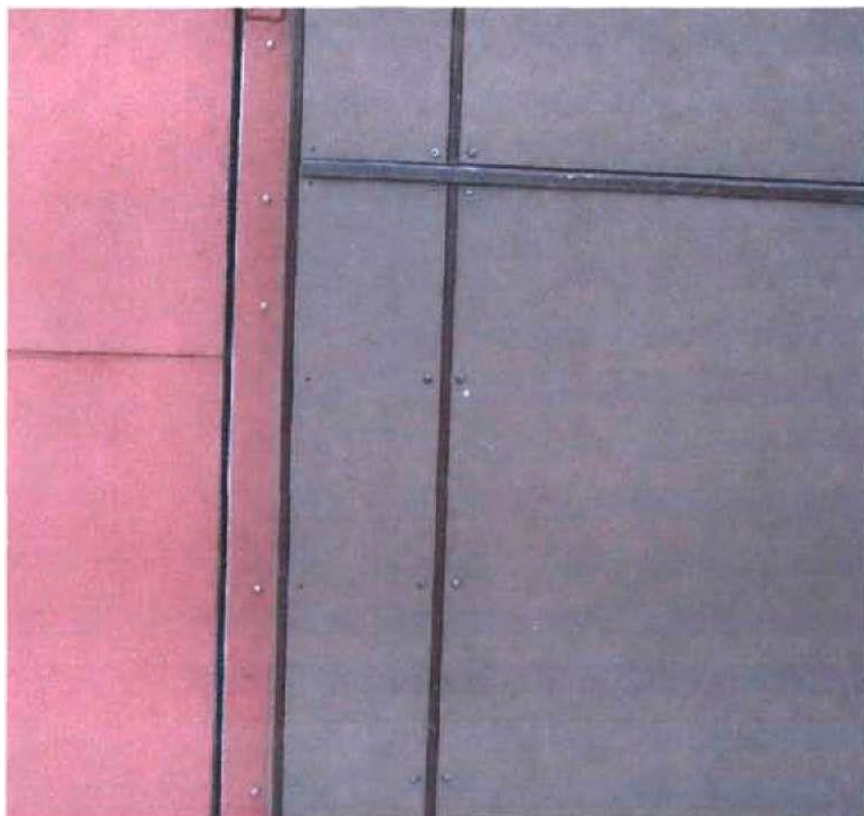


Рис. 3. Недостатньо самонарізних гвинтів для кріплення облицювальних плит (Фасадна система з азбестоцементними облицювальними плитами)



Рис. 4. Випадання самонарізних гвинтів

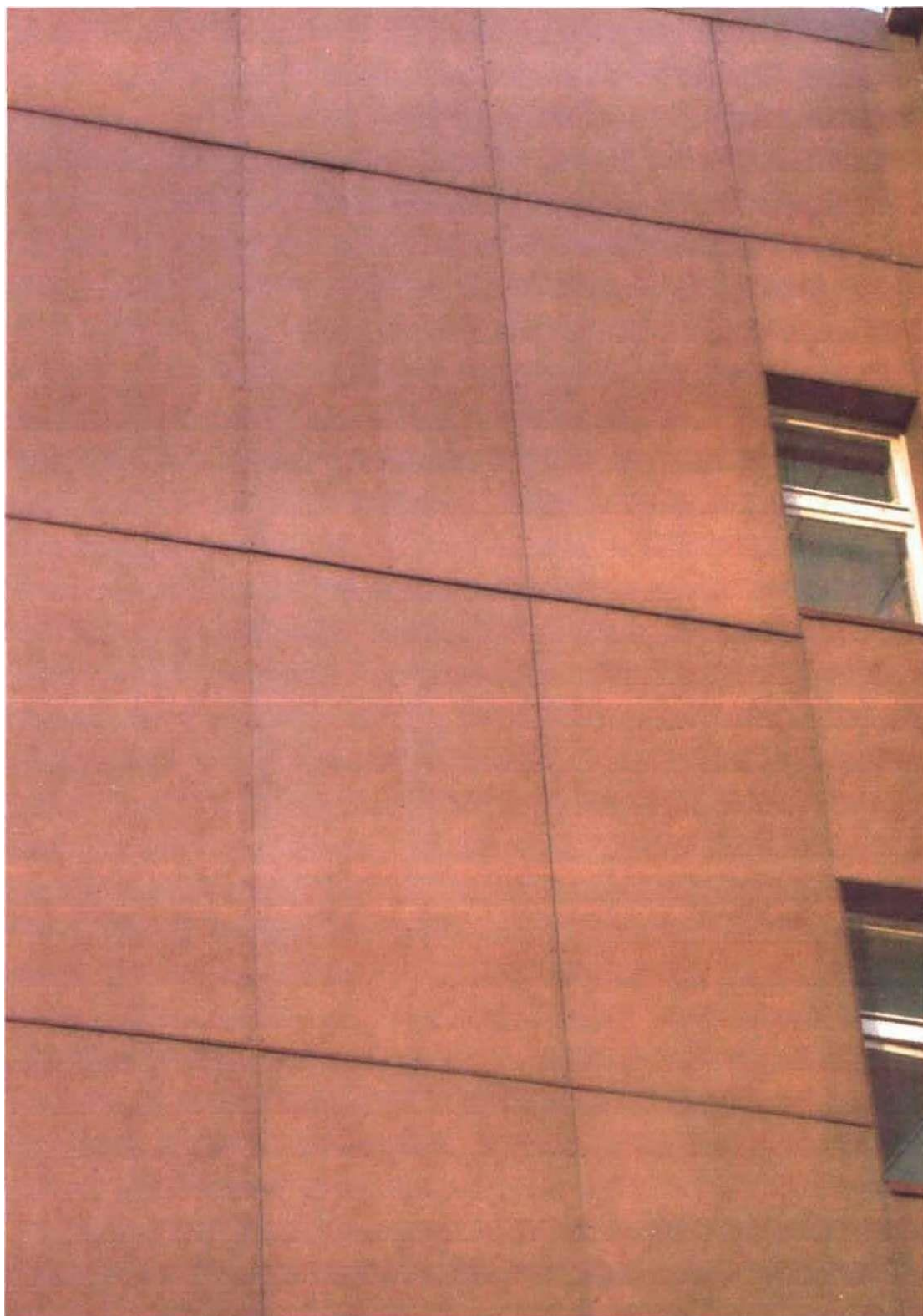


Рис. 5. Деформації облицовальних плит (Фасадна система з облицовальними азбестоцементними плитами)



Рис. 6. Розкритий ділянку навісного вентиляваного фасаду. Деформації несучих конструкцій (вертикального профілю)



Рис. 7. Вид зсередини розкритого ділянки. Деформації несучих конструкцій (кронштейна)



Рис. 8. Горизонтальні деформації облицювальних плит



Рис. 9. Різні декоративні вертикальні планки (якість монтажу)



Рис. 10. Випадання самонарізних гвинтів



Рис. 11. Скол облицювальної плити в місці кріплення її самонарізними гвинтами до несучого каркасу

ДОДАТОК 2

ПРИКЛАДИ БУДИНКІВ З ВЕНТИЛЬОВАНИМИ ФАСАДНИМИ СИСТЕМАМИ В УКРАЇНІ



Рис. 1. ЖК Фаворит, г. Харьков, вул. Сумская, 130. 2017 рік



Рис.2. ЖК Панорама, м Дніпро, вул.Сімферопольская 11. 2014-17 року



Рис. 3. ЖК Парус, м. Київ, Оболонская 1. 2015 рік (Перші два поверхи житлового комплексу облицьовані вентиляльованим фасадом)



Рис. 4. Завод Фармак, г. Киев, ул. Кирилівська 63, 2015 рік



Рис. 5. ЖК Салют, м Дніпро, бульвар Слави 2а 2017 рік



Рис. 6. Супермаркет РОСТ Олексіївський, м.Харків, пр.Перемоги 62 2017
рік

ДОДАТОК 3

ПРИКЛАДИ КРІПЛЕННЯ ВЕНТИЛЬОВАНОГО ФАСАДА ДА СТІНИ

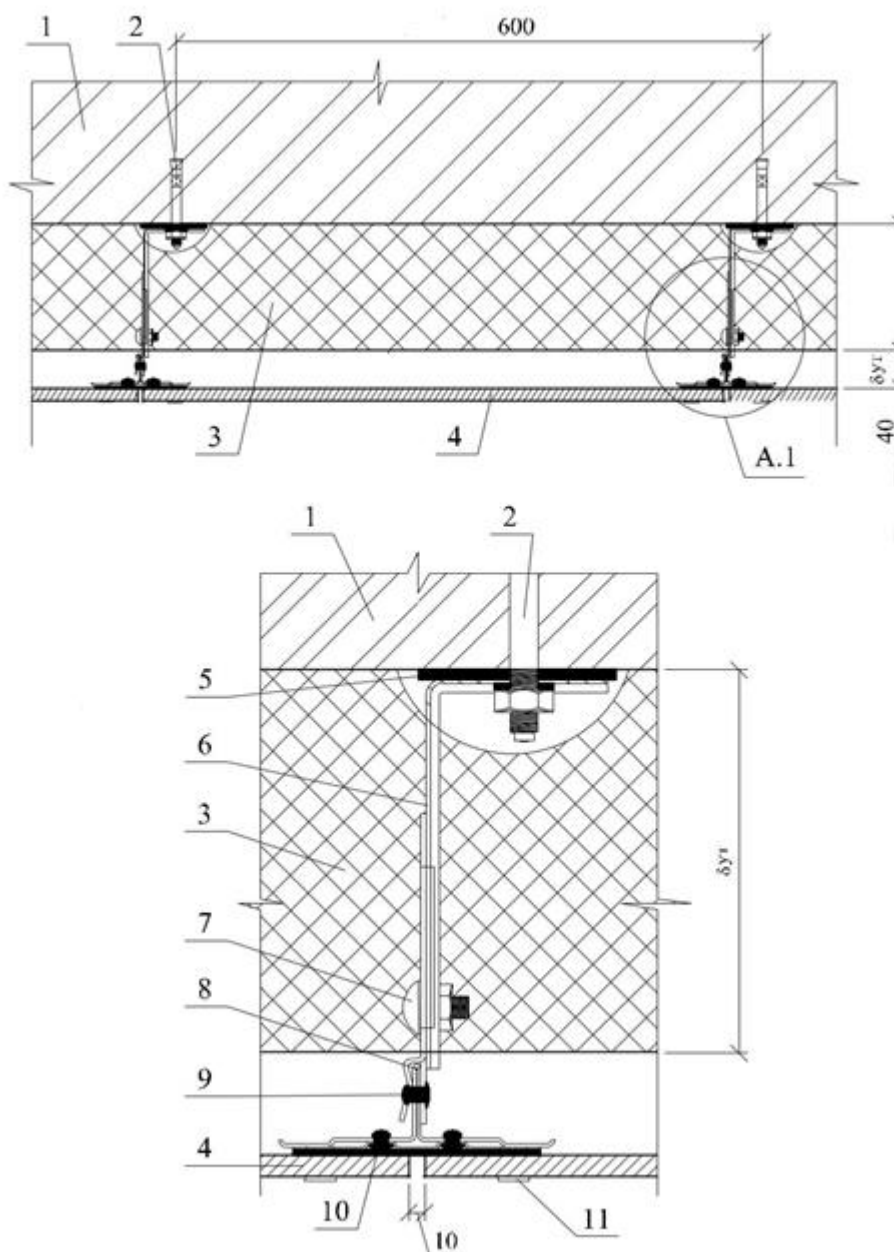


Рис. 1. Горизонтальний розріз стіни: 1 - зовнішня стіна; 2 - анкерний дюбель; 3 - теплоізоляція з мінераловатних плит; 4-плитка керамогранитная; 5 - поронітова прокладка; 6 - кронштейн рядовий; 7 - регулювальний гвинт; 8 - напрямна з Т-подібного профілю; 9 - заклепка витяжна нержавіюча 3,2 - 4,8; 10 - гумова прокладка; 11 - кляммер рядовий.

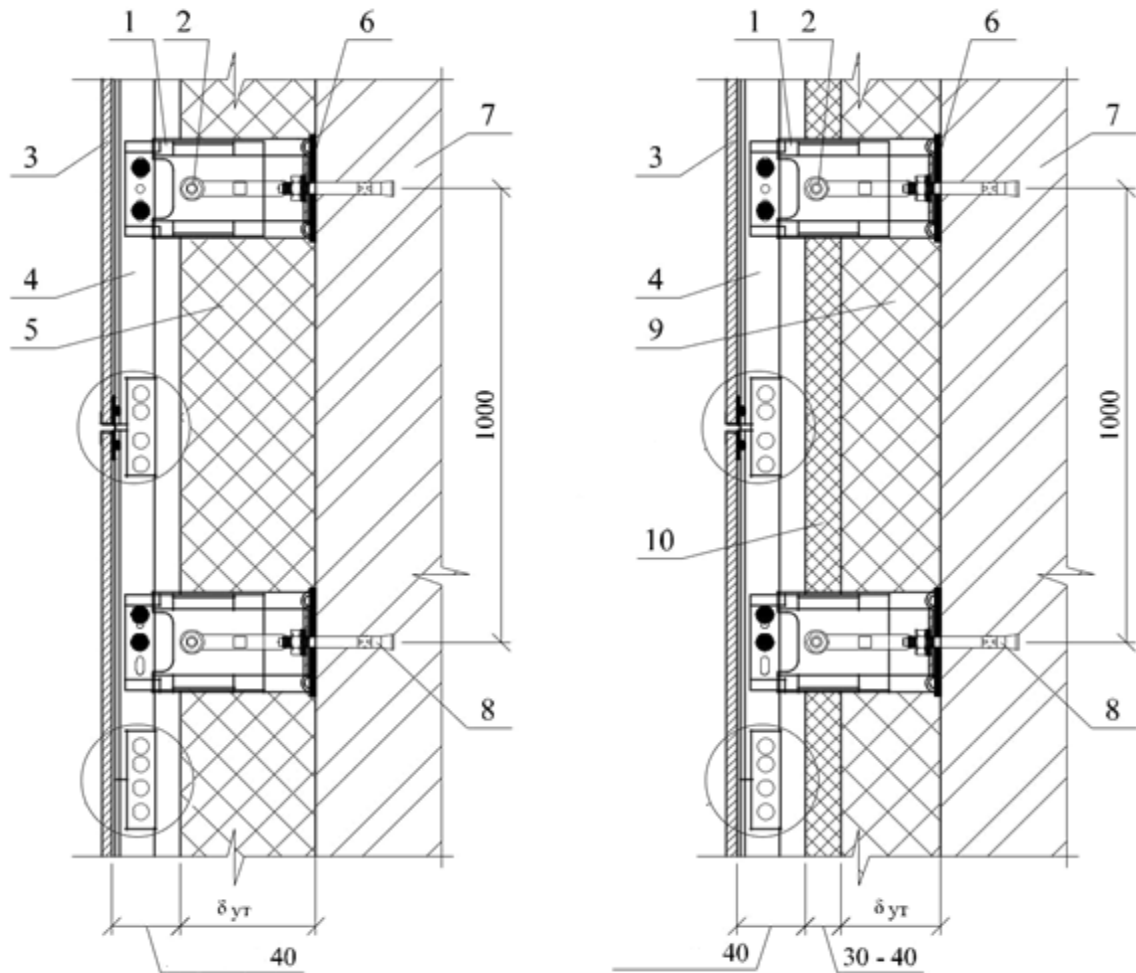


Рис. 2. Вертикальний розріз стіни: 1 - кронштейн рядовий; 2 - регулювальний гвинт; 3 - плитка керамогранитная; 4 - направляюча з Т-подібного (Г-образного) профілю; 5 - теплоізоляція з мінераловатних; 6 - поронітова прокладка; 7 - зовнішня стіна; 8 - анкерний дюбель; 9 - внутрішній шар теплоізоляції з мінераловатних плит; 10 - зовнішній шар теплоізоляції з мінераловатних плит.

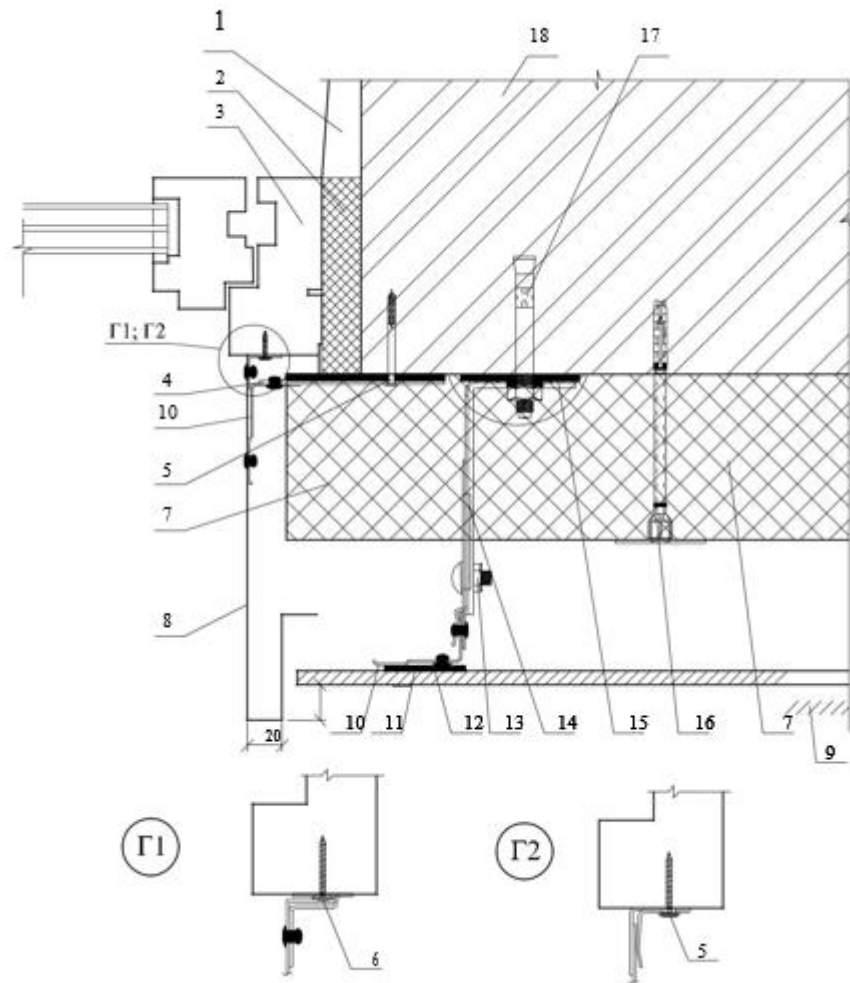


Рис. 3. Примикання до вікна (бічне): 1 - внутрішня штукатурка; 2 - будівельна піна; 3 - віконний блок; 4 - вставка звичайна 130x100x2 мм; 5 - дюбель діаметром 6 або 8 мм; 6 - самонарізаючий гвинт; 7 - теплоізоляція з мінераловатних плит; 8 - сталевий елемент рами обрамлення віконної коробки товщиною 0,55 мм; 9 - плитка керамогранітна; 10 - напрямна з Г-подібного профілю; 11 - кляммер; 12 - гумова прокладка; 13 - регулювальний гвинт; 14 - кронштейн рядовий; 15 - поронітова прокладка; 16 - тарільчастий дюбель; 17 - анкерний дюбель; 18 - зовнішня стіна.

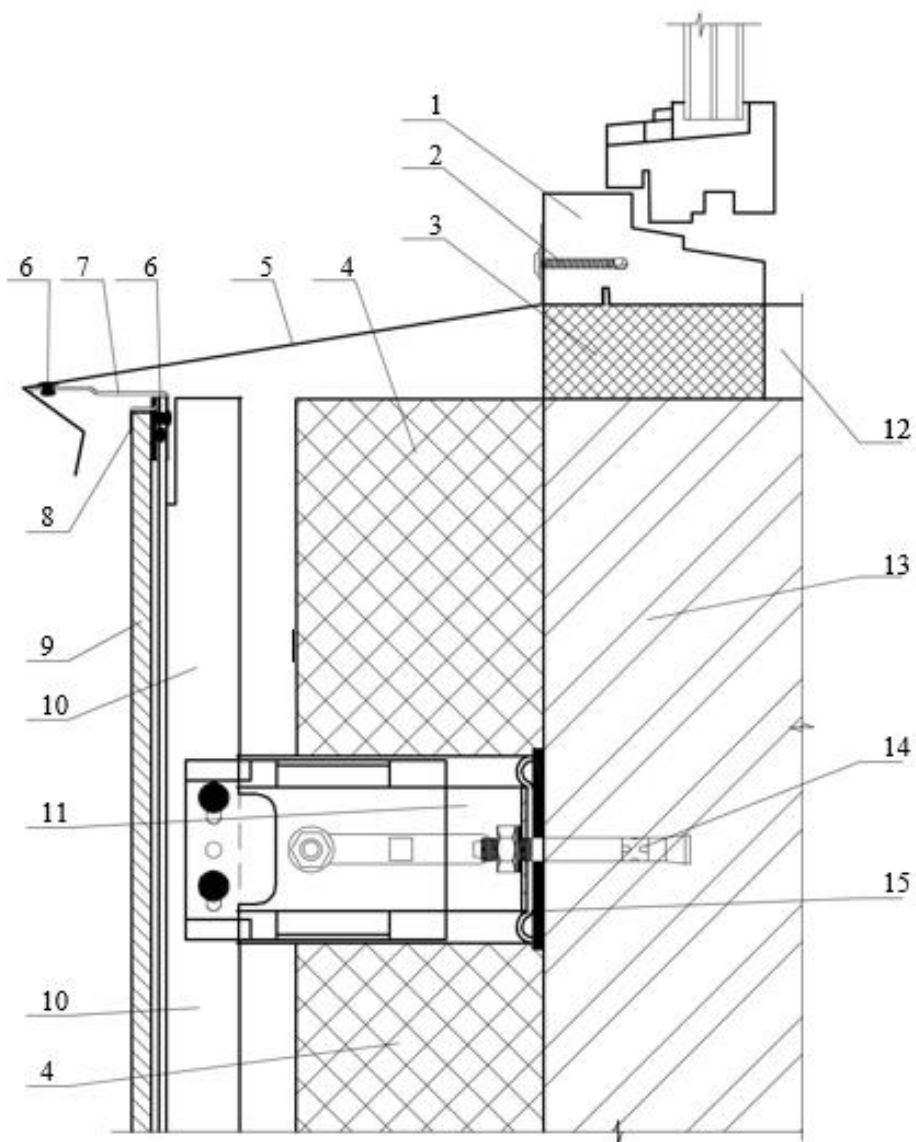


Рис.4. Примикання до вікна (низ): 1 - віконний блок; 2 - самонарізаючий гвинт; 3 - будівельна піна; 4 - теплоізоляція з мінераловатних плит; 5 - слив; 6 - заклепка витяжна з нержавіючої сталі 3,8 - 4,2; 7 - напрямна з Г-подібного профілю; 8 - кляммер; 9 - плитка керамогранитная; 10 - напрямна з Т-образного (Г-образного) профілю; 11 - кронштейн рядовий; 12 - підвіконня за проектом; 13 - зовнішня стіна; 14 - анкерний дюбель; 15 - поронітова прокладка.

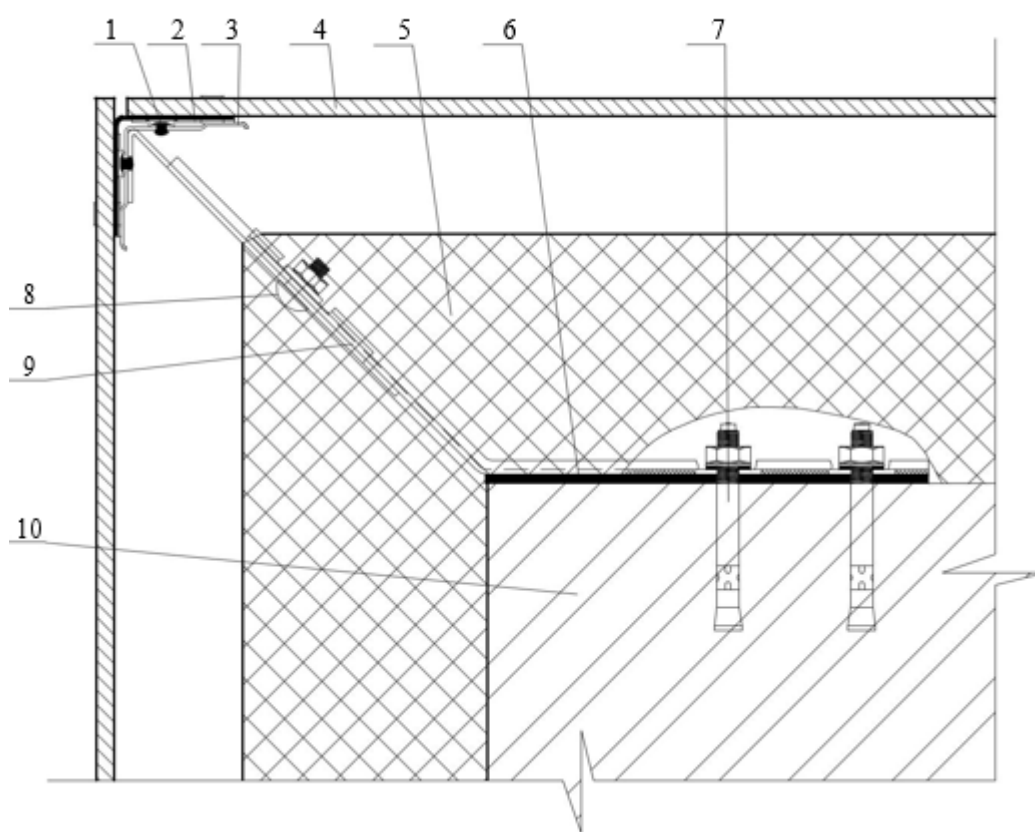


Рис. 5. Зовнішній кут: 1 - заклепка витяжна з нержавіючої сталі 3,8 - 4,2; 2 - гумова прокладка; 3 - напрямна з Л-образного профілю; 4 - плитка керамогранитная; 5 - теплоізоляція з мінераловатних плит; 6 - поронітова прокладка; 7 - анкерний дюбель; 8 - регулювальний гвинт; 9 - кронштейн кутовий; 10 - зовнішня стіна.