НАУКОВО-ДОСЛІДНИЙ ІНСТИТУТ БУДІВЕЛЬНОГО ВИРОБНИЦТВА

НОВІ ТЕХНОЛОГІЇ В БУДІВНИЦТВІ

НДІБВ

№ 41/2022

науково-технічний журнал

Аналіз світового досвіду та сучасних технічних рішень будівництва швидкоспоруджуваних житлових будинків с. 10

Інноваційні методи відновлення та відбудови будівель і споруд у післявоєнні часи роботом-3D-принтером с. 21

Властивості будівельних текстильно-армованих конструкцій на основі активованого дрібнозернистого бетону с. 66

Свідоцтво про державну реєстрацію друкованого засобу масової інформації
Серія КВ № 21943118 43ПР від 31.03.2016 р.
Внесено до Переліку наукових фахових видань України (категорія «Б») у галузі технічних наук зі спеціальностей 191 «Архітектура та містобудування», 192 «Будівництво та цивільна інженерія» на підставі Наказу МОН України від 17.03.2020 р. № 409 та 051 «Економіка», 073 «Менеджмент» на підставі Наказу МОН України від 02.07.2020 р. № 886.

Науково-технічний журнал заснований у січні 2001 року.

Співзасновниками є: Академія будівництва України (АБУ), ДП «Науково-дослідний інститут будівельного виробництва» (ДП «НДІБВ») та Київський національний університет будівництва і архітектури (КНУБА).

Видається НДІБВ 2 рази на рік.

Для співробітників науково-дослідних та проектних інститутів, спеціалістів будівельних організацій, викладачів і студентів вищих навчальних закладів

Редакційна колегія:

Григоровський П. Є., головний редактор, д.т.н., с.н.с.;
Молодід О. С., заступник головного редактора, к.т.н., доцент;
Барабаш М. С., д.т.н., с.н.с.;
Бєлєнкова О. Ю., к.е.н., доцент;
Гончаренко Д. Ф., д.т.н., проф.;
Данченко Ю. М., к.т.н., проф.;
Менейлюк О. І., д.т.н., проф.;
Радкевич А. В., д.т.н., проф.;
Рижакова Г. М., д.е.н., проф.;
Стеценко С. П., д.е.н., доц.;
Тугай О. А., д.т.н., проф.;
Хижняк В. О., к.е.н., доцент.

Зарубіжні члени редколегії:

Дзвігол Хенрік, проф. Сілезська політехніка. Глівіце, Польща;
Котовіч Януш, проф. Сілезська політехніка. Глівіце, Польща;
Кузьор Олександра, проф. Сілезська політехніка. Глівіце, Польща.

Журнал включено до міжнародної наукометричної бази Index Copernicus International (Республіка Польща).

Статті у виданні перевірені на наявність плагіату
за допомогою програмного забезпечення StrikePlagiarism.com від польської компанії Plagiat.pl.

www.ntinbuilding.ndibv.org.ua; editor@ntinbuilding.ndibv.org.ua; тел. +38 (066) 642 61 92
Літературний редактор Н.В. Славогородська
Технічний редактор І.В. Азанова
Художнє оформлення А.С. Юдашкіна
Комп'ютерна верстка та графіка Н.С. Кузнєцова

Мови видання: українська і російська.
Затверджено до друку Вченою радою інституту, протокол № 2 від 16.11.2022 р.
Редакція не несе відповідальність за достовірність наведеної в статтях інформації
Адреса редколегії журналу:
03110, Київ, МСП, пр. В. Лобановського, 51

© НДІБВ, 2022

УДК 624.138
DOI https://doi.org/10.32782/2664-0406.2022.41.1

Басараб В.А.
к.т.н., доцент кафедри будівельних технологій,
Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ

ТЕХНОЛОГІЯ УЩІЛЬНЕННЯ ҐРУНТУ В СКЛАДНИХ УМОВАХ

Анотація. *Стаття присвячена технології ущільнення ґрунтів механічним способом в складних умовах будівельного майданчика. Ущільнення ґрунту відбувається за рахунок певних силових навантажень на ґрунт. Підкреслено актуальність процесу ущільнення ґрунту, що в кінцевому результаті, визначає якість будівельної продукції в цілому. Наведено основні фізико-механічні властивості ґрунту а також технологічні параметри процесу ущільнення. Акцентовано увагу на тому, що вибір технології ущільнення ґрунту в складних умовах базується на розумінні того факту, що необхідно розглядати процес ущільнення як комплексну модель взаємодії ущільнюючої машини з ґрунтом основи. Зазначено, що вибір режиму статичної або динамічної дії на ґрунт основи залежить від правильного вибору математичної моделі системи взаємодії машина-ґрунт. Проведено огляд існуючих методів ущільнення ґрунту та обґрунтовано доцільність дослідження методів ущільнення ґрунту в складних умовах будівництва з метою підбору оптимального комплекту ущільнюючого обладнання. Проведено аналіз існуючих технологій ущільнення ґрунту з ціллю визначення оптимальних технологічних параметрів процесу ущільнення ґрунтів в складних умовах будівництва. Наведено технологічну схему виконання процесу ущільнення ґрунту в складних умовах. Описано технологію виконання робіт з урахуванням властивостей ґрунту, методу ущільнення, параметрів ущільнюючого обладнання а також умов виконання робіт. Запропоновано основні технологічні параметри процесу ущільнення ґрунту – товщина шару ґрунту, що ущільнюється, кількість проходок ущільнюючої машини а також швидкість її руху. Запропоновано теоретико-експериментальний метод знаходження оптимальних параметрів взаємодії ущільнюючої машини з ґрунтом основи з метою встановлення оптимальних меж варійованих параметрів технологічного процесу ущільнення ґрунту в складних умовах будівництва. Проведено аналіз конструктивних та технологічних параметрів ущільнюючих машин з метою ефективного використання в умовах будівельного виробництва. Наведено основні рекомендації по вибору методу ущільнення та комплекту ущільнюючого устаткування в залежності від виду ґрунту та умов виконання робіт.*

Ключові слова: технологія ущільнення ґрунту, технологічний процес, технологічні параметри процесу ущільнення ґрунту.

Вступ. Ущільнення ґрунтів в складних умовах визначається технологічною специфікою будівельних робіт, а саме обмеженістю фронту робіт, особливостями геометричних елементів земляної споруди, що ускладнює, а іноді і взагалі виключає можливість використання звичайних землерийно-транспортних та ущільнюючих машин (самоскиди і бульдозери для зворотної засипки, бульдозери і грейдери для пошарового розрівнювання ґрунту, катки і вібраційні машини для ущільнення ґрунту). Із загального обсягу ґрунту, що підлягає ущільненню в обмежених місцях, більша частина припадає на промислове і цивільне будівництво. Великий обсяг ґрунту підлягає ущільненню в пазухах фундаментів, трубопроводів, колекторів, оглядових колодязів, основ під підлоги всередині будівель, в перетинах різного роду комунікацій та ін. Недостатнє ущільнення ґрунтів в цих місцях призводить до руйнування конструкцій будівельних споруд.

Актуальність. В умовах будівництва недостатня щільність ґрунту призводить до надмірних витрат коштів та праці через невірно вибраний спосіб ущільнення. Крім того, ущільнення ґрунту доволі часто пов'язано з наявністю в котлованах і траншеях різного роду труб, підземних комунікацій і збірних елементів, що не дозволяє на певних ділянках засипки використовувати традиційні ущільнюючі машини, які розвивають достатні

зусилля, необхідні для досягнення необхідної щільності. Також, слід зазначити, важливим аспектом процесу ущільнення у відповідності з технологічними умовами є вибір того чи іншого засобу механізації, що використовується для ущільнення ґрунту [2; 3; 5; 6; 7]. На сьогоднішній день існує достатньо велике розмаїття машин та обладнання для ущільнення ґрунту, проте питання оптимального вибору механізованих комплексів, які дають можливість за умов мінімізації фінансових ресурсів та часу отримати максимальну продуктивність в складних умовах будівельного майданчика, залишається актуальним.

Основний матеріал. В умовах виконання земляних робіт на будівництві виникає необхідність одержати ґрунти з заданими фізико-механічними властивостями. Для створення основи споруди з достатньою несучою здатністю, або влаштування якісного насипу ґрунти доводять до проектної щільності. Із збільшенням щільності ґрунту зростає його міцність, водонепроникність, опір розмиванню, збільшується статична стійкість споруди.

Основними властивостями ґрунтів є міцність, щільність, вологість, пористість, кут внутрішнього тертя та ін. З іншого боку машини для ущільнення ґрунтів мають ряд технічних параметрів (маса машини та робочого органу, конструкція котка, характер взаємодії машини з ґрунтом, розміри котка, кількість проходок та ін.) які необхідно враховувати при виборі тієї чи іншої технології ущільнення ґрунту основи.

Деформації ґрунтів під навантаженням супроводжуються складними процесами: стисненням твердих часток, стисненням води та повітря, що знаходяться в порах ґрунту, руйнуванням зв'язків між частками й їхнім взаємним зміщенням, зміною товщини плівок води та віджиманням вільної води з пор ґрунту.

В процесі ущільнення ґрунту виникають пружні та пластичні деформації. Пружні деформації є результатом навантажень, що не перевищують структурну міцність ґрунтів та характеризуються здатністю ґрунту повертатися в початковий стан після зняття навантажень. Пластичні деформації руйнують скелет ґрунту, порушуючи зв'язки та переміщуючи частки одну відносно другої. Водночас об'ємні пластичні деформації ущільнюють ґрунт шляхом зміни об'єму внутрішніх пор, а зсувні пластичні деформації – шляхом зміни його первинної форми й аж до руйнування.

Ущільнення ґрунту відбувається за рахунок певних силових навантажень на ґрунт. Динамічний характер навантаження ґрунту в умовах ущільнення характеризується вібраційним, ударним, динамічним імпульсним, комбінованим та іншими видами силового впливу. На відміну від машин статичної дії динамічний характер навантаження принципово змінює фізичну картину взаємодії робочого органу ущільнюючої машин з ґрунтом основи [1; 2; 4; 8; 9]. Вибір режиму статичної або динамічної дії на ґрунт основи залежить від правильного вибору математичної моделі системи взаємодії машина-ґрунт [2; 8].

Вивчення закономірностей утворення напружено-деформованого стану ґрунту та величини пластичних деформацій, що виникають при цьому має надзвичайно важливе значення для оцінки несучої здатності ґрунтової основи. Ущільнення ґрунту в будівництві ведуть масивом, в якому ущільнений ґрунт оточений з боків ґрунтовою відсипкою. Ґрунт укладають і ущільнюють з дотриманням технічних вимог, що дозволяють одержати необхідну щільність, найменшу фільтраційну здатність і виключити можливість наступних усадок. Крім цього, треба приділити уваги вибору виду і стану ґрунту, який використовують для відсипки, при зведенні споруд. Ґрунт, який використовують для відсипки, зволожують або висушують до оптимальної вологості. Це дозволяє підвищити ступінь ущільнення і зменшити сили зчеплення, що позитивно впливає на виконання процесу.

В основі технології укладання і ущільнення зв'язкових ґрунтів лежить розбивка насипу на карти – ділянки невеликої довжини, на яких послідовно проводять операції з розвантаження ґрунту, його розрівнювання та ущільнення. Число ділянок, що одночасно використовуються для укладання ґрунту, залежить від обсягу робіт, наявності обладнання, сезону виконання робіт і може змінюватися в межах від 4 до 2. У літню пору найбільшої продуктивності можна досягти, якщо роботи вести на 4-х ділянках. У зимовий час число ділянок слід приймати не більше 2-х. Розміри карт визначають конкретними умовами проекту споруди, застосовуваними механізмами та умовами виконання робіт, однак їх довжина повинна бути не менше 200 м.

Укладання та ущільнення ґрунту виконують у процесі планування, зведення різних насипів, зворотної засипки траншей та пазух фундаментів, улаштування основ під підлоги тощо. Завдяки ущільненню ґрунтів досягається збільшення несучої здатності, міцності, зниження водопроникності, зменшення його стискання. Збільшенню щільності ґрунту під час ущільнення сприяє взаємне переміщення твердої та рідкої фаз і повітря, що міститься в порах ґрунту. Однак щільність в міру ущільнення ґрунту зростає до певної межі, після чого подальше ущільнення не впливає на несучу здатність ґрунту. Так, коефіцієнт ущільнення ґрунту (відношення проектної щільності ґрунту до максимальної), рівний 0,95...0,98, є нормативним під час зведення відповідальних споруд.

Ґрунти в насипах ущільнюють шарами однакової товщини. Для цього відсипаний ґрунт вирівнюють бульдозерами чи грейдерами. Товщину шарів ґрунту, що підлягають розрівнюванню визначають залежно від умов виконання робіт, виду ґрунту та можливості застосування ущільнювальних машин. Потрібного ступеня ущільнення ґрунту з найменшими витратами досягають, коли вологість ґрунту оптимальна, тому сухі ґрунти необхідно зволожувати, а перезволожені – осушувати. Перед розробленням або ущільненням ґрунт зволожують поливними машинами або вручну гумовими шлангами, підключеними до водопроводу.

Укладання ґрунту та його ущільнення здійснюють по захватках (картах), розміри яких мають забезпечити потрібний фронт робіт та не допустити висихання підготовленого для ущільнення ґрунту. Наприклад, для влаштування насипів із ґрунтів, доставлених автосамоскидами, майданчик розбивають на три карти: на першій розвантажують ґрунт, на другій – розрівнюють його, на третій – ущільнюють.

Ущільнюють ґрунт укочуванням, трамбуванням та вібруванням. Зв'язні та грудкуваті ґрунти ущільнюють кулачковими котками, які передають на ґрунт тиск, що значно перевищує границю його міцності. Такими машинами масою до 5 т ущільнюють шар ґрунту 10...20 см завтовшки за 8...18 проходів котка по одному сліду, а важкими (масою 25...30 т) – шар 50...65 см завтовшки за 4... 10 проходів по одному сліду.

Котками па пневмоколісному ходу (причіпними та самохідними) ущільнюють піщані та глинисті ґрунти. Через більшу тривалість дії навантаження від стискання шин забезпечується добра якість ущільнення. Котками середньої маси (до 10 т) ущільнюють шари 10...25 см завтовшки за 2... 10 проходів котка по одному сліду, котками більшої маси (до 45 т) – шар 25...50 см завтовшки за таку саму кількість проходів котка по одному сліду.

Кулачковими котками та котками на пневмоколісному ходу ґрунт ущільнюють послідовними замкненими проходами котка по всій площі насипу з перекриттям кожного проходу на 0,2...0,3 м. Важливо, щоб перший прохід котка забезпечив потрібну рівність поверхні шару ґрунту, яка зберігається при наступних проходах. Тому перші проходи здійснюють на 1– 2-й швидкості трактора, а інші – на 3–4-й.

Котки з гладкими металевими вальцями придатні для ущільнення зв'язних ґрунтів шаром до 15 см. Такими котками доцільно виконувати ущільнення, коли верхній шар насипу є основою під фундаменти чи під'їзні шляхи, а також при засипанні верхньої частини пазух у стиснених умовах. Нижні шари пазухи 15...20 см завтовшки навколо фундаменту ущільнюють пневматичними та електричними трамбівками.

Трамбувальними плитами масою 2...7 т, підвішеними на стрілі кранів чи екскаваторів, ущільнюють піщані та глинисті ґрунти, якщо товщина відсипаного шару 0,4...1 м і кількість ударів 1...5. Недоліком цього способу є підвищене зношування крана чи екскаватора.

Вібраційними котками ущільнюють піщані ґрунти шарами 0,4...0,5 м при збуджувальній силі 180...280 кН. Для досягнення потрібної щільності кількість проходів по одному сліду приймають від 2 до 6. Ґрунт ущільнюють за круговою схемою або човниковим способом.

Заздалегідь насичені водою піски ущільнюють глибинними вібраторами, змонтованими на рамі у вигляді пакетів та підвішеними на стрілі крана.

Зворотне засипання пазух між стінками підвалу та укосами котловану виконують після влаштування перекриття над підвалом та гідроізоляції стін. Для цього використовують залишки ґрунту, утворені під час риття котловану, переміщуючи їх бульдозером. Засипання здійснюють шарами 20...30 см з наступним ущільненням пневматичними чи електричними трамбівками, а також підвісними плитами.

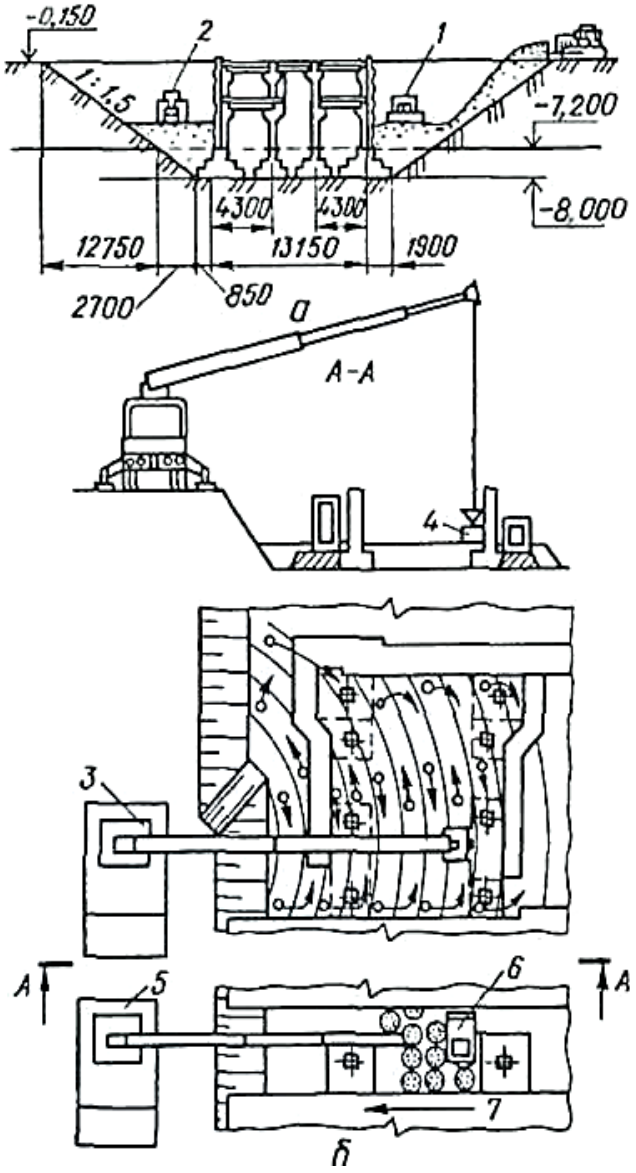


Рис. 1. Зворотне засипання та ущільнення ґрунту: *а – засипання пазух котловану; б – ущільнення ґрунту підвісною плитою; 1 – бульдозер; 2 – машина для ущільнення ґрунту; 3 – кран; 4 – підвісна плита; екскаватор з грейферним ковшем; 6 – мінібульдозер; 7 – напрямок відсипання.*

Ґрунт пазух глибоких підвальних частин промислових споруд засипають та ущільнюють одноразово з двох боків споруди після зведення стін. Спочатку ґрунт подають та рівняють бульдозерами з одного боку цієї споруди (рис. 1, а), а потім, під час ущільнення цього шару ґрунту, подають та рівняють з іншого боку споруди.

Зворотне засипання котловану при складних у плані фундаментах виконують зразу після зведення підземної частини споруди (зняття опалубки та гідроізоляції поверхонь підземних конструкцій), до початку робіт по наземній частині. При цьому створюються найбільш сприятливі умови для механізації робіт та застосування великогабаритних машин.

Ґрунт подають екскаватором, оснащеним грейфером, а рівняють мінібульдозером. Ущільнюють ґрунт концентрованими смугами за допомогою підвісних плит у межах робочої картини, визначеної підземними конструкціями (рис. 1, б).

Ґрунт ущільнюють також віброплитами або віброзанурювачами. Насамперед виконують роботи в межах ділянки зі зниженими позначками, щоб отримати загальний рівень, а потім проводять роботи по всьому котловану.

Зворотне засипання траншей здійснюють після перевірки правильності укладання трубопроводів. Траншеї засипають у два прийоми спочатку присипають трубопроводи вручну на висоту 0,2 м, потім засипають бульдозером.

Кріплення видаляють в міру засипання. Одночасно можна знімати по вертикалі не більше трьох дошок. У сипких ґрунтах кріплення розбирають по одній дошці, переставляючи розпірки. Якщо видалення кріплень викликає небезпеку (в пливунах, поблизу фундаментів існуючих споруд тощо), їх залишають у ґрунті або розбирають частково.

Магістральні трубопроводи та фундаменти засипають відповідно до будівельних норм і правил. Ґрунт завозять автосамоскидами з безпосередньою подачею його в траншеї або використовують найближчі відвали, з яких ґрунт переміщують бульдозерами або іншою технікою.

Зворотне засипання траншеї з пошаровим ущільненням має кілька відмінностей, які дозволять забезпечити працездатність трубопроводів і швидкий доступ до регулювальної арматури. Перед укладанням комунікаційних шляхів дно траншей засипають щебнем і влаштовують піщану подушку, в спеціально відведених місцях облаштовують оглядові колодязі. При монтажі важливо переконатися, що запірна арматура розташовується точно в відведених місцях під бетонними плитами, щоб до неї можна було забезпечити доступ.

Робота з траншеєю починається тільки після тестування трубопроводів, необхідно переконатися в їх повній працездатності. Після цього на них насипається і трамбу-

ється шар піску, далі пошарово насипається ґрунт. Товщина шару складає близько 0,5 м. Кожен з них потрібно вручну утрамбувати, після чого засипається наступний шар.

Варто зазначити, що ущільнення ґрунту основи повинно здійснюватися з урахуванням фізичної моделі взаємодії ущільнюючої машини і середовища (ґрунту). Також, окрім фізичних властивостей ґрунту необхідно враховувати режим впливу машини на середовище (поєднання статичних та динамічних амплітудно-частотних характеристик машини) [1; 2; 8; 9]. Методи ущільнення ґрунту в складних умовах із застосуванням механічного та гідравлічного обладнання наведено на рис. 2, 3.

Рис. 2. Ущільнення ґрунту мінікотками

Рис. 3. Ущільнення ґрунту навісними гідротрамбівками

Місця, де до основи будинку прокладаються різні підземні комунікації, засипаються м'яким ґрунтом, який не потрібно утрамбовувати. Ущільнення ґрунтів зворотних засипок здійснюється рівномірно по всій довжині фундаменту, щоб тиск ґрунту на стіни був однаковим.

Ефективність застосування того чи іншого методу та режиму ущільнення ґрунту залежить від механічного складу ґрунту, вологості ґрунту, тривалості вібрації.

Машини для ущільнення ґрунту вибирають з врахуванням лінійних розмірів, площі і форми поверхонь, що потребують ущільнення, обсягів і інтенсивності робіт, виду ґрунту а також економічних показників. Важливим чинником застосування того чи іншого методу ущільнення ґрунту є вибір та оптимальне поєднання комплекту машин для засипання та ущільнення ґрунту. В складних умовах будівельного майданчика застосування засобів малої механізації, систем дистанційного контролю, автоматизованого та напівавтоматизованого обладнання в комплексі з ефективними технологічними рішеннями дозволяє вирішувати достатньо складні задачі за мінімальної трудомісткості і мінімальних фінансових витрат.

Висновки

1. Огляд існуючих методів ущільнення ґрунту виявив доцільність дослідження методів ущільнення ґрунту в складних умовах будівництва з метою підбору оптимального комплекту ущільнюючого обладнання.

2. Проведено аналіз існуючих технологій ущільнення ґрунту з ціллю визначення оптимальних технологічних параметрів процесу ущільнення ґрунтів в складних умовах будівництва.

3. Запропоновано основні технологічні параметри процесу ущільнення ґрунту – товщина шару ґрунту, що ущільнюється, кількість проходок ущільнюючої машини а також швидкість її руху.

4. Запропоновано теоретико-експериментальний метод знаходження оптимальних параметрів взаємодії ущільнюючої машини з ґрунтом основи з метою встановлення оптимальних меж варійованих параметрів технологічного процесу ущільнення ґрунту в складних умовах будівництва.

Література

1. Басараб В.А. Дослідження полічастотного режиму коливань робочого органу електромагнітної ударно-вібраційної установки. *Управління розвитком складних систем*. 2018. № 34. Київ : КНУБА. С. 182–187.
2. Басараб В.А. Визначення технологічних параметрів процесу ущільнення ґрунту. *Шляхи підвищення ефективності будівництва в умовах формування ринкових відносин*. 2020. № 45. С. 3–15.
3. Басараб В., Уманець І., Саушева Л. Методика вибору комплекту засобів ущільнення ґрунту пазух котлованів і траншей за технічною ознакою. *Основи та фундаменти. Науково-технічний збірник*. 2021. Вип. 43. С. 67–78.
4. Кравченко І.М. Керування динамічними параметрами електромагнітної ударно-вібраційної системи. *Техніка будівництва*. 2006. № 19. Київ : КНУБА. С. 56–63.
5. Осипов А.Ф. Основные принципы проектирования динамически трансформирующихся технологических систем. *Прикладна геометрія та інженерна графіка*. 2000. Вип. 67. Київ : КДТУБА. С. 162–165.
6. Ущільнення ґрунтів у будівництві / В.І. Терновий, І.М. Уманець, Л.С. Саушева, О.С. Молодід. Київ : "ЦП КОМПРИНТ», 2015. 136 с.
7. Хархута Н.Я. Машины для уплотнения грунтов. Л. : Машиностроение, 1973. 176 с.
8. Basarab V.A. Study of the Dynamical Parameters of Vibration Machine for Compaction of Construction Mixes. *International Applied Mechanics*. 2020. Vol. 56, No. 6. P. 750 – 761.
9. Basarab V.A. Polyfrequency vibrations of electromagnetic shock and vibration system. *International Applied Mechanics*. 2021. Vol. 57, No. 5. P. 604–612.

References

1. Basarab V. (2018). Investigation of the polyfrequency mode of oscillation of the electromagnetic shock-vibration unit. *Management of Development of Complex Systems, 34*, 182–187.
2. Basarab V.A. (2020). Determination of technological parameters of the soil compaction process. *Ways to increase the efficiency of construction in the formation of market relations*, 45, 3–15.
3. Basarab V., Umanecj I., Sausheva L. (2021). Methodology for choosing a set of means for compacting the soil of pits and trenches according to technical characteristics. Basics and foundations. *Scientific and technical collection*, 43, 67–78.
4. Kravchenko I.M., Basarab V.A. (2006). Management of dynamic parameters of the electromagnetic shock-vibration system. *Construction technique,* 19, 56–63.
5. Osypov O.F. (2000). Basic principles of designing dynamically transforming technological systems. *Prykladna gheometrija ta inzhenerna ghrafika*, 67, 162–165 [in Ukrainian].
6. Ternoviy V.I., Umanets I.M., Sausheva L.S., Molodid O.S. (2015). Soil compaction in construction. Kyiv : Publishing house "TsP KOMPRINT", 136.
7. Harhuta N.Ya. (1973). Machines for soil compaction. Leningrad : Mashinostroenie, 176.
8. Basarab V.A. (2020). Study of the Dynamical Parameters of Vibration Machine for Compaction of Construction Mixes. *International Applied Mechanics,* 56, No. 6, 750–761.
9. Basarab V.A. (2021). Polyfrequency vibrations of electromagnetic shock and vibration system. *International Applied Mechanics*, 57, No. 5, 604–612.

SOIL COMPACTION TECHNOLOGY IN DIFFICULT CONDITIONS

Abstract. *The article is devoted to the technology of mechanical soil compaction in difficult construction site conditions. The compaction of the soil occurs due to certain force loads on the soil. The actuality of the soil compaction process, which ultimately determines the quality of construction product, was emphasized. The basic physical and mechanical properties of soil and technological parameters of the compaction process were given. Attention is focused on the fact that the choice of soil compaction technology in difficult conditions is based on the understanding of the fact that it is necessary to consider the compaction process as a complex model of the interaction of the compaction machine with the base soil. It is noted that the choice of the mode of static or dynamic action on the base soil depends on the correct choice of the mathematical model of the machine-soil interaction system. An overview of the existing methods of soil compaction was conducted and the feasibility of researching methods of soil compaction in difficult construction conditions was substantiated in order to select the optimal set of compaction equipment. An analysis of existing soil compaction technologies was carried out with the aim of determining the optimal technological parameters of the soil compaction process in difficult construction conditions. The technological scheme of the soil compaction process in difficult conditions was given. The technology of the works is described, taking into account the properties of the soil, the method of compaction, the parameters of the compaction equipment, as well as the conditions of the works. The main technological parameters of the soil compaction process are proposed – the thickness of the compacted soil layer, the number of passes of the compaction machine, as well*

as the speed of its movement. A theoretical-experimental method of finding the optimal parameters of the interaction of the compaction machine with the base soil is proposed in order to establish the optimal limits of the varied parameters of the technological process of soil compaction in complex construction conditions. An analysis of structural and technological parameters of compacting machines was carried out with the aim of effective use in the conditions of construction production. Basic recommendations for choosing a compaction method and a set of compacting equipment were given, depending on the type of soil and conditions of work.

Key words: soil compaction technology, technological process, technological parameters of the soil compaction process.

Basarab V.A.
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor at the Department
of Construction Technologies,
Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv

УДК 72.02
DOI https://doi.org/10.32782/2664-0406.2022.41.2

Григоровський П.Є.
д.т.н., с.н.с.,
ДП «Науково-дослідний інститут будівельного виробництва», м. Київ

Броневицький А.П.
к.т.н.,
ДП «Науково-дослідний інститут будівельного виробництва», м. Київ

Мурасьова О.В.
к.т.н.,
ДП «Науково-дослідний інститут будівельного виробництва», м. Київ

Григоровський А.П.
здобувач,
ДП «Науково-дослідний інститут будівельного виробництва», м. Київ

АНАЛІЗ СВІТОВОГО ДОСВІДУ ТА СУЧАСНИХ ТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ БУДІВНИЦТВА ШВИДКОСПОРУДЖУВАНИХ ЖИТЛОВИХ БУДИНКІВ

Анотація. *Протягом останніх кількох місяців Україна втратила близько 5% житлового фонду держави таким, що зруйновано або частково пошкоджене. Одним із варіантів вирішення проблеми може стати широке впровадження швидкоспоруджуваного житлового багатоповерхового багатоквартирного житлового будівництва. В статті викладено результати аналізу сучасного стану світового та вітчизняного досвіду, а також перспективи застосування технології швидкоспоруджуваних будівель в житловому багатоповерховому будівництві.*

Систиматизовано типи швидкоспоруджуваних житлових будинків. Також вказано основні переваги та недоліки технології зведення багатоквартирних житлових будинків з використанням збірних конструкцій, модулів та блоків. Наведено приклади зведення сучасних будівель як в світовій так і вітчизняній практиці будівництва.

Проаналізовано перспективи застосування цієї технології в сучасних реаліях України. Акцентовано увагу на швидкості зведення багатоквартирних житлових будинків для забезпечення житлом постраждалих через військові дії українців. В статті проаналізовано вже наявні наукові праці вчених та відкритих джерел інформації, як вітчизняних так і іноземних.

Наведено інформацію щодо сучасного стану цієї галузі будівельного виробництва, а також надано переваги, можливості та ризики зведення швидкоспоруджуваних будівель в умовах поточного соціально-економічного стану в Україні.

Існує чимало різних видів швидкомонтажних житлових будинків, один із найбільш розповсюджених, з яких є крупнопанельне будівництво. Дана технологія має як ряд переваг так і недоліки. Головними організаційно-технологічними перевагами для прикладу крупнопанельного будівництва є швидкість, уніфікованість, простота проектних рішень, економічна ефективність. Зважаючи на різноманітність сучасних технологій та матеріалів для виробництва панелей, а також складні обставини, в яких знаходиться країна, зведення швидкоспоруджуваних багатоповерхових будинків може бути вирішенням житлового питання для сотень тисяч громадян України.

Ключові слова: швидкоспоруджувані будинки, організація виконання будівельних робіт, великопанельні будівлі, модульні багатоповерхові житлові комплекси, збірне будівельне виробництво.

Постановка науково-прикладної проблеми. Проблеми, що постають перед житлово-будівельним комплексом України відносно ліквідації наслідків аварійних руйнувань будівель понаднормовими впливами внаслідок військових дій викликаних агресією Російської Федерації поділяються на декілька напрямків, основними з яких, на нашу думку, є:

1)першочергові аварійно-рятувальні роботи безпосередньо після нанесення ракетно-бомбових ударів що спричинили руйнування будівлі;

2)планове відновлення, шляхом підсилення, ремонту та відбудови, об'єктів, пошкоджених внаслідок військових дій;

3)нове будівництво, методами швидкого зведення, нового житла на заміну втраченого в результаті військових дій;

4)нове будівництво за програмами післявоєнного відновлення.

Вирішення наведених питань потребує комплексного дослідження.

У випадку коли за результатами комплексу робіт з попереднього огляду, візуального, інструментального та детального обстежень приймають рішення про збереження будівлі першочергові аварійно-рятувальні роботи та роботи з відновлення виконують методами капітального ремонту, а саме без зміни геометричних розмірів та функціонального призначення будівлі, що передбачають втручання у несучі та огороджувальні системи при заміні або відновленні конструкцій чи інженерних систем та обладнання у зв'язку з їх фізичною зношеністю та руйнуванням. Капітальний ремонт передбачає призупинення на час виконання робіт експлуатації об'єкта в цілому або його частин (за умови їх автономності) [9].

У випадку коли за результатами комплексу робіт з обстежень приймають рішення про знесення будівель, ліквідацію наслідків аварійних руйнувань за двома останніми напрямками, на відміну від попередніх, вирішують методами нового будівництва, а саме, за технологіями швидкого зведення, за необхідності термінового вирішення житлової кризи, та за програмами післявоєнного відновлення у випадку планового вирішення житлових питань.

Предметом цієї статті є третій з вказаних напрямків будівельної діяльності, а саме – будівництво, методами швидкого зведення, нового житла на заміну втраченого в результаті військових дій.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питаннями, пов'язаними з дослідженням технології та організації зведення швидко споруджуваних будівель переймалися такі вітчизняні фахівці як В.О. Плоский, Г.В. Гетун, М.В. Тимофеєв, В.І. Запривода [1], П.Є. Григоровський, Ю.М. Червяков, В.О. Басанський, Ю.В. Крошка, О.В. Мурасьова, Н.П. Чуканова [2–3], В.М. Михайленко, О.О. Терентьев, В.П. Ковальський, В.С. Абрамович [4], Р.А. Шмиг, В.М. Боярчук, І.М. Добрянський, В.М. Барабаш, Є.І. Заяць.

Серед іноземних науковців слід виділити Б. Дьорінг, М. Кюхнхен, О. Вассарт, С. Харпер, П. Бегуїн, С. Хербін, А. Сеппьонен, М. Лавсон, Є. Яндзьо, Ф. Шеублін, В. Бейкенс [8], К. Матц, Й. Кюгерль, К.Пехайм [10] та інших.

В роботах вітчизняних та зарубіжних авторів достатньо уваги приділяється питанням зведення швидкоспоруджуваних будинків в розрізі технології виконання робіт та чинників, які впливають на ефективність виконання цих робіт. Наукові здобутки в цій галузі постійно збільшуються.

Метою роботи є оцінка основних напрямків та перспективи застосування технології швидкоспоруджуваних житлових багатоквартирних будинків в Україні, особливо в розрізі необхідності компенсації втраченого житлового фонду внаслідок військових дій.

Основна частина

Швидкоспоруджувані будівлі – будівлі, які зводяться із застосуванням збірних, завчасно виготовлених конструкцій, які, шляхом виконання монтажних робіт, як правило на будівельному майданчику, утворюють цілісну споруду певного функціонального призначення [4].

Зведення житлових будинків можна класифікувати за **основними типами технології** зведення:

– Монолітні, залізобетонний каркас будівлі.

– Цегельні, де основний матеріал стін – це цегла, а перекриття виконані із збірних залізобетонних плит.

– Збірні. Багатоповерхові будинки, несучий остов, яких складається із збірних залізобетонних плит та панелей перекриття.

– Збірно-монолітні. Як правило, коли збірні або монолітні колони об'єднані монолітними ригелями із збірним перекриттям.

Збірне будівництво на практиці фактично і є швидкоспоруджуваним житловим будівництвом. Тому, в рамках даної роботи, ми примаємо, що це тотожні поняття.

Класифікація швидкоспоруджуваних будинків.

За функціональним призначенням будівлі можна поділити:

– промислові, цехи підприємств та заводів;

– складські приміщення;

– громадські офісні та торгівельні будівлі;

– житлові будинки.

Швидкоспоруджувані будівлі начастіше є малоповерховими, проте в розрізі житлового будівництва, технології дозволяють зведення все більш поверхових будинків.

За місцем виконання безпосередніх монтажних робіт умовно можна розподілити на заводське, коли цілковито будівля виготовляється в заводських умовах. Проте найбільш розповсюдженим є виробництво збірних конструкцій на промисловому підприємстві, а безпосередній монтаж окремих елементів в суцільну будівлю виконується на будівельному майданчику.

За типом технології зведення будинків:

– Панельне будівництво;

– Металокаркасні профільні конструкції, як несучі елементи;

– Дерев'яне каркасопанельне будівництво;

– Залізобетонні збірні конструкції (балки, ферми, ригелі, тощо);

– Модульні або як ще називають, об'ємно-просторові блоки;

– 3-D моделювання та принт;

– Поєднання різних типів в одній будівлі.

За основним матеріалом конструкцій:

– бетон, в тому числі залізобетон;

– сплав алюмінію;

– метал;

– деревина;

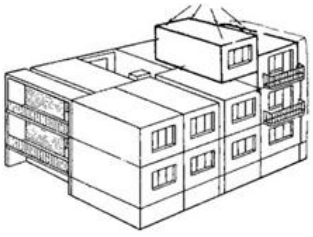
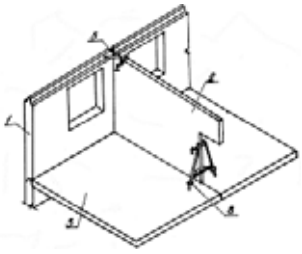
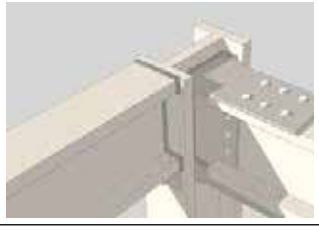
– скловолокно;

– СІП панелі;

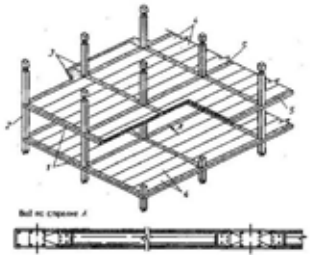
– Комбновані матеріали.

В іноземних фахових виданнях та ЗМІ часто розділяють поняття збірне будівництво та модульне (модульно-блокове). В даній статті, ми вирішили віднести блокове будівництво до різновиду збірного.

Таблиця 1. Різновиди технологій зведення швидкоспоруджуваних будинків

Технологія зведення швидкоспоруджуваних будинків	**Схематичне зображення**	**Опис основних технологічних процесів та особливостей виконання робіт**
1	2	3
Модульно-блокове виробництво		Об'ємний блок представляє собою просторову конструкцію, виготовлену в заводських умовах, що володіє необхідною міцністю, жорсткістю, стійкістю. Технологія зведення передбачає по поверхове спорудження будівлі із заповненням стиків між блоками.
Панельне		Просторова жорсткість будівлі забезпечується кріплення стінових панелей та перекриття. Перед монтажем панелей, виставляються маяки.
Металокаркасні будівлі		Несучі елементи каркасу мають бути захищені від корозії та прямого впливу відкритого вогню. Елементи вибираються по заводським сортаментам. З'єднання як правило болтові із зваркою.

Закінчення таблиці 1

1	2	3
Дерев'яне каркасопанельне будівництво		Відчутною перевагою, є легкість конструкцій. Зважаючи на це, все частіше деревину використовують при реконструкції з надбудовою існуючої будівлі.
Збірно-монолітне		Збірні конструкції колон, плит перекриття. А з'єднані – монолітним армованим поясом – ригелем.
Композитне з поєднанням деревини і металу		Як правило, колони та балки виконуються з металу а перекриття – поєднання металевих листів поверх девер'яної обрешітки
Структурно-ізольовані панелі (СІП)		Стіновий конструкційний матеріал для швидкого зведення будинків. технології каркасно-панельного будівництва, де застосовуються термоізоляційні сендвіч або СІП-панелі (від англ. SIP – Structural Insulated Panel). Основою конструкційного матеріалу стін виступає – **пінополістирол**, до якого під тиском приклеєні два шари орієнтовано-стружкової плити (ОСП).
Технологія 3-D друку		Створення тривимірних об'єктів будівель, за рахунок нанесення послідовних шарів матеріалу, які повторюють контур цифрової моделі. Для цього використовують 3-D принтер, верстата з числовим програмним управлінням, що додає порції матеріалу до заготовки та зазвичай використовує метод пошарового друку. Як матеріал використовують пластик, бетон, метал, кераміка на інші.
Технологія EVG 3D		В основі технології будівництва лежить використання 3D панелей – просторової ферменної конструкції, що складається з арматурних сіток і стрижнів з високоякісного дроту, приварених під кутом до сіток, сердечника з пінополістиролу і двох шарів бетону, нанесених методом торкретування.

Для швидкого зведення багатоповерхових багатоквартирних житлових будинків, як показує світова практика, найбільш раціональним є застосування панельного та модульно-блокового будівництва. А, зважаючи, що саме висотне житлове будівництво є предметом дослідження даної статті, нами прийнято рішення далі по тексту акцентувати увагу саме на вище вказаних двох основних типах технології житлового будівництва.

Головна відмінність між двома типама будівель, це те, що у випадку панельного – попередньо виготовлені панелі доставляються на будівельний майданчик і вже там монтуються у встик з іншими конструкціями, формуючи кімнати та квартири. У разі модульно-об'ємного будівництва, на заводі виготовляється вже цільний об'ємний модуль – кімната або квартира. І ці модулі вже на майданчику формують будинок.

Технологія EVG 3D – це досить нова економічна тришарова система, яка знаходить все ширше застосування у великопанельному будівництві та ґрунтується на використанні тривимірних 3D панелей заводського виготовлення. 3D панелі складаються з пінополістирольного наповнювача товщиною від 50 до 200 мм, розташованого між двома плоскопаралельними зварними сітками з дроту (покривної сітки) і похилої діагональної арматури (розкосів), яка пронизує пінополістироловий наповнювач і приварюється до контурної проволоки. арматурні ферми.

Загалом, 3-D модулювання, виробництво та друкування, на думку багатьох вчених та спеціалістів, є майбутнім галузі швидкозведених будівель, головними перевагами, яких є швидкість виконання та гнучкість рішень.

Структурно-ізольовані панелі (СІП) – це сучасний стіновий конструкційний матеріал, який використовується для швидкого зведення комфортних будинків, що відповідають всім нормам безпеки і теплового захисту. Невелика товщина і вага термоізоляційних СІП-панелей, а також простота їх монтажу і транспортування дозволяють істотно здешевити бюджет і збільшити темпи будівництва. Для зведення каркасно-панельних будинків не потрібно облаштовувати масивний фундамент, будівництво та оздоблення конструкцій можна виконувати протягом всього року (в тому числі і взимку). На зведення стандартного житлового котеджу, термін експлуатації якого перевищить 80 років, витрачається всього 2–3 місяці.

Крім того, обслуговування каркасно-панельних будинків обійдеться дешевше обслуговування котеджів, побудованих за класичними технологіями, за рахунок того, що показники енергоефективності каркасно-панельних будинків вищі, ніж аналогічні показники традиційних будівель.

Рис. 1. Панельне будівництво

Рис. 2. Модульне будівництво

Рис. 3. Металокаркасне будівництво

Рис. 4. Дерев'яне каркасопанельне будівництво

Переваги технологій швидкоспоруджуваних технологій будівництва:

1. Економія часу.

Будівництво будинків із збірного каркасу характеризується відносною швидкістю виконання робіт. Швидкість зведення будинків із збірних конструкцій як правило на 30–50% більша ніж наприклад будівель з монолітно-каркасною технологією.

Модульне будівництво дозволяє запаралелити процес будівництва фундаменту та виробництва збірних конструкцій в заводських умовах.

Тривалість проектних робіт також є значно меншою в порівнянні з монолітним каркасним або цегельним житловим будівництом.

2. Економічна ефективність.

Як правило, самі конструктивні елементи (панелі) та матеріали збірних будинків є дорожчими в собівартості в порівнянні з монолітним залізобетоном або цеглою. Проте, за рахунок значно менших витрат часу на спорудження, для прикладу, панельних будинків, такий вид будівництва є більш економічно ефективним.

Збірні будинки є більш легкими в порівнянні з монолітним каркасом, а отже витрати на фундаменти будуть відносно меншими.

3. Екологічність.

Для виробництва збірних елементів в заводських умовах, можливе повторне використання перероблених інших будівельних конструкцій та їх залишків, а також будівельного сміття. Крім того, заводське виробництво є менш відходним.

Такі вди швидкого зведення будівель як 3-D принтування та EVG 3D технологія є практично безвідходними, а як сировину для свого виробництва можуть використовувати технологічні залишки інших галузей виробництва.

4. Технологічність.

Будівництво будинку із збірних елементів дозволяє більш широке використання сучасних енергоефективних технологій, таких як сонячні панелі, ефективне утеплення фасаду. Збірні конструкції, як правило виготовляються в заводських умовах, за рахунок чого можливо зменшити кількість браку в порівнянні з будівельним виробництвом в умовах відкритого майданчику.

Застосування сучасних технологій інформаційного моделювання (BIM) є дуже поширеним при зведенні збірних швидкомонтуємих будинків.

5. Ергономічність.

Сучасні типи швидкоспоруджуваних будівель виконуються та поставляються вже з внутрішньою інженерною розводкою та з внутрішнім оздобленням. Житлові будинки, які споруджено за такою технологією вже готові до заселення відразу після закінчення основних монтажних робіт, підключення до зовнішніх інженерних мереж та благоустрою території.

Навіть беручи до уваги старі технологічні характеристики крупнопанельного будівництва, явними перевагами є факт заводського виготовлення таких панелей. Поверхня панелей практично виключає нерівності, що значно полегшує виконання робіт з чистового оздовлення приміщень, а також із зовнішнього декоративного опорядження фасадів [7].

Недоліками швидкоспоруджуваних житлових будинків є відсутність можливості виконання більш гнучких архітектурно-проектних рішень, адже більшість конструкцій мають нормовані габарити, які часто залежать від характеристих обладнання, на якому виробляються ці конструкції. Панельні будинки однотипні.

Відсутність можливості перенесення інженерних комунікацій можна також віднести до недоліків, так як більшість сучасних збірних конструкцій як правило вже йдуть із заздалегідь прокладеною розводкою.

Більшість панельних або модульних будинків мають висоту стін до 2,8 метрів. Стіни, як правило, в таких будівлях є несучими, виконання перепланування є можливим лише у разі одночасно з цим виконання проекту та робіт підсилення окремих конструкцій.

Також збірні конструкції як правило є більш енергомісткими при їх виробництві, а відповідно більшої собівартості.

Збірні панельні будинки як правило характеризуються меншими термінами придатного функціонування та більшими темпами зношення, особливо на стиках різних типів конструкцій [3].

Налагодження вітчизняного виробництва елементів швидкомонтованих будинків потребуватиме капітальних вкладень в налагодження промислових потужностей, або модернізації існуючих на території України.

Слід зауважити, на базі багатьох ДСК в минулому були заводи залізобетонних виробів, багато з яких працює і по цей день. Україна має багату історію панельного будівництва 60–80-х років минулого століття.

У разі використання закордонних технологій та конструкцій, собівартість будівництва таких будинків залежатиме від курсової різниці. Також важливим питанням є логістика доставки імпортних конструкцій, а також адаптування таких конструкцій до вітчизняних ДБН та інших нормативних актів. Або приведення вітчизняного будівельного законодавства до відповідності іноземному.

З огляду на вітчизняну практику зведення крупнопанельних житлових будинків, до явних недоліків також варто віднести відносно нижчу звукоізоляцію таких конструкцій та нижчі тепломеханічні властивості.

Хоча ці питання є суто проектно-організаційними та можуть бути вирішені у разі наявності відповідної вимоги потенційного замовника.

Особливості організації будівництва швидкоспоруджуваних будівель

1. Необхідність дотримання чітко визначеної техногії виконання робіт. Враховуючи це, часто виробники збірних конструкцій надають послуги монтажу.

2. Необхідність наявності повного складу проекту до моменту початку виконання безпосередніх робіт. На відміну від монолітного залізобетонного будівництва, вітчизняна практика якого, характеризується зведенням будівель маючи частину робочої документації. Внесення змін в проект в момент виконання монтажу будинку, є практично неможливим при зібрній технології зведення будинку.

3. Необхідність вирішення логістичних питань доставки окремих конструкцій, планування їхнього виробництва.

На практиці, будівництво швидкоспоруджуваних будинків розповсюджено по всьому світу в Європі, Африці, Азії та Американському континенті. Варто зазначити, що саме модульне будівництво на разі є найбільш щвидкозростаючим ринком збірного будівельного виробництва.

Рис. 5. Комплекс, будівництво технологією модульних блоків якого зайняло 19 днів. Китай

Рис. 6. Зведення житлового будинку з модульних блоків. Китай

Китай тримає пальмову гілку першості по обсягах швизведених будинків. Так всього за 19 днів, китайський забудовник спромігся звести 57 поверховий комплекс із застосуванням технології модульного будівництва.

Ще одним прикладом є зведення 10-ти поверхвого житлового модульного будинку за 24 години.

Європейські країни також широко застосовують панельне та модульне будівництво. Так для організації розміщення гостей Олміпіади в Лондоні з використанням швидкомонтованих конструкцій було побудоване олімпійське містечко.

Ще одним центром розвитку, в особливості модульно-блочного будівництва, є країни Африки. [7] Країни цього континенту в останню декаду вимушені вирішувати важливі демографічні питання, пов'язані з постійним зростанням кількості населення.

Одним з найбільших модульних житлових комплексів у світі є 32-х поверховий житловий комплекс "Forest City Ratner's B2" в Нью Йорку, США. Будівля складається з 930 стальних оболонкових блоків. Комплекс розраховано на 363 квартири. Багато дослідників досвіду зведення модульних житлових будинків, вважають, що саме будівля в Нью Йорку була певним каталізатором розвитку всієї галузі [8].

Для африканських країн, таких як Кенія, Намібія та Нігерія, що розвиваються, модульне будівництво є дуже перспективним, адже переважна більшість населення країн континенту живуть в значно гірших умовах. Зі зростанням економічного розвитку, зростає попит на кращі умови проживання. За деякими оцінками, в середньому 90% всіх нових житлових будинків в країнах Африки припадає на збірне, в тому числі модульне будівництво.

Рис. 7. Комплекс олімпійського містечка, який побудовано за допомогою крупнопанельної технології будівництва. Лондон.

Рис. 8. Комплекс олімпійського містечка, який побудовано за допомогою модульної технології будівництва. Бохум. Німеччина.

Рис. 9. Спорудження модульного житлового комплексу. Африка

Рис. 10. Збірний каркас із стальних блоків житлового комплексу в Нью Йорку. США

Сучасний стан розвитку багатоповерхового швидкомонтажного багатоквартирного будівництва в Україні.

Найбільшого розповсюдження в Україні, крупнопанельне швидкоспоруджувальне будівництво набуло в 70–80ті роки XX століття.

Починаючи із середини 90х, більшого розвитку почало отримувати монолітно-каркасне будівництво багатоповерхового житла.

Проте панельне будівництво залишається також актуальним.

Сучасні панельні житлові комплекси здебільшого позиціонуються як житло економ класу та приваблюють інвесторів відносно меншою вартістю квадратного метра та швидкістю будівництва, а отже і результатом інвестування. Середня тривалість будівництва крупнопанельного багатоповерхового житлового будинку складає до 12 календарних місяців від етапу розробки котловану до введення в експлуатацію. Тривалість монолітного каркасного будівництва може сягати до 18 місяців відповідно.

Рис. 11. Сучасний крупнопанельний багатосекційний житловий комплекс у місті Київ

Рис. 12. Приклад будівництва типового панельного будинку в Києві

Перспективи збільшення обсягів зведення швидкоспоруджуваних багатоквартирних житлових будинків.

За різними даними, з 24 лютого 2022 року в Україні було повністю або частково зруйновано до 45 мільйони квадратних метрів житла. ЩО, з відкритих даних Мінрегіобуду, відповідає обсягам введення в експлуатацію житла сумарно протягом чотирьох останніх років. Кількість зруйнованого житла постійно зростає.

Близько половини мільйона громадян або втратили житло, або мають пошкоджені оселі.

Крім цього, до початку широкомасштабних військових дій, в Україні вже існувала кризова ситуація із наявним житловим фондом. За різними оцінками, частка засторілого житла в структурі загальної кількості житлового фонду, станом на початок 2022 рік наближалась до 80%. Близько 7,5 відсотків житла було непридатним для проживання. Загальний житловий фонд України складає близько 1 мільярда квадратних метрів житла [5; 6].

З огляду на вище перелічені фактори, першочерговим завданням має стати масштабне будівництво житла для тих громадян, які втратили його внаслідок бойових дій, а також оновлення наявного аварійного житлового фонду країни.

Вище наведені явні переваги зведення швидкомонтованих багатоповерхових будівель вказують на те, що у разі наявності відповідного техніко-економічного обгрунтування, крупногабаритне панельне та модульне багатоповерхове житлове будівництво цілком може частково вирішити наявні проблеми із забезпечення житлом українців. Технологічною особливістю та перевагою зведення крупнопанельних багатоповерхових будинків є швидкість реалізації проектів, економічна простота, уніфікованість та всесезонність виконання робіт.

Наявні промислові потужності, наукова та ресурсна бази можуть стати основою розгортання обсягів спорудження швидкомонтажного багатоквартирного та багатоповерхового житла.

На рівні держави, варто розглянути можливість розробки окремої програми розвитку цього напрямку. Такі дії могли б суттєво знизити в відносно стислі терміни негативний чинник руйнування житла. Крім цього, це б був стимулюючий фактор розвитку економіки держави.

Як на рівні державних так і на рівні приватних інвесторів, варто переймати досвід іноземних країн в реалізації масштабних проектів швидкомонтажних будівль. Дотримання організаційно-технологічних особливостей зведення, в тому числі крупнопанельних будинків, та виконання техніко-економічних розрахунків, а також державної експертизи проектів, може надати можливість виокремлення таких проектів в окремий «пул» з метою залучення міжнародного державного та недержавного (приватного) фінансування, такого як гранти, донорство та міжнародні інвестиційні проекти.

Технології використання 3-D принту вже застосовуються в Україні. Так одним із перших таких верстатів влаштовано в дослідному корпусі КНУБА.

Розвиток цієї технології є дуже перспективним як для України так в світовому масштабі.

Перспективи розвитку наукової галузі щодо швидко-споруджуваних багатоповерхових будівель.

Не дивлячись на факт достатньо широкого дослідження даної проблематики в наукових працях вчених відносно зведення крупнопанельних будинків, існує ряд питань, які потребують подальшого наукового дослідження.

Військові дії на території України, нестабільність постачання енергоносіїв та постійне зростання їхньої вартості, спонукає до негайного вирішення питання термомодернізації як існуючого житлового фонду, так проектних рішень перспективних панельних та інших збірних будівель [1].

Даний напрямок наукових досліджень не є достатньо дослідженим та з огляду на наявність грантового фінансування є доволі перспективним.

Також потребує більш поглибленого дослідження питання адаптації українського законодавства в будівельній сфері до вимог сучасних світових технологій відновлювального та швидкомонтованого будівельного виробництва.

Перспективним є також дослідження факторів впливу на економічну ефективність зведення швидкомонтованих багатоквартирних житлових будинків.

Висновки

Протягом останніх кількох місяців Україна втратила близько 5% житлового фонду

держави таким, що зруйновано або частково пошкоджене.

Одним із варіантів вирішення проблеми може стати широке впровадження швидкоспоруджуваного житлового багатоповерхового багатоквартирного житлового будівництва. Існує чимало різних видів швидкомонтажних житлових будинків, один із найбільш розповсюджених з яких є крупнопанельне будівництво.

Дана технологія має як ряд переваг так і недоліки. Проте, зважаючи на ті складні обставини, в яких знаходиться країна, зведення швидкоспоруджуваного багатоповерхових будинків може бути вирішенням житлового питання для сотень тисяч громадян України.

Головними організаційно-технологічними перевагами для прикладу крупнопанельного будівництва є швидкість, уніфікованість, простота проектних рішень, економічна ефективність. Остання має в кожному конкретному випадку спиратись на техніко-економічне обгунтування.

У разі реалізації великої кількості проектів, розробки державної програми, або грантового проектного фінансування, варто застосовувати сучасні досягнення іноземних будівельних компаній.

З науково-практичної точки зору, зведення багатоповерхових крупнопанельних та інших швидкомонтажних житлових будинків є перспективним напрямком дослідження та вдосконалення будівельного виробництва.

Література

1. Плоский В.О., Гетун Г.В., Тимофеєв М.В., Запривода В.І. Енергоефективний панельний житловий будинок. *Архітектура будівель та споруд* : навч. посіб./ під заг. ред. Г.В. Гетун. Київ : Видавництво Ліра-К, 2017. 190 с.
2. Григоровський П.Є, Чуканова Н.П., Горда О.В. Інформаційні середовища в будівництві. *Будівельне виробництво* : наук.-техн. зб. Київ : Вид-во «Ліра-К». 2019. № 68. С. 15–19.
3. Григоровський П.Є, Чуканова Н.П., Мурасьова О.В. Аналіз факторів, що впливають на термін життя будівлі в процесі експлуатації. *Web of Scholar*. 2018. № 2. С. 75–82.
4. Ковальський В.П., Абрамович В.С. Аналіз існуючих стінових панелей та розробка власного конструктивного рішення для зведення енергоефективних багатоповерхових будинків. *СучТехнБудів*. 2020 (груд.). Вип. 27 (2). С. 46–51.
5. *Офіційний сайт Державної служби статистики*. URL: https://ukrstat.gov.ua/
6. Про комплексну реконструкцію кварталів (мікрорайонів) застарілого житлового фонду : Закон України.
7. Top 5 reasons to why modular construction is on the rise in Africa. URL: https://constructionreviewonline.com/
8. Integrated pre-fabricated steel technologies for the multi-storey sector / B. Döring, M. Kuhnhenne, O. Vassart, C. Harper, P. Beguin, S. Herbin, A. Seppänen, M. Lawson, E. Yandzio, F. Scheublin, W. Bakens. Luxembourg : Office for Official Publications of the European Communities. 2009. 149 p. URL: https://eur-lex.europa.eu/
9. ДБН А.2.2-3:2014 Склад та зміст проектноїдокументаціїна будівництво
10. EVG Конструктивная система 3D®Руководство по проектированию и расчету / К. Матц, Й. Кюгерль, К. Пехайм : Copyright © EVG. 1999. Издание 2002.
11. ІЩо таке СІП панелі. URL: https://eurohouse.ua/ua/statti/chto-takoe-sip-paneli
12. EVG 3D®. URL: https://evg.com/ru/evg-3d/

References

1. Ploskyi V.O., Getun G.V., Tymofeiev M.V., Zapruvoda V.I. Energy effective paneled residential house. *Houses and Construction architecture* : tutorial / red. Getun G.V. Kiev : Lira-K, 2017. 190 p.
2. Grigorovskyi P.E., Chukanova N.P., O.V Gorda. Information environments in construction. *Construction production: science and technology. coll.* Kyiv : "Lira-K" publishing house. 2019. No. 68. P. 15–19.
3. Grigorovskyi P.E., Chukanova N.P., Murasova O.V. Analisys of factors that influence lifetime length of structures during their explotation. *Web of Scholar*. 2018. № 2. С. 75–82.
4. Kovalskiy V.P., Abramovich V.S. Analisys of modern wall panels and development of own constructive solution for building energy efficient multi storey houses. *ModTechBuild*. No 27.2. 2020. P 46–51.
5. Official web page of State statistics service of Ukraine. URL: https://ukrstat.gov.ua/
6. Complex reconstruction of old residential districts : Law of Ukraine on.
7. Top 5 reasons to why modular construction is on the rise in Africa. URL: https://constructionreviewonline.com/
8. Integrated pre-fabricated steel technologies for the multi-storey sector / B. Döring, M. Kuhnhenne, O. Vassart, C. Harper, P. Beguin, S. Herbin, A. Seppänen, M. Lawson, E. Yandzio, F. Scheublin, W. Bakens. Luxembourg : Office for Official Publications of the European Communities. 2009. 149 p. URL: https://eur-lex.europa.eu/
9. DBN A.2.2-3:2014 Composition and content of project documentation for construction.
10. EVG Construction System 3D® Design and Calculation Guide K. Matz, J. Kügerl, K. Peheim : Copyright © EVG. 1999. Edition 2002.
11. What are SIP panels. URL: https://eurohouse.ua/ua/statti/chto-takoe-sip-paneli
12. EVG 3D®. URL: https://evg.com/ru/evg-3d/

ANALYSIS OF WORLD EXPERIENCE AND MODERN TECHNICAL SOLUTIONS FOR THE CONSTRUCTION OF RAPIDLY CONSTRUCTED RESIDENCE BUILDINGS

Abstract. *Over the past few months, Ukraine has lost about 5% of the country's housing stock as destroyed or partially damaged. One of the options for solving the problem can be the widespread implementation of fast-building high-rise multi-apartment residential construction. The article presents the results of the analysis of the current state of the world and domestic experience, as well as the prospects of using the technology of rapidly constructed buildings in residential high-rise construction.*

Types of rapidly constructed residential buildings are systematized. The main advantages and disadvantages of the technology of building multi-apartment residential buildings using prefabricated structures, modules and blocks are also indicated. Examples of the construction of modern buildings in both global and domestic construction practice are given.

The prospects for the application of this technology in the modern realities of Ukraine are analyzed. Attention was focused on the speed of construction of multi-apartment residential buildings to provide housing for victims of Ukrainian military actions. The article analyzes already existing scientific works of scientists and open sources of information, both domestic and foreign.

Information on the current state of this branch of construction production is provided, as well as the advantages, opportunities and risks of the construction of rapidly constructed buildings in the conditions of the current socio-economic situation in Ukraine.

There are many different types of prefab residential buildings, one of the most common of which is large-panel construction. This technology has both a number of advantages and disadvantages. The main organizational and technological advantages for the example of large-panel construction are speed, uniformity, simplicity of design solutions, and economic efficiency. Taking into account the variety of modern technologies and materials for the production of panels, as well as the difficult circumstances in which the country is located, the construction of rapidly constructed multi-story buildings can be a solution to the housing issue for hundreds of thousands of Ukrainian citizens.

Key words: fast build construction, organization of construction, large-panel buildings, modular multi storey residential complex, prefabrication construction.

Hrihorovskyi P.Ye.
Doctor of Technical Sciences, Senior Research Officer,
State Enterprise "Scientific Research Institute of Building Production", Kyiv

Bronevitskiy A.P.
Candidate of Technical Sciences,
State Enterprise "Scientific Research Institute of Building Production", Kyiv

Murasova O.V.
Candidate of Technical Sciences,
State Enterprise "Scientific Research Institute of Building Production", Kyiv

Hrigorovskyi A.P.
Postgraduate Student,
State Enterprise "Scientific Research Institute of Building Production", Kyiv

УДК 528.32:504.76.312
DOI https://doi.org/10.32782/2664-0406.2022.41.3

Казаченко Л.М.
к.т.н., доцент кафедри проектування доріг, геодезії і землеустрою,
Харківський національний автомобільно-дорожній університет, м. Харків

Казаченко В.А.
аспірант кафедри міського будівництва Навчально-наукового інституту підготовки кадрів вищої кваліфікації,
Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова, м. Харків

Лобко-Зампассі М.
асистент кафедри образотворчого мистецтва і дизайну,
Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова, м. Харків

Казаченко Д.А.
викладач кафедри проектування доріг, геодезії і землеустрою,
Харківський національний автомобільно-дорожній університет, м. Харків

ІННОВАЦІЙНІ МЕТОДИ ВІДНОВЛЕННЯ ТА ВІДБУДОВИ БУДІВЕЛЬ І СПОРУД У ПІСЛЯВОЄННІ ЧАСИ РОБОТОМ-3D-ПРИНТЕРОМ

Анотація. *Відновлення територій, що постраждали від військових дій РФ, що ров'язала війну в Україні потрібно дуже швидко. За часи військового вторгнення дуже велика кількість житлових будинків України зруйнована повністю або частково. Місто Харків є одним з найбільш постраждалих міст в ході цієї війни, тому потрібна швидка, якісна відбудова. Відновити зруйновані війною з РФ будівлі, які мають історичну цінність, реконструювати зруйновані житлові будинки і нежитлові будівлі і споруди для повернення жителів в нашу країну і зберегти історичну цінність стародавнім будівлям і спорудам центральної частини міста Харкова. Зараз в час новітніх технологій, коли виробничі процеси виконують роботизовані механізми, на ринку будівельної галузі з'явилися 3-D принтери, які роботу виконують точно, швидко, якісно і мінімальною кількістю працівників. Відбудова зруйнованих будинків за допомогою робота-3-D принтера є можливим вирішенням проблеми. Автоматизація процесу та швидкість будівництва є безумовними пріоритетами у порівнянні з іншими способами будування. Будівельний робот-3D-принтер являє собою будівельну машину об'ємного друку, яка діє автоматизовано за допомогою програмного забезпечення через керування пультом за заданим маршрутом, тобто при підключенні до джерел електропостачання, буквально на голому місці може створити готову запроектовану в програмі будівлю за наявністю невеликої кількості будівельних матеріалів – цементу марки М 500, піску, скловолокна та 2–3 працівників будівельної галузі, які керують процесом. Ці будинки буквально друкує робот-3D-принтер, який встановлюється на будівельному майданчику за 3–5 діб, причому заповнює рідкою швидко застигаючою речовиною не тільки зовнішні стіни будинку, а й одночасно міжкімнатні стіни та пройоми. Робот-3D-принтер може друкувати будь які будівельні форми – не тільки рівні, а й округлі стіни, що може допомогти відновити зруйновані історичні будівлі в центральній частині міста. Рідина, яка застигає майже не потребує внутрішніх штукатурних оздоблювальних будівельних робіт, є стійкою, міцною та теплою. Побудовані за допомогою робота-3D-принтера будинки є не дорогими і доступними. Це може швидко вирішити проблему відновлення та відбудови зруйнованих будівель як одно поверхових садибного типу, а й інших будинків.*

Ключові слова: відновлювання зруйнованих будинків, роботизація і автоматизація процесу, робот-3-D принтер, бетонна суміш.

Постановка проблеми. У післявоєнні часи потрібно швидка та якісна відбудова зруйнованих будинків, нежитлових будівель і споруд. Міста і містечка України зазнали значних руйнувань у ході повномасштабного вторгнення РФ. Місто Харків є одним з найбільш постраждалих міст в ході цієї війни. Більше половини усіх випущених по Україні ракет припадає саме на місто Харків. Руйнування зазнали як житлові будинки, так і освітні, медичні, комерційні заклади. Зруйнована інженерна інфраструктура, лінійні інженерні споруди.

Місто Харків вважається першою столицею України, притаманна архітектурна витонченість старовинних будівель прикрашала раніше наше місто. Велич в архітектурних ансамблях в центральній частині побудованих старовинних будинків поєднуються стилі класицизму та готики, бароко та модерну поряд із сучасною забудовою. Нажаль зараз із-за військових дій з боку РФ дуже багато старовинних будівель втрачено назавжди (рис. 1).

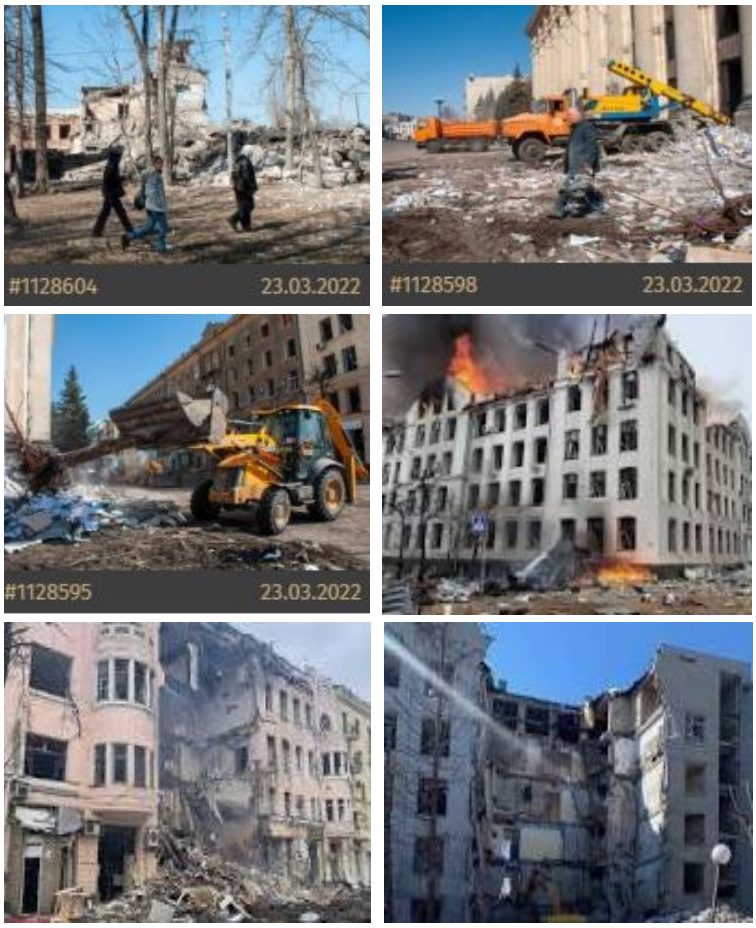


Рис. 1. Зруйновані будинки і споруди м. Харків на 23.03.2022

Також багато сучасних житлових багатоквартирних будинків повністю або частково зруйнованих і часто не підлягають реставрації. Тому потрібно рішення щодо відновлення архітектурної краси центральної частини міста та зруйнованої житлової забудови спальних районів. Потрібне непросте, але швидке рішення щодо відновлення зруйнованих територій м. Харкова та інших міст і містечок України.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В Законодавчій базі України, зокрема [1–3] визначені поняття будівництво – нове будівництво, реконструкція, реставрація, капітальний ремонт об'єкта будівництва. Тобто згідно цього Закону України нове будівництво будівель і споруд або його реконструкція повинно здійснюватися за визначеними правилами і нормами. Є безліч прийнятих ДБН, ДСТУ, які визначають правила будівництва, методи і методологію. Існуючі методи забудови, прийняті в нашій країні потребують багато зусиль, матеріалів, спеціалістів будівельної галузі. Потрібні нові рішення та нові технології [4].

Мета роботи. Метою роботи було віднайти нові методи та технології у галузі будівництва, які б допомогли вирішити ряд проблем – відновити зруйновані війною з РФ будівлі, які мають історичну цінність, реконструювати зруйновані житлові будинки і нежитлові будівлі і споруди для повернення жителів і зберегти історичну цінність стародавнім будівлям і спорудам центральної частини міста Харкова.

Результат дослідження. Для відновлення стародавніх будівель і споруд, які мають історичну цінність і частково зруйновані військовими діями РФ на території України потрібні термінові дії щодо здійснення забудови або реконструкції. Існуючі методи будівництва потребують проекту реконструкції, великих прорахунків щодо матеріалів, працівників будівельної галузі, транспортних витрат і дуже багато часу. Але є нові методи будівництва, які не потребують багато зусиль, матеріалів, часу і велику кількість будівельників. Такі методи називають надсучасними – автоматизованими та роботизованими, тобто роботи

здійснюють будівництво за допомогою керування спеціалістів будівельної галузі. Такі технології як будівництво за допомогою 3-D-принтера є можливим вирішенням проблеми. Автоматизація процесу та швидкість будівництва є безумовними пріоритетами у порівнянні з іншими способами будування.

Будівельний робот-3D-принтер являє собою будівельну машину об'ємного друку, яка діє автоматизовано за допомогою програмного забезпечення через керування пультом за заданим маршрутом, тобто при підключенні до джерел електропостачання, буквально на голому місці може створити готову запроектовану будівлю.

Будівельний робот-3D-принтер має вигляд гігантського, що збирається на місці будівництва принтера за типом мостового крана і має сопло або екструдер і видавлює з нього суміш, яка швидко твердіє і перетворюється на міцний будівельний матеріал. Багато питань викликає безпосередньо технологія такого будівництва за допомогою роботу-3D-принтеру. По-перше, як на міцність конструкції будуть впливати шви, які виникають у при таких методах побудови через кожні три-п'ять сантиметрів. По-друге, існуючий процес укладання арматури має спірні питання – при підвищеній вологості повітря залізна арматура дає корозію, яка руйнує бетонні конструкції розтріскуванням і осипанням. Китайські будівельники армують склопластиковою сіткою, що дає ряд переваг – здешевлює процес і зміцнює будівлю.

Рис. 2. Склеювання та прокладення пластикових сіток між 2 панелями

Таблиця 1 Характеристика робота-3D-принтера

№ п.п	Найменування складових	Характеристика
1	Тип роботизованого виробу	Будівельний робот-3D-принтер
2	Призначення	Друк будівель і окремих елементів до 110 м^2
3	Тип електроприводу	Крокові електродвигуни з циліндричними редукторами
4	Робоча швидкість	9 м/хв
5	Величина робочої зони	10×11×2,7 м
6	Комплектація	Робот – принтер, моноблок, промислова клавіатура, шафа управління
7	Швидкість позиціонування	12 м/хв
8	Точність позиціонування	2 мм
9	Потужність споживання електроенергії	3.5 кВт
10	Розмір друкованого шару:	
	висота	10 мм
	ширина	30 мм
11	Витрата бетону м^3 на 1 м^2 стіни при 4-х шаровому друку	0.12 м^3

Існує два види конструкцій будівельного робота-3D-принтера у вигляді козлового крана та у вигляді стріли-маніпулятора.

До комплектації будівельного роботу – 3D-принтера входить моноблок, промислова клавіатура, шафа управління Поверхня, на якій в автоматизованому режимі створюється об'ємні будівельні вироби, називається робочою зоною і має розміри, що задаються параметрами величини ходу сопла (рис. 3).

Завдяки роботу-3D-принтеру без ручної праці спеціалістів будівельної справи можна створювати не тільки будинки і великогабаритні об'єкти різних форм, як то круглих і хвилеподібних (рис. 4).

Це можна застосувати при реконструкції зруйнованих історичних будівель, надруковуючи як окремі архітектурні оздоблювальні елементи так і стіни будинку в цілому.

Рис. 3. Робот-3D-принтер типу козлового крану

Рис. 4. Створений будинок круглої форми роботом-3D-принтером

Управління роботом-3D-принтером здійснюється через програмне забезпечення ArtSoft **Mach3**, де можна задавати всі необхідні параметри, координати точок X, Y, Z і налаштування для здійснення будови будинків (рис. 5).

Рис. 5. Панель керування ArtSoft **Mach3** роботом-3D-принтером

Група вчених британського Університету Лафборо під керівництвом доктора Сунгву Ліма з (Loughborough University), надрукували першу в світі порожнисту панель з подвійними закругленими контурами. На такому ж принципі побудовані 3D-принтери китайської компанії Shanghai WinSun Decoration Design Engineering Co, яка першою надрукувала серію справжніх будинків на початку 2014 року.

На рис. 5 представлені 3-D-принтери у вигляді стріли-маніпулятора

Рис. 6. Робот-3D-принтер

Відомо про три способи створення об'ємної конструкції:

1. Метод пошарового заповнення (екструдування) в'язкою робочою сумішю;
2. Метод спікання або селективного спікання – при високих темпаратурах;
3. Метод напилення або компонентна склейка (стереолітографія)

Перший метод характеризується тим, що – з робочого «сопла» робота-3D-принтера видавлюється, подібно зубній пасті з тюбика, сметаноподібна суміш бетону з добавками.

При другому способі в робочій зоні робота 3D-принтера відбувається розплавлення робочої суміші, причому плавлення досягається під час будівництва, сконцентрованим лазером або сонячним променем, а робочою сумішшю виступає звичайний пісок.

При третьому способі з робочого сопла виходить струмінь піску, який змішується з клейовими складовими – каталізатором, утворюючи об'єми в програмно заданій точці.

Методи спікання і напилення, є найновітнішими, оскільки для роботи 3D-принтера використовується сонячна енергія та екологічно чисті складові суміші – пісок, якй з розплавленого стану перетворюється в склоподібну масу, тобто будинок із скла. Ці два методи роблять житло, побудоване роботом – принтером майже безоплатним.

З перерахованих 3 способів формування будівельного об'єму роботом-3D-принтером, увагу будівельників приваблює перший метод пошарового пресування, оскільки він практично себе показав – на сьогоднішній день створені досить великі несучі поверхні і справжні будинки.

Завдяки роботу-3D-принтеру без особливих зусиль ручної праці можна створювати не тільки будинки і великогабаритні об'єкти, а також ексклюзивні ландшафтні вироби, будь-які споруди і частини вуличного інтер'єру. Завдяки структурній формі друкування 3D-принтера можна не оздоблювати будинки, дизайн випуклих форм є цікавим і сучасним (рис. 7).

Рис. 7. Дизайн всередині будівлі округлої форми

Ця нова концепція будівництва за допомогою роботом-3D-принтером все ще знаходиться в експериментальній фазі, але вона показує тільки те, що ми можемо досягти використовуючи найновітні технології і роботизовані системи будівництва, що здешевлює, спрощує, дає перевагу у термінах будівництва будівель і споруд. В галузі біоенергетики, вловлюючи викиди від електростанцій можна перетворювати їх в друкований запас – цей безкоштовний матеріал для робота-3D-принтера, який можливо використовувати для заміни цементу, який має свої власні негативні екологічні викиди та тиск на довкілля. Тому масове будівництво підприємств з переробки будівельних відходів та сміття, буде мати можливість отримання безкоштовного матеріалу, який буде використовуватися при підготовці робочої суміші для робота-3D-принтера для побудови будівель і споруд.

Рис. 8. Будівля роботизованих систем будівництва

Так само поширеність вітрових, сонячних і біоелектростанцій, дає змогу припустити, що на звалищах будівельного сміття будуть встановлені гігантські подрібнювачі будівельного сміття, що живляться електроенергією від найближчої біоелектростанції. Побудовані будинки за допомогою робота-3D-принтера з матеріалу суміші будівельного сміття, бетону і добавок, являє собою недороге швидко побудоване житло або підприємства.

Для будівельних робіт роботом-3D-принтером використовують цемент марки М 500, скловолокно, просіяний річний пісок це ті будівельні матеріали, які були перевірені часом і довели свою стійкість до будь-яких погодних умов. Це не дорогі і доступні будівельні матеріали, що є у будь-якій місцевості. Для здійснення будівництва – друкування роботом-3D-принтером спочатку готують будівельний розчин. Після чого, за допомогою робота-3D-принтера цей розчин видавлюється через спеціальні сопла і наноситься на підставу шар за шаром (рис. 9)

Рис. 9. Побудований будинок роботом-3D-принтером

Горизонтальне армування робиться під час друку, а вертикальне після, потім заливається бетонною сумішшю. Таким чином, можна звести стіни невеликого будинку всього за декілька годин. Будинок на принтері можна створити швидко, але це будуть тільки стіни, перегородки і сходи. Всі інші будівельні складові – двері, вікна встановлюють власноруч. Витрата бетону при будівництві таким роботом-3D-принтером становить 0,08–0,12 м^3 на 1 м^2 стіни при 4-х шаровому друку. Розмір друкованого шару складає 30×10 мм. Це ідеальна товщина і висота дозволить не обвалитися і не просісти розчину, також при висиханні матеріалу він не деформується. Швидкість позиціонування становить 12 м за 1 хвилину, а точність позиціонування всього 2 мм. Завдяки таким високим показникам друк таких виробів займає мало часу і дозволить у найкоротший час будувати велику кількість будівель.

Для здійснення будівельних робіт цим способом роботом-3D-принтером опалубки не потрібно, робот автоматизовано веде свою заливку будівельною сумішшю за заданим комп'ютером маршрутом у будь-яких формах.

Важливою частиною кожного проекту будівництва є його дизайн. При відновленні та реконструкції старовинних будівель і споруд, що мають історичну цінність міста дизайн реконструйованої будівлі може бути повторенням або гармонійним доповненням до існуючої забудови тих форм, які були до руйнування. В цьому може допомогти застосування робота-3D-принтера, якщо при програмуванні таких будівель до комп'ютерної програми внести певні елементи дизайну будівлі або частину, яка б не відрізнялася від зруйнованої старовинної будівлі. Тобто за допомогою програмного забезпечення ми можемо створювати ті елементи дизайну старовинних будівель, які б повторювали єдиний архітектурний ансамбль, що існував до військових дій і мав історичну цінність.

Головною перевагою у роботі 3D-принтера є автоматизація процесів створення будівельних конструкцій. Для керування 3D-принтером потрібен лише один спеціаліст, що керує автоматизацією процесу та 2–3 працівника, що обслуговують цю машину. Таким чином не потрібно багато спеціалістів будівельної галузі, які задіяні у процесі будівництва. Спеціаліст, що керує роботом 3D-принтером повинен слідкувати за безперервною його роботою через пульт керування. Зокрема,

Поєднання комерційно доступних роботів, передового зварювального апарату та програмного забезпечення дає змогу виконувати будівельні роботи майже без спеціалістів будівельної галузі, за допомогою програмного забезпечення, робота-3D-принтера і керуючого з пульта управління процесом створення об'ємних будівель.

Відновлення зруйнованих війною будівель можливо при використанні робота-3D-принтера. Автоматизація процесів за мінімально короткий термін і з мінімальними витратами будівельних матеріалів та мінімальною кількістю спеціалістів може забезпечити відбудову житлового і нежитлового фонду України у післявоєнні часи.

Висновки

1. За допомогою робота-3D-принтера та програмного забезпечення ми можемо створювати ті елементи дизайну старовинних будівель, які б повторювали єдиний архітектурний ансамбль, що існував до військових дій і мав історичну цінність.

2. Поєднання комерційно доступних роботів, передового зварювального апарату та програмного забезпечення дає змогу виконувати будівельні роботи майже без спеціалістів будівельної галузі, за допомогою програмного забезпечення, робота-3D-принтера і керуючого з пульта управління процесом створення об'ємних будівель.

3. Відновлення зруйнованих війною будівель можливо при використанні робота-3D-принтера. Автоматизація процесів за мінімально короткий термін і з мінімальними витратами будівельних матеріалів та мінімальною кількістю спеціалістів може забезпечити відбудову житлового і нежитлового фонду України у післявоєнні часи.

Література

1. Про регулювання містобудівної діяльності : Закон України від 17.02.2011 № 3038-VI. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3038-17#Text
2. ДБН Б.2.2-12.2019 «Інформаційний бюлетень 6'2019»
3. Про охорону культурної спадщини : Закон України від 8.06.2000 року № 1805. *ВВР*. № 39. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1805-14#Text
4. Про застосування робота-3-D-принтера. URL: http://www.n-zodchie.com/ua/articles/pro-zastosuvannya-3d-tehnologiy-u-budivnyitstvi.html
5. В. Казаченко, М. Лобко-Зампассі Виявлення схожості планування та оздоблення міської забудови України та Європейських країн. *Комунальне господарство міст Наук. техн. збірник серія технічні науки та архітектура*. Вип. 173. Т. 6. Харків ХНУМГ ім. Бекетова, 2022. С. 49–53.

References

1. Law of Ukraine dated February 17, 2011 № 3038-VI "On Regulation of Urban Planning". URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3038-17#Text
2. DBN B.2.2-12.2019 "Information Bulletin 6'2019".
3. The Law of Ukraine "On the Protection of Cultural Heritage" of June 8, 2000 № 1805. *VVR*. № 39. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1805-14#Text
4. About the use of a robot-3-D-printer. URL: http://www.n-zodchie.com/ua/articles/pro-zastosuvannya-3d-tehnologiy-u-budivnyitstvi.html
5. Kazachenko V., Lobko-Zampassi M. Identification of similarities in the planning and decoration of the urban development of Ukraine and European countries. *Communal economy of cities Nauk. technical collection technical sciences and architecture series*. Is. 173. T. 6. Kharkiv KhNUMG named after Beketov 2022. P. 49–53.

INNOVATIVE METHODS OF RESTORATION AND RECONSTRUCTION OF BUILDINGS AND STRUCTURES IN POST-WAR TIMES USING A ROBOT-3D-PRINTER

Abstract. *The restoration of the territories affected by the military actions of the Russian Federation, which started the war in Ukraine, is needed very quickly. During the military invasion, a very large number of residential buildings in Ukraine were completely or partially destroyed. The city of Kharkiv is one of the most affected cities in the course of this war, so a quick, high-quality reconstruction is needed. Restore buildings of historical value destroyed by the war with the Russian Federation, reconstruct destroyed residential buildings and non-residential buildings and structures for the return of residents to our country, and preserve the historical value of ancient buildings and structures in the central part of the city of Kharkiv. Now, in the time of the latest technologies, when production processes are performed by robotic mechanisms, 3-D printers have appeared on the market of the construction industry, which perform the work accurately, quickly, qualitatively and with a minimum number of workers. Reconstruction of destroyed buildings with the help of a robot-3-D printer is a possible solution to the problem. Automation of the process and speed of construction are absolute priorities compared to other construction methods. A construction robot – a 3D-printer is a three-dimensional printing construction machine that operates automatically with the help of software through remote control along a given route, that is, when connected to power sources, it can literally create a ready-made building designed in the program in the presence of a small quantity of building materials – M 500 cement, sand, fiberglass and 2–3 construction workers who manage the process. These houses are literally printed by a robot-3D-printer, which is installed on the construction site in 3–5 days, and fills not only the external walls of the house, but also interior walls and openings with a liquid, quickly solidifying substance. The robot 3D-printer can print any building forms – not only flat, but also rounded walls, which can help restore destroyed historic buildings in the central part of the city. The liquid, which hardens almost without the need for internal plaster finishing construction work, is stable, strong and warm. Houses built with the help of a robot-3D-printer are not expensive and affordable. This can quickly solve the problem of restoration and reconstruction of destroyed buildings, both single-story manor houses and other buildings.*

Key words: restoration of destroyed buildings, robotics and automation of the process, robot-3-D printer, concrete mixture.

Kazachenko L.M.
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor at the Department
“Designing of roads, geodesy and land management”,
Kharkiv National Automobile and Highway University, Kharkiv

Kazachenko V.A.
Graduate Student at the “Department of Urban Construction” of the Educational
and Scientific Institute for the Training of Highly Qualified Personnel,
O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, Kharkiv

Lobko-Zampassi M.
Assistant at the Department of “Fine Art and Design”,
O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, Kharkiv

Kazachenko D.A.
Teacher at the Department “Road design, geodesy and land management”,
Kharkiv National Automobile and Highway University, Kharkiv

УДК 528.32:504.76.312
DOI https://doi.org/10.32782/2664-0406.2022.41.4

Казаченко Л.М.
к.т.н., доцент кафедри проектування доріг, геодезії і землеустрою,
Харківський національний автомобільно-дорожній університет, м. Харків

Казаченко Д.А.
викладач кафедри проектування доріг, геодезії і землеустрою,
Харківський національний автомобільно-дорожній університет, м. Харків

Казаченко В.А.
аспірант кафедри міського будівництва» Навчально-наукового інституту підготовки кадрів вищої кваліфікації,
Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова, м. Харків

Лобко-Зампассі М.
асистент кафедри образотворчого мистецтва і дизайну,
Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова, м. Харків

ЗАСТОСУВАННЯ ГЕОІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ ПРИ ПОБУДОВІ ЦИФРОВОЇ КАРТОГРАФІЧНОЇ ОСНОВИ ДЛЯ РОЗРОБКИ ГЕНЕРАЛЬНИХ ПЛАНІВ НАСЕЛЕНИХ ПУНКТІВ

Анотація. *Розробка генеральних планів населених пунктів виконується на створеній картографічній основі, в наш час вона виконується в цифровому вигляді за допомогою використання геоінформаційних систем і технологій. Для створення цифрової картографічної основи використовують сучасні геодезичні вимірні системи, які включають сучасні електронні геодезичні прилади та обладнання і ГІС-технології. Обробку результатів геодезичних вимірів та побудову картографічного матеріалу здійснюють за допомогою геодезичного програмного забезпечення, що дозволяє отримувати цифрову основу для подальшої розробки генеральних планів населених пунктів. Така цифрова картографічна основа на територію населених пунктів останнім часом уноситься до бази даних Державного містобудівного кадастру у вигляді побудованих планшетів, згідно існуючих вимог та правил оформлення. Сучасні вимоги до розробки містобудівної та землевпорядної документації передбачають застосування ГІС-технологій, Дистанційного зондування Землі і сучасного програмування. Це дає змогу побудови картографічної продукції у цифровому та паперовому вигляді та відображати всі зміни, що відбуваються на території населених пунктів і внесення такої цифрової інформації при веденні Державного містобудівного кадастру. Відображення змін, що відбуваються на території населених пунктів має назву корегування планово-картографічних матеріалів, до яких входить і розроблені генеральні плани території населених пунктів. І якщо раніше для виконання таких завдань потребувалося немало зусиль, терміну виконання і державних коштів, то сучасні методи цифрового картографування дають змогу постійного відображення та внесення змін з мінімальними витратами.*

Ключові слова: генеральні плани населених пунктів, геоінформаційні системи, геодезична і картографічна основа, цифрове картографування, програмне забезпечення, геопортал, Дистанційне зондування Землі.

Постановка проблеми. Для розробки генерального плану на територію населених пунктів на першому етапі потрібні збір і аналіз вихідних даних і доступ до всіх чинних кадастрів. Державний земельний кадастр, як геоінформаційна система вміщує безліч інформаційних шарів про землі. Ведення Містобудівного кадастру і його наповнення інформаційними шарами потребує цифрової картографічної інформації. Наповнення

такою цифровою картографічною інформацією відбувається шляхом надходження містобудівної документації до Державного містобудівного кадастру, тому існує проблема її розробки із застосуванням сучасних геоінформаційних систем і технологій.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. В законодавчій базі України у галузі містобудування та архітектури визначено, що для розроблення містобудівної документації, яка виконується у три етапи, на першому етапі потрібно доступ до всіх кадастрів в електронному вигляді, що передбачає використання сучасних ГІС-технологій. [1–4]. Згідно [5–6] розробка містобудівної документації має ряд вимог щодо її розробки та затвердження. Використання комп'ютерних геодезичних програм дозволяють здійснювати картографування територій у цифровому вигляді, що дає можливість вносити зміни, що відбулися своєчасно і з найменшими зусиллями [7–8].

Мета роботи. Метою роботи було побудова картографічної основи на територію с. Вишневе у цифровому вигляді із застосуванням геоінформаційних систем та Дистанційного зондування Землі. Унесення до бази даних Державного містобудівного кадастру планово-картографічних матеріалів у цифровому вигляді потрібно для розроблення генеральних планів, оскільки старі картографічні матеріали та розроблена містобудівна документація давно вже застаріла і не відповідає дійсності, тому втратили свою вагомість.

Результати досліджень. Створення планової геодезичної основи для розробки генеральних планів населених пунктів вимагає використання сучасних високоточних геодезичних приладів, програмного забезпечення для обробки результатів геодезичних вимірів, геоінформаційних систем, Дистанційного зондування Землі. Використання сучасного геодезичного програмного забезпечення та ГІС-технологій дає змогу створити картографічну продукцію у цифровому вигляді, на основі якої розробляють генеральні плани населених пунктів. Існуючі генеральні плани раніше будували на папері, при цьому мало коли застосовували геодезичні вимірювання, прив'язка до місцевості була умовна, без координування. Генеральні плани були створені за часів існування Радянського Союзу у 70 роках, коли було проведене велике картографування населених пунктів і розробка генеральних планів. Пройшло багато років, відбулися дуже великі зміни у суспільстві і старі генеральні плани давно не відповідають дійсності та втратили свою актуальність. Тому постало завдання створення нових генеральних планів в сучасному цифровому вигляді, що дає змогу їх корегування та внесення змін у будь який час з найменшими витратами.

Метою цієї роботи було застосування сучасних геоінформаційних систем, комп'ютерного програмного забезпечення у створенні геодезичної картографічної основи для розробки генерального плану на територію населеного пункту с. Вишневе Близнюківського району Харківської області, згідно прийнятого Рішення Вишневської сільської ради. Згідно [8] рішення щодо розроблення генеральних планів населених пунктів приймається у таких випадках:

– є рішення про затвердження комплексного плану і приймається рішення про розробку генерального плану;

– територія об'єднаної територіальної громади включає лише територію одного населеного пункту, на який відсутній генеральний план.

На територію населеного пункту с. Вишневе було прийнято Рішення про розробку генерального плану згідно прийнятого рішення про затвердження комплексного плану. Розробленню генерального плану на територію населеного пункту передує розробка геодезичної основи. Виконання геодезичних знімальних робіт було здійснено нами на територію населеного пункту с. Вишневе Близнюківського району Харківської області новітніми геодезичними вимірними системами. Застосування сучасних геоінформаційних систем, комп'ютерного програмного забезпечення у створенні геодезичної картографічної основи для розробки генерального плану на територію населеного пункту відповідають сучасним вимогам їх створення. Такі картографічні матеріали будують виключно після проведення геодезичного знімання території, у відповідності до існуючих вимог, які зобов'язують здійснення прив'язки до пунктів Державної геодезичної мережі, використання космічної інформації і геоінформаційних систем. Ми здійснювали такі роботи із застосуванням ГІС-технологій, як продукту ГІС – геопоталу України та Публічної кадастрової карти України.

Для більшої точності вибирали пункти ДГМ за даними геопорталу:

– пп. Нововербівське;
– пп. 3-тє Відділення;
– пп. Ранковий.

Характеристика використаних пунктів ДГМ надана в табл. 1.

Пункти Державної геодезичної мережі розшукували спочатку на геопорталі України, визначили за цифровою картою пунктів ДГМ та вибрали за каталогом, що є в інформаційних шарах геопорталу. Дані вихідних геодезичних координат вибирали по кожному окремому пункту та заносили цю інформацію до геодезичного приладу GPS. На місцевості пункти розшукували за допомогою GPS-приймача і здійснювали прив'язку не менше ніж 20 хвилин у статичному режимі (рисунок 1–2).

Таблиця 1. Список обстеження пунктів державної геодезичної мережі

	Назва номер по каталогу	Дані обстеження	Примітка
А	Державна геодезична мережа		
	Нововербівське М373178500	Задовільний	
	3-тє Відділення М373138600	Задовільний	
	Ранковий М371336200	Задовільний	
Б	Мережі згущення		
	Не використовувалися		
В	Висотна мережа		
	Не використовувалися		

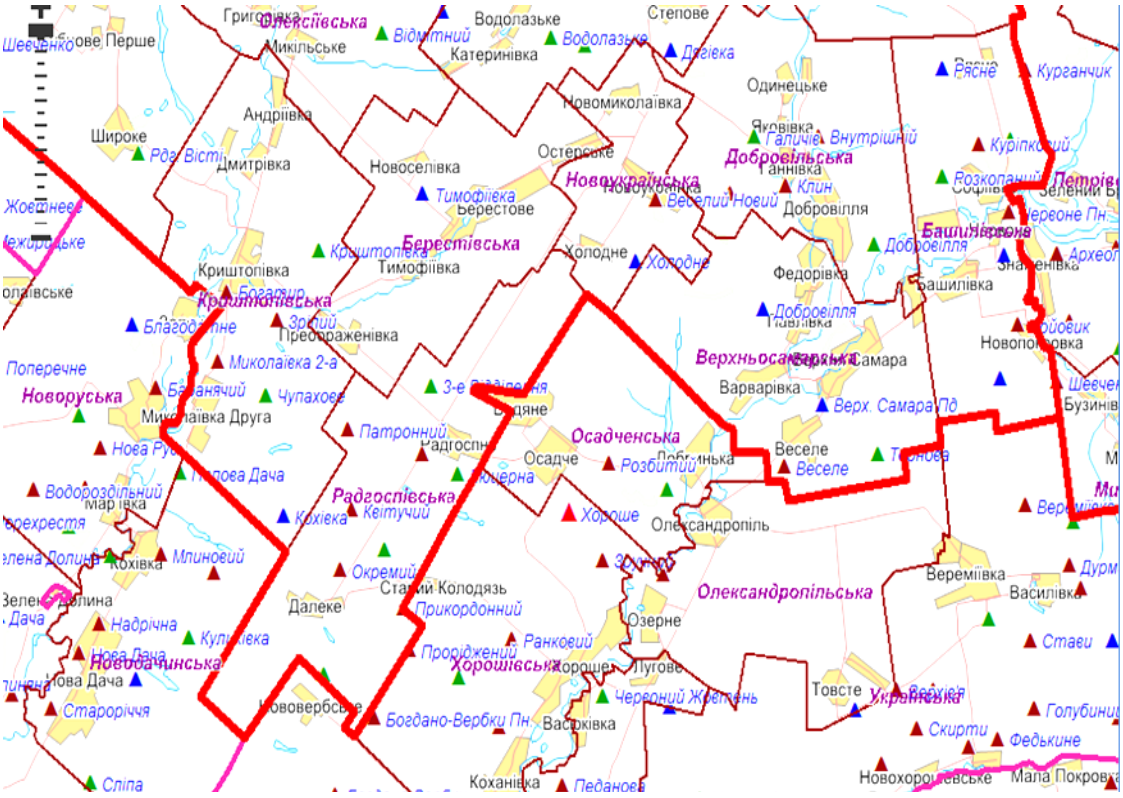


Рис. 1. Дані геопорталу України про пункти ДГМ на території Близнюківського району Харківської області

Для прив'язки до пунктів Державної геодезичної мережі (ДГМ) використовували 3 пункти, які були розташовані у межах 5 км від населеного пункту таблиця 2.

Одним з продуктів ГІС-технологій є Публічна кадастрова карта України з різними інформаційними шарами, за допомогою яких можна отримати перелік інформації про межі району, населеного пункту, ґрунтовий покрив, рельєфні умови, приватизовані земельні ділянки, кадастровий поділ та космічний знімок. Космічна інформація на територію дає уяву про будівлі, вулиці, автодороги, лінії електромереж, водний фонд (рис. 2–3).

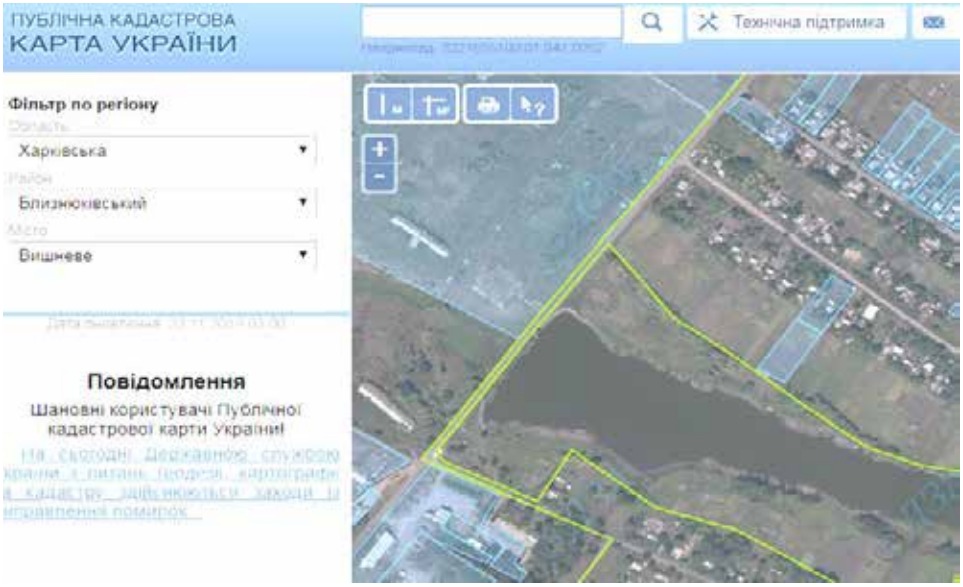
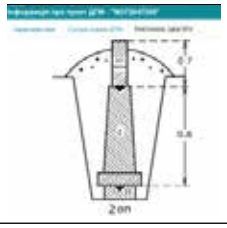
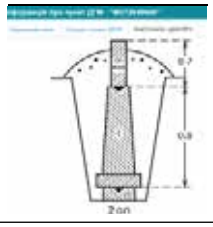


Рис. 2. Знаходження території за Публічною кадастровою картою

Таблиця 2. Характеристика пунктів ДГМ за даними геопорталу

Характеристики	Назва пунктів Державної геодезичної мережі (ДГМ)		
	Ново-вербівське	**3-тє Відділення**	**Ранковий**
Індекс пункту	М 373178500	М 373138600	М 373178000
Клас планової мережі	3	3	4
Клас нівелювання	IV	III	Геодезичного нівелювання
тип центру	53	2 оп	2 оп
Тип знаку	Грунтовий знак	Грунтовий знак	Грунтовий знак
Номер марки	–	–	2966
Метод визначень координат	Лінійно-кутова побутова	Лінійно-кутова побутова	Лінійно-кутова побутова
X, м	5383150	5392495	5384070
У, м	7303570	7308185	7311150
H, м (висота	141	142	147
mx, м	0.024	0.025	0.027
my, м	0.019	0.016	0.026
B	48° 33’01”	48°38’08”	48°33’39”
L	36°20’21”	36°23’50”	36°26’29”
Стан обстежень	Задовільний	Задовільний	Задовільний
Вид знаку			

Межі населеного пункту с. Вишневе відображені на Публічній кадастровій карті України (ПККУ) суцільною лінією жовтого кольору (рис. 3)

Для наповнення містобудівного та земельного кадастрів потрібно створення картографічної основи в цифровому вигляді на населений пункт, якої поки що немає, оскільки такі роботи повинні виконувати геодезисти. Для розробки генеральних планів потрібна певна картографічна інформація у цифровому вигляді – рельєф місцевості, основні лінії вулично-дорожньої мережі, об'єкти інженерної інфраструктури, комерційного використання, заклади освіти та культури, лікувальні заклади, межі житлової та громадської забудови, водних об'єктів, зони праці та відпочину населення, інша інформація. Тобто все, що входить до меж населеного пункту і складає єдиний комплекс планування забудови населеного пункту. На космічному знімку (рис. 4) ми бачимо, що на території с. Вишневе є водний об'єкт, як зона рекреації, є вулично-дорожня мережа, житлова та громадська забудова, промислова забудова і сільськогосподарські землі приватної власності.

Сучасні картографічні матеріали будують за допомогою комп'ютерних програм, у відповідності умовних знаків. Ми після виконання геодезичного знімання та прив'язки до пунктів Державної геодезичної мережі GPS-приймачем і потім побудували зйомочно-висотне обґрунтування у системі координат СК-63 та УСК-2000 (табл. 3).

Станції геодезичних знімань (всього 37 станцій) вибирали у найбільш зручних місцях – високих для зручності виконання польових знімальних робіт. Геодезичні знімальні роботи проводили сучасними геодезичними вимірними системами – електронним тахеометром та систем супутникової навігації. Знімали всі точки місцевості, які потрібні були для відображення на планово-картографічному матеріалі для розробки містобудівної документації на територію населеного пункту с. Вишневе для масштабу 1:5000.

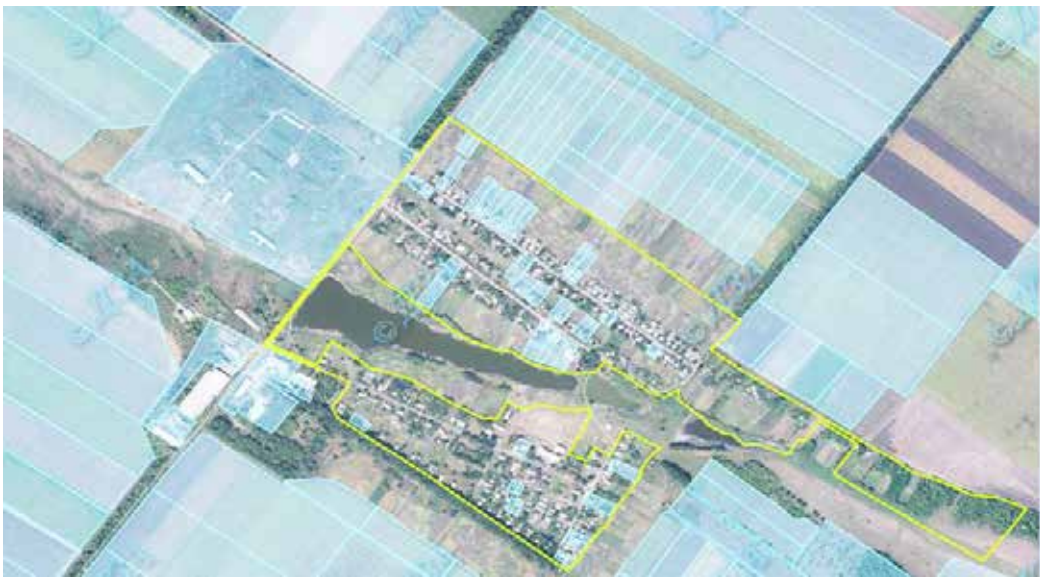


Рис. 3. Межі населеного пункту на ПККУ

На плані зйомочного висотного обґрунтування (рис. 4) показані номер станцій, їх висота у масштабі 1:5000.

Обробку результатів геодезичних вимірів проводили за допомогою комп'ютерного програмного забезпечення Digitals. Занесення вихідних геодезичних даних пунктів ДГМ та отриманих координат точок знімання здійснювали через перекачувальний пристрій з електронного тахеометру та GPS-приймача фірми виробника Trimble. На рис. 5 наведено занесення геодезичних даних в програму Digitals.

Побудову геодезичної основи на територію населеного пункту здійснювали в програмі Digitals, для цього вибирали умовні знаки для масштабу 1:5000. Програмне забезпечення дуже зручно вибирає умовні знаки за назвами, що містяться в інформаційних шарах за каталогом – житловий будинок, вулиця, проїзд, водний фонд, колодязь, транспортна зупинка, магазин, школа, тощо (рис. 6).

Таблиця 3. Відомість координат точок висотного обґрунтування

Номер пункту	X	Y	Z	Абсолютна висота , м
1	2	3	4	5
1	5379382,89	5366852,38	145,6	145,62
2	5379221,28	5367134,17	145,8	145,84
3	5379086,11	5367216,11	143,3	143,37
4	5379134,46	5367482,52	145,7	145,74
5	5378878,75	5367780,08	144,8	144,86
6	5378683,40	5367524,10	137,4	137,46
7	5378548,78	5367840,22	138,8	138,85
8	5378701,13	5368044,90	143,6	143,64
9	5378492,06	5368237,71	142,8	142,85
10	5378254,35	5368473,51	142,5	142,53
11	5378134,27	5368214,57	136,5	136,53
12	5378308,12	5367895,43	134,6	134,62
13	5378416,71	5367623,09	134,6	134,68
14	5378482,46	5367366,01	134,2	134,25
15	5378815,26	5367262,92	136,8	136,85
16	5378965,38	5367062,84	138,8	138,85
17	5379124,08	5366825,77	140,2	140,26
18	5379231,01	5366662,07	140,3	140,36
19	5379118,88	5366574,46	136,5	136,52
20	5378973,44	5366823,20	136,8	136,85
21	5378760,96	5367120,75	134,8	134,86
22	5378536,10	5367135,22	133,4	133,46
23	5378298,63	5367120,55	138,7	138,75
24	5378181,36	5367038,51	141,4	141,46
25	5378338,73	5366825,57	139,6	139,63
26	5378521,22	5366862,77	134,3	134,36
27	5378617,92	5366975,59	131,6	131,64
28	5378582,82	5366612,87	134,4	134,46
29	5378725,94	5366486,33	132,2	132,26
30	5378989,97	5366399,75	131,7	131,75
31	5378726,25	5366269,52	133,4	133,46
32	5378498,44	5366097,34	139,8	139,85
33	5378367,22	5366333,23	141,8	141,85
34	5378207,75	5366708,62	143,3	143,35
35	5378007,21	5366994,65	146,2	146,26
36	5378112,70	5367252,64	142,2	142,27
37	5378340,05	5367409,83	136,2	136,28

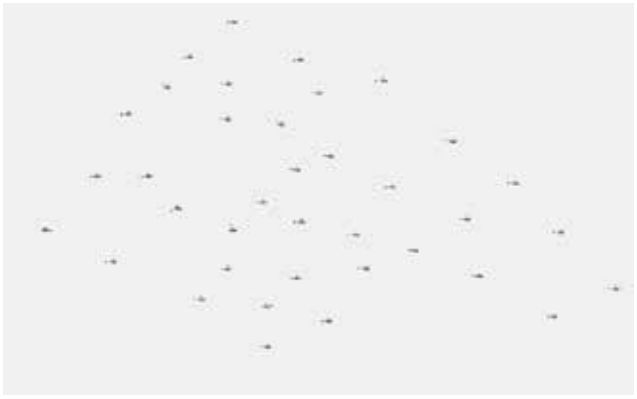


Рис. 4. Зйомочно-висотне обґрунтування на територію с. Вишневе

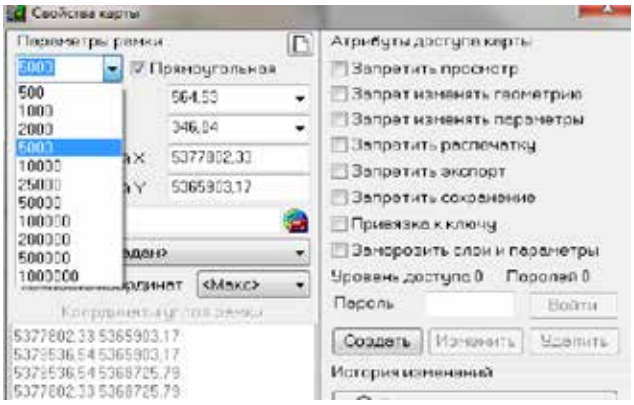
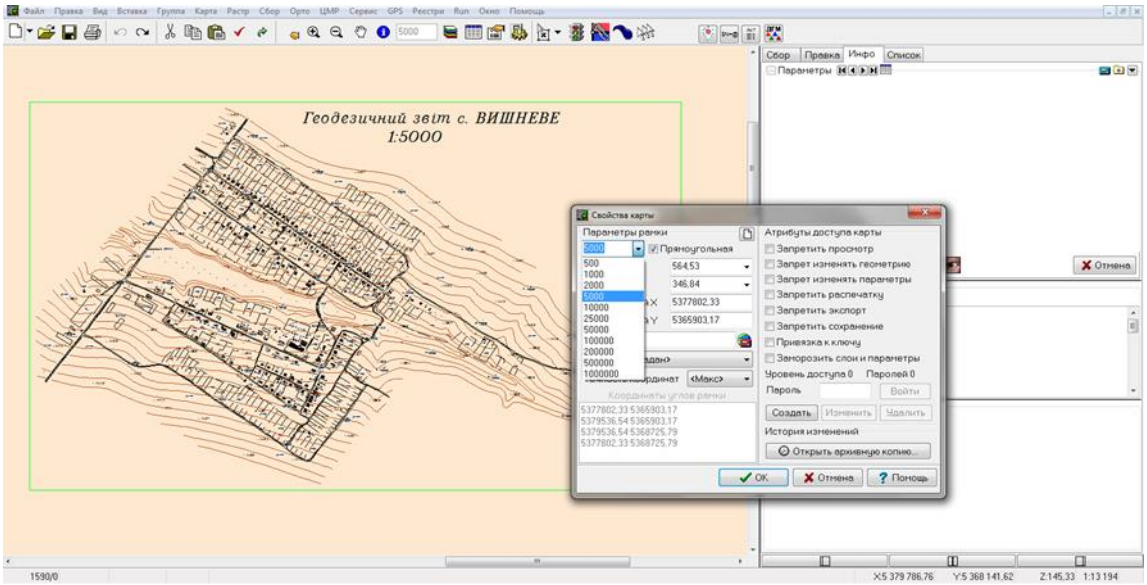


Рис. 5. Занесення геодезичних даних в програму Digitals



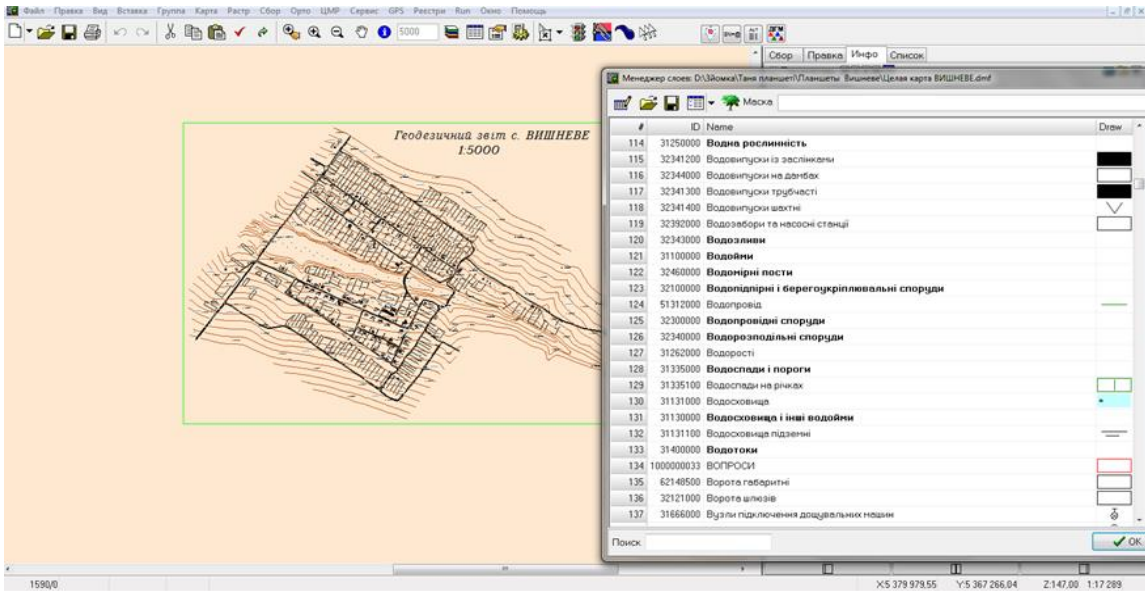


Рис. 6. Вибір умовних знаків для побудови ситуації в Digitals

Для побудови об'єкту водного фонду вибираємо за класифікатором водний об'єкт – ставок. За визначеними геодезичними координатами на місцевості відображаємо лінію водоохоронної зони (рис. 7), згідно законодавства України вона складає 50 метрів.

Для геодезичної основи на територію населеного пункту необхідним є визначення рельєфних умов. В програмному забезпеченні ми здійснювали рисовку рельєфу з нанесенням висот та інтерполюванням горизонталей. Краще це робити за допомогою підложки космічний знімок та растрова карта в програмі Digitals (рис. 8).

Застосування космічної інформації на територію населеного пункту дозволяє правильно відображати всю ситуацію місцевості та рельєф. Це необхідно для подальшої розробки генерального плану с. Вишневе (рис. 9).

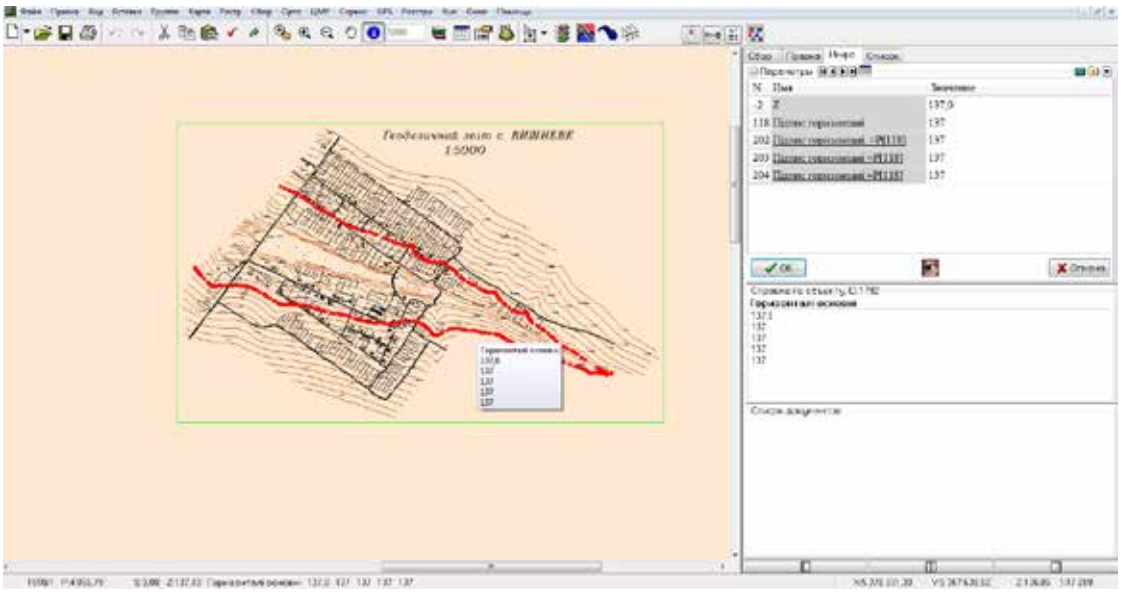


Рис. 7. Визначення водоохоронної смуги 50 м.

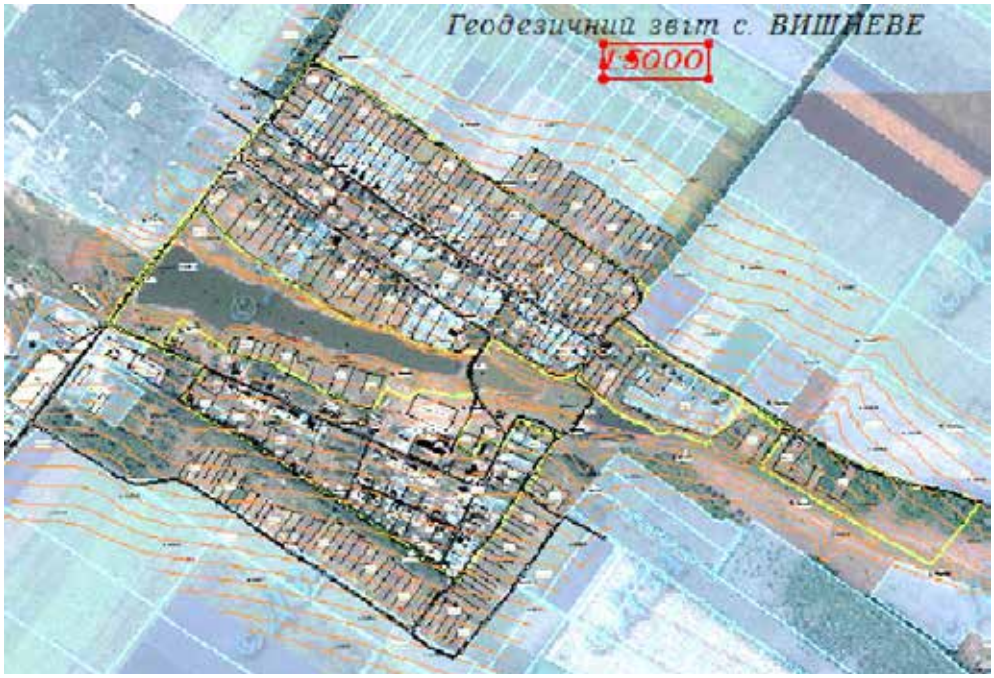


Рис. 8. Рисовка горизонталей

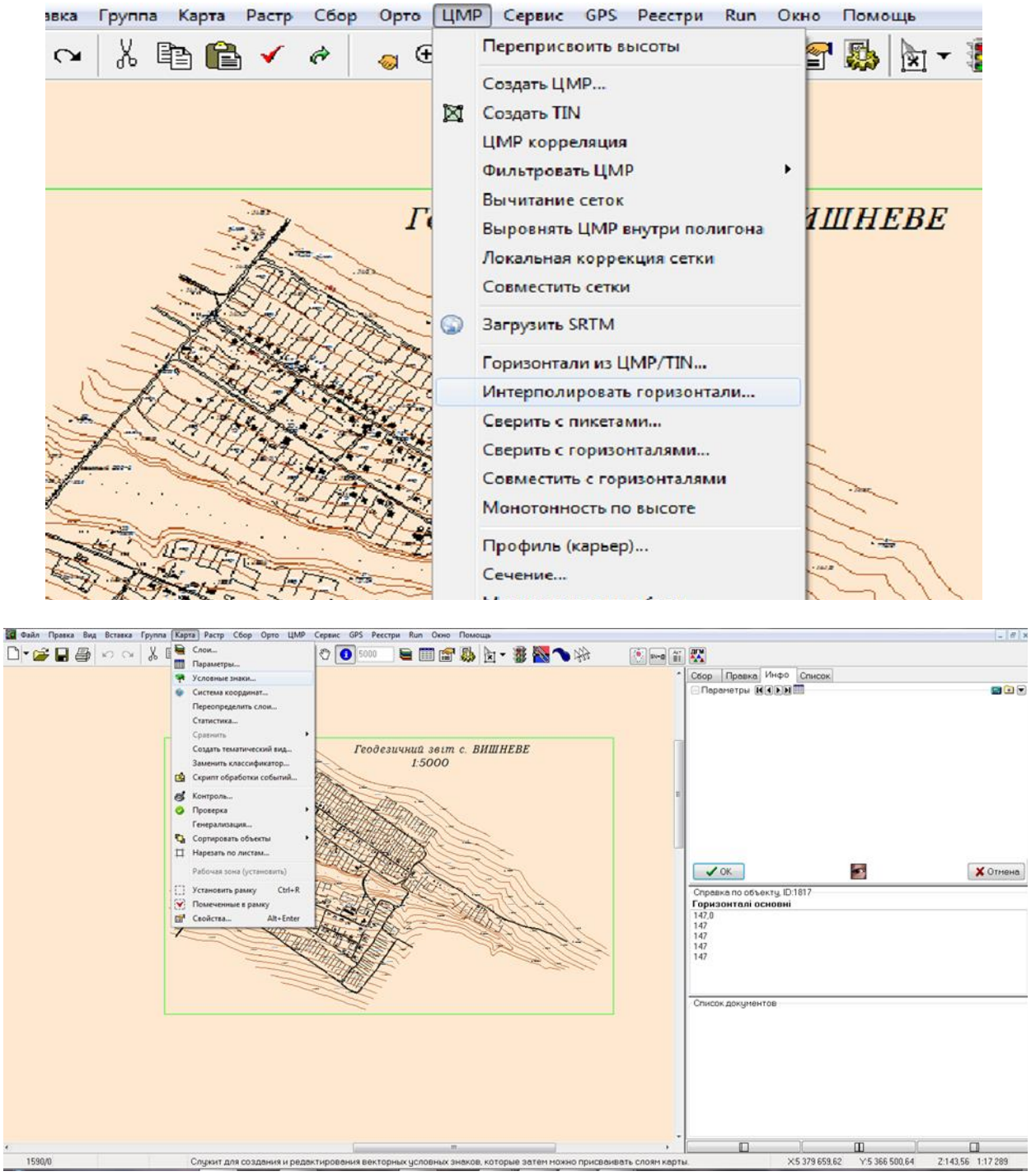


Рис. 9. Побудова цифрової моделі місцевості на територію с. Вишневе

Вибір в програмі Digitals – рисовка горизонталей відбувається дуже легко і суміщення космічної інформації на Публічній кадастровій карті України на територію населеного пункту дозволяє здійснювати таку роботу без помилок і у відповідності до законодавчо встановлених вимог до розробки містобудівної документації та відображення у містобудівному кадастрі (рис. 10).

Побудова геодезичної основи у цифровому вигляді потрібно для унесення до бази даних Державного містобудівного кадастру інформації про населений пункт. Така геодезична основа використовується для розробки генерального плану на населений пункт і є сучасним відображенням ситуації. Цифрова модель місцевості дозволяє враховувати всі питання під час розробки генерального плану на територію населеного пункту (рис. 11).

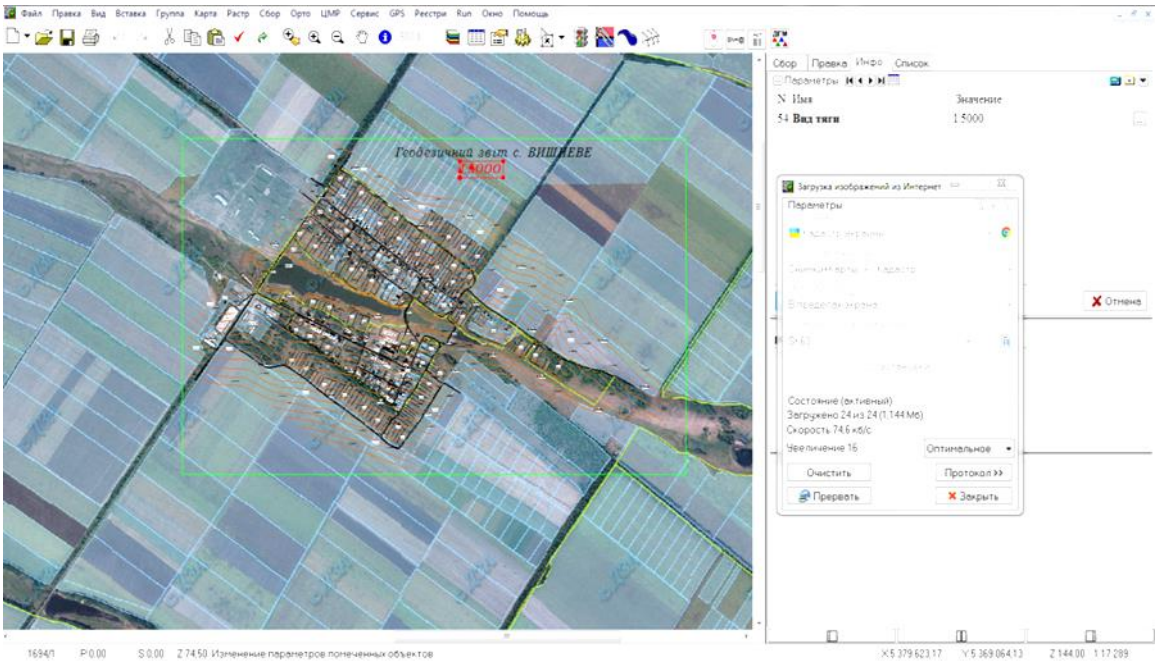


Рис. 10. Суміщення побудованого цифрового плану місцевості з Публічною Кадастровою картою та космічним знімком

Рис. 11. Цифрова модель місцевості с. Вишневе

Унесення до бази даних містобудівного кадастру здійснюється на планшетах у відповідному масштабі. Кожний планшет має розграфку геодезичних прямокутних координат та оформлюється відповідно до встановлених вимог містобудівної документації. Територія с. Вишневе містить 3 аркуша планшету (рис. 12).

Висновки. Побудова геодезичної основи у цифровому вигляді потрібно для унесення до бази даних Державного містобудівного кадастру інформації про населений пункт, яка використовується для розробки генерального плану на населений пункт і є сучасним відображенням ситуації.

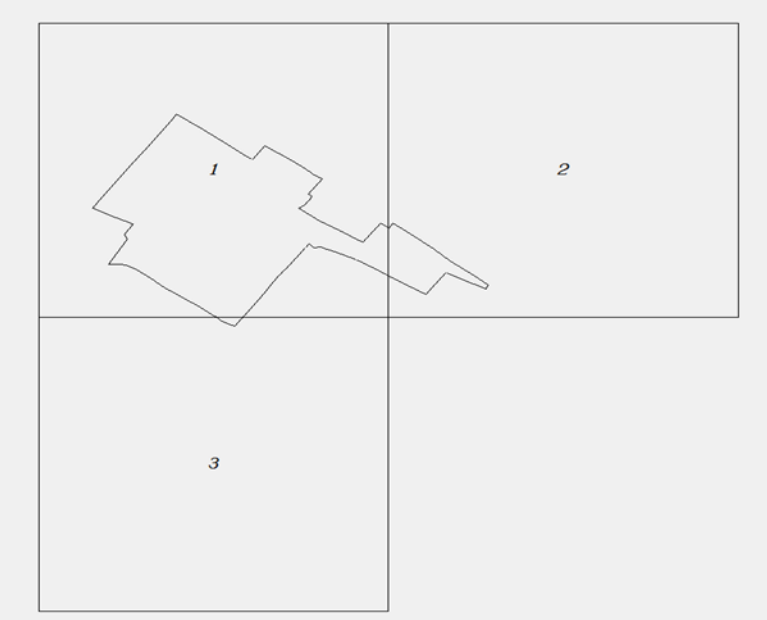


Рис. 12. Планшети на територію с. Вишневе

Використання ГІС-технологій та Дистанційного зондування Землі дають змогу виконати роботи зі створення геодезичної основи на територію населеного пункту, що дає змогу розробки генерального плану у цифровому вигляді.

Цифрова геодезична основа на територію населеного пункту дає змогу її коригування та внесення змін, що відбулися на території без додаткових витрат сил та коштів.

Література

1. Про Генеральну схему планування території України : Закон України від 07.02.2002 № 3059-III. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3059-14#Text
2. Про затвердження Порядку розроблення, оновлення, внесення змін та затвердження містобудівної документації : Постанова Кабінету Міністрів України від 01.09.2021 № 926. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/926-2021-%D0%BF#Text
3. Про визначення формату електронних документів комплексного плану просторового розвитку території територіальної громади, генерального плану населеного пункту, детального плану території : Постанова Кабінету Міністрів України від 09.06.2021 № 632. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/632-2021-%D0%BF#Text
4. Про затвердження Класифікації обмежень у використанні земель, що можуть встановлюватися комплексним планом просторового розвитку території : Постанова Кабінету Міністрів України від 02.06.2021 № 654. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/654-2021-%D0%BF#Text 227
5. Про внесення змін до деяких актів Кабінету Міністрів України : Постанова Кабінету Міністрів України від 28.07.2021 № 821. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/821-2021-%D0%BF#Text
6. Про регулювання містобудівної діяльності : Закон України від 17.02.2011 № 3038-VI. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3038-17#Text
7. Казаченко Л.М., Казаченко Д.А. Чубукін Р.Ю. ГІС-технології при створенні планової геодезичної основи для розроблення генерального плану населеного пункту. *Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва*. Вип. II (42) 2021. С. 67–75.
8. Kazachenko L., Kazachenko V., Zhidkova T. Gis technologies and 3-d simulation in mapping manifestation of exogenic processes in renewable territories. *Gedesy cartography and aerial photography.* 2021 № 2 (94). С. 29–34.

References

1. On the General Planning Scheme of the Territory of Ukraine : Law of Ukraine dated February 7, 2002 №3059-III. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3059-14#Text
2. On approval of the Procedure for the development, updating, amendment and approval of urban planning documentation : Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine dated September 1, 2021 № 926. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/926-2021-%D0%BF#Text
3. On determining the format of electronic documents of the comprehensive spatial development plan of the territory of the territorial community, the general plan of the settlement, the detailed plan of the territory : Decree of the Cabinet of Ministers of Ukraine dated 06/09/2021 № 632. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/632-2021-%D0%BF#Text

4. On approval of the Classification of land use restrictions that may be established by a comprehensive plan for the spatial development of the territory : Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine dated 02.06.2021 № 654. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/654-2021-%D0%BF#Text 227
5. On Amendments to Certain Acts of the Cabinet of Ministers of Ukraine : Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine dated 28.07.2021 № 821. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/821-2021-%D0%BF#Text
6. On Regulation of Urban Planning : Law of Ukraine dated February 17, 2011 № 3038-VI. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3038-17#Text
7. Kazachenko L.M., Kazachenko D.A. Chubukin R.Yu. GIS technologies in the creation of a planned geodetic basis for the development of a general plan of a settlement. *Modern achievements of geodetic science and production.* 2021. Vol. II (42). P. 67–75.
8. Kazachenko L., Kazachenko V., Zhidkova T. Gis technologies and 3-d simulation in mapping manifestation of exogenic processes in renewable territories. *Gedesy cartography and aerial photography.* 2021 № 2 (94). P. 29–34.

APPLICATION OF GEOINFORMATION SYSTEMS IN THE CONSTRUCTION OF A DIGITAL CARTOGRAPHIC FRAMEWORK FOR THE DEVELOPMENT OF GENERAL PLANS OF POPULATED POINTS

Abstract. *The development of general plans of settlements is carried out on the established cartographic basis, nowadays it is carried out digitally with the use of geo-information systems and technologies. To create a digital cartographic base, modern geodetic measuring systems are used, which include modern electronic geodetic devices and equipment and GIS technologies. The processing of the results of geodetic measurements and the construction of cartographic material are carried out with the help of geodetic software, which allows obtaining a digital basis for the further development of general plans of settlements. Such a digital cartographic basis for the territory of settlements has recently been entered into the database of the State Urban Cadastre in the form of constructed tablets, according to the existing requirements and registration rules. Modern requirements for the development of urban planning and land management documentation involve the use of GIS technologies, remote sensing of the Earth and modern programming. This makes it possible to create cartographic products in digital and paper form and to reflect all changes occurring in the territory of settlements and to enter such digital information in the maintenance of the State Urban Planning Cadastre. The reflection of changes taking place on the territory of settlements is called the adjustment of planning and cartographic materials, which includes the developed general plans of the territory of settlements. And if before such tasks required a lot of effort, execution time and public funds, modern digital mapping methods allow for constant display and making changes with minimal costs.*

Key words: general plans of settlements, geoinformation systems, geodetic and cartographic basis, digital mapping, software, geoportal, Remote sensing of the Earth.

Kazachenko L.M.
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor at the Department “Designing of roads, geodesy and land management”,
Kharkiv National Automobile and Highway University, Kharkiv

Kazachenko D.A.
Teacher at the Department “Road design, geodesy and land management”,
Kharkiv National Automobile and Highway University, Kharkiv

Kazachenko V.A.
Graduate Student at the “Department of Urban Construction” of the Educational and Scientific Institute for the Training of Highly Qualified Personnel,
O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, Kharkiv

Lobko-Zampassi M.
Assistant at the Department of “Fine Art and Design”,
O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, Kharkiv

УДК 693.61
DOI https://doi.org/10.32782/2664-0406.2022.41.5

Уманець І.М.
к.т.н., доцент кафедри будівельних технологій,
Київський національний університет будівництва і архітектури, м. Київ

Глущенко І.В.
старший викладач кафедри будівельних технологій,
Київський національний університет будівництва і архітектури, м. Київ

ДОСЛІДЖЕННЯ СТУПЕНЯ ВПЛИВУ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ЧИННИКІВ НА ЯКІСТЬ САНУЮЧОЇ ШТУКАТУРКИ

Анотація. *У статті розглядається ступінь впливу технологічних чинників на якість сануючої штукатурки для прийняття технологічних рішень з її улаштування. Для цього експертам було запропоновано оцінити сім технологічних чинників (рухомість розчинної суміші, вологість основи, спосіб влаштування штукатурного шару, наявність контактного шару, технологічна перерва між нанесенням шарів, спосіб розрівнювання та загладжування нанесеного шару, вид інструменту для розрівнювання та загладжування) в натуральних числах від 1 до 9 в залежності від ступеня (міри) їх впливу на пористість штукатурки за принципом більший вплив – більший бал. За результатами експертного опитування чинники за ступенем впливу на пористість штукатурки ранжирувані в наступному порядку: рухомість розчинної суміші 43 ранги; вологість основи 44,5 ранги; наявність контактного шару 82 ранги; спосіб влаштування 74,5 ранги; технологічна перерва між нанесенням шарів 91,5 ранги, для подальших експериментальних і натурних експериментів визначення їх впливу на показники якості штукатурки.*

Експериментом встановлені параметри технологічних чинників для забезпечення якості сануючої штукатурки в нормованих параметрах: вологість основи від 7,0 до 12,0 %; рухомість розчинної суміші від 8,3 до 11,0 см; наявність контактного шару на 50 % площі основи. Забезпечення пористої структури сануючої штукатурки понад 45 % досягнуто способом легкого багаторазового накидання мікродозами розчинної суміші.

Ключові слова: сануюча штукатурка, рухомість розчинної суміші, вологість основи, спосіб влаштування штукатурного шару, наявність контактного шару, технологічна перерва між нанесенням шарів, пористість.

Постановка проблеми. Сануючі штукатурки застосовують для відновлення опорядження і боротьби з надлишковою вологою та засоленістю цегляних конструкцій пам'яток архітектури [1; 2]. Вони відрізняються від вапняних, вапняно-цементних і цементних штукатурок пористістю понад 40 %, яка визначається з використанням ізопропанолу у вакуумі, коефіцієнтом опору дифузії водяної пари менше 12 та капілярним водопоглинанням більшим 0,3 кг/м^2 [3]. Компонентним складом забезпечено проникнення води з кам'яної стіни в штукатурку на глибину 5 мм, далі по капілярній системі рухаються лише водяні пари, а солі із води консервуються в порах [4–5].

Відсутність аналогічних матеріалів власного виробництва на ринку України сприяють його заповненню сухими будівельними сумішами сануючих штукатурок європейського виробництва Remmers, Хенкель Баутехнік (Україна), Schomburg, Caparol, Deiterman тощо. Значна вартість для українських споживачів та відсутність досліджень підштовхнула до створення рецептури сануючої штукатурки з вітчизняних матеріалів [6; 7]. Змінюючи склад компонентів теплоізоляційної перлітової штукатурки досліджено залежності фізико-механічних показників штукатурки від кількісної зміни кожного компонента рецептури [8].

Процес улаштування сануючих реставраційних штукатурок, нажаль, супроводжується відсутністю чіткої нормативної бази, технологічного обладнання для визначення

показників якості в лабораторних і натурних умовах, досвіду роботи у цьому напрямку, що призводить до погіршення якості штукатурних робіт.

Існуючі в України нормативні документи не розкривають структури операцій влаштування штукатурки та параметрів процесу, а дають лише загальні рекомендації [1–2].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Найважливіший показник якості сануючої штукарки є пористість. Утворення пористості штукатурки і, як наслідок, її паропроникність залежать від процесів формування та твердіння шару штукатурки. Спосіб влаштування штукатурки значною мірою впливає на пористість і паропроникність [4]. Більшість науковців відзначають, що зі збільшенням рухомості розчинної суміші пористість розчину зростає [5; 10]. При традиційному накиданні кельмою розчинної суміші рухомістю від 10 до 12 см осідання конуса тонкими шарами товщиною 5–7 мм і порція розчинної суміші від удару об стіну ущільнюються, що створює щільну структуру шарові штукатурки і, як наслідок, низьку пористість.

Ущільнення штукатурки відбувається також за рахунок відсмоктування води з розчинної суміші пористою основою. Одразу ж після нанесення ще не зовсім затужавілу поверхню штукатурки розрівнюють полутером з прикладанням певного зусилля до інструмента [11]. Розрівнювання також створює додаткове ущільнення тонкого шару. При збільшенні кількості шарів її пористість зменшується.

Формулювання цілей та завдань статті. Метою цієї статті є вивчення позиції науковців та спеціалістів з технології реставрації штукатурки пам'яток архітектури стосовно впливу технологічних чинників, які проявляються при влаштуванні сануючої штукатурки, на основні санаційні фізико-механічні показники. За результатами соціалістичних досліджень експериментально підтвердити ступінь впливу технологічних чинників на показники якості сануючої перлітової штукатурки.

У статті використовуються соціологічні, економіко-статистичні методи дослідження, зокрема метод експертного опитування, і лабораторні та натурні експерименти.

Виклад основного матеріалу. Для виконання поставленої мети було проведено анкетування дев'ятнадцять представників-експертів, які працюють у різних організаціях і мають високий рівень компетентності щодо досліджуваної проблеми.

Респондентами даного анкетування були керівники підприємств, керівники структурних підрозділів та контролю якості, начальники лабораторій, провідні інженери й технологи.

Під час анкетування, респондентам було запропоновано оцінити вплив технологічних чинників на пористість сануючої штукатурки за десятибальною шкалою. Найвища оцінка 10 балів присуджувалася тому чиннику, який, на думку експерта, має найвищий вплив на пористість штукатурки; всім іншим чинникам експерти надавали оцінки в натуральних числах від 1 до 9 в залежності від ступеня (міри) їх впливу на пористість штукатурки (більший вплив – більший бал) [12; 13].

Для оцінювання експертам було запропоновано сім технологічних чинників: рухомість розчинної суміші (X_1), вологість основи (X_2), спосіб влаштування штукатурного шару (X_3), наявність контактного шару (X_4), технологічна перерва між нанесенням шарів (X_5), спосіб розрівнювання та загладжування нанесеного шару (X_6), вид інструменту для розрівнювання та загладжування (X_7).

У результаті опитування, найвпливовіший чинник отримував ранг одиницю, а найменш впливовий – найбільший ранг, рівний семи.

Ранги, отримані від експертів, представлені у вигляді гістограми у порядку значущості технологічного чинника на показник пористості сануючої перлітової штукатурки (рис. 1).

Як свідчать результати експертного опитування, найбільший вплив на пористість сануючої перлітової штукатурки має спосіб її влаштування – (X_3) = 43 ранги. На другому місці зі значенням в 44,5 ранги розміщена рухомість розчинної суміші. Наступну місце, згідно з експертним анкетуванням, займає вологість основи в 74,5 ранги, за нею слідує наявність контактного шару – (X_4) = 82 ранги. На передостанньому місці експерти розмістили спосіб розрівнювання та загладжування нанесеного штукатурного шару і технологічну перерву між нанесенням шарів з сумою 91,5 і 96 ранги відповідним чинникам. Найменше значення (100,5 рангів) отримано від експертів для технологічної перерви між нанесенням шарів (X_5).

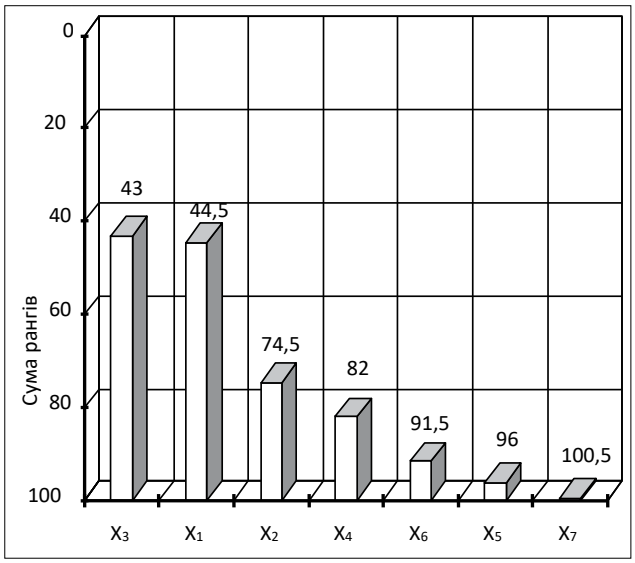


Рис. 1. Гістограма ранжирування технологічних чинників за сумою рангів:
X_1 – рухомість розчинної суміші; X_2 – вологість основи; X_3 – спосіб влаштування; X_4 – наявність контактного шару; X_5 – перерва між нанесенням шарів X_6 – спосіб розрівнювання нанесеного шару; X_7 – вид інструмента для розрівнювання.

Чинники за ступенем впливу на пористість штукатурки можна виписати в наступному порядку: рухомість розчинної суміші; вологість основи; наявність контактного шару; спосіб влаштування; технологічна перерва між нанесенням шарів.

Аналізом науково-технічної літератури та методом експертних оцінок виявлено межі змін параметрів технологічних чинників, які подані в табл. 1.

Таблиця 1. Межі виявлених змін параметрів технологічних чинників

№ п/п	Назва технологічного чинника	Одиниця вимірювання	Межі змін параметра
1	Рухомість розчинної суміші	см	від 8,0 до 11,0
2	Вологість основи	%	5,5; 12
3	Наявність контактного шару	%	0 %; 50 %
4	Спосіб влаштування шару	спосіб	7 способів
5	Технологічна перерва	годин	від 4 до 48

Методом експертних оцінок встановлено, що найвпливовішим на пористість штукатурки і коефіцієнт опору дифузії водяної пари є рухомість розчинної суміші 43 ранги і вологість основи 44,5 ранги, однак меншою мірою – спосіб влаштування штукатурного шару (74,5 ранги), наявність контактного шару (82 ранги), технологічна перерва між нанесенням шарів (91,5 ранги).

За результатами соціалістичних досліджень проведено лабораторні та натурні експерименти [6–7], на підставі яких визначено показники якості сануючої перлітової штукатурки шляхом їх порівняння зі значеннями нормативних документів.

Вибір необхідних параметрів технологічних чинників, які впливають на фізико-механічні показники штукатурки, здійснили порівнявши значень фізико-механічних показників зразків штукатурки зі значеннями рекомендованими діючими нормативними документами.

Для забезпечення міцності зчеплення штукатурки з основою понад 0,4 МПа значення технологічних чинників, вологість основи та рухомість розчинної суміші, вибирали за допомогою номограми (рис. 2).

Побудова номограми полягала в тому, що спочатку будували графіки залежності міцності зчеплення від рухомості розчинної суміші при вологості основи 5,5 % і 12 % (виділено пунктирною лінією). Потім відстань між точками 1 і 2, 3 і 4, 5 і 6 поділили на 7 частин і побудували шість графіків залежності міцності зчеплення штукатурки з основою від рухомості розчинної суміші при вологості основи 6, 7, 8, 9, 10, 11 %.

Спроектувавши горизонталь через 0,4 МПа на шкалі міцності зчеплення штукатурки з основою до перетину її з графіками міцності зчеплення з основою вологістю 10, 9, 8, 7 і 6 % отримано точки 7, 8, 9, 10, 11. Опустивши вертикалі з цих точок до горизонтальної осі визначали значення мінімальної рухомості розчинної суміші 8,2; 9,1; 9,7; 10,8 при якій на основі з вологістю відповідно 10, 9, 8, 7,6 % міцність зчеплення буде не менше 0,4 МПа.

За даними [6–7] побудовано номограму визначення мінімальної рухомості розчинної суміші сленакопичувального шару сануючої штукатурки при основах різної вологості, що забезпечить пористість шару понад 45 % (рис. 3).

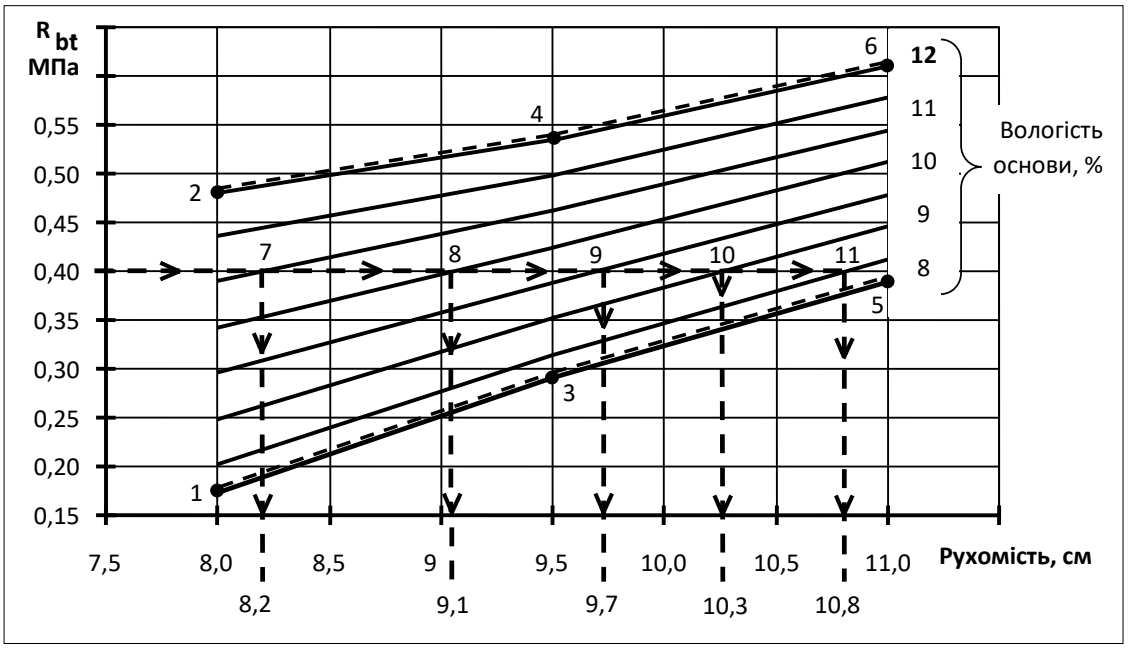


Рис. 2. Номограма визначення мінімальної рухомості розчинної суміші сануючої штукатурки при різній вологості основи з контактним шаром, що забезпечить міцність зчеплення штукатурки з основою понад 0,4 МПа

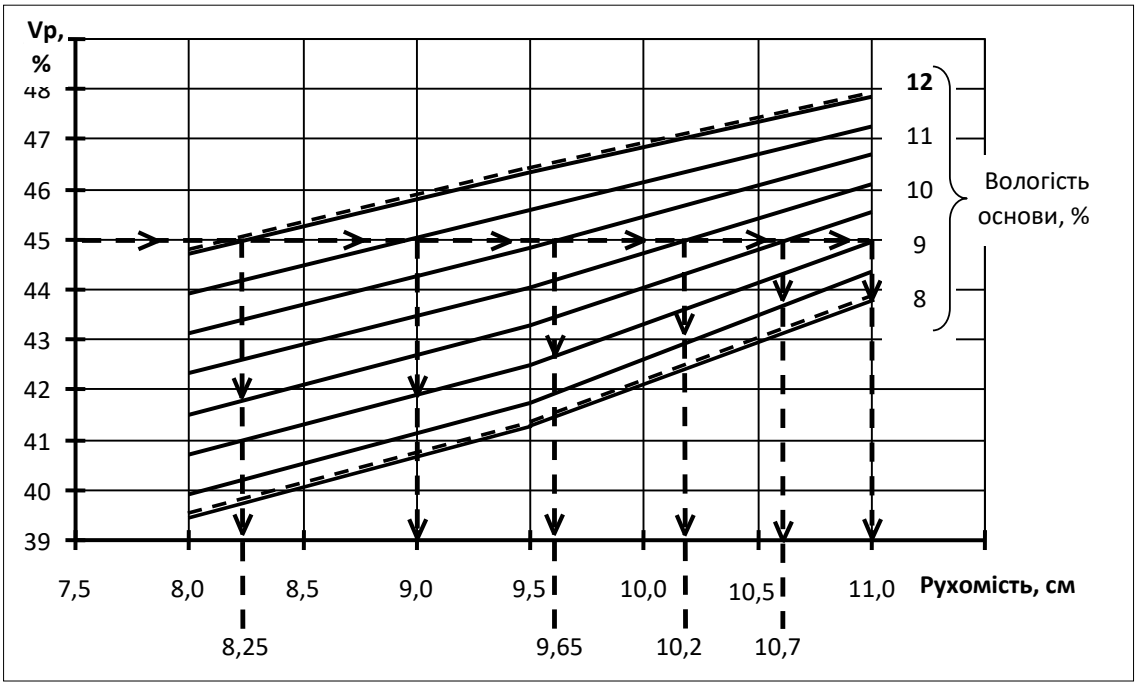


Рис. 3. Номограма визначення мінімальної рухомості розчинної суміші сануючої штукатурки при різній вологості основи з контактним шаром, що забезпечить пористість штукатурці не менше 45 %

На перетині горизонталі проведеної через нормативне значення пористості 45 % та графіків залежності пористості від рухомості розчинної суміші для основ зазначеної вологості визначали мінімальну рухомість розчинної суміші, яка забезпечить потрібну пористість соленакопичувального шару, влаштованого на цегляній основі вологістю від 12 до 7 %.

За співвідношенням чисельних значень вологості основи та мінімальної рухомості розчинної суміші отримали математичну залежність рухомості розчинної суміші від вологості основи.

$$ОК = – 0{,}05\ \omega_м^{\ 2} + 0{,}41\ \omega_м + 10{,}62, \quad (1)$$

де ОК – рухомість розчинної суміші, см;
$\omega_м$ – вологість основи, %.

Далі на основі результатів досліджень був вибраний спосіб влаштування соленакопичувального шару. Для цього в результаті аналізу експериментальних значень пористості соленакопичувального шару, влаштованого сімома способами (табл. 2) вибрано чотири способи влаштування, які забезпечують пористість шару понад 45 %, і, майже рівну 45 % (44,85 %). Це спосіб 3 також можна вважали прийнятним для влаштування сануючої перлітової штукатурки.

Таблиця 2. Пористість соленакопичувального шару сануючої перлітової штукатурки, виготовленого різними способами

№ способу	Спосіб улаштування штукатурного шару	Пористість, %
1	Традиційне накидання кельмою з розрівнюванням шару полутером при переміщенні розчинної суміші біля 50 см	35,69
2	Легке накидання кельмою малими порціями з додатковим підкиданням мікродози розчинної суміші у пропуски з легким розрівнюванням шару полутером	**45,32**
3	Накидання кельмою зі зрізанням надлишку розчинної суміші правилом з ріжучим краєм	**44,85**
4	Накидання кельмою зі зрізанням затверділого надлишку розчину правилом з ріжучим краєм	42,08
5	Традиційне намазування розчинної суміші полутером з ущільненням	35,87
6	Намазування розчинної суміші полутером по маяках без ущільнення	**45,60**
7	Відливання шару штукатурки за допомогою вертикальної односторонньої опалубки	**46,10**

Висновки.

1. Чинники за ступенем впливу на пористість штукатурки ранжирувані в наступному порядку: рухомість розчинної суміші 43 ранги; вологість основи 44,5 ранги; наявність контактного шару 82 ранги; спосіб влаштування 74,5 ранги; технологічна перерва між нанесенням шарів 91,5 ранги.

2. Встановлені параметри технологічних чинників для забезпечення якості сануючої штукатурки в нормованих параметрах:

– вологість основи від 7,0 до 12,0 %;

– рухомість розчинної суміші від 8,3 до 11,0 см;

– наявність контактного шару на 50 % площі основи.

3. Встановлена математична залежність між вологістю основи, на яку необхідно нанести розчинний шар, та рухомістю розчинної суміші сануючої перлітової штукатурки.

4. Забезпечення пористої структури сануючої штукатурки понад 45 % досягнуто способом легкого багаторазового накидання мікродозами розчинної суміші.

Література

1. ДСТУ Б В.2.7-126:2011. Суміші будівельні сухі модифіковані. Загальні умови [Чинний з 1.06.2011]. Вид. офіц. Київ : Мінрегіонбуд України, 2011. 63 с.

2. ДСТУ-Н Б В.3.2-4:2016. Настанова щодо виконання ремонтно-реставраційних робіт на пам'ятках архітектури та містобудування [Чинний з 1.01.2017]. Київ : Мінрегіонбуд України, 2016. 50 с.

3. WTA Merkblatt 2-2-91/D. Sanierputzsysteme. Deutsche Fassung. Stand Juli 1992 (Vorversion) : Wissenschaftlich-Technische Arbeitsgemeinschaft fьr Bauwerkserhaltung und Denkmalpflege e.V. -WTA-, Mьnchen,1992, 9 S.

4. Die keller Sanierung mir verschiedenen Putzen. *Die Kellertrockenlegung und Mauertrocknung sowie die Ursachen der Feuchtigkeit im Mauerwerk*. 2008. № 5. S. 11–14.

5. Teresa Claudio Diaz Concalves Salt crystallization in plastered or rendered walls / Lisbon : Instituto superior techico, 2007. 262 p.

6. Уманець І. М. Технологія влаштування санувальної перлітової штукатурки : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.23.08. Київ, 2012. 19 с.
7. Терновий В. І., Уманець І. М., Молодід О. С., Гуцуляк Р. Б. Перлітові сануючі штукатурки для мокрих і засолених стін. *Будівельне виробництво*. 2014. № 56. С. 111–115.
8. Терновий В. І., Уманець І. М. Перспективи впровадження вітчизняних санаційних штукатурок. *Софійський часопис*. Вип. 4. *Софійські читання* : збірник статей за матеріалами X міжнародної науково-практичної конференції (м. Київ, 19–20 вересня 2019 р.) Київ, 2020. С. 410–415.
9. Рекомендації до технології влаштування сануючої вапняно-перлітової штукатурки (ШС-ВП) на об'єктах культурної спадщини / Гуцуляк Р. Б., Терновий В. І., Уманець І. М., Молодід О. С. Київ : ЦП «КОМПРИНТ», 2013. 39 с.
10. Канюка Н. С. Однослойная вибрированная штукатурка : дис. ... канд. тех. наук : 05.23.08. Київ, 1953. 258 с.
11. Хартмут Росс, Фридеманн Шталь Штукатурка. Практическое руководство : материалы, техника производства работ, предотвращение дефектов. СПб., 2006. 274 с.
12. Белешев С. Д., Гурвич Ф. Г. Математическо-статистические методы экспертных оценок : 2-е изд., перераб. и доп. Москва : Статистика, 1980. 263 с.
13. Осипов О. Ф., Романушко Є. Г. Аналіз і прогнозування основних тенденцій і напрямків прогресу у будівництві : методичні рекомендації. Київ : КНУБА, 2000. 24 с.

References

1. DSTU B V.2.7-126:2011. Dry modified construction mixes. General conditions. [Effective from 1.06.2011]. View. officer Kyiv : Ministry of Regional Development of Ukraine, 2011. 63 p.
2. DSTU-N B V.3.2-4:2016. Instructions on performing repair and restoration works on monuments of architecture and urban planning. [Effective from 1.01.2017]. Kyiv: Ministry of Regional Development of Ukraine, 2016. 50 p.
3. WTA Merkblatt 2-2-91/D. Sanierputzsysteme. Deutsche Fassung. Stand Juli 1992 (Vorversion) : Wissenschaftlich-Technische Arbeitsgemeinschaft fьr Bauwerkserhaltung und Denkmalpflege e.V. -WTA-, Mьnchen,1992, 9 S.
4. Die keller Sanierung mir verschiedenen Putzen. *Die Kellertrockenlegung und Mauertrocknung sowie die Ursachen der Feuchtigkeit im Mauerwerk*. 2008. № 5. S. 11–14.
5. Teresa Claudio Diaz Concalves Salt crystallization in plastered or rendered walls / Lisbon : Instituto superior techico, 2007. 262 p.
6. Umanets I. M. Technology of installation of sanitary perlite plaster : autoref. thesis ... candidate technical Sciences: 05.23.08. Kyiv, 2012. 19 p.
7. Ternovy V. I., Umanets I. M., Molodid O. S., Hutsulyak R. B. Perlite sanitizing plasters for wet and salted walls. *Building industry*. 2014. No. 56. P. 111–115.
8. Ternovy V. I., Umanets I. M. Prospects for the introduction of domestic remedial plasters. *Sofiyskyi chasopis*. Issue. 4. Collection of articles based on the materials of the X international scientific and practical conference "Sophia readings" (Kyiv, September 19–20, 2019) Kyiv, 2020. P. 410–415.
9. Recommendations for the technology of placing remedial lime-perlite plaster (ShS-VP) on objects of cultural heritage / R. B. Hutsulyak, V. I. Ternovy, I. M. Umanets, O. S. Molodid. Kyiv : CP "COMPRINT", 2013. 39 p.
10. Kanyuka N. S. One-layer vibrated plaster : diss. ... candidate technical Sciences : 05.23.08. Kyiv, 1953. 258 p.
11. Hartmut Ross, Friedemann Stahl Plaster. Practical guide : materials, work technique, defect prevention. SPb., 2006. 274 p.
12. Beleshev SD, Gurvich FG Mathematical-statistical methods of expert assessments. : 2nd ed., revised. and additional Moscow : Statistics, 1980. 263 p.
13. Osypov O. F., Romanushko E. G. Analysis and forecasting of the main trends and directions of progress in construction : methodological recommendations. Kyiv : KNUBA, 2000. 24 p.

RESEARCH OF THE DEGREE OF INFLUENCE OF TECHNOLOGICAL FACTORS ON THE QUALITY OF REPAIRING PLASTER

Abstract. *The article considers the degree of influence of technological factors on the quality of sanitizing plaster for making technological decisions on its installation. To do this, experts were asked to evaluate seven technological factors (mobility of the mortar mixture, moisture content of the substrate, method of laying the plaster layer, the presence of contact layer, technological break between layers, method of leveling and smoothing the applied layer, type of tool for leveling and smoothing). 1 to 9, depending on the degree (degree) of their impact on the porosity of the plaster on the principle of greater impact – higher score. According to the results of the expert survey, the factors according to the degree of influence on the porosity of the plaster are ranked in the following order: mobility of the soluble mixture 43 ranks; base moisture 44.5 ranks; the presence of a contact layer 82 ranks; method of arrangement 74.5 ranks; technological break between the application of layers of 91.5 ranks, for further experimental and field experiments to determine their impact on the quality of plaster.*

The experiment established the parameters of technological factors to ensure the quality of sanitizing plaster in the normalized parameters: base moisture from 7.0 to 12.0 %; the mobility of the soluble mixture from 8.3 to 11.0 cm; the presence of a contact layer on 50 % of the base area. Ensuring the porous structure of the sanitizing plaster over 45 % is achieved by the method of easy multiple application of microdoses of the soluble mixture.

Key words: sanitizing plaster, mobility of soluble mixture, moisture of the base, method of arrangement of plaster layer, presence of contact layer, technological break between layers application, porosity.

Umanets I.M.
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor at the Department of Construction Technologies,
Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv

Glushchenko I.V.
Senior Lecturer at the Department of Construction Technologies,
Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv

UCD 620.169.1
DOI https://doi.org/10.32782/2664-0406.2022.41.6

Fedukhin O.V.
Doctor of Technical Sciences, Senior Researcher, Head of Laboratory,
The Institute of Mathematical Machines and Systems Problems of the National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine

Mukha A.A.
Candidate of Technical Sciences, Researcher,
The Institute of Mathematical Machines and Systems Problems of the National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine

FORECASTING NPP PIPELINES RESIDUAL LIFE BASED ON EROSION-CORROSION WEAR RATE MEASUREMENT

Abstract. *The article is devoted to solving issues related to the assessment and forecasting NPP pipelines residual life, taking into account the rate of erosion-corrosion wear. (ECW). The article investigates the theoretical issues that arise when carrying out probabilistic calculations when forecasting the residual life of pipelines of the supply network. The authors proposed the use of a probabilistic-physical approach to assess the real technical condition and forecast the residual life, in the absence of failures. As a probabilistic model, we use DM-distribution (diffusion monotonic) distribution. Its parameters have a physical interpretation – average rate of determining parameter change (validity criterion) and the variation coefficient of the generalized degradation process. The residual thickness of the pipeline wall is taken as the determining parameter, and it is assumed that when determining such a section of the pipeline, it is possible to measure it.*
Key words: probabilistic-physical approach, residual life, probabilistic-physical model of reliability.

Formulation of the problem. In view of recent events of recent events of our time, the nuclear industry is one of the priority areas for the development of the energy industry. And the reliability issues that are being addressed in this area certainly determine the future and must meet high standards of both safety and resource consumption. Since pipelines are one of the fundamental elements of nuclear power plants, the issues of assessing their residual life are certainly relevant.

Existing methods for studying the reliability of such structures under erosion-corrosion wear (ECW) are often deterministic (not taking into account the random nature of phenomena) or based on strictly probabilistic failure models, which leads to a low correlation of results with the object failures physics [1; 2]. Also, quite often, the calculations are approximate, since they are made without taking into account the variation coefficients of random degradation processes. This greatly affects the accuracy of forecasting the residual resource based on them.

Analysis of recent research and publications. The method of a priori calculation of reliability indicators is the most frequently mentioned in the literature [3,4] and used in determining the residual life. This method, in contrast to the experimental ones, makes it possible to take into account the entire spectrum of influences in the models. However, the existing calculation methods ignore the random nature of strength. Namely, these deviations occur during the production process, material defects and non-stationarity of loading processes.

Isolation of previously unsolved parts of the general problem. Thus, the problem of assessing the residual life of NPP feed water pipelines during their long-term operation under real conditions seems to be an urgent task. Within the framework of a probabilistic-physical approach to assessing the durability of pipelines under ECW conditions used a probabilistic model (diffusion monotonic *DM*-distribution). The parameters of this model have a physical interpretation, average rate of change of the determining parameter

(validity criterion) and the variation coefficient of the generalized degradation process. The model also assumes that the ongoing degradation processes are irreversible and monotonous.

Purpose of the article. The purpose of the article is to apply a probabilistic-physical method for estimating the residual life of NPP feed water pipelines using the DM-distribution of time to failure.

Presentation of the main material. It is necessary to calculate the residual life of a straight pipeline section after 23 years of operation using two methods. 60 similar pipeline sections were subjected to the study. All pipelines were operated for the same time and under equal conditions [3]. The measurements were carried out for pipes with a diameter $D = 530$ mm with wall thickness $S_{nom} = 28$ mm. For a period of operation of 23 years, the measured wall thickness of the studied area was $S_1 = 24$ mm at the minimum allowable standard value $S_a = 19{,}5$ мм.

1. Calculation and experimental deterministic method with and without technological tolerances for the thickness of pipelines

The equation takes into account technological tolerances for the thickness of pipelines during their manufacture. As well as the presence of corrosion products deposits, the thickness of which is compared with the thickness of the intact metal. The equation for calculating the pipeline wear rate is as follows [3]:

$$W_{ECW} = (S_{nom} \cdot K_{11} \cdot K_{12} \cdot S_{\min} \cdot K_2) / \Delta\tau_0), \quad (1)$$

where W_{ECW} – pipeline emission-corrosion wear rate;

$\Delta\tau_0$ – time interval from the date of object commissioning to the date of control (years);

S_{nom} – initial wall thickness;

$S_{\min}$ – minimum allowable wall thickness;

K_{11} – coefficient, tolerance for wall thickness in the manufacture of the pipeline;

K_{12} – coefficient, the contribution of deposits of corrosion products to the initial design wall thickness;

K_2 – coefficient taking into account the contribution of deposits of corrosion products to the value of the minimum wall thickness.

Note 1. For the example below [3] and pipelines with an outer diameter of more than 108 mm, the coefficient K_{11} can be taken equal to 1,075. For pipelines with an outer diameter of up to 108 mm, it can be taken equal to 1,025. As the minimum value of the coefficient K_{12} can be taken equal to 1,05, and the value of the coefficient K_{21} – 0,95.

Substituting the values of the coefficients K_{11}, K_{12}, K_{21}, the equation for calculating the wear rate will be written as:

$$W_{ECW} = [(S_{nom} \cdot 1{,}075 \cdot 1{,}05 - S_{\min} \cdot 0{,}95)] / \Delta\tau_0. \quad (2)$$

The remaining service life of the pipeline until the minimum allowable thickness is reached, taking into account dependence (2), is calculated by the equation

$$\Delta\tau = \left(S_{nom} \cdot K_{21} - S_a\right) / \left(W_{ESW} \cdot K_{saf}\right), \quad (3)$$

where $\Delta\tau$ – residual life of the pipeline;

K_{saf} – safety factor;

K_{21} – coefficient taking into account the contribution of deposits of corrosion products to the durability of the pipeline.

Estimates of the ECW indicators of straight feed water pipelines sections, according to the algorithm given in [3], are given in Table 1, where $\Delta\tau_1$ – residual service life without taking into account technological tolerances for the thickness of pipelines; $\Delta\tau_2$ – residual service life, taking into account technological tolerances for the thickness of pipelines.

The total resource (R) of the investigated section of the pipeline, taking into account the time of preliminary operation, is:

$$R_1 = \Delta\tau_0 + \Delta\tau_1 = 23 + 27{,}2 = 50{,}2 \text{ year};$$
$$R_{21} = \Delta\tau_0 + \Delta\tau_2 = 23 + 10{,}8 = 33{,}8 \text{ year}.$$

2. Probabilistic-physical method for calculating the average resource without taking into account technological tolerances for the thickness of pipelines

The procedure for predicting the residual life of products is considered for the case when there are no failures (critical failures). And in the process of operation, the values of the resource (determining) parameter Π can be measured. Achieving the parameter Π_{lim} of its limit value leads to the limit state or failure of the product.

Table 1

Item type	S_{nom}	S_1	S_a	W_{ECW1}	$\Delta\tau_1$	W_{ECW2}	$\Delta\tau_2$
Sraight section	28	24	19.5	0,169	27,2	0,416	10,8

Suppose there is an opportunity to periodically measure the resource defining parameter $\phi(t)$. It is assumed that the limiting value of the defining parameter is known or specified $\phi(t) = \Pi_{\text{lim}}$.

During operation, measurements of the determining parameter are carried out after a certain period of time Δt.

Note 2. The time period Δt is taken equal to the value providing uncorrelated gains, the increment correlation interval $\Delta\phi(\Delta t)$ is determined in advance during testing or operation.

As a result of measurements, a number of non-decreasing values of the resource parameter $\phi(t)$ are obtained for certain moments of operating time (which grow):

$$\phi(t_1);$$
$$\phi(t_1) = \phi(t_1 + \Delta t);$$
$$\phi(t_n) = \phi(t_{n-1} + \Delta t);$$
$$\phi(t_{n+1}) = \phi(t_n + \Delta t).$$

Note 3. To ensure sufficient accuracy in estimating the rate of change of the determining parameter, it is desirable to have at least ten increments (measurements) n(values). Further reasoning assumes that the values of the determining parameter increase with time.

In the general case, according to the measurement data, the average determining parameter rate changeis calculated by the formula:

$$a = \frac{1}{\Delta t \cdot n} \cdot \sum_{i=1}^{n} \left[\phi(t_{i+1}) - \phi(t_i)\right] = \frac{1}{\Delta t \cdot n} \cdot \sum_{i=1}^{n} \Delta\phi_i \,. \quad (4)$$

Approximately the rate of change of the determining parameter can also be determined by two measurement points – from the beginning of operation $t_0 = 0$ and the moment of the first measurement of the determining parameter t_1, wherein $\Delta t_0 = t_1 - t_0$, $\Delta\phi_1 = \phi(t_1) - \phi(t_0)$ and $n = 1$.

As a theoretical model of reliability, we accept the DM-distribution of time to failure [2], since the destruction of this type of product is irreversible.

The parametric form of the *DM*-distribution entry is as follows:

$$F(t) = DM(t; a; \nu) = \Phi\left(\frac{at + \Pi_1 - \Pi_0}{\nu\sqrt{at\left(\Pi_0 - \Pi_1\right)}}\right), \quad (5)$$

where a – the average rate of change of the determining parameter (increase in the depth of corrosion, thinning of the pipe wall);

Π_0 – initial measured value of the determining parameter (corrosion depth);

Π_1 – the maximum measured value of the determining parameter;

ν – coefficient of variation of the corrosion depth growth process.

The variation coefficient value of the change in the determining parameter can be chosen taking into account the recommendations [1] Table 2.

Table 2. Values of coefficients of variation for various types of corrosion processes

Type of degradation process	The coefficient of variation
Corrosive wear:	
– with a small unevenness of destruction	0,1–0,20
– with a significant uneven destruction	0,3–0,6

If the defining parameter of the product changes monotonously and irreversible changes are observed, that is, all $\Delta\phi(t_i)$ have a plus sign, then the average residual life is calculated by the formula:

$$\tilde{\pi} = \frac{(\Pi_{\text{lim}} - \Pi_1)}{a}\left(1 + \frac{\nu^2}{2}\right), \quad (6)$$

where Π_{lim} – limit value of the determining parameter (validity criterion.) Gamma percentage residual resource is calculated by the formula:

$$\tilde{\pi}_\gamma = \frac{(\Pi_{\text{lim}} - \Pi_1)}{a}\left(1 + \nu^2 U_\gamma^2 / 2 - \nu U_\gamma \sqrt{1 + \frac{\nu^2 U_\gamma^2}{4}}\right), \quad (7)$$

where U_γ – quantile of the normalized normal distribution of the level γ.

As mentioned above, for the considered example, the corrosion depth is taken as the determining parameter.

We calculate the average corrosion depth growth rate depth from the results of one measurement

$$a_{ECW} = \frac{1}{\Delta t_0 \cdot n} \cdot \sum_{i=1}^{n} \Delta\phi_1 \,,$$

where $\Delta t_0 = t_1 = 23$ year;

$\phi(t_0) = 0$ mm;

$\phi(t_1) = S_{ном} - S_1 = 28 - 24 = 4$ mm;

$n = 1$;

$\nu = 0{,}25$;

$\Delta\phi(t_1) = \phi(t_1) + \phi(t_0) = 4 - 0 = 4$ mm,

$$a_{ECW} = \frac{\Delta\phi_1}{\Delta t_0 n} = \frac{4}{23 \cdot 1} = 0{,}173 \text{ mm/year};$$

We calculate the value of the residual resource of the pipeline section:

$$\tilde{\pi} = \frac{(\Pi_{\lim} - \Pi_1)}{a}\left(1 + \frac{\nu^2}{2}\right) =$$

$$= \frac{8{,}5 - 4}{0{,}173} \cdot \left(1 + \frac{0{,}25^2}{2}\right) = 23{,}7 \text{ year},$$

where $\Pi_{\lim} = S_{nom} - S_a = 28 - 19{,}5 = 8{,}5$ mm;

$\Pi_1 = S_{nom} - S_1 = 28 - 24 = 4$ mm.

Full resource of the pipeline section, taking into account the time of preliminary operation

$$R_3 = \Delta t + \tilde{\pi} = 23 + 23{,}7 = 49{,}7 \text{ year}$$

Conclusions.

Calculation-experimental method

$\Delta\tau_1$ – residual service life without taking into account technological tolerances for the thickness of pipelines; $\Delta\tau_1 = 27{,}2$ year;

$\Delta\tau_2$ – residual service life, taking into account technological tolerances for the thickness of pipelines; $\Delta\tau_2 = 10{,}8$ year;

Probabilistic-physical method

$\tilde{\pi}$ – residual service life without taking into account technological tolerances for the thickness of pipelines; $\tilde{\pi} = 23{,}7$ year.

The excess of $\Delta\tau$ $\Delta\tau_2$ has a natural justification and does not require additional explanations. The remaining resource $\tilde{\pi}$ is less than $\Delta\tau_1$ due to the random probabilistic nature of the degradation process with the coefficient of variation 0,25. Pessimistic assessment $\tilde{\pi}$ indicator for nuclear power plants is more preferable in terms of the overall safety of the facility.

As a development of the probabilistic-physical method, one should consider a rather complicated problem statement – the study corrosion products mosaic deposits effect (thickening of the pipe walls in a number of places) on the value of the residual life of the pipeline as a whole.

Bibliography

1. ДСТУ 8646:2016 Надійність техніки. Оцінювання та прогнозування залишкового ресурсу (строку служби) технічних систем. Київ.

2. Стрельников В.П. Оценка и прогнозирование надёжности электронных элементов и систем / В.П. Стрельников, А.В. Федухин. Київ : Логос, 2002. 486 с.

3. Бараненко В.И., Гулина О.М., Сальников Н.Л., Мурзина О.Э. Обоснование расчетов скорости эрозионно – коррозионного износа и остаточного ресурса трубопроводов АЭС по данным эксплуатационного контроля. *Известия вузов. Ядерная энергетика*. 2016. № 2. С. 5–65.

4. Ибрагимов А.А., Подорожников С.Ю., ШабаровА.Б., Медведев М.В., Земенкова М.Ю. Расчетная модель и алгоритм определения остаточного ресурса трубопроваода в условиях периодических изменений напряжений и коррозии. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2014. С. 199–206.

References

1. DSTU 8646:2016 Nadiinist tekhniky. Otsiniuvannia ta prohnozuvannia zalyshkovoho resursu (stroku sluzhby) tekhnichnykh system. Kyiv.

2. Strel'nikov V.P. Ocenka i prognozirovanie nadyozhnosti elektronnyh elementov i sistem / V.P. Strel'nikov, A.V. Feduhin. Kyiv : Logos, 2002. 486 c.

3. Baranenko V.I., Gulina O.M., Sal'nikov N.L., Murzina O.E. Obosnovanie raschetov skorosti erozionno – korrozionnogo iznosa i ostatochnogo resursa truboprovodov AES po dannym ekspluatacionnogo kontrolya. *Izvestiya vuzov. Yadernaya energetika*. 2016. № 2. S. 5–65.

4. Ibragimov A.A., Podorozhnikov S.Yu., Shabarov A.B., Medvedev M.V., Zemenkova M.Yu. Raschetnaya model' i algoritm opredeleniya ostatochnogo resursa truboprovaoda v usloviyakh periodicheskikh izmenenij napryazhenij i korrozii. *Gornyj informaczionno-analiticheskij byulleten*. 2014. S. 199–206.

ПРОГНОЗУВАННЯ ЗАЛИШКОВОГО РЕСУРСУ ТРУБОПРОВОДІВ АЕС НА ОСНОВІ ВИМІРЮВАННЯ ЕРОЗІЙНО-КОРОЗІЙНОГО ЗНОШУВАННЯ

Анотація. *Стаття присвячена вирішенню питань, пов'язаних із проведенням оцінки та прогнозуванням залишкового ресурсу трубопроводів АЕС з урахуванням швидкості ерозійно-корозійного зношування (ЕКЗ). У статті досліджено теоретичні питання, що виникають під час проведення ймовірнісних розрахунків при прогнозуванні залишкового ресурсу трубопроводів живильної мережі. В роботі приймається допущення, що прогнозування залишкового*

ресурсу базується на визначенні розрахунковим шляхом його мінімальної оцінки. Проводиться порівняння мінімальної оцінки з встановленим допустимим рівнем зносу трубопроводів живлення. В роботі приймається допущення, що прогнозування залишкового ресурсу базується на визначенні розрахунковим шляхом його мінімальної оцінки. Авторами заборонено для виконання оцінки об'єктивного технічного стану та виконання прогнозування залишкового ресурсу вказаних конструкцій, за відсутності значної статистики відмов використовується ймовірнісно-фізичний підхід. В рамках цього підходу, що до оцінки довговічності, лежить ймовірнісна модель, що застосовує DM-розподіл відмов. Параметри моделі, що використовується мають в своїй основі фізичну інтерпретацію. Основними параметрами, які враховуються є середня швидкість зміни визначального параметра та коефіцієнт варіації узагальненого процесу деградації. Як визначальний параметр прийнята залишкова товщина стінки трубопроводу і передбачається, що при визначенні такої ділянки трубопроводу є можливість її вимірювання. У статті приведені критерії оцінки залишкового ресурсу досліджуваних зразків сталевих трубопроводів, використання яких дозволить знизити експлуатаційні витрати за рахунок збільшення міжремонтних інтервалів. Наведено порівняння двох прикладів розрахунків розрахунково-експериментальним та ймовірнісно-фізичним методами, встановлено залишковий та загальний ресурс служби.

Ключові слова: ймовірнісно-фізичний підхід, залишковий ресурс трубопроводу, ймовірнісно-фізична модель надійності.

Федухін О.В.
доктор технічних наук, старший науковий співробітник, завідувач лабораторії,
Інститут проблем математичних машин та систем Національної академії наук України

Муха А.А.
кандидат технічних наук, науковий співробітник,
Інститут проблем математичних машин та систем Національної академії наук України

УДК 692.23:624.014
DOI https://doi.org/10.32782/2664-0406.2022.41.7

Хохрякова Д.О.
к.т.н., доцент кафедри будівельних технологій,
Київський національний університет будівництва і архітектури, м. Київ

ВУЗЛОВІ З'ЄДНАННЯ ЗБІРНИХ ПАНЕЛЕЙ ЗОВНІШНІХ СТІН ІЗ ТОНКОСТІННИХ ХОЛОДНОФОРМОВАНИХ ЕЛЕМЕНТІВ

Анотація. *Найбільше наукових праць останніх років належить до досліджень збірних панельних конструкцій житлових та цивільних будівель. Все більш затребуваними в монолітному домобудівництві стають легкі швидкомонтовані огороджувальні конструкції. Між тим аналіз досвіду застосування таких конструкцій в Україні та країнах ближнього зарубіжжя дозволив виявити низку проблем пов'язаних з поверхневим підходом проектувальників та будівельників до їх конструктивних деталей та технологічних особливостей. На основі аналізу наявних технічних рішень визначено недоліки стінових панелей з тонкостінних холодноформованих елементів (ПСК – панель стінова каркасна), що вимагають удосконалення їх конструкції і способів їх монтажу. Поелементне складання панелі безпосередньо на місці її встановлення, відсутність заздалегідь розмічених місць кріплення панелі до несучих конструкцій, наявність «мокрих» процесів з використанням в'яжучих речовин збільшує трудомісткість і тривалість будівництва. Відсутність у профілях каркасу панелі посадкових місць під кріпильні елементи і можливість коригування положення панелей відносно одна одної при монтажі не забезпечує точності монтажу і відповідно герметичності панелі за рахунок можливості виникнення зазорів. На ефективність вузлових з'єднань ПСК впливає їх ступінь комплектності виготовлення і постачання: повної, часткової або базової комплектності. В статті розглянуто вузли примикань до несучих елементів каркасу будівлі ПСК наступних конструктивних рішень: легкі зовнішні «термостіни» Ruukki (Rauta), стінове огородження з каркасних навісних панелей (патент RU2591315C2), спеціальні добірні елементи для з'єднання ПСК між собою та закриття несучих конструкцій (патент RU2522359C2), спосіб кріплення зовнішньої стіни будівлі (патент RU2498029C1) і навісні стінові термопанелі із замковим з'єднанням за технологією «МЕТТЭМ». Виконане порівняння недоліків і переваг досліджуваних конструкцій ПСК. Зазначені шляхи подальшого удосконалення конструктивно-технологічних рішень: спрощення виготовлення, транспортування і монтажу панелей; збільшення внутрішньої площі будівлі; підвищення герметичності і теплотехнічних характеристик вузлових з'єднань; підвищення точності кріплення і зручності коригування положення панелей при їх монтажі; можливість легкого демонтажу панелей і ремонту стиків без порушення нормальної експлуатації будівлі; скорочення тривалості і зниження трудомісткості монтажу.*

Ключові слова: панелі зовнішніх стін, тонкостінні холодноформовані елементи, комплектність, вузлові з'єднання, примикання.

Постановка проблеми. За останні роки науковий інтерес до галузі позамайданчикового будівництва помітно зріс. Дослідження щодо впровадження збірних конструкцій заводського виготовлення активно проводяться у всьому світі, починаючи від стандартизації проєктування та виробництва, методів транспортування та завершуючи плануванням будівництва. Найпомітніше збільшення наукових праць з 1986 до 2018 року належить до досліджень збірних панельних конструкцій житлових та цивільних будівель [1, с. 351].

Технології та матеріали у сфері каркасного домобудування постійно вдосконалюються. Все більш затребуваними в монолітному домобудівництві стають легкі швидкомонтовані огороджувальні конструкції. Застосування збірних панелей зовнішніх стін із сталевих тонкостінних холодноформованих профілів та енергоефективних утеплювачів дозволяють суттєво скоротити терміни

будівництва, забезпечує міцність, довговічність конструкцій, високі теплоізоляційні показники протягом усього терміну експлуатації споруди [2, с. 15].

Такі стінові панелі мають ідеальний баланс між легкістю монтажу та вартістю конструкцій. Невелика маса збірних панелей, висока точність їх виготовлення, можливість використання будь-яких облицювальних екологічно чистих матеріалів роблять застосування панелей з легких сталевих тонкостінних конструкцій одним із лідерів на ринку огороджувальних конструкцій.

Між тим аналіз досвіду застосування легких огороджувальних конструкцій в Україні та країнах ближнього зарубіжжя дозволив виявити низку проблем пов'язаних з поверхневим підходом проєктувальників та будівельників до їх конструктивних деталей та технологічних особливостей.

Аналіз останніх досліджень. Результати обстежень стану будівель із зовнішніми стіновими огородженнями з тонкостінних холодноформованих профілів [3, с. 104; 4] дозволили виявити найпоширеніші дефекти в панелях і причини їх утворення.

Застосування в каркасі панелі профілів з великими відхиленнями геометрії, виготовлених на низькотехнологічному обладнанні за застарілими стандартами, призводить до великих зазорів у конструкції, що негативно позначається на роботі кріпильних елементів (гвинтів, заклепок), надійності та довговічності вузлів кріплення профілів між собою, листових обшивок до металевого каркасу.

Порушення технології перфорування при виробництві термопрофілів веде до пошкодження цинкового захисного покриття, що знижує довговічність конструкції.

Сколювання та відшарування обшивки панелей ще на етапі будівництва ілюструє загальну низьку культуру ручного виробництва на будівельному майданчику та підтверджує необхідність виключно заводського виготовлення стінових панелей з належним технічним контролем відповідної якості.

На основі аналізу наявних технічних рішень, у т. ч. винаходів, визначено недоліки зовнішніх багатошарових панелей, що вимагають удосконалення їх конструкції і способів їх монтажу:

– поелементне складання панелі безпосередньо на місці її встановлення, що збільшує трудомісткість будівництва [5];

– застосування при зведенні «мокрих» процесів з використанням в'яжучих речовин викликає технологічні перерви [5];

– технічні рішення, що не передбачають заздалегідь розмічених місць кріплення панелі до колон та плит перекриттів, при якому точність складання залежить від кваліфікації робітника, збільшується трудомісткість та тривалість використання вантажопідіймального механізму [6];

– відсутність у профілях каркасу панелі посадкових місць під кріпильні елементи не забезпечує точності складання та герметичності панелі за рахунок можливості виникнення зазорів при монтажі панелі, що знижує її теплозахисні властивості, а також збільшує трудомісткість складання каркасу [7];

– технічні рішення, що не передбачають можливість коригування положення панелей відносно одна одної при монтажі, внаслідок чого не забезпечується точність монтажу стінового огородження [6; 8].

Метою статті є аналіз вузлів примикань збірних панелей зовнішніх стін із тонкостінних холодноформованих профілів (ПСК) часткової і повної комплектності до несучих конструкцій каркасів житлових і громадських будівель.

Результати досліджень.

Питання конструювання стиків бетонних панелей великопанельного домобудівництва розглядаються в послідовності, що відповідає значущості завдання – від забезпечення міцності до забезпечення ізоляційних якостей. Тоді як при розробці стиків легких стінових панелей на основі каркасу з тонкостінних холодноформованих елементів зазвичай пріоритетом є їх герметичність та ізоляційні властивості.

На ефективність вузлових з'єднань ПСК впливає їх ступінь комплектності виготовлення і постачання:

– панелі повної комплектності, що містять всі компоненти в зборі;

– панелі часткової комплектності, що складається з каркасу та зовнішньої обшивки;

– панелі базової комплектності, що являє собою металевий каркас.

У Європі одним із перших виробників огороджувальних конструкцій на основі тонкостінних холодноформованих профілів була фінська компанія Rannila (зараз RUUKKI), що запропонувала легкі зовнішні «термостіни». Продукція Ruukki для комерційного будівництва представлена в Україні інженерно-будівельною компанією Rauta.

Особливостями фінських рішень конструктивних вузлів примикань легких панелей Rauta повної комплектності (рис. 1) [9, с. 69] є виконання герметизації стиків із застосуванням еластичних мастик з подальшим нанесенням зовнішнього теплоізоляційного шару та фасадного захисно-декоративного покриття у будівельних умовах.

Торець перекриття ізолюють смугою мінеральної вати, покривають вітрозахисною плівкою і закривають смугою відповідного матеріалу обшивки.

До недоліків даного конструктивного рішення, що сьогодні є найпоширенішим, можна віднести підвищену кількість технологічних операцій, трудомісткість, технологічні простої та наявність «мокрих» процесів, що призводить до неможливості виконання робіт у зимових умовах. Висотні фасадні роботи вимагають спеціальних навичок і культури виробництва, відтак залежність від «людського фактору» може негативно позначається на якості виконання робіт.

Технічне рішення, що спрощує конструкцію вузлового з'єднання, збільшує надійність кріплення стінової панелі до міжповерхових перекриттів будівлі, підвищує міцність конструкції, а також передбачає коригування горизонтального рівня при вирівнюванні панелей, знайшло відображення в патенті Огурцова М. В. [10] (рис. 2).

Спосіб кріплення навісних ПСК полягає у тому, що верхню панель насаджують на металевий напрямний елемент кріпильної пластини нижньої панелі через заздалегідь вирізаний отвір в каркасі. Після фіксації положення верхньої панелі, зазор між верхньою та нижньою панелями заповнюють утеплювачем, після чого з внутрішньої сторони улаштовують пароізоляційну плівку та монтують оздоблювальні листи, а зовні монтують декоративний вентильований фасад.

Науковцями РУП «Институт жилища – НИПТИС им. С.С. Атаева» запропоновано конструктивне рішення спеціальних додаткових елементів призначених для з'єднання ПСК між собою та закриття несучих конструкцій каркасу будівель (крайні колони, торці плит перекриттів та зовнішні контурні балки) [3, с. 106; 11] (рис. 3).

Добірні елементи виконанні зі з'єднаннями шпунт і гребінь з утворенням так званого лабіринтового ущільнення. Простір примикання між додатковим елементом і несучими елементами каркаса будівлі заповнюється целюлозним утеплювачем (ековатою), що не утворює шовних порожнин при задувці. Її можна подавати для герметизації стиків під тиском навіть за негативних температур.

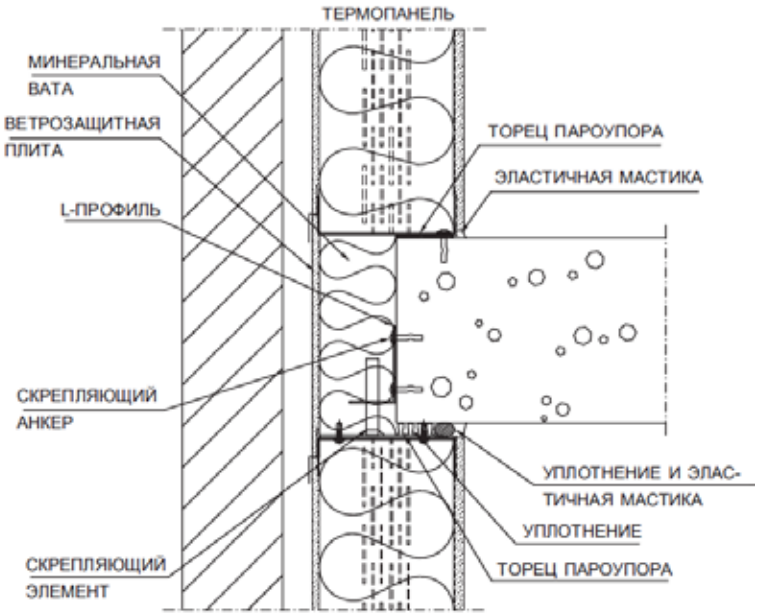
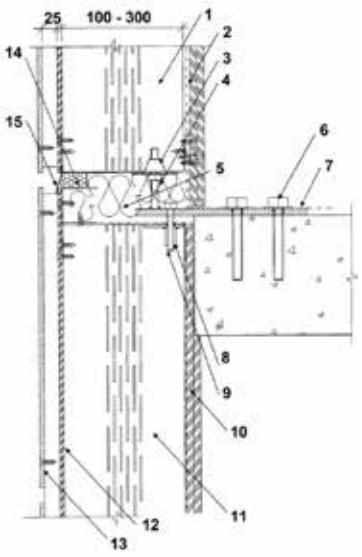


Рис. 1. Вузол примикання панелей Rauta до плити перекриття



1 – стінова каркасна багатошарова верхня панель;
2 – пароізоляційна плівка;
3 – конусна шайба;
4 – металевий напрямний елемент;
5 – утеплювач;
6 – анкерне кріплення;
7 – кріпильна пластина;
8 – закладна деталь;
9 – болт;
10 – оздоблювальній лист;
11 – стінова каркасна багатошарова нижня панель;
12 – вітрозахисний лист;
13 – оздоблювальній лист;
14 – ущільнювач;
15 – гідроізоляційна мембрана

Рис. 2. Вузол примикання навісних ПСК часткової комплектності до плити перекриття

Конфігурація стиків запроєктована таким чином, щоб установка герметиків не зустрічала труднощів, і зміна їх відбувалася зовні з навісних колисок, без порушення нормальної експлуатації будинку.

Конструктивні рішення ПСК передбачають її використання з поверховим обпиранням або в якості навісної огороджувальної конструкції з усіма основними конструктивними системами будівель: сталевими каркасами з прокатних або зварних профілів, монолітними або збірними залізобетонними, а також комбінованими каркасами.

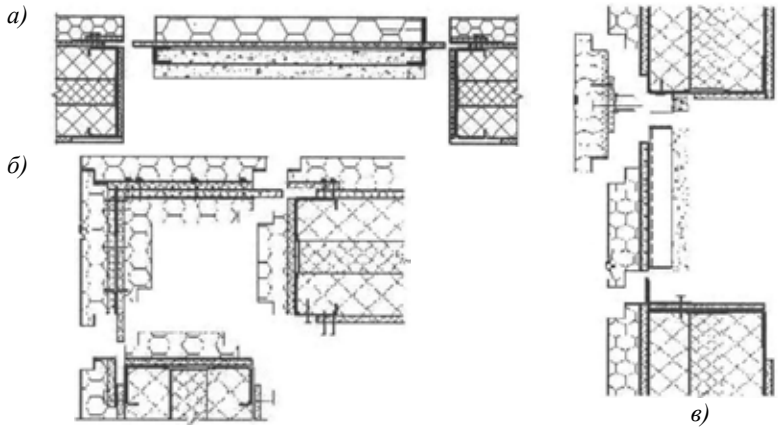
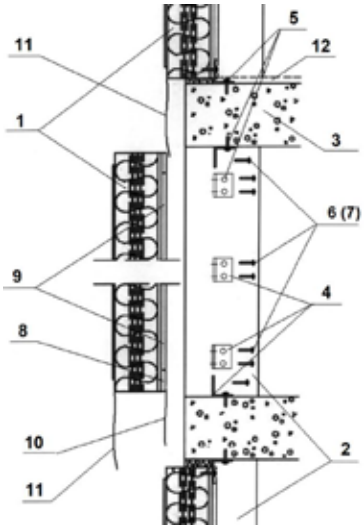
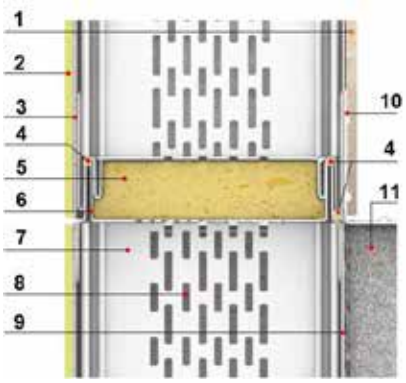


Рис. 3. Добірні елементи для сполучення ПСК:
а) вертикальні, б) кутові, в) рядові



1 – панель;
2 – колона;
3 – плита перекриття;
4 – монтажний перфорований кутик;
5 – розпірний анкер;
6 – витяжна заклепка;
7 – саморіз;
8 – місце кріплення кутового кріплення на панелі;
9 – внутрішня обшивка;
10 – внутрішня пароізоляційна плівка;
11 – зовнішня вітрозахисна плівка;
12 – цементна стяжка.

Рис. 4. Схема встановлення панелі [12]



1 – внутрішня обшивка панелі;
2 – фасадна обшивка заводської готовності;
3 – зовнішня вітрозахисна плівка;
4 – ущільнювальний контур;
5 – ущільнювальний базальтовий вкладиш;
6 – напрямний замковий профіль;
7 – стояковий профіль;
8 – утеплювач (мінеральна вата);
9 – пароізоляційна плівка;
10 – монтажний кронштейн;
11 – плита перекриття.

Рис. 5. Замкове з'єднання навісних стінових панелей

Перевага технічного рішення [12] полягає в улаштуванні в панелі заводського виготовлення повної комплектності випусків під внутрішньою обшивкою пароізоляційної плівки і під зовнішньою обшивкою – вітро-, гідроізоляційної плівки для захисту утеплювача від попадання вологи, що дозволяє спростити улаштування стяжки на підлозі і монтаж торця плити перекриття відповідно (рис. 4).

Технологія METTЄM [13] пропонує каркас для зовнішніх стінових панелей із спеціальних замкових U – профілів («гребінь») та H – профілів («паз»), що утворюють замкове з'єднання по периметру панелі (рис. 5). Такі ПСК монтують на несучий каркас будівлі навісним способом, скріплюючи між собою через замкове з'єднання, у порожнині якого укладається ізоляційний матеріал.

Висновки

В останні роки чимало науковців і виробників доклало зусиль для удосконалення конструктивно – технологічних рішень улаштування зовнішніх стінових панелей з каркасом із тонкостінних холодноформованих профілів.

Незважаючи на безліч переваг не для всіх цих технологій мало місце впровадження шляхом комплектації відповідним технологічним обладнанням складальних виробництв.

Наступні дослідження і наукові розробки у цій сфері повинні мати на меті підвищення ефективності таких панелей шляхом:

– спрощення конструкції і полегшення виготовлення панелей;

– оптимальних масогабаритних характеристик, що полегшують їх монтаж, складування та транспортування;

– збільшення внутрішньої площі будівлі;

– підвищення герметичності вузлових з'єднань, теплотехнічних властивостей та вогнестійкості;

– обмеження повітропроникності та розкриття стиків під навантаженням;

– збільшення надійності і підвищення точності кріплення панелей до несучих конструкцій;

– зручності коригування положення панелей при їх вирівнюванні;

– можливості легкого демонтажу панелей і ремонту стиків без порушення нормальної експлуатації будівлі;

– скорочення тривалості монтажу і зниження трудомісткості монтажу.

Література

1. Jun Young Jang, Chansik Lee, Jung In Kim, and Tae Wan Kim (2019). Research Trends in Off-Site Construction Management: Review of Literature at the Process Level. *MOC SUMMIT*. P. 349–356.
2. Тимофєєв, М., Шамріна, Г., & Хохрякова, Д. (2020). Обґрунтування вибору збірних систем зовнішніх стін з використанням цементних плит КНАУФ AQUAPANEL® OUTDOOR за умов забезпечення енергоефективності будівлі. *Гірничий вісник*. Вип. 107. С. 11–15.
3. Дубатовка А.И. (2016). Современные конструктивные решения каркасных зданий с применением легких ограждающих конструкций. *Вестник Брестского государственного технического университета*. 2016. № 1. С. 102–108.
4. Бадьин Г.М., Сычев С.А. Анализ дефектов монтажа и эксплуатации быстровозводимых конструкций. *Современные проблемы науки и образования*. 2015. № 2–1. URL: science-education.ru/ru/article/view?id=21019.
5. Наружная многослойная стена здания и способ ее возведения: пат. RU 2335606 C1 РФ. № 2007101438/03 ; заявл. 15.01.2007 ; опубл. 10.10.2008. Бюл. № 28. 10 с.
6. Способ возведения наружной стены здания и многослойная строительная панель для его осуществления : пат. RU2440471C1 РФ. № 2010140134/03 ; заявл. 01.10.2010 ; опубл. 20.01.2012. Бюл. № 2. 13 с.
7. Многослойная строительная панель : пат. RU55393U1 РФ. № 2006112139/22 ; заявл. 13.04.2006 ; опубл. 10.08.2006. Бюл. № 22. 2 с.
8. Многослойная строительная панель : пат. RU2485260C1 РФ. № 2012112000/03 ; заявл. 28.03.2012 ; опубл. 20.06.2013, Бюл. № 17. 12 с.
9. Термопрофильные стены Rauta/ Rauta. 2017. 100 с. URL: https://rautagroup.com/wp-content/uploads/2017/04/rauta_termoprofile_walls.pdf
10. Способ крепления стенового ограждения, состоящего из навесных каркасных панелей : пат. RU2591315C2 РФ. № 2014147037/03 ; заявл. 21.11.2014 ; опубл. 20.07.2016. Бюл. № 20. 8 с.
11. Элемент многослойной легкой строительной панели и способ его изготовления : пат. RU2522359C2 РФ. № 2012135323/03 ; заявл. 17.08.2012 ; опубл. 10.07.2014. Бюл. № 19. 29 с.
12. Способ крепления наружной стены здания : пат. RU2498029C1 РФ. № 2012125727/03 ; заявл. 21.06.2012 ; опубл. 10.11.2013. Бюл. № 31. 11 с.
13. Стеновые панели для многоэтажных зданий. FRAMECAD. Каркасное строительство. URL: https://frros.ru/products/stenovyie-paneli

References

1. Jun Young Jang, , Chansik Lee, Jung In Kim, and Tae Wan Kim (2019). Research Trends in Off-Site Construction Management: Review of Literature at the Process Level. MOC SUMMIT. p. 349-356.
2. Tymofyeyev, M., Shamrina, H., & Khokhryakova, D. (2020). Obgruntuvannya vyboru zbirnykh system zovnishnikh stin z vykorystannyam tsementnykh plyt KNAUF AQUAPANEL® OUTDOOR za umov zabezpechennya enerhoefektyvnosti budivli. Hirnychyy visnyk. Vyp. 107. pp. 11-15.
3. Dubatovka A.I. (2016). Sovremennyye konstruktivnyye resheniya karkasnykh zdaniy s primeneniyem legkikh ograzhdayushchikh konstruktsiy. *Vestnik Brestskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*. 2016. No. 1. P. 102–108.
4. Bad'in G.M., Sychev S.A. (2015). Analiz defektov montazha i ekspluatatsii bystrovozvodimykh konstruktsiy. *Sovremennyye problemy nauki i obrazovaniya*. 2015. No. 2-1. URL: science-education.ru/ru/article/view?id=21019.
5. Naruzhnaya mnogosloynaya stena zdaniya i sposob yeye vozvedeniya: pat. RU 2335606 C1 RF. No. 2007101438/03; zayavl. 15.01.2007; opubl. 10.10.2008, Byul. No. 28. 10 p.
6. Sposob vozvedeniya naruzhnoy steny zdaniya i mnogosloynaya stroitel'naya panel' dlya yego osushchestvleniya: pat. RU2440471C1 RF. No. 2010140134/03; zayavl. 01.10.2010; opubl. 20.01.2012, Byul. No. 2. 13 p.
7. Mnogosloynaya stroitel'naya panel', pat. RU55393U1 RF. No. 2006112139/22; zayavl. 13.04.2006; opubl. 10.08.2006, Byul. No. 22. 2 p.
8. Mnogosloynaya stroitel'naya panel': pat. RU2485260C1 RF. No. 2012112000/03; zayavl. 28.03.2012; opubl. 20.06.2013, Byul. No.17. 12 p.
9. Termoprofil'nyye steny Rauta/ Rauta. 2017. 100 s. URL: https://rautagroup.com/wp-content/uploads/2017/04/rauta_termoprofile_walls.pdf.
10. Sposob krepleniya stenovogo ograzhdeniya, sostoyashchego iz navesnykh karkasnykh paneley: pat. RU2591315C2 RF. No. 2014147037/03; zayavl. 21.11.2014; opubl. 20.07.2016, Byul. No. 20. 8 p.

11. Element mnogosloynoy legkoy stroitel'noy paneli i sposob yego izgotovleniya: pat. RU2522359C2 RF. No. 2012135323/03; zayavl. 17.08.2012; opubl. 10.07.2014, Byul. No. 19. 29 p.
12. Sposob krepleniya naruzhnoy steny zdaniya: pat. RU2498029C1 RF. No. 2012125727/03; zayavl. 21.06.2012; opubl. 10.11.2013, Byul. No. 31. 11 p.
13. Stenovyye paneli dlya mnogoetazhnykh zdaniy. FRAMECAD. Karkasnoye stroitel'stvo. URL: https://frros.ru/products/stenovyie-paneli.

NODAL CONNECTIONS OF PREFABRICATED EXTERIOR WALL PANELS MADE OF THIN-WALLED COLD-FORMED MEMBERS

Abstract. *Most of the scientific works of recent years are related to the research of prefabricated panel structures of residential and civil buildings. Lightweight, quick-mount fence structures are becoming more and more popular in monolithic house construction. Meanwhile, the analysis of the experience of using such structures in Ukraine and the neighboring countries revealed a number of problems related to the superficial approach of designers and builders to their structural details and technological features. Based on the analysis of the existing technical solutions, the shortcomings of wall panels made of thin-walled cold-formed elements (FWP – framed wall panel) have been determined, which require improvement of their design and methods of their installation. The element-by-element assembly of the panel directly at the place of its installation, the absence of pre-marked places for fastening the panel to the supporting structures, the presence of "wet" processes using binders increases the labor intensity and duration of construction. The absence in the profiles of the frame of the panel of seats for fasteners and the possibility of adjusting the position of the panels relative to each other during installation does not ensure the accuracy of the installation and, accordingly, the tightness of the panel due to the possibility of gaps. The efficiency of FWP nodal connections is influenced by the degree of completeness of their manufacture and supply: complete, partial or basic completeness. The article examines the connections to the load-bearing elements of the frame of the FWP building of the following structural solutions: lightweight external "thermal walls" Ruukki (Rauta), wall fencing made of frame hinged panels (patent RU2591315C2), special selected elements for connecting the FWP to each other and closing the supporting structures (patent RU2522359C2), a method of fastening the outer wall of the building (patent RU2498029C1) and wall-mounted thermal panels with a lock connection using the «МЕТТЭМ» technology. A comparison of the disadvantages and advantages of the studied constructions of FWP was carried out. The indicated ways of further improvement of structural and technological solutions: simplification of manufacture, transportation and installation of panels; increasing the internal area of the building; improvement of hermeticity and thermal characteristics of nodal connections; improving the accuracy of fastening and ease of adjusting the position of panels during their installation; the possibility of easy dismantling of panels and repair of joints without disturbing the normal operation of the building; shortening the duration and reducing the labor intensity of installation.*

Key words: external wall panels, thin-walled cold – formed members, completeness, nodal connections, adjoining.

Khokhriakova D.O.
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor at the Department of Construction Technologies,
Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv

УДК 692.23:624.014
DOI https://doi.org/10.32782/2664-0406.2022.41.8

Хохрякова Д.О.
к.т.н., доцент кафедри будівельних технологій,
Київський національний університет будівництва і архітектури, м. Київ

Шамріна Г.В.
к.т.н., доцент кафедри будівельних конструкцій, будівель і споруд,
Донбаська національна академія будівництва і архітектури, м. Краматорськ,
Донецька область

ТИПИ СТІНОВИХ СИСТЕМ KNAUF AQUAPANEL® З УРАХУВАННЯМ МІНІМАЛЬНИХ ВИМОГ ДО ПРИВЕДЕНОГО ОПОРУ ТЕПЛОПЕРЕДАЧІ

Анотація. *Нові полегшені системи зовнішніх стін Knauf AQUAPANEL® гнучкі та адаптивні і містять вражаючий діапазон проєктних рішень. Однак ці конструктивні рішення зовнішніх стін розроблені для усереднених кліматичних умов країн Євросоюзу і тому мають бути перевірені при проєктуванні будівель на відповідність оновленим нормативним вимогам України щодо забезпечення теплової надійності конструкції. Автори мали на меті визначення області раціонального застосування стінових систем Knauf AQUAPANEL®, які є досить складними термічно неоднорідними конструкціями, в якості зовнішніх огороджень будівель в кліматичних умовах України. Досліджено стінові системи з дворядним розташуванням (WM411C.1, WM411C.2, WM411C.3, WM412C.1) і з однорядним розташуванням (WM111C.1, WM111C.2) стоякових профілів у будівлях з відповідними об'ємно-планувальними рішеннями. Розглянуто п'ять варіантів планувальних схем житлових і громадських будівель, у т.ч. прибудови і розширення поверхів. Дослідження ґрунтувалися на європейському досвіді застосування систем зовнішніх стін Knauf AQUAPANEL® і наявних їх теплотехнічних характеристик: коефіцієнта теплопередачі U_W, Вт/м²·К тільки для глухих ділянок стін з кроком стоякових профілів 600 мм і лінійного коефіцієнта теплопередачі Ψ_{-value}, Вт/(м·К) тільки для примикання перекриття до зовнішньої стіни виконаної навісним методом або з частковим її обпиранням на залізобетонну плиту. Результати розрахунків встановили, що вплив теплового моста в місці примикання залізобетонної плити перекриття є суттєвим. Враховуючи, що з 2022 року нормами підвищено вимоги до мінімально допустимих значень приведеного опору теплопередачі R_{gmin}, м²·К/Вт, зовнішніх стінових огороджувальних конструкції житлових та громадських будівель, тільки системи з дворядним розташуванням стояків WM411C.3 і WM412C.1 (варіанти 3, 4) та система з однорядним розташуванням стояків WM111C.2 (варіант 2) можуть бути прийнятими в якості основи для подальших розрахунків приведеного опору теплопередачі, в яких потрібно уточнювати вплив інших теплових мостів, які можуть бути наявними в конкретній будівлі.*

Ключові слова: системи зовнішніх стін, Knauf AQUAPANEL®, приведений опір теплопередачі, теплові мости.

Постановка проблеми. Нові полегшені системи зовнішніх стін Knauf AQUAPANEL® встановлюють новий стандарт міцності, універсальності та продуктивності. Такі стіни можуть нести широкий спектр обробки – від фарби, штукатурки та плитки до декоративного облицювання.

Knauf AQUAPANEL® пропонує надзвичайно гнучкі та адаптивні системи, які можуть вмістити вражаючий діапазон проєктних рішень [1], відкриваючи нові архітектурні можливості для створення комерційних чи висотних житлових будівель, спортивних арен чи закладів охорони здоров'я.

Основні конструктивні рішення збірних систем, що наводяться в Європейському технічному свідоцтві European Technical Approval, The Catalonia Institute of Construction Technology, розроблені для усереднених кліматичних умов країн

Євросоюзу і тому вони не можуть бути застосовані в кліматичних умовах України [2; 3].

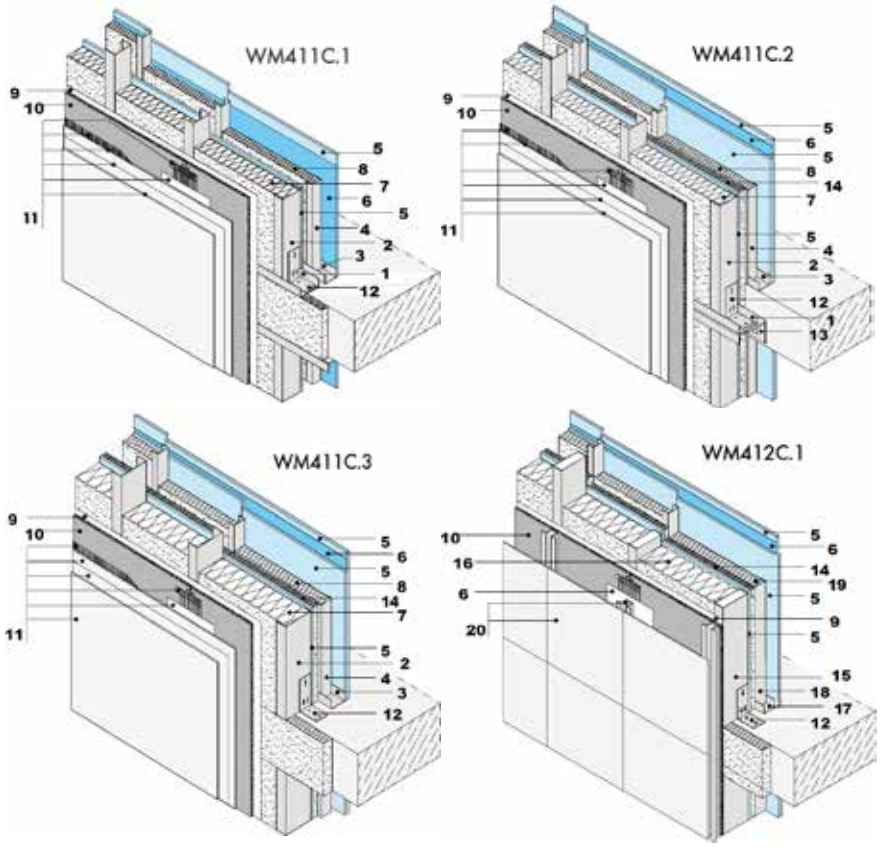
Відсутність матеріалів для проектування, конструкцій вузлів збірних систем, виконаних відповідно до оновлених у 2022 році нормативних документів України з теплової ізоляції і енергоефективності будівель, може привести до помилок при проектуванні або при виконанні робіт безпосередньо на будівельному об'єкті, і відповідно, до істотного зниження теплової надійності конструкції.

Аналіз останніх досліджень.

Незважаючи на очевидні переваги конструкції збірної системи, якщо її неправильно спроєктувати і побудувати, теплові мости, що створюються інтенсивним використанням стали, можуть значно знижувати теплотехнічні характеристики оболонки будівлі та, як наслідок, загальну ефективність їх використання. З огляду на це, в останні роки, були зроблені зусилля і методології для оцінки та поліпшення теплової поведінки таких структур, ослаблення впливу теплового моста у зовнішній оболонці [4–6].

Метою статті є визначення області раціонального застосування стінових систем Knauf AQUAPANEL®, які є досить складними термічно неоднорідними конструкціями, в якості зовнішніх огороджень будівель в кліматичних умовах України, визначення типів технічних рішень збірних систем, рекомендованих до застосування при проєктуванні будівель, що відповідають мінімальним нормативним вимогам щодо забезпечення теплової надійності конструкції.

Результати досліджень. Системи стін Knauf AQUAPANEL® Outdoor [7] з дворядним розташуванням стоякових профілів складаються з внутрішньої і зовнішньої рам, всередині яких розміщується теплоізоляційний матеріал (рис. 1).

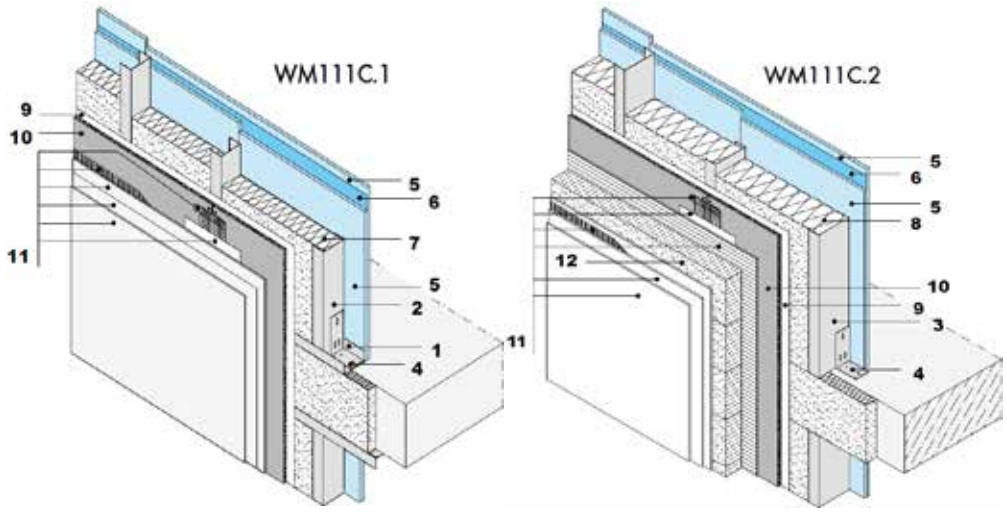


1 – зовнішній напрямний UW-профіль*; 2 – зовнішній стояковий CW- профіль*; 3 – внутрішній напрямний UW-профіль 50/40/06; 4 – внутрішній стояковий CW- профіль 50/50/06; 5 – гіпсокартонна плита, 12.5 мм; 6 – пароізоляційна плівка; 7 – мінераловатний утеплювач*; 8 – мінераловатний утеплювач, 50 мм; 9 – гідроізоляційна мембрана; 10 – цементно-мінеральна плита AQUAPANEL® Cement Board Outdoor; 11 – система оздоблення AQUAPANEL®; 12 – сталевий кутик; 13 – сталевий L- профіль з анкером; 14 – рулонний теплоізоляційний матеріал*;15 – Knauf Exterior Wall Facade Profile, 150 мм; 16 – мінераловатний утеплювач, 150 мм; 17 – внутрішній напрямний UW-профіль 75/40/06; 18 – внутрішній стояковий CW-профіль 75/50/06; 19 – мінераловатний утеплювач, 75 мм; 20 – система вентильованого фасаду; * *ширина за розрахунком*

Рис. 1. Зовнішні стінові панелі з дворядним розташуванням стояків [7]

Внутрішня рама забезпечує непроникність повітря і вогнестійкість зсередини. Зовнішній каркас забезпечує захист від погодних умов та передає вітрове навантаження на несучу конструкцію. Його можна встановити між перекриттями з частковим обпиранням (WM411C.1) та перед перекриттями навісним методом, використовуючи металеві L-подібні профілі (WM411C.2). Простір між двома рамами доповнений гіпсокартонною плитою і може бути ізольований скловатою відповідно до вимог або виконуватися з повітряним прошарком. Зовнішня стіна може бути оздоблена за системою AQUAPANEL® або з вентильованим фасадом (WM412C.1). В останньому випадку зовнішня рама стіни складається зі стоякових профілів Knauf Exterior Wall Facade Profile завширшки 150 мм.

Там, де вимоги до тепло- та звукоізоляції невисокі або відсутні, ідеальним рішенням є система з однорядним розташуванням стояків Knauf (рис. 2). Додаткову ізоляцію можна додати, прикріпивши зовнішню композитну теплоізоляційну систему до лицьового боку цементної плити AQUAPANEL® Outdoor (WM111C.2).



1 – напрямний UW-профіль*; 2 –стояковий CW- профіль*; 3 – Knauf Exterior Wall Facade Profile, 150 мм; 4 – сталевий кутик; 5 – гіпсокартонна плита, 12.5 мм; 6 – пароізоляційна плівка; 7 – мінераловатний утеплювач*; 8 – мінераловатний утеплювач, 150 мм; 9 – гідроізоляційна мембрана; 10 – цементно-мінеральна плита AQUAPANEL® Cement Board Outdoor; 11 – система оздоблення AQUAPANEL®; 12 – базальтова вата

Рис. 2. Зовнішні стінові панелі з однорядним розташуванням стояків [7]

Застосування стінових систем Knauf AQUAPANEL®, які є складними термічно неоднорідними конструкціями, вимагає проведення аналізу їх теплотехнічних характеристик, зокрема величини приведеного опору теплопередачі зовнішньої стіни, $R_{\Sigma пр}$, з метою встановлення відповідності мінімальним вимогам ДБН В.2.6-31:2021 [8].

В [7] для стінових систем Knauf AQUAPANEL® значення коефіцієнта теплопередачі U_W, Вт/м²·К, що є величиною зворотною до приведеного опору теплопередачі $R_{\Sigma пр}$, м²·К/Вт, визначено з урахуванням впливу тільки теплових мостів в містах розташування стояків стін і визначено за умов відстані між стояками 600 мм.

Тобто наведені в [7] значення U_W, Вт/м²·К, можуть бути прийняті для розрахунків приведеного опору теплопередачі тільки для глухих ділянок стіни (R_Σ, м²·К/Вт, табл. 2). Наведене в [7] значення коефіцієнта теплопередачі, U_W, Вт/м²·К, не може бути прийнято для ділянок стін із вікнами, тому що не враховано термічний вплив віконних відкосів.

Для зовнішніх стін також суттєвий вплив на величину приведеного опору теплопередачі мають теплові мости в містах примикання цоколя до перекриття над підвалом, примикання цоколю до підлоги по ґрунту, внутрішні кути, зовнішні кути, примикання перекриття до зовнішньої стіни з неповним її обпиранням на залізобетонну плиту, примикання парапету до перекриття технічного горища, примикання внутрішніх вертикальних конструкцій (колона) до зовнішньої стіни та ін.

Наявність тих або інших теплових містків визначається особливостями об'ємно-планувального та конструктивного рішення конкретної будівлі. Значення лінійного коефіцієнта теплопередачі $\Psi_{\text{-value}}$, Вт/(м·К), що визначає тепловтрати через тепловий міст, в [7] наводиться тільки для примикання перекриття до зовнішньої стіни з неповним її обпиранням на залізобетонну плиту або за навісною схемою, що є недостатнім для визначення приведеного опору теплопередачі зовнішньої стіни при проведенні розрахунків енергоефективності будівлі. Тому остаточне прийняття рішення про застосування конкретного типу стінової системи Knauf AQUAPANEL® потрібно приймати після проведення розрахунків загальних тепловтрат через теплоізоляційну оболонку будівлі з урахуванням усіх наявних в будівлі теплових мостів.

В табл. 1 наведено деякі приклади об'ємно-планувальних рішень будівель різного призначення із застосуванням в якості зовнішньої стіни систем Knauf AQUAPANEL®, в табл. 2 наведено дані розрахунків приведеного опору теплопередачі $R_{\Sigma\ пр}$, м²·К/Вт, для двох розрахункових схем фасаду:

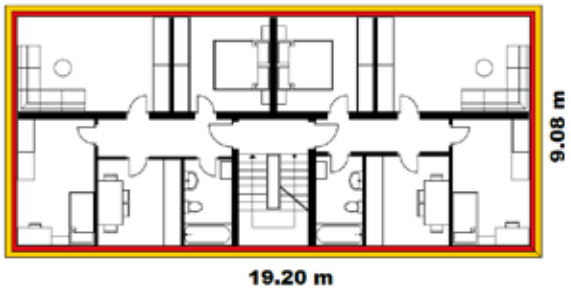
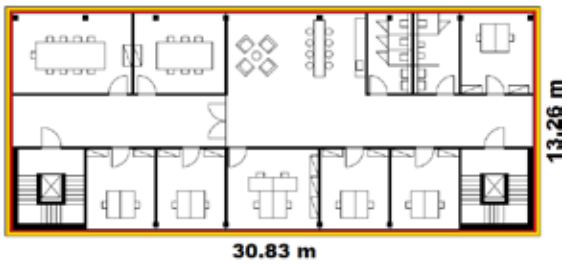
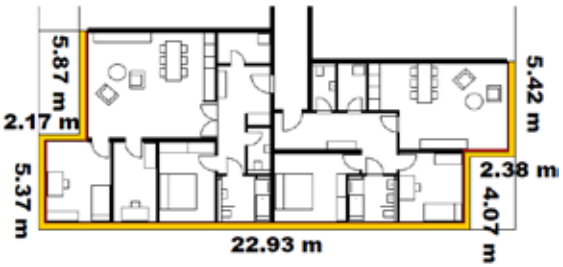
– схема фасаду 1 – для фрагменту глухої ділянки стіни розміром 3 м × 3 м із примиканням по середини її висоти залізобетонної плити перекриття;

– схема фасаду 2 – для площини фасаду будівлі (прийнято відповідно до варіанту із табл. 1.) заввишки 6 м із примиканням по середині висоти фасаду будівлі залізобетонної плити перекриття;

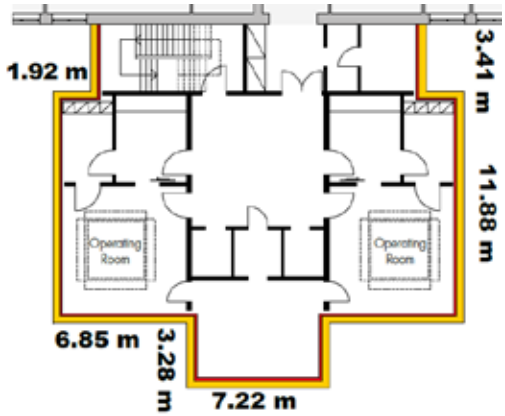
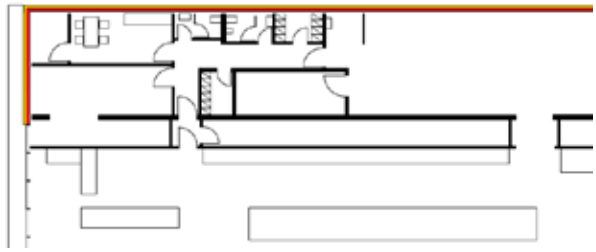
Дані розрахунків можуть бути прийняті тільки для первинної оцінки можливості застосування відповідної стінової системи для тих чи інших типів будівель.

З наведених в табл. 2 результатів розрахунків випливає, що вплив теплового моста в місці примикання залізобетонної плити перекриття є суттєвим.

Таблиця 1. Об'ємно-планувальні рішення будівель

Варіант планувальної схеми	Тип	Кількість поверхів	Висота поверху, м	Периметр, м
1	2	3	4	5
1 	Розширення поверху	1	3	56,56
2 	Офісна будівля	3	3,5 м	88,18
3 	Житловий будинок	9	3	48,21

Закінчення таллиці 1

1		2	3	4	5
4		Прибудова лікарні	2	4	61,74
5		Магазин	1	5,5	135

Таблиця 2. Теплотехнічні показники систем зовнішніх стін

Варіант планувальної схеми (табл. 1)	Система	U_w, Вт/м²·К,	Ψ_{value}, Вт/(м·К)	R_Σ, м²·К/Вт ($1/U_w$)	$R_{\Sigma\,пр}$, м²·К/Вт	
					схема фасаду 1	схема фасаду 2
Дворядне розташування стояків						
1	WM411C.1	0,302	0,449	3,31	2,32	2,73
2	WM411C.2	0,216	0,324	4,63	3,23	3,81
3	WM411C.3	0,185	0,172	5,41	4,35	4,82
4	WM412C.1	0,189	0,172	5,29	4,28	4,73
Однорядне розташування стояків						
5	WM111C.1	0,486	0,437	2,06	1,67	1,84
2	WM111C.2	0,211	0,028	4,74	4,85	4,79

Висновки

Враховуючи, що з 01.09.2022 р. за ДБН В.2.6-31:2021 Теплова ізоляція та енергоефективність будівель підвищено вимоги до мінімально допустимих значень приведеного опору теплопередачі R_{qmin}, м²·К/Вт, зовнішніх стінових огороджувальних конструкції житлових та громадських будівель (I температурна зона – 4,0 м²·К/Вт; II температурна зона – 3,5 м²·К/Вт) тільки системи з дворядним розташуванням стояків WM411C.3 і WM412C.1 (варіанти 3, 4) та система з однорядним розташуванням стояків WM111C.2 (варіант 2) можуть бути прийнятими в якості основи для подальших розрахунків приведеного опору теплопередачі. В цих подальших розрахунках потрібно уточнювати вплив інших теплових мостів, які можуть бути наявними в конкретній будівлі.

Література

1. Альбом технических решений. КНАУФ АКВАПАНЕЛЬ® Наружная стена. Наружные ненесущие каркасно-обшивные стены с каркасом из стальных тонкостенных холодногнутых оцинкованных профилей с применением материалов КНАУФ. ООО «КНАУФ ГИПС». 2018. 73 с.
2. Thermal bridging atlas of steel construction for improved energy efficiency of buildings (TABASCO). Grant Agreement RFSR-CT-2011-00028. Final report Directorate-General for Research and Innovation, European Commission. 2011. 141 p.
3. ETA 13/0312. Kits para los Sistemas de fachada AQUAPANEL® WM111.C; WM211.C; WM311.C; WM411.C; WM111.G; WM211.G; WM311.G; WM411.G. [Текст]. Kits para sistemas de paredes exteriores no portantes con paneles de origen mineral. Madrid, Spain : The Catalonia Institute of Construction Technology, 2013. 85 p.
4. Santos P. Energy Efficiency of Lightweight Steel-Framed Buildings. Energy Efficient Buildings. 2017. P. 35–60. URL: https://pdfs.semanticscholar.org/7b7a/fde782ff31ad6b92832e5a7c880b7d3c31f8.pdf?_ga=2.1299761.105317277.1667547210-1149146681.1667547210.
5. Тимофєєв М., Шамріна Г., Хохрякова Д. Теплотехнічні показники збірних систем зовнішніх стін з використанням цементних плит КНАУФ AQUAPANEL® OUTDOOR. *Slovak international scientific journal*. 2020. № 38, Vol. 1. P. 19–26.
6. Тимофєєв М., Шамріна Г., Хохрякова Д. Обґрунтування вибору збірних систем зовнішніх стін з використанням цементних плит КНАУФ AQUAPANEL® OUTDOOR за умов забезпечення енергоефективності будівлі. *Гірничий вісник*. 2020. Вип. 107. С. 11–15.
7. Built on experience. Knauf Exterior Wall with AQUAPANEL® Technology / Knauf Aquapanel GmbH & Co. KG. Iserlohn : 2019. – 71 p.
8. ДБН В.2.6-31:2021. Теплова ізоляція та енергоефективність будівель. [Чинний від 2022-09-01]. Вид. офіц. Київ : ДП «Укрархбудінформ“, 2022. 23 с.

References

1. Albom tekhnicheskikh resheniy. KNAUF AKVAPANEL® Naruzhnaya stena. Naruzhnyye nenesushchiye karkasno-obshivnyye steny s karkasom iz stalnykh tonkostennykh kholodnognutykh otsinkovannykh profiley s primeneniyem materialov KNAUF. OOO “KNAUF GIPS”. 2018. 73 p.
2. Thermal bridging atlas of steel construction for improved energy efficiency of buildings (TABASCO). Grant Agreement RFSR-CT-2011-00028. Final report Directorate-General for Research and Innovation, European Commission. – 2011.-141 p.
3. ETA 13/0312. Kits para los Sistemas de fachada AQUAPANEL® WM111.C; WM211.C; WM311.C; WM411.C; WM111.G; WM211.G; WM311.G; WM411.G. [Tekst]. Kits para sistemas de paredes exteriores no portantes con paneles de origen mineral. Madrid, Spain : The Catalonia Institute of Construction Technology, 2013. 85 p.
4. Santos P. Energy Efficiency of Lightweight Steel-Framed Buildings. Energy Efficient Buildings. 2017. P. 35–60. URL: https://pdfs.semanticscholar.org/7b7a/fde782ff31ad6b92832e5a7c880b7d3c31f8.pdf?_ga=2.1299761.105317277.1667547210-1149146681.1667547210.
5. Tymofyeyev M., Shamrina H., Khokhryakova D. Teplotekhnichni pokaznyky zbirnykh system zovnishnikh stin z vykorystannyam tsementnykh plyt KNAUF AQUAPANEL® OUTDOOR. *Slovak international scientific journal*. 2020. № 38, Vol. 1. P. 19–26.
6. Tymofyeyev, M., Shamrina, H., & Khokhryakova, D. Obgruntuvannya vyboru zbirnykh system zovnishnikh stin z vykorystannyam tsementnykh plyt KNAUF AQUAPANEL® OUTDOOR za umov zabezpechennya enerhoefektyvnosti budivli. *Hirnychyy visnyk*. 2020. Vyp. 107. P. 11–15.
7. Built on experience. Knauf Exterior Wall with AQUAPANEL® Technology/ Knauf Aquapanel GmbH & Co. KG. Iserlohn : 2019. 71 p.
8. DBN V.2.6-31:2021. Teplova izolyatsiya ta enerhoefektyvnist budivel. [Thermal insulation and energy efficiency of buildings]. [from 2022-09-01]. Kyiv : DP “Ukrarkhbudinform“, 2022. 23 p.

TYPES OF KNAUF AQUAPANEL® WALL SYSTEMS TAKING INTO ACCOUNT THE MINIMUM REQUIREMENTS FOR REDUCED HEAT TRANSFER RESISTANCE

Abstract. *The new lightweight Knauf AQUAPANEL® exterior wall systems are flexible and adaptable and include an impressive range of design solutions. However, these design solutions of external walls are developed for the average climatic conditions of the European Union countries and therefore must be checked during the design of buildings for compliance with the updated regulatory requirements of Ukraine to ensure the thermal reliability of the structure. The authors aimed to determine the area of rational application of Knauf AQUAPANEL® wall systems, which are rather complex thermally heterogeneous structures, as external walls of buildings in the climatic conditions of Ukraine. Double stud wall systems (WM411C.1, WM411C.2, WM411C.3, WM412C.1) and single stud wall systems (WM111C.1, WM111C.2) in buildings with appropriate volume – planning solutions were studied. Five variants of planning schemes for residential and public buildings were considered , including extensions and expansion of floors. The studies were based on the European experience of using Knauf AQUAPANEL® external wall systems and their existing*

thermal characteristics: the heat transition coefficient UW, W/m²·K only for blind sections of walls with a stud spacing profiles of 600 mm and the linear thermal transmittance Ψ_{-value}, W/(m·K) only for abutting the floors to the outer wall made by the hanging method or with its partial resting on a reinforced concrete slab. The results of the calculations established that the influence of the thermal bridge at the point of adjoining of the reinforced concrete floor slab is significant. Considering that starting from 2022, the regulations have increased the requirements for the minimum permissible values of the reduced heat transfer resistance Rqmin, m²·K/W, of external wall enclosing structures of residential and public buildings, only double stud wall systems WM411C.3 and WM412C.1 (options 3, 4) and the single stud wall system WM111C.2 (option 2) can be taken as the basis for further calculations of the reduced heat transfer resistance, in which it is necessary to clarify the influence of other thermal bridges that may be present in a specific building.
Key words: external wall systems, Knauf AQUAPANEL®, reduced heat transfer resistance, thermal bridges.

Khokhriakova D.O.
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
at the Department of Construction Technologies,
Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv

Shamrina H.V.
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
at the Department of Building Structures and Constructions,
Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture, Kramatorsk, Donetsk region

УДК 69.07
DOI https://doi.org/10.32782/2664-0406.2022.41.9

Шишкіна О.О.
к.т.н., доцент кафедри технології будівельних виробів, матеріалів та конструкцій,
Криворізький національний університет, м. Кривий Ріг, Дніпропетровська область

ВЛАСТИВОСТІ БУДІВЕЛЬНИХ ТЕКСТИЛЬНО-АРМОВАНИХ КОНСТРУКЦІЙ НА ОСНОВІ АКТИВОВАНОГО ДРІБНОЗЕРНИСТОГО БЕТОНУ

Анотація. *У статті наведено результати дослідження структури та властивостей зразків текстильно-армованого бетону. Для виготовлення зразків було використано два види високоміцних армуючих полотен зі скляних та вуглецевих ровінгів. У поєднанні з цементною матрицею вони утворюють новий клас будівельних конструкцій – текстильно-армовані, які сьогодні є одним із найперспективніших матеріалів для використання у будівництві. У порівнянні з традиційними будівельними конструкціями текстильно-армовані мають низку незаперечних переваг, таких як висока корозійна стійкість, менша вага і т. д. основними недоліками текстильно-армованих конструкцій є значна різниця у міцності та деформативності бетонної матриці та текстильних полотен. В той же час існують сучасні методи підвищення фізико-механічних властивостей бетонів які полягають у застосуванні механізму дії надмалих концентрацій як органічних так і неорганічних речовин, а також суміші дрібнозернистих заповнювачів бетону. Означені методи вочевидь дозволять підвищити фізико-механічні властивості текстильно-армованих конструкцій. Основна мета роботи полягає у визначенні підвищення впливу на міцність та деформативність текстильно-армованих конструкцій активації цементної матриці за рахунок застосування надмалих доз поверхнево-активних речовин та суміші дрібних заповнювачів бетону. Для досягнення поставленої мети необхідно встановити, як характеристики міцності текстильно-армованого бетону залежать від структури і складу бетонної матриці. В рамках дослідження були проведені випробування отриманих зразків на поперечний згин, визначено їх межу міцності при згинанні та ефективність армування. Показано, що зразки з текстильним армуванням мають більш високі характеристики міцності в порівнянні з неармованими. Крім того, проаналізовано деформаційну поведінку армованого бетону. Перевага полягає у більшій залишковій несучій здатності, що дозволяє зберігати цілісність конструкції без руйнування після граничних механічних впливів.*

Ключові слова: текстильно-армовані конструкції, активований дрібнозернистий бетон, міцність, деформативність.

Постановка проблеми. В даний час високоміцні текстильні матеріали знаходять нові застосування для армування елементів конструкцій в будівельній галузі [1–4]. Для їх виготовлення в основному застосовуються високоміцні та високомодульні полотна, такі як скляні, базальтові, вуглецеві та ін. [1; 2]. У поєднанні з цементною матрицею вони утворюють новий клас будівельних конструкцій – текстильно-армовані, які сьогодні є одним із найперспективніших матеріалів для використання у будівництві. У порівнянні з традиційними будівельними конструкціями текстильно-армовані мають низку незаперечних переваг, таких як висока корозійна стійкість, менша вага і т. д. Тому таке армування знаходить ефективне застосування в різних конструкціях, що поєднують у собі легкість, малі габарити та міцність – наприклад, оболонки, різні перегородки, а також при реконструкції різних бетонних споруд та виготовленні досить тонких бетонних конструкційпорівнянозтрадиційнимзалізобетоном. На додаток до всього цього текстильна арматура має більшу гнучкість. Однак її застосування часто обмежене вартістю вихідних матеріалів, які армують, внаслідок чого використання таких текстильно-армованих конструкцій в масивних спорудах не завжди економічно недоцільне.

Аналіз останніх досліджень. В якості компоненту, що армує, для композитних

конструкцій найчастіше використовують лугостійкі скловолокна (AR-glass), а також базальтові та вуглецеві волокна. Дані матеріали застосовуються як у вигляді рубаного волокна, так і у вигляді полотен з відкритими осередками. На відміну від дискретних волокнистих елементів, що армують, саме в текстильних полотнах можуть бути широко реалізовані властивості високоміцних та високомодульних ниток. Механізм роботи волокна, що армує, в цементній матриці сильно відрізняється від діючого в полімерній матриці через величину подовження цементній матриці, яка значно менше подовження скловолокон (AR-glass), а також базальтових та вуглецевих волокон. Тому цементна матриця зруйнується раніше, ніж будуть повністю реалізовані деформативні та міцністні властивості матеріалу армування.

Структура елементів, що армують, зазвичай представлена є плоским або просторовим каркасом, що складається з осередків певної геометричної форми, які сприяють проникненню цементної матриці в структуру. Розміри та форма осередків можуть змінюватись. Від розмірів осередків полотна залежить величина його зчеплення з бетонною матрицею, як наслідок, механічні властивості при рівному об'ємі армування. Чим більше осередок, тим вища ймовірність того, що всередині бетону не буде порожнеч, що знижують його характеристики міцності.

За останні два десятиліття розвитку цього напряму було присвячено значну кількість робіт. У роботі [3] наведено системний підхід до вивчення композитних бетонних конструкцій. У загальному випадку він включає: випробування конструкцій; аналіз властивостей; розрахунок найкращого співвідношення міцності та тріщиностійкості; статистичний аналіз та розрахунок на міцність.

У роботах [4–7] описані методи виготовлення та застосування текстильно-армованих конструкцій з посиленого композитами бетону, а також способи виробництва армуючих ниток і полотен. У [8; 9] розглядається залежність характеристик міцності композиту від структурних параметрів армуючих ровінгів і полотен. У дослідженнях [10; 11] описується застосування полімерів у композитному бетоні. У [12] розглянуто можливість застосування вуглецевих волокнистих матеріалів та композитів на їх основі у бетонних конструкціях. У дослідженнях [13–16] вивчаються різні моделі, такі як комп'ютерна модель композитної конструкції з бетону, моделі, що описують поведінку конструкції під впливом тривалих навантажень та корозії. Існуючі способи посилення залізобетонних конструкцій прогонових будов, включаючи посилення композиційними матеріалами на основі вуглецевих волокон у сполучному полімерному, досліджені в роботі [17]. Збільшення міцності бетонних конструкцій може бути здійснено із застосуванням попередньо напружених текстильних полотен [18; 19]. В цілому, технологія застосування армуючої сітки з високоміцних ровінгів має ряд переваг у порівнянні із залізобетоном.

В той же час з проаналізованих даних можна зробити висновок, що основними недоліками текстильно-армованих конструкцій є значна різниця у міцності та деформативності бетонної матриці та текстильних полотен. В той же час існують сучасні методи підвищення фізико-механічних властивостей бетонів [20–22] які полягають у застосуванні механізму дії надмалих концентрацій як органічних так і неорганічних речовин, а також суміші дрібнозернистих заповнювачів бетону. Означені методи вочевидь дозволять підвищити фізико-механічні властивості текстильно-армованих конструкцій.

Мета роботи. Основна мета роботи полягає у визначенні підвищення впливу на міцність та деформативність текстильно-армованих конструкцій активації цементної матриці за рахунок застосування надмалих доз поверхнево-активних речовин та суміші дрібних заповнювачів бетону. Для досягнення поставленої мети необхідно встановити, як характеристики міцності текстильно-армованого бетону залежать від структури і складу бетонної матриці.

Результати досліджень. Для виготовлення дослідних зразків текстильно-армованих конструкцій використовувалася цементна суміш (межа міцності при стисканні у віці 28 діб не менше 20 МПа), заповнювач – кварцовий пісок з максимальною фракцією 0.63 мм. В якості активатора цементної матриці застосовано вуглеводні, які мають нейтральну реакцію та не збільшують лужність системи, тобто не сприяють додатковому руйнуванню скловолокон. Розміри форм прямо-

кутного перерізу для виготовлення зразків склали 56×200×20 мм. У кожен зразок було закладено по 24 полотна в поздовжньому напрямку ровінгів симетрично серединної площини зразка. Для випробувань кожного з видів армування було виготовлено серію з 5 зразків, які були випробувані на поперечний вигин у віці 28 діб. Відстань між крайніми опорами становила 150 мм..

За результатами випробувань була визначена величина межі міцності при згинанні як відношення максимального згинального моменту при руйнуванні зразка – $M_{зг}$ до осьового моменту опору перерізу при згинанні – W.

На рис. 1 показаний вплив вуглеводню на зміну міцності текстильно-армованих конструкцій.

Отримані результати досліджень показали, що характер поведінки під навантаженням зразків текстильно-армованих конструкцій виготовлених з додаванням активатора – вуглеводню, та без активатора різний. Крім того, він суттєво залежить від виду армуючої нитки. Досліджувані зразки армованого бетону демонструють схожий характер поведінки. Початкова ділянка деформування характеризується зміною властивостей близькою за характером до лінійної із наступним переходом у ділянку де зміна властивостей втрачає лінійність. В цей момент з'являється перша поперечна тріщина. У разі використання для виготовлення зразків текстильно-армованих конструкцій склоровінгу, величина навантаження, за якою утворюються тріщини, є максимальною на діаграмі поперечного вигину. Навантаження при згинанні, що відповідає появі першої тріщині, у зразка текстильно-армованих конструкцій з армуванням вуглецевим ровінгом практично дорівнює міцності зразків з бетону без армування. Потім спостерігається зростання напруги при вигині за рахунок опірності вуглецевих ниток. Цей процес відбувається стрибкоподібно з утворенням ще кількох максимальних піків.

Аналізуючи отримані результати, можна зробити висновок. Межа міцності при згинанні неармованого бетону становить 5.2 МПа. Застосування армуючого полотна дає певний приріст у міцності: так, міцність

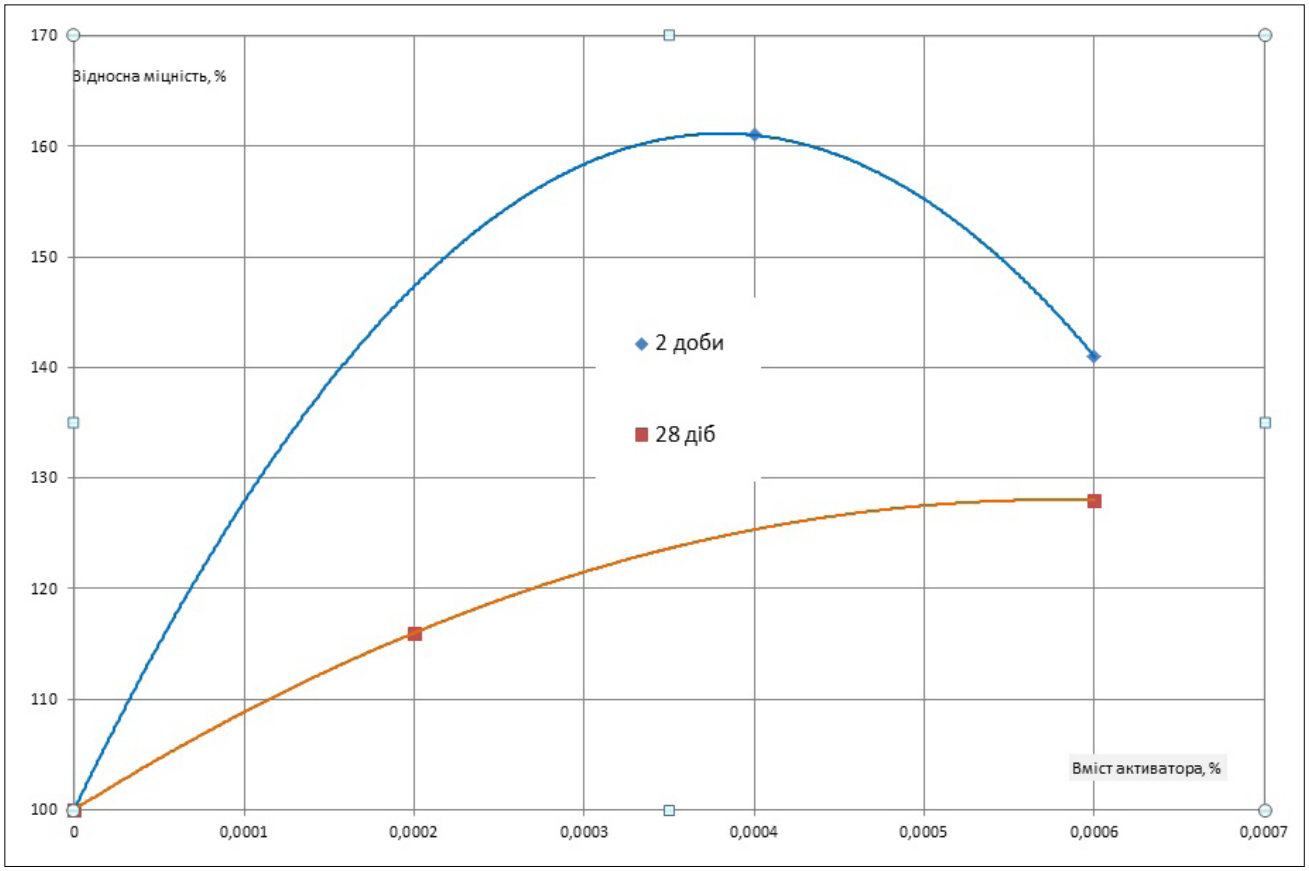


Рис. 1. Вплив вуглеводню на зміну міцності текстильно-армованих конструкцій

зразків, армованих скловолокном, становить 8.1 МПа, а зразків, армованих вуглецевими ровінгами, досягає 9.5 МПа. Зі зростанням прогину, спостерігається збільшення навантаження за рахунок опірних ровінгів. Дана здатність зберігати форму і працездатність без руйнування при великих деформаціях може знайти застосування у важливих областях, пов'язаних, наприклад, з сейсмостійкістю будівель і споруд.

Ефективність застосування армуючого полотна може бути оцінена за допомогою коефіцієнта, що показує відношення межі міцності при згинанні текстильно-армованих конструкцій до межі міцності при згинанні застосованого бетону.

Як видно з отриманих експериментальних даних, ефективність застосування активатора при виробництві текстильно-армованих конструкцій залежить від його кількості та виду матеріалу ровінгу. Для зразка текстильно-армованих конструкцій на основі склоровінгів міцність при згинанні від застосування активатора бетону збільшилася в 1,5 рази, а для зразка текстильно-армованих конструкцій на основі вуглецевих ровінгів – у 1.81 рази. Видно, що є певний ефект від армування міцними полотнами. Однак за наведеними результатами вимірювань складно судити про достовірність отриманих результатів, оскільки розкид значень міцності при згинанні армованих зразків є дуже суттєвим. Це добре видно за стандартним відхиленням на гістограмах для зразків армованого бетону.

Зміну міцності текстильно-армованих конструкцій в часі наведено на рис. 2.

Як показують результати дослідів, ефективність застосування активатора, яка характеризується величиною відносної міцності, на протязі часу зменшується. Таким чином застосування активатора бетону при виготовленні текстильно-армованих конструкцій ефективне в ранні терміни виготовлення конструкцій. Найбільш ефективне застосування активації бетону на основі шлакопортландцементу.

Вплив активації бетону на величини найбільш суттєвих показників (рис. 3) відбивається практично на всіх показниках.

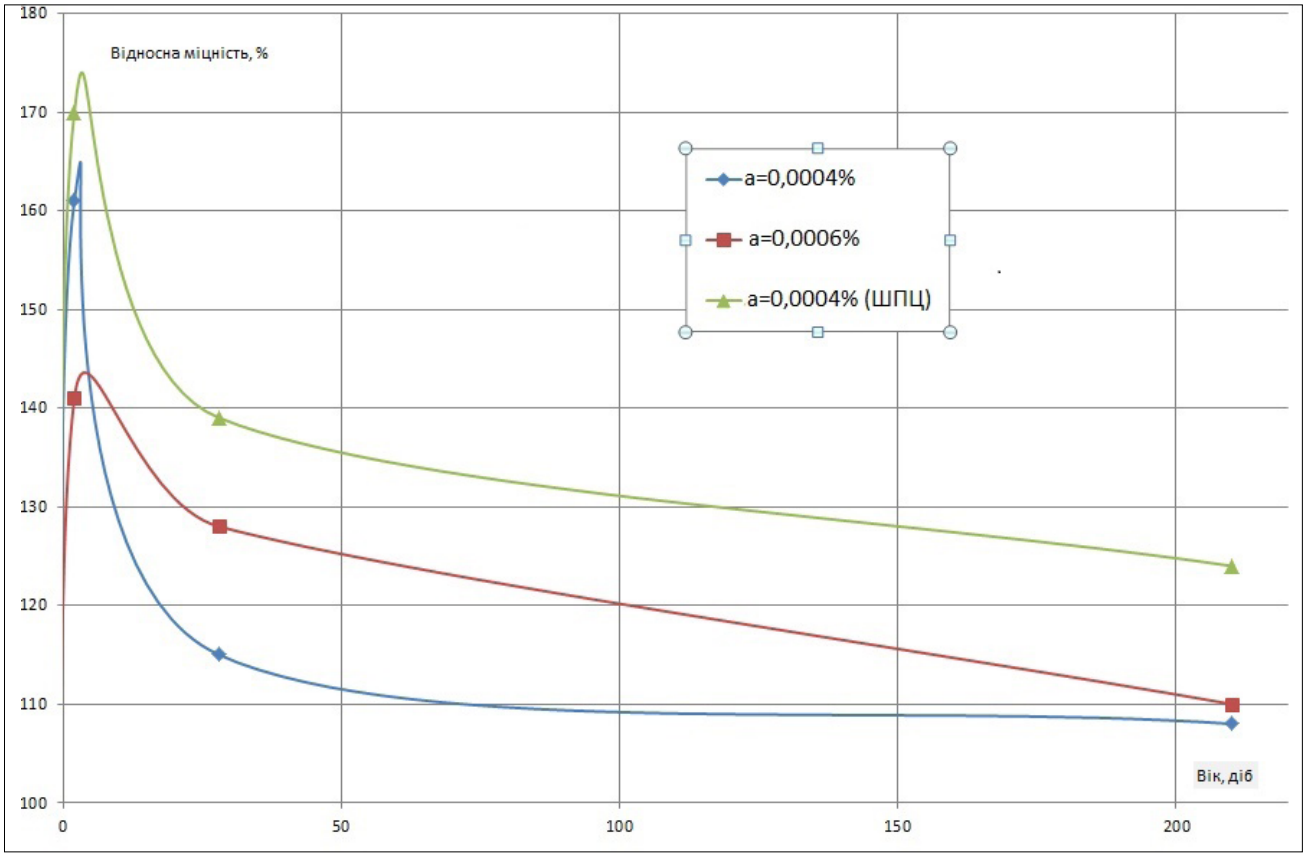


Рис. 2 Зміна міцності текстильно-армованих конструкцій в часі (а – вміст активатора)

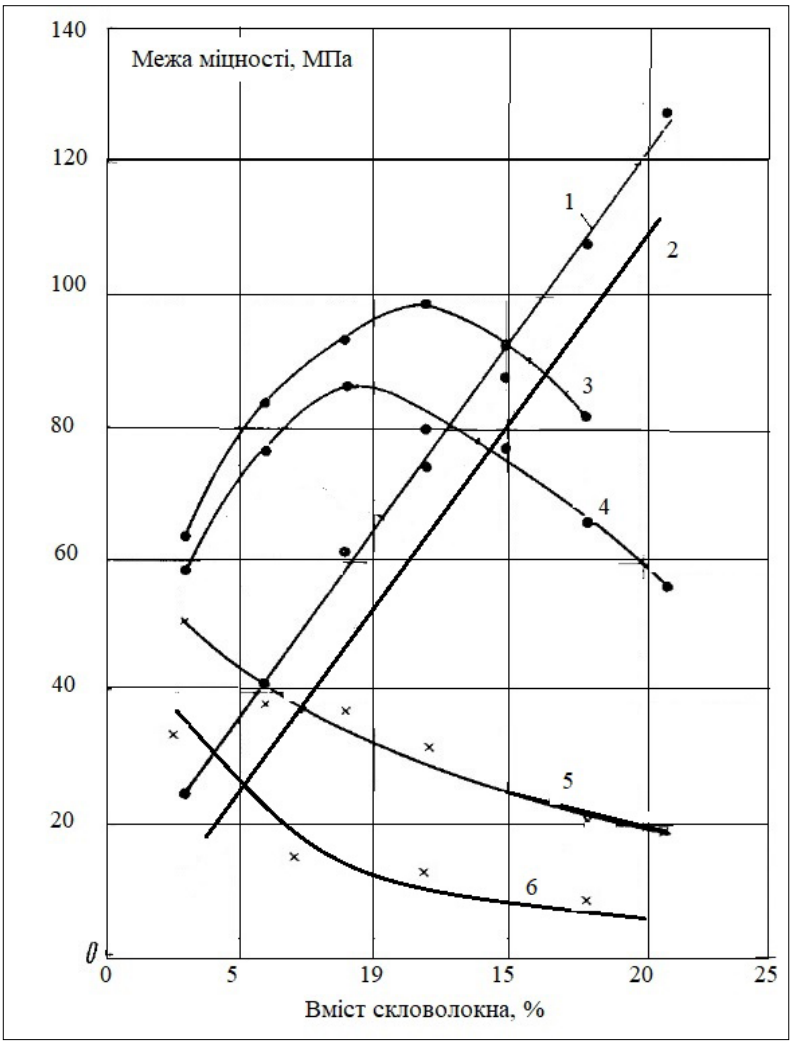


Рис. 3 Вплив активації бетону на величини найбільш суттєвих показників властивостей текстильно-армованих конструкцій: 1 – міцність при розтягу на активованому бетоні; 2 – міцність при розтягу на неактивованому бетоні; 3 – міцність при згині на активованому бетоні; 4 – міцність при згині на неактивованому бетоні; 5 – міцність при стиску на активованому бетоні; 6 – міцність при стиску на неактивованому бетоні

Висновки. Показано, що будівельні конструкції з текстильним армуванням володіють більш високими властивостями міцності в порівнянні з неармованими конструкціями. Ефективність текстильного армування підвищується застосуванням активатора бетону. В якості активатора бетону доцільно застосовувати органічні речовини, які не дають лужної реакції у воді. Визначено, що зразки конструкцій, армовані високоміцними текстильними полотнами, мають більшу залишкову несучу здатність, що дозволяє зберігати цілісність конструкції без руйнувань після граничних механічних впливів. Порівняння значень межі міцності при згинанні між армованими зразками не показали достовірних відмінностей. Однак у цілому можна відзначити очевидні переваги використання текстильного армування, які перебувають головним чином високої залишкової несучої здатності такого матеріалу. Досліджувана технологія армування може бути використана при створенні різних конструкцій, що мають малу товщину та високі характеристики міцності. Крім того, можливе створення самонесучих конструкцій, які будуть більш стійкими до корозійного впливу і матимуть меншу питому вагу, ніж класичні залізобетонні конструкції.

Література

1. Бирюкович К.Л., Бирюкович Ю.Л. Бирюкович Д.Л. Стеклоцемент в строительстве. Київ : Будівельник, 1986. С. 96.
2. Stolyarov O.N., Quadflieg T., Gries T. Effects of fabric structures on the tensile properties of warp-knitted fabrics used as concrete reinforcements. *Textile Research Journal*. 2015. № 85(18). P. 1934–1945.
3. Lцfgren I. Fibre-reinforced Concrete for Industrial Construction. Department of Civil and Environmental Engineering, Structural engineering. Chalmers University of Technology. Göteborg, Sweden. 2005. 276 p.
4. Hegger J., Voss S. Design methods for textile reinforced concrete under bending and shear loading. Proceedings of the 2nd International FIB Congress. Neapol, 5–8 June 2006. P. 1–12.
5. Бирюкович К.Л., Бирюкович Ю.Л. Бирюкович Д.Л. Мелкие суда из стеклоцемента и армоцемента. Л. : Судостроение, 1965. 164.
6. Voss S., Hegger J. Dimensioning of textile reinforced concrete structures. *1st International Conference Textile Reinforced Concrete (ICTRC)*. 2006. P. 1–10.
7. Voss S. Design methods for textile reinforced concrete. *6th International PhD Symposium in Civil Engineering*. 2006. P. 1–8.
8. Peled A., Cohen Z., Pasder Y., Roye A., Gries T. Influences of textile characteristics on the tensile properties of warp knitted cement based composites. *Cement & Concrete Composites*. 2008. № 30. P. 174–183.
9. Horstmann M., Shams A., Hegger J. Tragverhalten von Sandwichkonstruktionen aus textilbewehrtem Beton. 6 Kolloquium zu textilbewehrten Tragwerken (CTRS6). *Gemeinsames Abschlusskolloquium der Sonderforschungsbereiche 528 (Dresden) und 532 (Aachen)*. Berlin, 19.09.2011–20.09.2011. P. 329–340.

10. Kulas C., Hegger J., Raupach M., Antons U. Brandverhalten textilbewehrter Bauteile. Kolloquium zu textilbewehrten Tragwerken (CTRS6). *Gemeinsames Abschlusskolloquium der Sonderforschungsbereiche 528 (Dresden) und 532 (Aachen)*. Berlin. 19.09.2011–20.09.2011. P. 329–340.
11. Курлапов Д.В., Куваев А.С., Родионов А.В., Валеев Р.М. Усиление железобетонных конструкций с применением полимерных композитов. *Инженерно-строительный журнал*. 2009. № 3. С. 17–21.
12. Keil A., Raupach M. Improvement of the Load-Bearing Capacity of Textile Reinforced Concrete by the Use of Polymers. Professor Yoshihiko Ohama Symposium. *12th International Congress on Polymers in Concrete*. 2007. P. 873–881.
13. Параничева Н.В., Назмеева Т.В. Усиление строительных конструкций с помощью углеродных композиционных материалов. *Инженерно-строительный журнал*. 2010. № 2. С. 19–22.
14. Holler S., Butenweg C., Noh S.-Y., Meskouris K. Computational model of textile-reinforced concrete structures. *Computers and Structures*. 2004. № 82. P. 1971–1979.
15. Orlowsky J. Modeling the long-term behavior of textile reinforced concrete. Proceedings of the 5th International PhD Symposium in Civil Engineering. *Delft, the Netherlands*. 16–19 June 2004. P. 155–163.
16. Orlowsky J., Antons U., Raupach M. Behaviour of Glass-Filament-Yarns in Concrete as a Function of Time and Environmental Conditions. *Brittle Matrix Compositions 7*. Elsevier Ltd. 2003. P. 233–241.
17. Orlowsky J., Raupach M. Modelling the loss in strength of AR-glass fibres in textile-reinforced concrete. *Materials and Structures*. 2006. № 39. P. 635–643.
18. Овчинников И.Г., Валиев Ш.Н., Овчинников И.И., Зиновьев В.С., Умиров А.Д. Вопросы усиления железобетонных конструкций композитами: Экспериментальные исследования особенностей усиления композитами изгибаемых железобетонных конструкций. *Науковедение*. 2012. № 4. 7ТВН412.
19. Reinhardt H.W., Kruger M., Grosse C.U. Concrete Prestressed with Textile Fabric. *Journal of Advanced Concrete Technology*. 2003. Vol. 1. № 2. P. 231–239.
20. Peled A. Pre-tensioning of fabrics in cement-based composites. *Cement and Concrete Research 2007*. № 37. P. 805–813.
21. Shyshkina A. Shyshkin A. Application of the easy concentration effect in concrete technology. *Innovative Technology in Architecture and Design (ITAD 2020). IOP Conf. Series* : Materials Science and Engineering (2020) 907 012038.
22. Shyshkina A. Shyshkin A. Domnichev A. Concrete with a mixed aggregate and structured water. *Norwegian journal of development of the International Science*. 2020. № 51 vol. 1. P. 49–53.
23. Shyshkina A. Бетони високої міцності для композитних матеріалів. *Вісник криворізького національного університету.* 2022. 54. С. 42–46.

References

1. Byriukovych K.L., Byriukovych Yu.L. Byriukovych D.L. Steklotsement v stroytelstve. Kyiv : Budivelnyk, 1986. 96.
2. Stolyarov O.N., Quadflieg T., Gries T. Effects of fabric structures on the tensile properties of warp-knitted fabrics used as concrete reinforcements. *Textile Research Journal*. 2015. № 85(18). P. 1934–1945.
3. Lцfgren I. Fibre-reinforced Concrete for Industrial Construction. Department of Civil and Environmental Engineering, Structural engineering. Chalmers University of Technology. Göteborg, Sweden, 2005. 276 p.
4. Hegger J., Voss S. Design methods for textile reinforced concrete under bending and shear loading. Proceedings of the 2nd International FIB Congress. Neapol, 5–8 June 2006. P. 1–12.
5. Byriukovych K.L., Byriukovych Yu.L. Byriukovych D.L. Melkye suda yz steklotsementa y armotsementa. L. : Sudostroenye, 1965. 164.
6. Voss S., Hegger J. Dimensioning of textile reinforced concrete structures. *1st International Conference Textile Reinforced Concrete (ICTRC)*. 2006. P. 1–10.
7. Voss S. Design methods for textile reinforced concrete. *6th International PhD Symposium in Civil Engineering*. 2006. Pp. 1–8.
8. Peled A., Cohen Z., Pasder Y., Roye A., Gries T. Influences of textile characteristics on the tensile properties of warp knitted cement based composites. *Cement & Concrete Composites*. 2008. № 30. P. 174–183.
9. Horstmann M., Shams A., Hegger J. Tragverhalten von Sandwichkonstruktionen aus textilbewehrtem Beton. 6 Kolloquium zu textilbewehrten Tragwerken (CTRS6). *Gemeinsames Abschlusskolloquium der Sonderforschungsbereiche 528 (Dresden) und 532 (Aachen)*. Berlin, 19.09.2011–20.09.2011. P. 329–340.
10. Kulas C., Hegger J., Raupach M., Antons U. Brandverhalten textilbewehrter Bauteile. Kolloquium zu textilbewehrten Tragwerken (CTRS6). *Gemeinsames Abschlusskolloquium der Sonderforschungsbereiche 528 (Dresden) und 532 (Aachen)*. Berlin. 19.09.2011–20.09.2011. Pp. 329–340
11. Kurlapov D.V., Kuvaev A.S., Rodyonov A.V., Valeev R.M. Usylenye zhelezobetonnykh konstruktsyi s prymenenyem polymernykh kompozytov. *Ynzhenerno-stroytelnyi zhurnal*. 2009. № 3. С. 17–21.
12. Keil A., Raupach M. Improvement of the Load-Bearing Capacity of Textile Reinforced Concrete by the Use of Polymers. Professor Yoshihiko Ohama Symposium. *12th International Congress on Polymers in Concrete*. 2007. P. 873–881.
13. Paranycheva N.V., Nazmeeva T.V. Usylenye stroytelnykh konstruktsyi s pomoshchiu uhlerodnykh kompozytsyonnykh materyalov. *Ynzhenerno-stroytelnyi zhurnal*. 2010. № 2. S. 19–22.
14. Holler S., Butenweg C., Noh S.-Y., Meskouris K. Computational model of textile-reinforced concrete structures. *Computers and Structures*. 2004. № 82. P. 1971–1979.
15. Orlowsky J. Modeling the long-term behavior of textile reinforced concrete. *Proceedings of the 5th International PhD Symposium in Civil Engineering. Delft, the Netherlands*. 16–19 June 2004. P. 155–163.
16. Orlowsky J., Antons U., Raupach M. Behaviour of Glass-Filament-Yarns in Concrete as a Function of Time and Environmental Conditions. Brittle Matrix Compositions 7. Elsevier Ltd. 2003. P. 233–241.
17. Orlowsky J., Raupach M. Modelling the loss in strength of AR-glass fibres in textile-reinforced concrete. *Materials and Structures*. 2006. № 39. P. 635–643.

18. Ovchynnykov Y.H., Valyev Sh.N., Ovchynnykov Y.Y., Zynovev V.S., Umyrov A.D. Voprosy usylenyia zhelezobetonnykh konstruktsyi kompozytamy: Эksperymentalnye yssledovanyia osobennostei usylenyia kompozytamy yzghybaemykh zhelezobetonnykh konstruktsyi. *Naukovedenye*. 2012. № 4. 7TVN412.
19. Reinhardt H.W., Kruger M., Grosse C.U. Concrete Prestressed with Textile Fabric. *Journal of Advanced Concrete Technology*. 2003. Vol. 1. № 2. P. 231–239.
20. Peled A. Pre-tensioning of fabrics in cement-based composites. *Cement and Concrete Research*. 2007. № 37. P. 805–813.
21. Shyshkina A. Shyshkin A. Application of the easy concentration effect in concrete technology. Innovative Technology in Architecture and Design (ITAD 2020). *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering* (2020) 907 012038.
22. Shyshkina A. Shyshkin A. Domnichev A. Concrete with a mixed aggregate and structured water Norwegian Journal of development of the International Science. 2020. № 51. Vol. 1. 49–53.
23. Shyshkina A. Betony vysokoi mitsnosti dlia kompozytnykh materialiv. *Visnyk kryvorizkoho natsionalnoho universytetu*. 2022. № 54. P. 42–46

PROPERTIES OF BUILDING TEXTILE-REINFORCED STRUCTURES BASED ON ACTIVATED FINE-GRAINED CONCRETE

Abstract. *The article presents the results of the study of the structure and properties of samples of textile-reinforced concrete. Two types of high-strength reinforcing cloths made of glass and carbon rovings were used for the production of samples. In combination with the cement matrix, they form a new class of building structures – textile-reinforced, which today are one of the most promising materials for use in construction. Compared to traditional building structures, textile-reinforced structures have a number of undeniable advantages, such as high corrosion resistance, lower weight, etc. The main disadvantages of textile-reinforced structures are a significant difference in the strength and deformability of the concrete matrix and textile fabrics. At the same time, there are modern methods of improving the physical and mechanical properties of concrete, which consist in the application of the mechanism of action of ultra-low concentrations of both organic and inorganic substances, as well as a mixture of fine-grained concrete aggregates. The specified methods will obviously improve the physical and mechanical properties of textile-reinforced structures. The main goal of the work is to determine the effect of cement matrix activation on the strength and deformability of textile-reinforced structures due to the use of ultra-small doses of surface-active substances and a mixture of small concrete aggregates. To achieve the goal, it is necessary to establish how the strength characteristics of textile-reinforced concrete depend on the structure and composition of the concrete matrix. As part of the study, the received samples were tested for transverse bending, their bending strength limit and the effectiveness of reinforcement were determined. It is shown that samples with textile reinforcement have higher strength characteristics compared to unreinforced ones. In addition, the deformation behavior of reinforced concrete was analyzed. The advantage is a greater residual bearing capacity, which allows maintaining the integrity of the structure without destruction after extreme mechanical influences.*

Key words: textile-reinforced structures, activated fine-grained concrete, strength, deformability.

Shishkina O.O.
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor at the Department of Technology of Building Products, Materials and Structures,
Kryvyi Rih National University, Kryvyi Rih, Dnipropetrovsk region

ЗМІСТ

Басараб В.А.
ТЕХНОЛОГІЯ УЩІЛЬНЕННЯ ҐРУНТУ В СКЛАДНИХ УМОВАХ **3**

Григоровський П.Є., Броневицький А.П., Мурасьова О.В., Григоровський А.П.
АНАЛІЗ СВІТОВОГО ДОСВІДУ ТА СУЧАСНИХ ТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ БУДІВНИЦТВА ШВИДКОСПОРУДЖУВАНИХ ЖИТЛОВИХ БУДИНКІВ **10**

Казаченко Л.М., Казаченко В.А., Лобко-Зампассі М., Казаченко Д.А.
ІННОВАЦІЙНІ МЕТОДИ ВІДНОВЛЕННЯ ТА ВІДБУДОВИ БУДІВЕЛЬ І СПОРУД У ПІСЛЯВОЄННІ ЧАСИ РОБОТОМ-3D-ПРИНТЕРОМ **21**

Казаченко Л.М., Казаченко Д.А., Казаченко В.А., Лобко-Зампассі М.
ЗАСТОСУВАННЯ ГЕОІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ ПРИ ПОБУДОВІ ЦИФРОВОЇ КАРТОГРАФІЧНОЇ ОСНОВИ ДЛЯ РОЗРОБКИ ГЕНЕРАЛЬНИХ ПЛАНІВ НАСЕЛЕНИХ ПУНКТІВ **29**

Уманець І.М., Глущенко І.В.
ДОСЛІДЖЕННЯ СТУПЕНЯ ВПЛИВУ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ЧИННИКІВ НА ЯКІСТЬ САНУЮЧОЇ ШТУКАТУРКИ **41**

Fedukhin O.V., Mukha A.A.
FORECASTING NPP PIPELINES RESIDUAL LIFE BASED ON EROSION-CORROSION WEAR RATE MEASUREMENT **48**

Хохрякова Д.О.
ВУЗЛОВІ З'ЄДНАННЯ ЗБІРНИХ ПАНЕЛЕЙ ЗОВНІШНІХ СТІН ІЗ ТОНКОСТІННИХ ХОЛОДНОФОРМОВАНИХ ЕЛЕМЕНТІВ **53**

Хохрякова Д.О., Шамріна Г.В.
ТИПИ СТІНОВИХ СИСТЕМ KNAUF AQUAPANEL® З УРАХУВАННЯМ МІНІМАЛЬНИХ ВИМОГ ДО ПРИВЕДЕНОГО ОПОРУ ТЕПЛОПЕРЕДАЧІ **59**

Шишкіна О.О.
ВЛАСТИВОСТІ БУДІВЕЛЬНИХ ТЕКСТИЛЬНО-АРМОВАНИХ КОНСТРУКЦІЙ НА ОСНОВІ АКТИВОВАНОГО ДРІБНОЗЕРНИСТОГО БЕТОНУ **66**

CONTENTS

Basarab V.A.
SOIL COMPACTION TECHNOLOGY IN DIFFICULT CONDITIONS 3

Hrihorovskyi P.Ye., Bronevitskiy A.P., Murasova O.V., Hrigorovskyi A.P.
ANALYSIS OF WORLD EXPERIENCE AND MODERN TECHNICAL SOLUTIONS FOR THE CONSTRUCTION OF RAPIDLY CONSTRUCTED RESIDENCE BUILDINGS 10

Kazachenko L.M., Kazachenko V.A., Lobko-Zampassi M., Kazachenko D.A.
INNOVATIVE METHODS OF RESTORATION AND RECONSTRUCTION OF BUILDINGS AND STRUCTURES IN POST-WAR TIMES USING A ROBOT-3D-PRINTER 21

Kazachenko L.M., Kazachenko D.A., Kazachenko V.A., Lobko-Zampassi M.
APPLICATION OF GEOINFORMATION SYSTEMS IN THE CONSTRUCTION OF A DIGITAL CARTOGRAPHIC FRAMEWORK FOR THE DEVELOPMENT OF GENERAL PLANS OF POPULATED POINTS 29

Umanets I.M., Glushchenko I.V.
RESEARCH OF THE DEGREE OF INFLUENCE OF TECHNOLOGICAL FACTORS ON THE QUALITY OF REPAIRING PLASTER 41

Fedukhin O.V., Mukha A.A.
FORECASTING NPP PIPELINES RESIDUAL LIFE BASED ON EROSION-CORROSION WEAR RATE MEASUREMENT 48

Khokhriakova D.O.
NODAL CONNECTIONS OF PREFABRICATED EXTERIOR WALL PANELS MADE OF THIN-WALLED COLD-FORMED MEMBERS 53

Khokhriakova D.O., Shamrina H.V.
TYPES OF KNAUF AQUAPANEL® WALL SYSTEMS TAKING INTO ACCOUNT THE MINIMUM REQUIREMENTS FOR REDUCED HEAT TRANSFER RESISTANCE 59

Shishkina O.O.
PROPERTIES OF BUILDING TEXTILE-REINFORCED STRUCTURES BASED ON ACTIVATED FINE-GRAINED CONCRETE 66

Регламенти контролю якості виконання будівельних робіт

1. Регламент контролю якості **РОБІТ З УЛАШТУВАННЯ ФУНДАМЕНТІВ**
2. Регламент контролю якості **УЛАШТУВАННЯ БУРОНАБИВНИХ ПАЛЬ**
3. Регламент контролю якості **ПРИ ЗВЕДЕННІ МОНОЛІТНИХ БЕТОННИХ І ЗАЛІЗОБЕТОННИХ КОНСТРУКЦІЙ**
4. Регламент контролю якості **ПРИ МОНТАЖІ ЗБІРНИХ БЕТОННИХ І ЗАЛІЗОБЕТОННИХ КОНСТРУКЦІЙ**
5. Регламент контролю якості **УЛАШТУВАННЯ КАМ'ЯНИХ КОНСТРУКЦІЙ**
6. Регламент контролю якості **МОНТАЖУ МЕТАЛЕВИХ КОНСТРУКЦІЙ**
7. Регламент контролю якості **ВИКОНАННЯ ЗВАРЮВАЛЬНИХ РОБІТ ПРИ МОНТАЖІ БУДІВЕЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ**
8. Регламент контролю якості **УЛАШТУВАННЯ НЕПРОХІДНИХ КОМУНІКАЦІЙНИХ КАНАЛІВ**
9. Регламент контролю якості **УЛАШТУВАННЯ КОНСТРУКЦІЙ ФАСАДНОЇ ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЇ**
10. Регламент контролю якості **УЛАШТУВАННЯ ПОКРІВЕЛЬ**
11. Регламент контролю якості **ОПОРЯДЖУВАЛЬНИХ РОБІТ**
12. Регламент контролю якості **УЛАШТУВАННЯ ПІДЛОГ**
13. Регламент контролю якості **РОБІТ З УЛАШТУВАННЯ ВІКОН І ДВЕРЕЙ**
14. Регламент контролю якості **МОНТАЖУ ВНУТРІШНІХ САНІТАРНО-ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ**
15. Регламент контролю якості **ВИКОНАННЯ ЕЛЕКТРОМОНТАЖНИХ РОБІТ**
16. Регламент контролю якості **РОБІТ ІЗ БЛАГОУСТРОЮ ТЕРИТОРІЇ**

НОВІ ТЕХНОЛОГІЇ В БУДІВНИЦТВІ

Науково-технічний журнал

Випуск № 41

Підписано до друку 14.11.2022 р. Формат 64×90/8. Обл.-вид. арк. 5,40, ум.-друк. арк. 8,84.
Папір офсетний. Цифровий друк. Наклад 200 примірників. Замовлення № 0223/086.

Надруковано: Видавничий дім «Гельветика»
(Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 7623 від 22.06.2022 р.)
65101, Україна, м. Одеса, вул. Інглезі, 6/1
Тел. +38 (048) 709 38 69, +38 (095) 934 48 28, +38 (097) 723 06 08
E-mail: mailbox@helvetica.ua