

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО- НАУКОВИЙ ІСТИТУТ  
Кафедра Промислове та цивільне будівництво  
(повна назва)

## Кваліфікаційна робота

рівень вищої освіти Магістр  
(рівень вищої освіти)

на тему: Переваги і недоліки нез'ємної опалубки для будівництва  
будівель і споруд

Виконав: студент 2 курсу, групи 8.1929-пцб-д  
Грамма Максим Володимирович  
(прізвище та ініціали) (підпис)

спеціальність  
192 Будівництво та цивільна інженерія  
(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

освітньо-професійна програма  
промислове і цивільне будівництво  
(шифр і назва)

Керівник проф., д.т.н. Анін В.І.  
(прізвище та ініціали)

Рецензент доц., д.т.н. Арутюнян І.А.  
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Запоріжжя – 2020 року

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ

Кафедра Промислового та цивільного будівництва  
Рівень вищої освіти магістерський  
Спеціальність 192 «Будівництво та цивільна інженерія»  
Освітня програма «Промислове і цивільне будівництво»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідуючий кафедрою А. С. Мухоморов  
« 20 року

ЗАВДАННЯ  
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТОВІ

Грама Максим Володимирович

(прізвище, ім'я, по-батькові)

- 1 Тема роботи (проекту) Переваги і недоліки нез'ємної опалубки для будівництва будівель і споруд  
керівник роботи Анін Віктор Іванович, д.е.н., проф.  
(прізвище, ім'я, по-батькові, науковий ступінь, місце роботи)  
затверджені наказом ЗНУ від «25» 05 2020 року  
№ 598-с
- 2 Строк подання студентом роботи 05.12.2020
- 3 Вихідні дані до роботи нормативно-технічна документація.
- 4 Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Загальні відомості нез'ємної опалубки для будівництва будівель і споруд. 2. Дослідження сучасного технологічного стану висотної будівництва в Україні. 3. Розробка моделі системи нез'ємної опалубки для вертикальних конструктивних елементів монолітних будівель.
- 5 Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язков креслень) 8 аркушів

## Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та по батьку консультанта	Підписи, дата	
		автентичний підпис	автентична підписана
Розділ 1	Анін В.І.		
Розділ 2	Анін В.І.		
Розділ 3	Анін В.І.		

7 Дата видачі завдання \_\_\_\_\_

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Срок виконання етапів роботи	Примітки
1	Загальні відомості нез'ємної опалубки для будівництва будівель і споруд	з 01.10 по 24.10.2020	
2	Дослідження сучасного технологічного стану висотного будівництва в Україні	з 25.10 по 15.11.2020	
3	Розробка моделі системи нез'ємної опалубки для вертикальних конструктивних елементів монолітних будівель	з 16.11 по 06.12.2020	

Студент \_\_\_\_\_

(підпис)

М.В. Грама

(підпис та прізвище)

Керівник роботи (проекту) \_\_\_\_\_

(підпис)

В.І. Анін

(підпис та прізвище)

Нормоконтроль пройдено

Нормоконтролер \_\_\_\_\_

(підпис)

Данкешин Н.О.

(підпис та прізвище)

## АНОТАЦІЯ

Грамма М. В. Переваги і недоліки нез'ємної опалубки для будівництва будівель і споруд.

Кваліфікаційна випускна робота для здобуття ступеня вищої освіти магістра за спеціальністю 192 – Будівництво та цивільна інженерія, науковий керівник В.І. Анін, Інженерний навчально-науковий інститут Запорізького національного університету, 2020.

В роботі проведено дослідження переваг і недоліків нез'ємної опалубки для будівництва будівель і споруд. Тема відповідає напряму науково-технічної політики держави в галузі оцінювання технічного стану будівель і споруд згідно з Постановою Кабінету Міністрів України №409 від 5 травня 1997 р. „Про забезпечення надійності та безпечної експлуатації будівель, споруд і мереж”. Системний підхід, метод аналізу і порівняння дозволили проаналізувати основні процеси, що відбуваються в складних планувальних рішеннях будівельної галузі, це дає можливість використати науковий підхід до рішення управлінських завдань у будівельній галузі. Аналіз публікацій показав, що наявність рішень і методологій їх використання дозволяють вирішувати завдання які пов'язані з вибором актуальної технології будівництва.

**Ключові слова:** *переваги, недоліки, монолітне будівництво, робочий проект, нез'ємна опалубка, будівництво будівель і споруд.*

Анін В.І., Грамма М.В. Переваги і недоліки нез'ємної опалубки для будівництва і споруд. *Збірник наукових праць студентів, магістрантів, аспірантів, молодих вчених та викладачів кафедри ПЦБ.* Запоріжжя: ІННІ ЗНУ, 2020.

## АННОТАЦИЯ

Грамма М. В. Преимущества и недостатки несъемная опалубки для строительства зданий и сооружений.

Квалификационная выпускная работа для получения степени высшего образования магистра по специальности 192 - Строительство и гражданская инженерия, научный руководитель В.И. Анин, Инженерный учебно-научный институт Запорожского национального университета, 2020.

В работе проведено исследование преимуществ и недостатков несъемная опалубки для строительства зданий и сооружений. Тема соответствует направлению научно-технической политики государства в области оценки технического состояния зданий и сооружений в соответствии с Постановлением Кабинета Министров Украины №409 от 5 мая 1997 "Об обеспечении надежности и безопасной эксплуатации зданий, сооружений и сетей". Системный подход, метод анализа и сравнения позволили проанализировать основные процессы, происходящие в сложных планировочных решениях строительной отрасли, это дает возможность использовать научный подход к решению управленческих задач в строительной отрасли. Анализ публикаций показал, что наличие решений и методологий их использования допускают решать задачи связанные с выбором актуальной технологии строительства.

**Ключевые слова:** *преимущества, недостатки, монолитное строительство, рабочий проект, несъемная опалубка, строительство зданий и сооружений.*

Анин В.И., Грамма М.В. Преимущества и недостатки несъемная опалубки для строительства и сооружений. *Збірник наукових праць студентів, магістрантів, аспірантів, молодих вчених та викладачів кафедри ПЦБ. Запоріжжя: ІННІ ЗНУ, 2020*



## ANNOTATION

M. Gramma Advantages and disadvantages of fixed formwork for construction of buildings and structures.

Qualification final work for obtaining a master's degree in specialty 192 - Construction and Civil Engineering, supervisor V. Anin, Engineering Educational and Research Institute of Zaporizhia National University, 2020.

The study examines the advantages and disadvantages of fixed formwork for the construction of buildings and structures. The topic corresponds to the direction of scientific and technical policy of the state in the field of assessing the technical condition of buildings and structures in accordance with the Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine №409 of May 5, 1997 "On ensuring the reliability and safe operation of buildings, structures and networks." The system approach, the method of analysis and comparison allowed to analyze the main processes occurring in complex planning decisions of the construction industry, it allows to use the scientific approach to solving management problems in the construction industry. The analysis of publications has shown that the availability of solutions and methodologies for their use allow to solve problems related to the choice of current construction technology.

**Keywords:** *advantages, disadvantages, monolithic construction, working design, fixed formwork, construction of buildings and structures.*

Anin VI, Gramma MV Advantages and disadvantages of fixed formwork for construction and structures. *Collection of scientific works of students, магистрантів, graduate students, young scientists and teachers of department of PZB.* Zaporizhzhya: to INNA 3HY, 2020.

## ЗМІСТ

<b>Вступ</b> .....	6
<b>Розділ 1 Загальні відомості нез'ємної опалубки для будівництва будівель і споруд</b>	9
1.1 Загальні данні характеристик опалубок у монолітному будівництві	9
1.2 Відомі варіанти та порівняльна характеристика нез'ємної опалубки	14
1.3 Залізобетонні конструкції з робочим армуванням нез'ємною опалубкою	17
<b>Розділ 2 Дослідження сучасного технологічного стану висотного будівництва в Україні</b>	32
2.1 Дослідження технології опалубних робіт на прикладі житлового комплексу в м. Київ	32
2.2 Аналіз існуючих систем нез'ємної опалубки в сучасному будівництві	55
2.3 Методика розрахунку елементів нез'ємної опалубки	70
<b>Розділ 3 Розробка моделі системи нез'ємної опалубки для вертикальних конструктивних елементів монолітних будівель</b>	83
3.1 Вимоги до проектування конструктивних елементів опалубки	83
3.2 Проектування конструктивних елементів нез'ємної опалубки	85
3.3 Розрахунок та моделювання навантажень елементів нез'ємної опалубки	94
<b>ВИСНОВКИ</b>	109
<b>ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ</b>	111

## ВСТУП

**Актуальність дослідження.** Одним із недоліків залізобетону є необхідність застосування опалубки і риштувань при зведенні несучих конструкцій, що значно підвищує їх вартість, витрати матеріалів, праце- та енерговитрати. З цим недоліком провадиться постійна боротьба, наприклад, бетонування в нез'ємній залізобетонній опалубці, застосування збірно-монолітних конструкцій, використання збірного залізобетону. Це не дає бажаного результату, отже все одно доводиться в тому чи іншому вигляді застосовувати опалубку.

Нині широке застосування дістали сталезалізобетонні конструкції, які в своєму складі поєднують бетон, арматурні стрижні та сталеві прокатні профілі. Поряд з високими техніко-економічними показниками при будівництві цих конструкцій у багатьох випадках вдається повністю позбавитися необхідності застосовувати опалубку і риштування, тому що в якості опалубки можна використовувати сталеві прокатні профілі й листи, а робоча арматура з прокатних профілів із успіхом виконує функції риштувань. Але на даний час ця проблема залишається не розв'язаною.

Викладене дозволяє зробити висновок про актуальність дослідження, проектування та впровадження у будівництво залізобетонних конструкцій у нез'ємній опалубці.

**Тому мета дослідження** є розв'язання проблеми створення, дослідження, розрахунку й упровадження нез'ємної опалубки. Вирішення питання актуальності використання нез'ємної опалубки.

**Об'єкт дослідження.** Нез'ємна опалубка зі сталевих листів та прокатних профілів, що одночасно виконують функції робочої арматури.

**Предмет дослідження.** Наукові праці, несуча здатність і деформативність залізобетонних конструкцій у нез'ємній опалубці зі сталевих листів та прокатних профілів, що одночасно виконують функції робочої арматури.



**Задачі дослідження.** Досягнення поставленої мети зумовило необхідність вирішення наступних завдань:

1. Виявити основні переваги та недоліки нез'ємної опалубки.
2. Дослідити проблеми втрати стійкості нез'ємної опалубки - армування із тонких сталевих листів в умовах сумісної роботи з бетоном у залізобетонній конструкції.
3. Упровадити результати досліджень у практику проектування й будівництва.
4. Установити техніко-економічну ефективність залізобетонних конструкцій у нез'ємній опалубці.

**Методи дослідження.** поєднання експериментальних і теоретичних наукових праць, проведення експериментальних досліджень у нез'ємній опалубці (стійок, балок, плит, наскрізних конструкцій) із застосуванням сучасних методик та вимірювальних приладів.

**Наукова новизна.**

1. Уперше запропоновані та створені нові типи залізобетонних балок, плит, наскрізних конструкцій, у яких незнімна опалубка суміщена з функціями робочого армування.
2. Уперше розроблений та випробуваний спосіб забезпечення сумісної роботи бетону та сталі в залізобетонній конструкції у нез'ємній опалубці за допомогою склеювання під час виготовлення.
3. Розроблені методи сумісної роботи бетону й арматури в залізобетонній конструкції, у тому числі спосіб розрахунку місцевої стійкості сталевих листів, що працюють спільно з бетоном.
4. Отримані нові дані аналізу переваг і недоліків у нез'ємній опалубці при їх випробуванні у практичних умовах.

**Практичне значення** отриманих результатів переваг і недоліків нез'ємної опалубки полягає в створенні нових типів залізобетонних конструкцій. Доведена висока техніко-економічна ефективність конструкцій у нез'ємній опалубці порівняно зі звичайними залізобетонними.

**Особистий внесок. –**

- Проведені експериментальні дослідження залізобетонних конструкцій у нез'ємній опалубці зі сталевих листів та прокатних профілів.
- Запропонований аналіз переваг і недоліків забезпечення сумісної роботи бетону та сталі за допомогою склеювання під час виготовлення конструкції.
- Розроблена методика розрахунку залізобетонних конструкцій у незнімній опалубці.
- Розроблені рекомендації щодо проектування нез'ємної опалубки.
- Результати досліджень залізобетонних конструкцій у нез'ємній опалубці впроваджені в будівництво.

Усі основні результати кваліфікаційної роботи отримані самостійно.

**Апробація.** Тематика даного дослідження була розроблена на кафедрі промислового та цивільного будівництва ІННІ ЗНУ.

## РОЗДІЛ 1

### ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ НЕЗ'ЄМНОЇ ОПАЛУБКИ ДЛЯ БУДІВНИЦТВА БУДІВЕЛЬ І СПОРУД

#### 1.1. Загальні данні характеристик опалубок у монолітному будівництві

В кінці 80-х в країні отримала розвиток технологія монолітного будівництва будівель, поступово витісняючи раніше популярне збірне зведення багатоповерхівок із з / б панелей. Монолітне будівництво дозволяє в короткі терміни будувати будівлі, які не мають обмежень по поверховості, а використання під час зведення об'єкта спеціалізованого будівельного обладнання - сконструйованої на заводі опалубки - дозволяє досягти високої точності огорожувальних конструкцій, поверхні яких практично не мають швів сполучення. Яка ж технологія монолітного зведення будівель і яка саме опалубка використовується в ході такого будівництва?

Монолітне будівництво проходить у декілька етапів - підготовка та доставка на будівельний майданчик бетону марки 200-400, монтаж опалубки, її заповнення готовою бетонною сумішшю, демонтаж знімної опалубки по застиганню бетону. Крім створення повністю монолітних будинків, дана технологія використовується при зведенні збірно-монолітних будівель, що поєднують у своїй конструкції монолітні несучі елементи і зовнішні стіни з традиційних будівельних матеріалів (цегли, з / б панелей і т.д.) [1].

Розглянемо характеристики якісного монолітного домобудування, перш позитивні:

- мінімальний термін експлуатації такої будівлі складає 200 років, в той час як панельні будинки не можуть використовуватися більше 50 років через корозію армуючих металевих елементів у складі залізобетонних плит. А металева арматура, використовувана при створенні монолітної будівлі, повністю закладені в товщу бетону, який з кожен роком стає лише міцнішим;

- висока, допустима нормами, навантаження на перекриття - до 600 кг на м<sup>2</sup>, а для перекриттів панельних будинків допускається лише 200 кг на м<sup>2</sup>. Відповідно, на поверхах монолітних будівель допускається розміщення масивного побутового обладнання, таких як джакузі, басейн і сауна;

- для ведення будівництва за монолітною технологією не потрібний будмайданчик значних розмірів - будівлі великої поверховості можна зводити на малій площі, що полегшує будівельні роботи в умовах щільної міської забудови;

- терміни зведення будівель скорочуються більш ніж у два рази, в порівнянні з будівництвом будинків із цегли;

- будівельний майданчик не залежить від близькості заводів по виробництву ж / б плит, цегли і навіть від постачальників готового бетону - займаючий невелику площу мобільний бетонний завод розміщується прямо на місці будівництва;

- будівництво житлових будівель високої поверховості з приміщеннями вільного планування (за умови зведення будівель з несучими колонами і без монолітних стін). Якщо використовується якісна опалубка перекриттів, то внутрішні поверхні в приміщеннях таких будівель вимагають мінімальної підготовки під чистову обробку;

- сейсмостійкість монолітних будівель становить 8 балів за шкалою Ріхтера, що дозволяє зводити їх в сейсмічних районах.

Негативних характеристик не багато, проте вони є:

- кожен етап будівництва будівлі за монолітною технологією вимагає ретельного контролю, особливо при виставленні опалубки;

- ведення будівництва допускається в холодну пору року, тим не менше, воно обійдеться недешево - особливі присадки до бетону, підвищують його застигання і марки цементу, що виділяють при гідратації тепло, суттєво підвищують витрати на зведення будівлі.[2]

Опалубка, що представляє собою конструкцію у вигляді коробки і призначена для відливання монолітних стін, класифікується по області застосування в ході будівельних робіт. Виробляються комплекти опалубки,

призначені для створення стін, перекриттів, опорних елементів у вигляді колон, кільцевих стін, створення тунельних склепінь і т.д. Крім того, опалубка підрозділяється: за типом конструкції - на балочну і рамкову; залежно від способу установки - на стаціонарну, гідравлічну самопідйомну, підйомну і підйомно-переставні; за габаритними розмірами - на дрібноштучну і великопанельну; за способом використання - на знімну (багаторазову) і нез'ємну.

Система рамкової опалубки складається з каркасних щитів, підпорів і кріплень. Основні елементи каркасних щитів - несуча сталева рама, поперечні ребра жорсткості зі сталі і плита опалубки. У конструкції рами використовується замкнутий порожнистий профіль, на зовнішню поверхню якого нанесено фасонна гофра, що виконує дві функції - полегшує стиковку сусідніх рам між собою і забезпечує збереження торцевих ділянок опалубної плити від ушкоджень. Завдяки конструкції сталевому каркасу збірка рамкової опалубки на місці робіт проводиться швидко і досить просто. З її допомогою виконується бетонування будь-яких горизонтальних і вертикальних елементів споруджуваного об'єкта, наприклад опалубка колон і перекриттів.[3,4]

У комплект балочної опалубки крім двотаврових дерев'яних балок входять підпори, ригель, опалубні щити, ліси і підмостки для робітників-бетонників. Для збереження дерев'яних балок на їх торці надіваються наконечники з пластмаси або сталі, довжина балок суворо нормована. При виставленні балочної опалубки на будмайданчику дотримується вивірений крок між балками, з'єднаними між собою сталевим кріпленням.

Конструктивно тунельна опалубка складається з нерозбірних напівсекцій, що включають в себе горизонтальну і вертикальну опалубні панелі. З її допомогою одночасно створюються стіни та перекриття в типових будівлях при їх зведенні - кожна напівсекція виставляється підйомним краном.

При зведенні монолітних будівель найчастіше використовується з'ємна опалубка, що складається з дерев'яних, пластмасових, сталевих і алюмінієвих елементів, для незнімної опалубки застосовуються панелі з екструдованого пінополістиролу і ДСП.

Напевно, єдине достоїнство дерев'яної опалубки - її низька вартість. Недоліків куди більше - висока гігроскопічність, слабка стійкість до механічних пошкоджень. Число циклів використання дерев'яної опалубки не перевищує 30, при цьому потрібно замінювати її пошкоджені елементи на нові. Через швидке зношування найбільш відповідальні елементи такої опалубки виконуються з клеєної деревини і пластика.

Пластикова опалубка являє собою оптимальний баланс міцності і гладкої поверхні, не змінює форму при місцевих впливах механічного характеру. Важливим достоїнством пластику є його абсолютна інертність до вологи, що дозволяє бетону якісно тверднути, а сама опалубка ніяк не змінює своєї форми. Пластик має малу вагу, що спрощує транспортування опалубки, виконаної з цього матеріалу. Недоліки пластикової опалубки - не більше 200 циклів використання, недостатня механічна міцність при монолітному багатопверховому будівництві. З останньої причини пластикова опалубка використовується в основному в малоповерховому житловому будівництві.

Сталева опалубка виготовляється з оцинкованого або гальванізованого, покритого порошковою фарбою сталевого листа товщиною від 0,7 мм і вище (залежить від специфікації даного комплекту сталевих опалубки). У порівнянні з будь-якими іншими матеріалами, використовуваними в створенні опалубки для монолітного домобудівництва, сталева опалубка володіє найбільш високими характеристиками - стійкість сталі до механічними впливів дозволяє застосувати один і той же комплект більше 500 разів, що пояснює її популярність в багатопверховому будівництві, особливо часто з її допомогою виконується стінова опалубка. Недолік сталевих опалубки - значна вага.[5]

Перевага алюмінієвої опалубки полягає в малій вазі - у порівнянні зі сталлю, алюміній важить менше, відповідно, таку опалубку простіше транспортувати до будмайданчика і виконувати її монтаж на місці робіт. Однак її конструкційні елементи втрачають геометричну правильність ліній вже через 300 циклів використання, причому відновити їх практично неможливо. Ще одним недоліком алюмінієвої опалубки є її низька стійкість до корозії при контакті з рідким бетоном, що вимагає проведення особливої антикорозійної обробки.



Нез'ємна опалубка використовується в ході зведення лише одного будівельного об'єкта - при затвердінні бетону її зв'язок з ним стає нерозривним, тобто незнімні елементи опалубки утворюють стіни майбутнього будинку. Збірка незнімної опалубки здійснюється за допомогою множинних проміжних перегородок, що з'єднують між собою її протилежні стінки-блоки і нагадує широко відомий конструктор лего. В утворені стінками порожнини пропускається арматура і заливається бетон, після затвердіння якого незнімна опалубка стає зовнішніми сторонами бетонної виливки. Переваги незнімної опалубки - мала вага (у разі пінополістиролу), підвищення звуко-і теплоутримуючих характеристик бетонних стін. Недолік - використовувати таку опалубку можна не більше одного разу.

Опалубні системи, призначені для багаторазового використання на різних зведених об'єктах, оцінюються за чотирма основними критеріями - якістю виконання, числу циклів використання, універсальності і терміну, за який дана система опалубки окупить себе [6].

В оцінку по першим двом критеріям входять міцнісні характеристики опалубних щитів, міцність і надійність елементів кріплення, стійкість опалубної системи до навантажень в зібраному вигляді. Крім максимальної кількості циклів використання, оцінюють здатності елементів опалубки зберігати робочі характеристики в період їх зберігання. Якщо потреба в опалубній системі виникає досить часто, то має сенс придбати сталеву опалубку, як найбільш міцну серед інших видів.

Універсальна система опалубки дозволить її використовувати при будівництві будинків практично будь-якої архітектури - з її допомогою можна буде створювати як прямолінійні, так і кутові, а також закруглені поверхні, не залучаючи додатково опалубні системи інших типів. При підборі універсальної опалубки слід звернути увагу не тільки на її конструкційні можливості, але і на допустимі способи монтажу - в ідеальному варіанті її монтаж повинен проводитися як в ручну, так і за допомогою підйомної техніки. Не менш важливо враховувати можливість взаємозамінності і простоти ремонту основних елементів опалубки.

Найчастіше на одному і тому ж будівельному об'єкті використовуються різні види опалубки, які необхідно з'єднувати між собою. Тому ще на стадії вибору постачальника слід з'ясувати, які механізми з'єднання різних систем опалубки мають на пропонованих їм конструкціях. Якщо ж таких механізмів не існує, то необхідно придбати додаткове кріплення, що дозволить значно прискорити хід будівництва в перспективі.

Оцінка пропозицій на ринку опалубних систем тільки з позиції ціни невірна в корені - необхідно вибрати систему, оптимальну по більшості озвучених вище критеріїв.

Після закінчення будівництва чергового об'єкта за монолітною технологією, потрібно провести повну чистку і відновлення геометрії елементів опалубки, що дозволить повернути їм вихідні робочі характеристики. Самостійно ці роботи найчастіше виконати неможливо - чистка та відновлення проходять на спеціальному обладнанні в умовах цеху. У ході таких робіт також проводиться ремонт і заміна зношених елементів опалубки - оскільки при її створенні використовуються різні матеріали, то ступінь їх робочого зносу також неоднакова. Особливо швидко приходить в непридатність зовнішнє покриття опалубних щитів - його простіше і дешевше відновлювати, ніж купувати нові щити [7,8,9].

## **1.2 Відомі варіанти та порівняльна характеристика нез'ємної опалубки**

Виявлення доцільності застосування нез'ємної опалубки в сучасному будівельному комплексі. Актуальність досліджень зумовлена тенденцією застосування матеріалів, які поєднують високу міцність і хороші теплоізоляційні властивості та дають можливість застосування високопродуктивних і низькозатратних технологій їх застосування.

Одним з напрямків реалізації такого поєднання є технологія будівництва з застосуванням нез'ємної опалубки. При застосуванні нез'ємної опалубки обидва зовнішні пласти стіни виконано з теплоізоляційного матеріалу – опалубки. Внутрішній простір між цими пластами армують і заповнюють бетоном.

Крок армування і діаметр арматури розраховується при проектуванні будівлі залежно від поверховості та навантажень на стіни. Нез'ємна опалубка після укладання та твердіння бетону стає функціональною частиною стіни. Дослідження виконано на підставі порівняння відомих варіантів незнімної опалубки, вимог нормативної бази до них та особливостей застосування для конкретних умов. За чинними нормами в Україні дозволено спорудження будівель зі стінами з нез'ємною опалубкою висотою до 5 поверхів включно. У Німеччині ж, будівельні норми дозволяють будувати, застосовуючи дану технологію, до 22-х поверхів, а в Росії та Грузії - до 9-ти поверхів [10].

За результатами дослідження виявлено, що найчастіше застосовують такі незнімні опалубки:

- Пінополістирольну опалубку у вигляді блоків з пластин пінополістиролу товщиною 50 мм, з'єднаних між собою перемичками. Внутрішній простір блоків, який зазвичай складає 150 мм, армується сталевую або полімерною арматурою, заповнюється бетоном або фібробетоном. У виробництві термоблоків застосовується пінополістирол марки ПСВ-С, який не горить і не підтримує горіння, стійкий до старіння і при правильному використанні зберігає стабільні властивості, форму і розміри тривалий час, тобто є довговічним матеріалом. Отримана стіна є собою поєднанням «пінополістирол-залізобетон-пінополістирол» і потребує обов'язкової обробки декоративними матеріалами.

- Деревобетонні панелі або блоки (арболіт) (щепоцементна опалубка) відрізняється високими звуко- і теплоізоляційними характеристиками. Така конструкція надійна, що зумовлено наявністю повітряних бульбашок, які знаходяться між дерев'яними трісками, а хімічна обробка захищає матеріал від гниття, займання і вологи. Стіни з незнімної опалубки шириною 30 см виконані з дерев'яно-цементних композитів з об'ємним вмістом щепи до 85...90%, що переважно складається з порід хвойних дерев і щільністю 650...800 кг/м<sup>3</sup>, в середині 120 мм пінополістиролу щільністю 25...30 кг/м<sup>3</sup>.

- Фібролітова опалубка відноситься до екологічно чистих різновидів. Фіброліт це теплоізоляційний матеріал у вигляді плит, які отримані шляхом пресування дерев'яних стружок із в'язучими речовинами. Щільність фіброліту,

що використовується для Матеріали Міжнародної науково-технічної конференції «Фундаментальні та прикладні проблеми сучасних технологій», Тернопіль, 2018 48 нез'ємної опалубки складає  $800 \dots 1400 \text{ кг/м}^3$ . Має високу стійкість до морозів, пожегобезпечність, низьку теплопровідність  $0,08 \dots 0,1 \text{ Вт/(мК)}$  і високий коефіцієнт звукопоглинання, пропускання пари і біостійкість [11,12,13].

•Скломагnezитова каркасна опалубка - це каркас з обшивкою скломагnezитовими листами (СМЛ) 8, 10 чи 12 мм. Каркас виконують з оцинкованого металевого термопрофілю  $60 \times 60$ . В якості заповнювача використовують монолітний пінополістиролбетон щільністю  $280 \dots 320 \text{ кг/м}^3$  та теплопровідністю  $0,07 \dots 0,09 \text{ Вт/м}^2$ . Конструкція нагадує улаштування перегородок з гіпсокартону. Магnezитові плити, що використовуються як зовнішній та внутрішній шари, мають наступні характеристики: розміри  $1220 \times 2440 \times 10 \text{ мм}$ ,  $1220 \times 2280 \times 10 \text{ мм}$ ; щільність  $900 \text{ кг/м}^3$ ; водопоглинання  $28,5 \dots 32,1\%$ ; пористість  $26 \dots 29,3\%$ ; теплопровідність  $0,26 \text{ Вт/м}^2 \text{ К}$ ; міцність при згинанні  $5,5 \dots 6,9 \text{ МПа}$ . Нез'ємна облицювальна опалубка (декоративна) – це конструкція з легкозбірних опалубних модулів. Кожен модуль складається безпосередньо на стіні з фасадної та внутрішньої облицювальних пластин за допомогою перемичок. Усередину модуля вкладається пластина утеплювача необхідної товщини (пінополістирол або мінеральна вата) та встановлюється арматура. Модулі монтуються рядами за методом безшовної кладки (без розчину та герметика). Блок декоративний незнімної опалубки має дві бокові сторони декоративні, тобто такі, які імітують фактуру колотого природного каменю. Облицювальний шар, який визначає декоративні властивості стіни, виготовляється з металу, пластиків, фібробетону, керамограніту. Армований панелі (армопанель) - це плити з пінополістирольного або мінераловатного термоізоляційного вкладиша (товщиною від 10 до 250 мм). Панель обладнана з обох сторін сталевією арматурною сіткою та поділена нескінченною Wподібною дротиною діаметром 4 мм. Головні переваги технології будівництва з незнімною опалубкою - високі теплотехнічні характеристики стін ( $R = 3,15 \dots 3,5 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$  для стін з нез'ємної опалубки та  $R = 0,67 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$  для цегляної стіни 380 мм при нормативному  $R = 3,3 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$  згідно ДБН В.2.6-31:2016 Теплова ізоляція

будівель), Це забезпечує суттєву економію опалення в порівнянні з цегляним будинком; зменшення товщини і маси стін (360 кг стіни з пінополістирольної опалубки, товщиною 250 мм в порівнянні з масою 980 кг цегельної стіни в 1,5 цегли товщиною 380 мм. Це забезпечує економію при спорудженні фундаменту, зменшення трудомісткості спорудження стін, спрощення процесу і скорочення термінів будівництва, а також високі звукопоглинаючі властивості і гладку поверхню, що готова до оздоблення будь-якими матеріалами. Завдяки простоті спорудження дана технологія дозволяє обійтися без застосування важкої будівельної техніки, залучати робітників середньої кваліфікації без погіршення якості будівництва. Будинок невеликого розміру нескладно побудувати своїми руками, відливаючи по півметра стіни за день. Практика показує, що три будівельники можуть побудувати котедж площею 120 м. кв., витративши на спорудження будинку лише місяць [14,15,16,17]. До недоліків даної технології можна віднести неможливість повторного використання, на відміну від традиційної знімної опалубки; певні труднощі в транспортуванні, порівняно висока вартість (однак, цілісно оцінюючи особливості технології, можна стверджувати, що її переваги з надлишком окупають завищену ціну).

### **1.3 Залізобетонні конструкції з робочим армуванням нез'ємною опалубкою**

Відомо, що при зведенні залізобетонних монолітних конструкцій і споруд трудомісткість опалубки становить 35-40%, а вартість - 15-25% від загальних витрат на конструкцію. Враховуючи високу вартість та величезні витрати на влаштування провадилися роботи з типізації й індустріалізації опалубки.

З урахуванням складнощів, пов'язаних з виготовленням і будівництвом опалубки та риштувань, виникла ідея про застосування незнімної опалубки. Основні з видів незнімної опалубки такі: опалубка із залізобетонних плит, яка після бетонування працює у складі монолітної конструкції; незнімна опалубка з азбоцементних й армоцементних плит; з уніфікованих пустотних бетонних

блоків; зі склоцементних листів тощо. Слід відмітити, що в жодному з цих випадків незнімна опалубка не виконувала функцій робочого армування.

Поряд із залізобетонними вже понад сто років застосовуються сталезалізобетонні конструкції, що поєднують у собі залізобетон і сталеві прокатні профілі. Сталезалізобетонні конструкції мають багато переваг, але, на нашу думку, основна з них – це можливість у багатьох випадках виробляти та будувати залізобетонні конструкції без використання спеціальної опалубки, тому що її функції може успішно виконувати робоча арматура зі сталевих профілів.

Беручи до уваги вищесказане, необхідно дослідити відомі конструкції та запропонувати нові види залізобетонних конструкцій, які не потребували б використання спеціальної опалубки для їх виготовлення та спорудження. Цим вимогам відповідають деякі типи сталезалізобетонних конструкцій, у котрих листова чи профільна робоча арматура може одночасно виконувати функції опалубки [18,19,20,21].

Відомо, що в сталезалізобетонних конструкціях для раціональної сумісної роботи в одне ціле поєднані бетон, сталеві профілі та стрижнева арматура. Враховуючи широку різноманітність сталевих профілів, сталезалізобетонні конструкції досить різноманітні. Крім класифікації за призначенням, вони можуть розділятися залежно від місця виготовлення: безпосередньо при спорудженні будівлі («монолітний» варіант) чи в заводських умовах або на будівельному майданчику (збірні конструкції). Сталезалізобетонні конструкції чітко поділяються на елементи із зовнішнім і внутрішнім армуванням [22].

До сталезалізобетонних належать трубобетонні конструкції, які досить глибоко вивчені. Особливо активні науково-пошукові роботи з дослідження трубобетону проводилися в нашій країні останні сорок років. Були засновані наукові школи під керівництвом О.А. Долженка, Р.С. Санжаровського, Л.К. Лукші, Л.І. Стороженка, Е.Д. Чихладзе, якими накопичений великий дослідний та теоретичний матеріал, що дозволяє судити про особливості роботи оболонки і ядра в трубобетоні й про причини підвищення несучої здатності трубобетонних елементів, коли бетон перебуває в об'ємному



напруженому стані. За кордоном останнім часом також ведуться активні дослідження трубобетонних елементів, які супроводжуються їх широким застосуванням у будівництві. Але існує коло питань, які мають неоднозначне трактування. Так, немає узгодженості між різними дослідниками у питанні визначення граничних станів трубобетонних елементів та методики розрахунку їх несучої здатності. Нині теорія розрахунку залізобетонних конструкцій у нашій країні досягла значного розвитку. В роботах Т.Н.Азізова, Є.М.Бабича, А.М.Бамбури, А.Я.Барашикова, З.Я.Бліхарського, П.Ф.Вахненка, Б.Г.Гнідця, Б.Г.Демчини, В.С.Дорофєєва, Є.В.Клименка, Ю.А.Климова, С.Ф.Клованіча, В.І.Корсуна, В.П.Митрофанова, Г.А.Молодченка, Ю.І.Німчинова, А.М.Павлікова, С.І.Рогового, М.В.Савицького, С.Л.Фоміна, Л.М.Фомиці, О.Л.Шагіна, В.С.Шмуклера, О.Ф.Яременка та інших на основі експериментальних досліджень розроблені теорії, що дозволили отримати надійні інженерні методи розрахунку залізобетонних конструкцій. При цьому існує однозначне трактування граничного стану залізобетонних елементів: його руйнування [23,24,25,26,27].

У різних країнах світу чинні національні норми розрахунку сталезалізобетону, в Європі вже більше десяти років діє міжнародний нормативний документ Eurocode 4, присвячений проектуванню сталезалізобетонних конструкцій. З аналізу існуючих видів сталезалізобетонних конструкцій слід зробити висновок, що не всі вони можуть зводитися без застосування опалубки. Наприклад, потребують опалубки несучі конструкції з внутрішнім жорстким армуванням. На рисунку 1.1 подано розроблену нами класифікацію сталезалізобетонних конструкцій, які можуть зводитися в незнімній опалубці. Запропоновані нами нові види сталезалізобетонних конструкцій, котрі можуть будуватися в незнімній опалубці, підтверджені патентами. Ця класифікація покладена в основу структурно-логічної схеми кваліфікаційної роботи.

У будівництві та виготовленні залізобетонних конструкцій у незнімній опалубці необхідно дотримуватися таких вимог:

1. Армування конструкції повинне бути зовнішнім і відповідати вимогам, які ставляться до сталеві опалубки.
2. Між армуванням-опалубкою та бетоном мають бути передбачені засоби, які забезпечили б сумісну роботу бетону та сталі.
3. При проектуванні зовнішньої арматури необхідно враховувати навантаження, які можуть виникнути при виготовленні й монтажі.

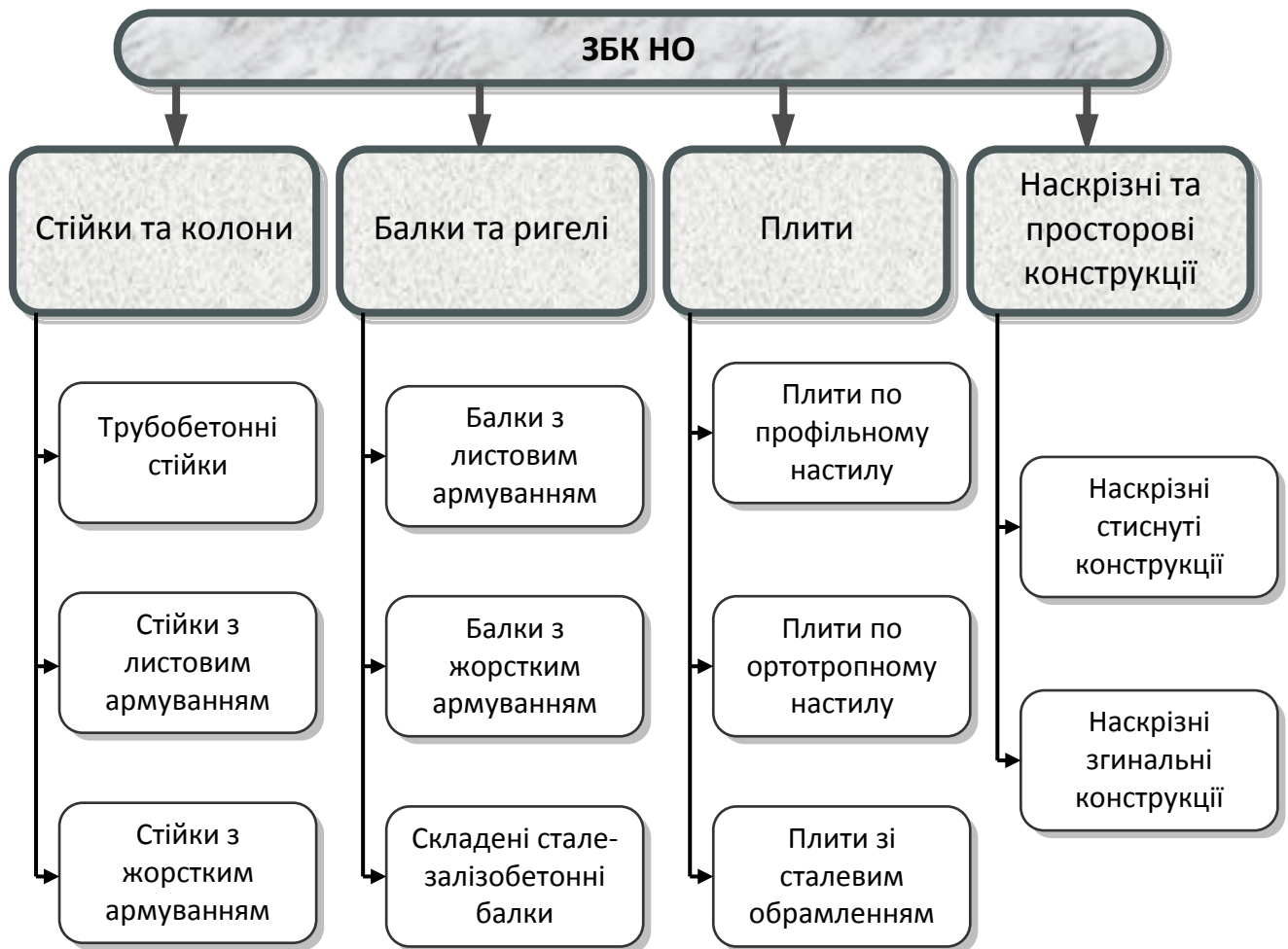


Рисунок 1.1 - Класифікація залізобетонних конструкцій, що виготовляються в незнімній опалубці (ЗБК НО)

Значно розширили клас конструкцій, які можна будувати в незнімній опалубці, запатентовані пропозиції щодо виготовлення конструкцій у перевернутому положенні. Конструкція виготовляється на спеціально підготованому майданчику, а після твердіння бетону за допомогою кранового обладнання перевертається й встановлюється в проектне положення. Цей спосіб має суттєві переваги: при бетонуванні виробу практично не потрібна опалубка,

безпосередньо на рівні землі можна виконати опоряджувальні роботи на конструкції, зводяться до мінімуму монтажні роботи на висоті [28,29,30].

При дослідженні залізобетонних конструкцій у незнімній опалубці нами розглядалися виключно такі випадки: сталева незнімна опалубка виконує роль робочої арматури; виключене будь-яке застосування додаткової опалубки та підтримуючих конструкцій - риштувань. Залізобетонні конструкції в незнімній опалубці можуть виготовлятися як у монолітному, так і в збірному варіанті.

Вимогам до конструкцій у незнімній опалубці в повному обсязі відповідають трубобетонні конструкції, що мають зовнішнє армування з труб й ідеально відповідають умовам, що ставляться до опалубки. При його застосуванні в якості залізобетонних конструкцій у незнімній опалубці виникає низка питань. Відомо, що коефіцієнти поперечної деформації  $\nu$  для бетону і сталі різні, причому для сталі він більший (для бетону  $\nu_b = 0,2$ , а для сталі  $\nu_s = 0,3$ ). Тобто, при завантаженні трубобетонної конструкції між трубою та бетоном повинне порушуватися зчеплення, чого не можна допустити в експлуатації конструкції. Для запобігання цьому явищу нами запропоновано наносити на внутрішню поверхню труби шар акрилового клею, який застосовується при підсиленні залізобетону. Клей тужавіє разом зі свіжоукладеним бетоном і забезпечує сумісну роботу оболонки та ядра. Тому, для виявлення впливу склеювання оболонки з ядром, проведені спеціальні випробування, результати яких наведені в цьому розділі.

Недостатньо є дослідженням питання про те, як забезпечується сумісна робота бетону й сталі у випадку, коли навантаження передається тільки на ядро або тільки на оболонку. З метою вивчення цього явища нами також проведені відповідні експериментальні дослідження. При розробленні програми експерименту ставилася задача дослідження особливостей роботи трубобетонних елементів залежно від способу передавання навантаження на зразок (тільки на трубу чи на бетон і на комплексний переріз) та його ексцентриситету. Для виготовлення експериментальних зразків були прийняті сталеві труби діаметром 104 мм із товщиною стінки 4 мм, заповнені бетоном. Усі трубобетонні зразки

мали висоту 400 мм, вони заповнювалися бетоном класу В20 за міцністю. Схема випробуваних зразків наведена на рисунку 1.2.

Слід відмітити, що у випадку передавання навантаження на комплексний переріз і на бетонне ядро характер руйнування зразків був практично однаковим та характеризувався загальною втратою стійкості. Такий характер руйнування зразків спостерігався незалежно від стану внутрішніх поверхонь труби-оболонки: без обробки, змащені мастилом, із прошарком акрилового клею. В момент досягнення граничного стану за несучою здатністю поздовжні напруження перевищували призмову міцність бетону в 1,5-2 рази.

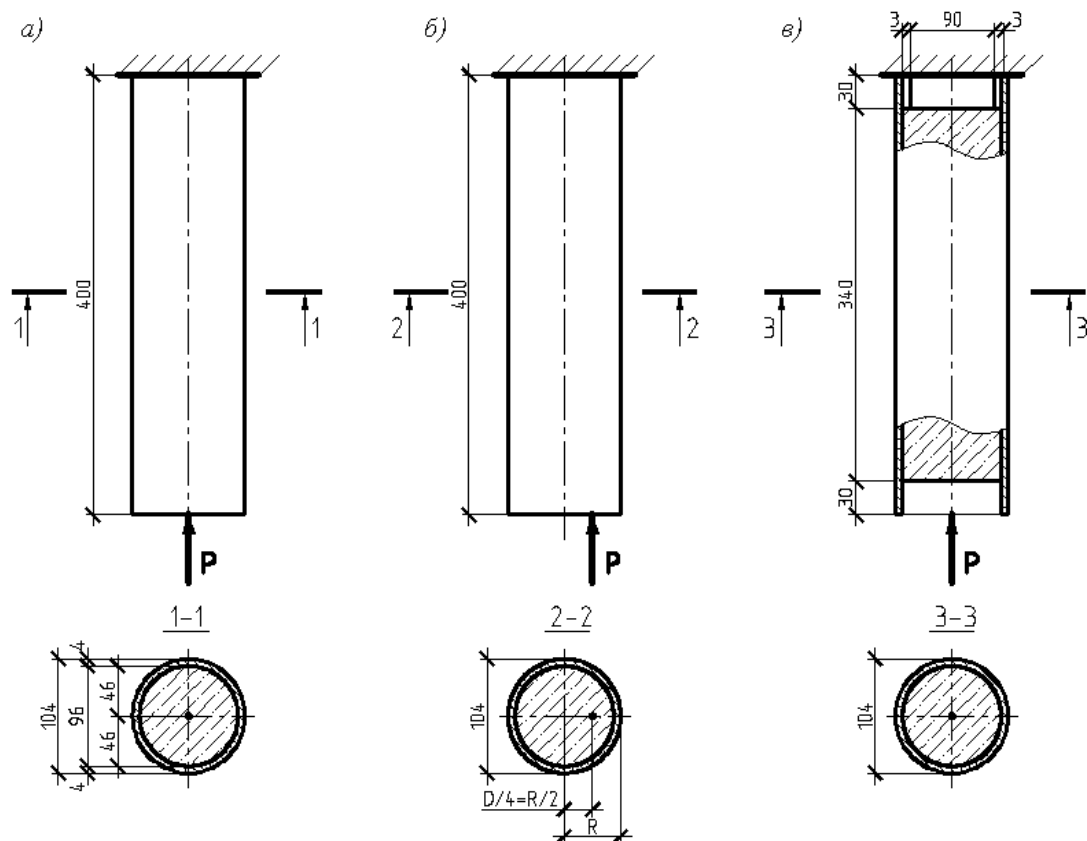


Рисунок 1.2 - Конструкція дослідних зразків та схема їх випробування

З наведених на рисунку 1.3 графіків можна бачити, що розвиток поздовжніх деформацій має прямолінійний характер від початку завантаження і до  $0.7 \div 0.9$  від величини зусилля  $N_l$ , яке відповідає початку плинності матеріалу труби-оболонки. При завантаженні дослідних зразків на комплексний переріз розвиток деформацій та величина зусилля майже однакові для всіх видів контакту між компонентами трубо бетону. За результатами проведених експериментальних

досліджень підтверджений висновок, що труба-оболонка в трубобетонних елементах працює спільно з бетонним ядром і надійно виконує функції незнімної опалубки. Бетон знаходиться в об'ємному напруженому стані, між ядром й оболонкою діють напруження стиску, тому додаткові анкерні засоби, які забезпечували б їх сумісну роботу, є зайвими. На сьогодні набуло поширення застосування клеїв при підсиленні залізобетонних конструкцій та при закріпленні анкерних болтів. Особливо позитивно в цьому випадку зарекомендували себе акрилові клеї. Експериментально досліджені стійки з армуванням сталевими листами, які виконували функції робочого армування. Крім забезпечення сумісної роботи бетону й сталі за допомогою сталевих анкерів – поперечних арматурних стрижнів, були випробувані стиснуті зразки, в яких листи прикріплювалися до бетону під час виготовлення зразків. У якості стиснутих елементів, армованих сталевими листами, сумісна робота яких з бетоном була забезпечена за рахунок акрилового клею, були випробувані зразки висотою 630 мм, обрамлені сталевими листами із двох сторін із використанням клейового з'єднання та без нього [31].

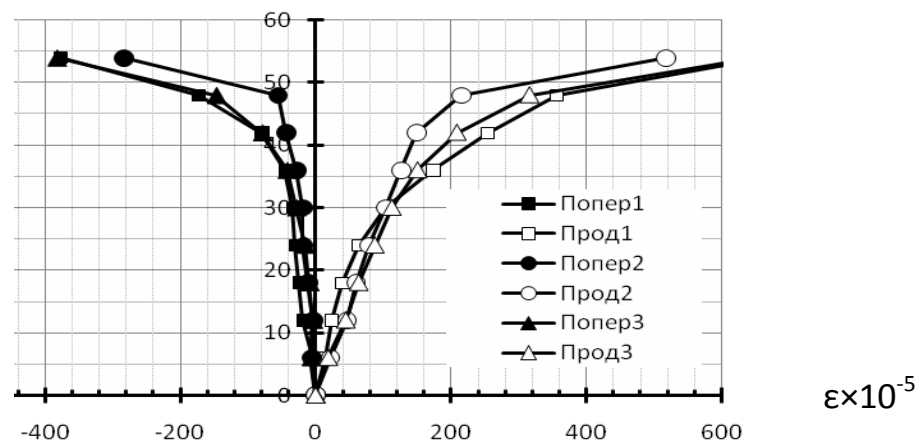


Рисунок 1.3 - Розподіл відносних поздовжніх та поперечних деформацій від навантаження по трьох поперечних перерізах трубобетонного зразка

Після виготовлення сталеві частини стійок, у відповідних зразках місця контакту сталі з бетоном покривались шаром акрилового клею та заповнювалися бетоном. У зразків К1 і К2 акриловий клей складався із 100 мас-частин полімеру, 100 мас-частин затверджувача. Використовувався бетон промислового виробництва класу В15 за міцністю.

Слід відмітити, що з початку завантаження деформації розвивалися практично лінійно, а перед руйнуванням відмічався розвиток пластичних деформацій. На всіх етапах завантаження, до руйнування зразка, бетон та сталеві листи деформувалися сумісно.

Порівнюючи дослідні зразки з використанням клейового з'єднання сталеві поверхні з бетоном і без нього можна говорити про значне зменшення деформативності конструкцій, у яких використовувалося клейове з'єднання, відносні деформації залежно від навантаження зменшувалися приблизно на 25%.

Характер руйнування бетону в зразках з приклеєними листами й при відсутності клею був різним. У першому випадку бетон руйнувався в результаті появи вертикальних тріщин відриву вповодж зразка, що характерно для звичайних бетонних призм-близнюків, а у випадку, коли листи були приклеєні, руйнування бетону відбувалося при появі нахиленої під кутом  $60^{\circ}$  тріщини та сповзання верхньої частини зразка відносно нижньої. Несуча здатність призм, армованих сталевими листами, без використання клейового з'єднання становила лише 290 кН, а призм з використанням акрилового клею із заповнювачем – 660 кН.

Були експериментально досліджені стиснуті елементи зі сталевих прокатних двотаврів із боковими порожнинами, заповненими бетоном при забезпеченні сумісної роботи бетону і сталі за допомогою анкерних засобів (рисунок 1.4).

При плануванні експериментальних досліджень урахувалися різні фактори, що можуть впливати на значення несучої здатності позацентрово стиснутих елементів, а саме: довжина елемента, наявність бетонування й армування бокових порожнин двотавра, спосіб приєднання поздовжньої арматури, діаметр поздовжньої арматури та ексцентриситет прикладення зовнішнього навантаження [32,33].



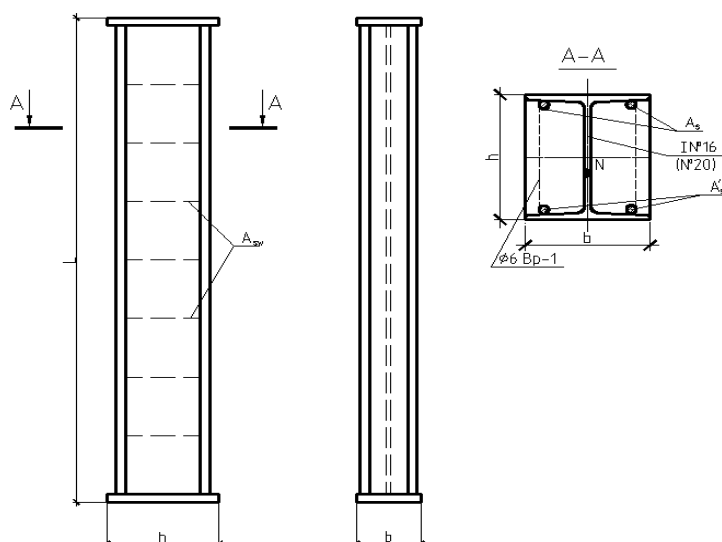


Рисунок 1.4 - Конструкція стійок зі сталевих двотаврів із заповнених бетоном бокових порожнин

За планом експерименту було виготовлено дві групи зразків. Перша група виготовлялась зі сталевих прокатних двотаврів № 16 з довжиною 800 мм, 1200 мм та 1600 мм; із поздовжньою арматурою класу А-III  $\varnothing 12$  мм,  $\varnothing 16$  мм і поперечною арматурою класу А-I  $\varnothing 6$  мм; із заповненими бетоном класу В30 боковими порожнинами. Друга група зразків виготовлялась зі сталевих прокатних двотаврів № 20 з довжиною 2000 мм; із поздовжньою арматурою класу А-III  $\varnothing 10$  мм,  $\varnothing 14$  мм,  $\varnothing 22$  мм та поперечною арматурою класу А-I  $\varnothing 6$  мм; із заповненими бетоном класу В25 боковими порожнинами. Зразки виготовлялися в горизонтальному положенні з бетонуванням одної, а потім – іншої порожнини.

Випробування проводились на пресі ПММ-250. При цьому вимірювалися поздовжні та поперечні деформації за допомогою електротензорезисторів та індикаторів годинникового типу. Прогини в дослідних елементах вимірювалися за допомогою прогиномірів Максимова.

Значення несучої здатності випробуваних зразків змінювалося залежно від діаметра арматури та ексцентриситету прикладення зовнішнього навантаження. Найвищу несучу здатність (1500 кН) мав зразок, у якому ексцентриситет прикладення навантаження в обох напрямках дорівнював випадковому, а

поздовжнє армування 4Ø16 мм А-III. Для оцінювання ефективності роботи позацентрово стиснутих елементів було введено коефіцієнт  $\eta = N / N_m$ , де  $N$  - несуча здатність зразка;  $N_m$  - зусилля, при котрому деформації в металі двотавра досягають межі плинності. Встановлено, що цей коефіцієнт коливається в межах від 1,22 до 1,54. Таким чином, заповнювати двотаври бетоном у всіх випадках вигідно, оскільки це значною мірою підвищує їх несучу здатність.

Утрата несучої здатності стиснутих елементів зі сталевих двотаврів із порожнинами, заповненими бетоном, відбувалась при великих пластичних деформаціях без миттєвої втрати стійкості. На всіх етапах завантаження в експериментальних зразках сталь та бетон працювали сумісно.

Були випробувані стиснуті елементи із сталевих прокатних двотаврів із боковими порожнинами, заповненими бетоном при забезпеченні сумісної роботи бетону й сталі за допомогою склеювання. Після виготовлення сталеві складові зразків акриловий клей наносився на металеву поверхню перед бетонуванням порожнини двотавра.

Слід відмітити, що і в цьому випадку на всіх етапах завантаження сталь та бетон працювали сумісно. Відколювання бетону від сталі не спостерігалось навіть при досягненні зразками граничного стану за несучою здатністю. Зразки в граничному стані втрачали загальну стійкість, вигиналися, як це характерне для сталевих стійок. Завдяки бетону в бокових порожнинах несуча здатність стійок досягала 450 кН і приблизно вдвічі перевищувала несучу здатність двотавра з незаповненими бетоном боковими порожнинами. Як і у випадку армування сталевими смугами, склеювання забезпечує сумісну роботу бетону й сталі аж до втрати несучої здатності зразка.

У результаті вимірювання деформацій досліджуваних сталезалізобетонних балок, заміряних за допомогою індикаторів годинникового типу та електротензорезисторів, отримано графіки залежності деформацій від навантаження, один з яких наведений на рисунку 1.6.

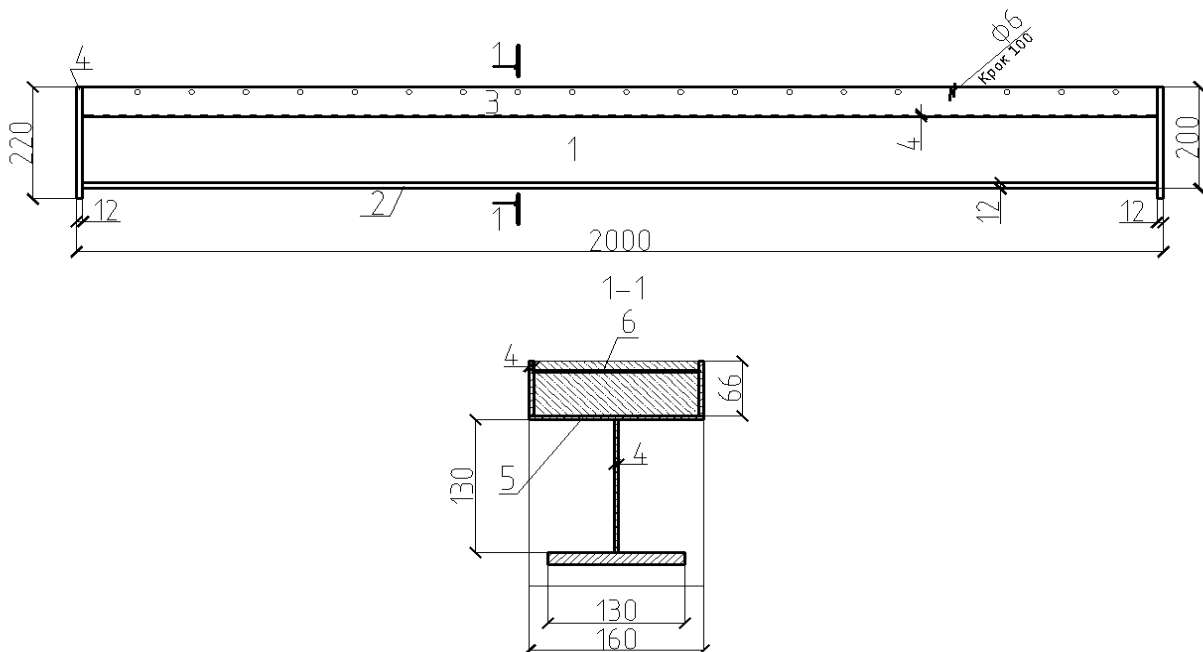


Рисунок 1.5 - Конструкція дослідних сталезалізобетонних балок:

1 – стінка; 2 – нижній пояс; 3 – вертикальні опалубочні листи; 4 – опорне ребро; 5 – горизонтальний опалубочний лист; 6 – арматура.

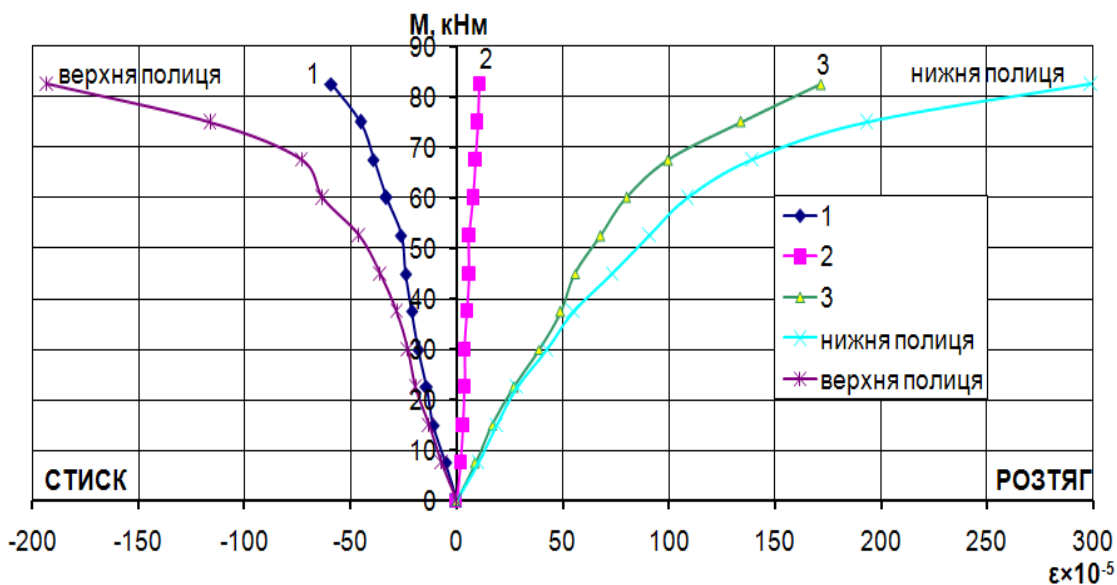


Рисунок 1.6 - Залежність деформацій від навантаження в нормальному перерізі зразка балки сталезалізобетонної серії БСЗБ-40.1

Із наведених графіків видно, що в розтягнутій зоні перерізу на початкових стадіях навантаження спостерігається лінійна залежність між згинальними моментами і деформаціями, що свідчить про пружну стадію роботи розтягнутої

зони елемента. При подальшому навантаженні, близькому до межі текучості, відбувається утворення тріщин у бетоні сталезалізобетонної полиці та спостерігається втрата стійкості вертикальних сталевих листів, що призводить до втрати несучої здатності елемента. При навантаженнях, які становили 85-90% від руйнуючого, спостерігалися пластичні деформації в сталі.

У процесі випробування не виявлено якого-небудь суттєвого порушення зв'язку листової арматури з бетонним ядром як у процесі завантаження, так і при повній втраті несучої здатності елементів.

Несуча здатність елементів, верхній пояс котрих був заповнений бетоном, виявилася в 2,35 – 2,71 разу вища, ніж сталевій опалубки. Це пояснюється тим, що бетон, який знаходиться в сталевій оболонці, не дозволяє розвиватися пластичним деформаціям сталевих стінок та втраті їх місцевої стійкості, відбувається більш рівномірний розподіл напружень по зовнішній листовій арматурі.

У розділі 3 також наведені результати випробування балок із зовнішнім листовим армуванням при забезпеченні сумісної роботи сталевих листів та бетону за допомогою анкерних засобів, які свідчать про ефективність їх роботи під навантаженням.

Були випробувані згинальні елементи із сталевих прокатних двотаврів прольотом 2 м із порожнинами, заповненими бетоном при забезпеченні сумісної роботи бетону і сталі за допомогою склеювання та без нього. Після виготовлення сталевій частини балки, у відповідних зразках місця контакту сталі з бетоном покривались шаром акрилового клею та в горизонтальному положенні поперемінно заповнювалися бетоном [34].

У результаті вимірювання деформацій досліджуваних сталезалізобетонних балок, заміряних за допомогою індикаторів годинникового типу та електротензорезисторів, отримані графіки залежності деформацій і прогинів від навантаження. Встановлено, що в розтягнутій зоні перерізу на початкових стадіях навантаження спостерігається лінійна залежність між згинальними моментами та деформаціями, що свідчить про пружну стадію роботи розтягнутої зони елемента. При подальшому навантаженні, близькому до межі текучості, відбувається утворення нормальних тріщин до повздовжньої осі конструкції та спостерігається

втрата стійкості сталевому двотавровому елементу, що призводить до втрати несучої здатності елемента. При навантаженнях, які становили 85-90% від руйнуючого, виявлені пластичні деформації. Руйнування сталезалізобетонних елементів відбувалося не крихко, а внаслідок пластичних деформацій сталевих елементів.

Порівнюючи дослідні зразки з використанням клейового з'єднання сталевих поверхні контакту із бетоном та без нього можна говорити про значне зменшення деформативності конструкцій, у яких використовувалося клейове з'єднання, тобто відносні деформації й прогин залежно від навантаження зменшувалися приблизно на 25%. У процесі випробування не виявлено якого-небудь суттєвого порушення зв'язку металевих частин конструкції з бетонною, як у процесі завантаження, так і при повній втраті несучої здатності елементів.

Експериментальні дослідження залізобетонних плит у незнімній опалубці. Поряд з уже відомими варіантами, нами запропоновано нові конструктивні рішення (зокрема, залізобетонні плити зі сталевим обрамленням), що підтверджені авторськими свідоцтвами та патентами на винаходи. Згідно з програмою, в цьому розділі проведені експериментальні дослідження таких типів плит, які виготовляються в незнімній опалубці: плити по профільованому настилу та залізобетонні плити зі сталевим обрамленням [35].

Плити по профільованому настилу як конструкції, що будуються в незнімній опалубці, нині дістали широке розповсюдження. Недоліком цих плит є труднощі, котрі виникають при забезпеченні сумісної роботи бетону й сталі, для чого застосовують різні способи анкерування. Запропоноване склеювання бетону та сталевих листів в процесі виготовлення плити, завдяки чому забезпечується сумісна робота бетону і сталі.

Метою проведення експериментальних випробувань фрагментів залізобетонних плит по профільованому настилу було дослідження впливу клейового з'єднання бетонної та сталевих частин плит на їх несучу здатність і характер руйнування дослідних зразків при різних схемах завантаження.

Для отримання експериментальних результатів запроектовано монолітні плити по профільованому настилу із використанням клейового з'єднання та без

нього. Експериментальні зразки – прямокутні у плані 900×1200 мм, які утворені несучим профнастилом Н75-750-0,8 (за ГОСТ 24045-94), поверх котрого влаштована монолітна бетонна плита товщиною 40 мм без урахування заповнення гофрів. У половині зразків перед бетонуванням поверхня металевої частини, що контактує з бетоном, обмазувалася акриловим клеєм із дотриманням технології його використання. При виготовленні зразків використовувався бетон промислового виробництва, який відповідав класу В15.

У результаті вимірювання отримано графіки залежності прогинів від навантаження з використанням клейового з'єднання та без нього (рисунок 1.7).

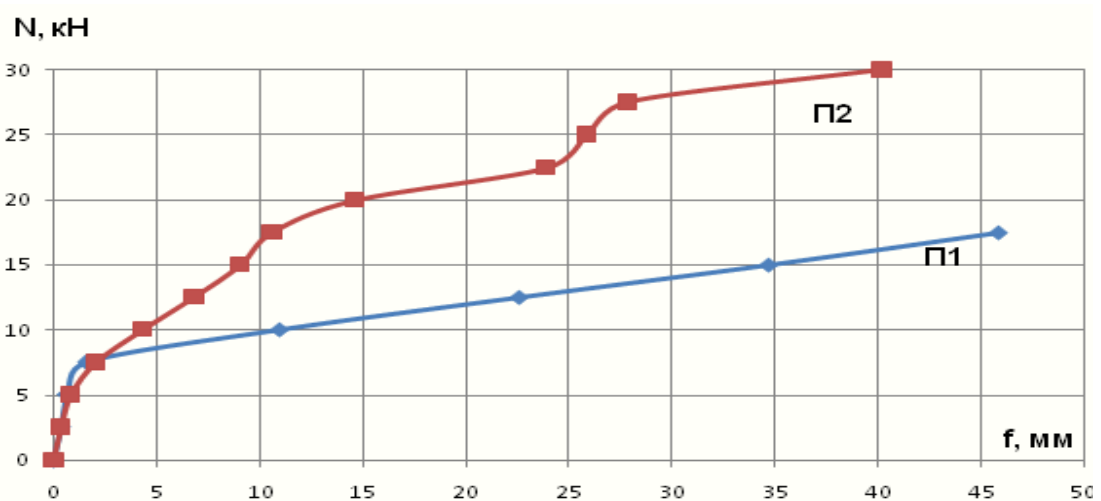


Рисунок 1.7 - Залежність прогину від зростання навантаження зразків П1 (за відсутності склеювання) та П2 (при склеюванні бетону з профнастилом)

Експериментальні значення несучої здатності дослідних зразків становили відповідно для П1 – 17,5 кН, для П2 - 30 кН. За наявності склеювання профнастил і бетонний блок працювали сумісно аж до втрати несучої здатності зразків. Таким чином, несуча здатність досліджуваних елементів, у яких використовувалося клейове з'єднання сталі з бетоном, вища порівняно з елементами без такого з'єднання на 42% [36].

Зміна прогину від навантаження свідчить про різке підвищення деформативності після відриву сталевого профільованого настилу від бетонного блоку в зразках без склеювання, однак на початкових етапах завантаження прогини розвивалися пропорційно навантаженню. З'єднання бетону зі сталлю за

допомогою акрилового клею забезпечує сумісну роботу обох компонентів композитної конструкції протягом усього процесу завантаження, що підтверджує плавне зростання значення прогинів [37].

## РОЗДІЛ 2

### ДОСЛІДЖЕННЯ СУЧАСНОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО СТАНУ ВИСОТНОГО БУДІВНИЦТВА В УКРАЇНІ

#### 2.1 Дослідження технології опалубних робіт на прикладі житлового комплексу в м. Київ

Об'єктом дослідження є житловий комплекс з соціальною інфраструктурою і паркінгом та благоустроєм прилеглої території для загального користування населення, адміністративному районі м. Києва.

Будівля вирішена в монолітно-каркасному варіанті в рамно-в'язевій схемі, яка наведена на рисунку 2.1.

Конструкція зовнішньої стіни з фасадною теплоізоляцією з індустріальним опорядженням та вентиляваним прошарком. Зовнішні стіни цегляні товщиною 250 мм. Внутрішні стіни: міжквартирні стіни – газоблок товщиною 300 мм, внутрішньо квартирні перегородки – газоблок товщиною 100 мм, стіни приміщень санвузлів – цегляні 120мм та 250 мм. Сходи – збірні залізобетонні.

В житловому будинку передбачене суміщене покриття. Покрівля плоска, рулонна з плівкового полівінілхлориду (ПВХ-мембрана). Відведення дощових і талих вод з покрівлі передбачене через систему внутрішніх водостоків.

Житловий будинок передбачено багатоповерховим (24-25 поверхів), двосекційним, наближеним до прямокутної форми в плані з розмірами між крайніми осями 81,6х21,4 м з підвальним поверхом, що показано на рисунку 2.2 [37].

Висота поверхів:

- підвалу – 2,6 м;
- перший поверх – 3,9 м;
- 2-24 житлові поверхи – 3,0 м;
- 25-ий поверх – 3,3 м;
- висота технічних приміщень на відм. +72,600 – 3,0 м;
- висота технічних приміщень на покрівлі на відм. +79,500 – 2,5 м.





Рисунок 2.1 – Конструктивна схема будівлі



Рисунок 2.2 – Архітектурний макет будівлі

Основні несучі конструкції будинку:

- монолітні залізобетонні колони, стіни, стіни сходових кліток і ліфтових шахт, монолітні залізобетонні балки й перекриття;
- плити перекриття товщиною 200 мм.

Основні зовнішні конструкції, що обгороджують:

1. Стіни із керамічної пустотілої й повнотілої цегли; тверді негорючі мінераловатні плити.
2. Навісні вентилявані фасади та системи скріпленої теплоізоляції, світлопрозорі огорожуючі конструкції.

Внутрішні стіни й перегородки виконані:

- із червоної повнотілої цегли товщиною 120-250 мм на цементному розчині М100;
- з газобетонних блоків щільністю  $500 \text{ кг/м}^3$  товщиною 150 мм; з монолітного залізобетону.

Покрівля плоска рулонна з утеплювачем. Фундаменти – пальово-плитний: бурин'єкційні палі  $\varnothing 620$  мм, плитний ростверк товщиною 1 м [37].

Змінення поперечного перетину несучих вертикальних конструкцій будівлі відбувається на відм. +36,800, перехід класу бетону з В 30 до В 25 – на відм. +18,800. При цьому змінюються діаметр робочої (вертикальної) арматури як по висоті будівлі, так і за видами конструктивних елементів, що зазначено в таблиці 2.1 [38].

Таблиця 2.1 – Змінення класу бетону та діаметра робочої арматури по висоті будівлі та видами конструктивних елементів

Конструктивні елементи	Відмітка	Ширина поперечного перетину, мм	Клас бетону	Діаметр арматури, мм
Стіни	-0,100...+18,600	250 мм	В 30	$\varnothing 12$ А500С
	+18,800...+24,600		В 25	
	+24,800...+36,600	200 мм		$\varnothing 10$ А500С
	+36,800...+72,800			
Пілони	-0,100...+18,600	300 мм	В 30	$\varnothing 20$ ; $\varnothing 25$ А500С
	+18,800...+24,600		В 25	
	+24,800...+72,800	$\varnothing 16$ ; $\varnothing 20$ А500С		
	+36,800...+72,800			

Ділянка для будівництва загальною площею 2,097 га розташована у периферійній частині міста у Північній лівобережній планувальній зоні, в Дніпровському адміністративному районі м. Києва. Територія проектування у функціонально-планувальній структурі міста відведена під житлово-громадську забудову [39].

Ділянка проектування межує:

- з півночі – КП по утриманню житлового господарства Дніпровського району в м. Києві;
- з півночі та заходу – Державне КП “Дарницьке лісопаркове господарство”;
- з півдня – територія Київського технікуму готельного господарства;
- зі сходу – землі загального користування (вул. Генерала Жмаченка).

Рельєф ділянки рівнинний з абсолютними відмітками 101,6-100,4 м. Невеликий ухил у південному напрямку.

На ділянці присутні металеві гаражі та опори зовнішнього освітлення, що були демонтовані згідно майнових документів та завдання на проектування.

На ділянці проектування також присутні зелені насадження, частина яких зрізана згідно актів обстеження.

Проектом передбачено переніс всіх інженерних мереж, які потрапляють в зону будівельного майданчика [39].

Ділянка розташована поза межами санітарно-захисних зон від підприємств. Згідно Схеми планувальних обмежень за матеріалами Генерального плану розвитку м. Києва до 2020 року територія проектування не потрапляє до зони обмеження польотів, в межі зони можливого підтоплення ґрунтовими водами, зони можливого виникнення зсувів. Згідно схеми озеленення та рекреаційних територій, ділянка розташована поза охоронними зонами об'єктів природно-заповідного фонду.

Проектом передбачалося зведення будівель об'єкта в дві черги:

- I черга будівництва – будівництво 25-ти поверхового житлового будинку та трансформаторної підстанції 10/0,4 кВа;
- II черга будівництва – будівництво наземного паркінгу на 183 машино-місця.



Коригуванням проекту передбачається:

1. I черга будівництва – в частині збільшення поверховості житлового будинку №1 (об’єкт дослідження) на 25-26 поверхів.
2. II черга будівництва – збільшення поверховості наземного паркінгу відкритого типу 8 поверхів зі збільшенням кількості машино-місць до 291.
3. III черга будівництва – розміщення в межах ділянки будинку №2 25-26 поверхів з підземним паркінгом, трансформаторної підстанції 10/0,4 кВа.
4. IV черга будівництва – будівництво житлового будинку №3 25-26 поверхів з підземним паркінгом.

Будмайданчик огорожується двометровою суцільною огорожею відповідно ДСТУ Б В.2.8-43:2011 “Огородження інвентарні будівельних майданчиків і ділянок виробництва будівельно-монтажних робіт”. Транспортне обслуговування будівництва передбачається з вул. Генерала Жмаченка [39].

Будівництво передбачається за допомогою двох самопідйомних приставних баштових кранів FO 23B та Potain MC 175B, які зображені на рисунку 2.3.



Рисунок 2.3 – Зведення каркасу будівлі за допомогою баштових кранів FO 23B та Potain MC 175B

В організації будівництва об'єкта дослідження вантажно-пасажирські підйомники будуть встановлені після завершення зведення монолітного каркаса будівлі.

Транспортування бетону для потреб будівництва виконується централізовано в автобетонозмішувачах. До місця укладання подається бетононасосом чи в баддях.

Тимчасові приміщення облаштовуються згідно будгенплану, який наведений у Додатку А. Тимчасові приміщення повинні повністю відповідати санітарно-гігієнічним вимогам. На будгенплані показані механізми, за допомогою яких виконуються монтажні роботи, огорожа, тимчасовий проїзд та місце розвантаження автотранспорту.

В процесі будівництва, будівельне сміття вивозиться на полігонгон будівельного сміття. Вивезення буде проводитись у самоскидах, кузови яких повинні накриватись брезентом, а сміття – змочуватись для запобігання забруднення атмосферного повітря під час навантаження і перевезення.

Колеса машин, виїжджаючих з будмайданчика, очищуються від сміття та бруду і обмиваються водою [39].

Будівельно-монтажні роботи зі зведення надземної частини будинку ведуться послідовно:

1. Обладнання монолітних залізобетонних колон, стін, діафрагм жорсткості.
2. Монтаж сходових маршів, вентиляційних блоків.
3. Обладнання монолітних залізобетонних перекриттів.
4. Цегляна кладка зовнішніх і внутрішніх стін проводиться з відставанням у 3-5 поверхів.
5. Обладнання покрівлі.
6. Заповнення дверних і віконних прорізів.
7. Монтаж світлопрозорих огорожуючих конструкцій.
8. Опоряджувальні роботи фасадних систем.
9. Монтаж внутрішніх перегородок.
10. Обладнання підлог.
11. Опоряджувальні роботи.

12. Монтаж внутрішніх електротехнічних і сантехнічних систем.

13. Монтаж устаткування, пусконаладжувальні роботи; благоустрій.

14. Здача-приймання об'єкта.

Після закінчення будівельних робіт проводиться:

- остаточне вивезення будівельного сміття;
- ліквідація наслідків будівництва;
- повний благоустрій території.

Відповідно до рекомендацій СНиП 3.03.01-87 “Несущие и ограждающие конструкции” [40, 41] і ДБН А.3.1-5-2009 “Охорона праці і промислова безпека у будівництві. Основні положення” [42] будівля зводиться потоковим методом при комплексній механізації транспортних, вантажно-розвантажувальних і монтажних робіт з використанням ефективного монтажного устаткування й інструментів.

При поточковому будівництві здійснюється умовне розподілення об'єкта на захватки. Захватка являє собою частину будівлі, на якій у технологічній послідовності виконуються всі цикли елементарних потоків, що входять до складу обумовленого спеціалізованого потоку. Кількість захваток визначається кількістю повторюваних елементів планування (прольоти, секції, поверхи) об'єкта, його конструктивними розподіленням (температурні й осадочні шви).

Згідно [39], об'єктний потік включає наступні спеціалізовані потоки:

- потік А – Підготовчі роботи;
- потік Б – Земляні роботи;
- потік В – Фундаментні роботи;
- потік Г – Обладнання введень;
- потік Д – Зведення надземної частини;
- потік Е – Покрівельні роботи;
- потік Ж – Внутрішні будівельні роботи;
- потік З – Електромонтажні роботи;
- потік И – Внутрішні сантехнічні роботи;
- потік К – Опоряджувальні роботи;
- потік Л – Благоустрій;
- потік М – Пусконаладжувальні процеси й здача в експлуатацію;

Виконання робіт із зведення каркасу будинку виконується паралельно, з відставанням робіт на 1 поверх на 2-й секції будівлі [39].

Техніко-економічні показники та графік будівництва житлового комплексу наведені відповідно у Додатках Б, В.

При зведенні висотної житлової будівлі, що досліджується, транспортування бетонної суміші на будівельний майданчик виконується в автобетонозмішувачах від ТОВ “Бетон Комплекс” (розміщується на території колишнього “Заводу залізобетонних виробів №5” в м. Київ), що входить до складу Асоціації “Промислово-будівельна група “Ковальська”.

Автобетононасоси з розподільною стрілою подають бетонну суміш при зведенні підземної частини і перших поверхів будівлі. Стационарний бетононасос з переналагоджуваним бетоноводом, який зображений на рисунку 2.4, забезпечує безперебійну подачу бетонної суміші на всю висоту будівлі.



Рисунок 2.4 – Стационарний бетононасос “Putzmeister”

Бетоновод влаштовується всередині будівлі найбільш наближено в плані до визначених захваток для забезпечення виробництва бетонних робіт на усьому монтажному горизонті. Бетоновод розташований в спеціальному дерев'яному коробі 30x30 см, який закріплюється до стіни та забезпечує надійну фіксацію бетоноводу, що наведено на рисунку 2.5.





а – всередині будівлі; б – на технологічній захватці монтажного горизонту

Рисунок 2.5 – Влаштування переналагоджуваного бетоноводу

Розподіл і подачу суміші в конструкції виконують механічною розподільною стрілою, яка монтується на технологічній захватці монтажного горизонту. Монтаж розподільної стріли та бетонування плити перекриття будівлі показано відповідно на рисунках 2.6, 2.7. Застосування механічної розподільної стріли на монтажному горизонті технологічно доцільно застосовувати лише для бетонування горизонтальних конструкцій. Тому в технології бетонних робіт на об'єкті дослідження бетонування вертикальних конструктивних елементів виконується за допомогою бадді об'ємом  $1-2 \text{ м}^3$ , яка транспортується на монтажний горизонт баштовим краном. Бетонування вертикальних конструкцій наведено на рисунку 2.8.

В технології бетонних робіт, зокрема в зимовий період будівництва, бетонування конструкцій будівлі, що досліджується, виконувалось з прогрівом бетону гріючими ізольованими дротами. Нагрівання бетону здійснюється теплотою, що виділяється електричними дротами з високим омичним опором при підключенні їх у мережу. Нагрівальні





Рисунок 2.6 – Монтаж механічної розподільної стріли “Putzmeister” на технологічній захватці монтажного горизонту



Рисунок 2.7 – Бетонування плити перекриття за допомогою механічної розподільної стріли “Putzmeister”



Рисунок 2.8 – Бетонування вертикальних конструктивних елементів

дроти можуть бути закладені безпосередньо в масив монолітної залізобетонної конструкції для нагрівання її зсередини.

Дроти закладаються так, щоб не нанести механічних ушкоджень їх ізоляції й не викликати тим самим короткого замикання струмонесучої жили з арматурою, зі сталеву опалубкою або з іншими металевими деталями, що може відбутися в процесах опалубних і арматурних робіт, а також укладання бетонної суміші. Контактні з'єднання дротів виконується щільними, іскріння в контактах не допускається.

Нагрівальні дроти підключаються до мережі після повного проектного заливання в опалубку бетонної суміші. Рекомендується передбачати підключення до мережі проводів, як правило, у нічний час із метою скорочення витрат, допускаючи перерви до 7 годин при електроживленні в денний час. Тривалість перерв залежить від теплоаккумуляторних властивостей бетону, масивності конструкції, товщини утеплювача, температури повітря й установлюється дослідним шляхом за допомогою будівельної лабораторії [37].



Режим термообробки бетону визначається при наступних обмеженнях:

- різниця між температурами повітря й нагрітого бетону ухвалюється до 50-60°C и не більш 95°C;
- швидкість нагрівання бетону для конструкцій з модулем поверхні охолодження 4-6 і 7-10 повинна бути не більш, відповідно, 6 і 10°C/год;
- час ізотермічного витримання бетону ухвалюється завчасно;
- швидкість остигання для конструкцій з модулем поверхні охолодження 4-6 і 7-10 повинна бути не більш, відповідно, 3 і 5°C/год;
- різниця температури зовнішнього шару бетону з коефіцієнтом армування, близько 3% і повітря при розпалубці для конструкцій з модулем поверхні охолодження 4 і 5 повинна бути не більш, відповідно, 30 і 40°C.

Режими нагрівання, ізотермічної витримки й остигання бетону підтримувати автоматично шляхом використання датчиків температури, що вбудовуються в бетон, і автоматичного обладнання, що підключається до силового встаткування. Автоматизація процесу дозволяє оптимізувати режим термообробки бетону й підвищити якість бетонування, сприяє, крім того, економії електроенергії до 25 %.

Опалубка й арматура повинні бути очищені від снігу й полою, наприклад, продувкою зі шланга гарячим повітрям.

Покладені (намотані на арматуру) нагрівальні дроти також слід зберігати від снігу й полою. Через танення снігу й полою в процесі нагрівання бетону можуть виникнути каверни, свищі, порожнини в бетоні, що неприпустимо [3, с. 396; 37].

Зварювання арматури для висотних будівель неприпустиме внаслідок появи наплавляючого шару металу, зменшення товщини арматури, внаслідок чого, це веде до крихкості та піддатливості зварного з'єднання. Тому, на об'єкті дослідження застосовується технологія в'язки арматури в будівельних умовах з використанням спеціального в'язального гачка, що показано на рисунках 2.9, 2.10.

Монтаж арматури стін і колон виконується в наступній послідовності:

1. Перевіряється фіксація каркасів випусків під колони й стіни, при цьому відхилення не повинні перевищувати зазначених величин.

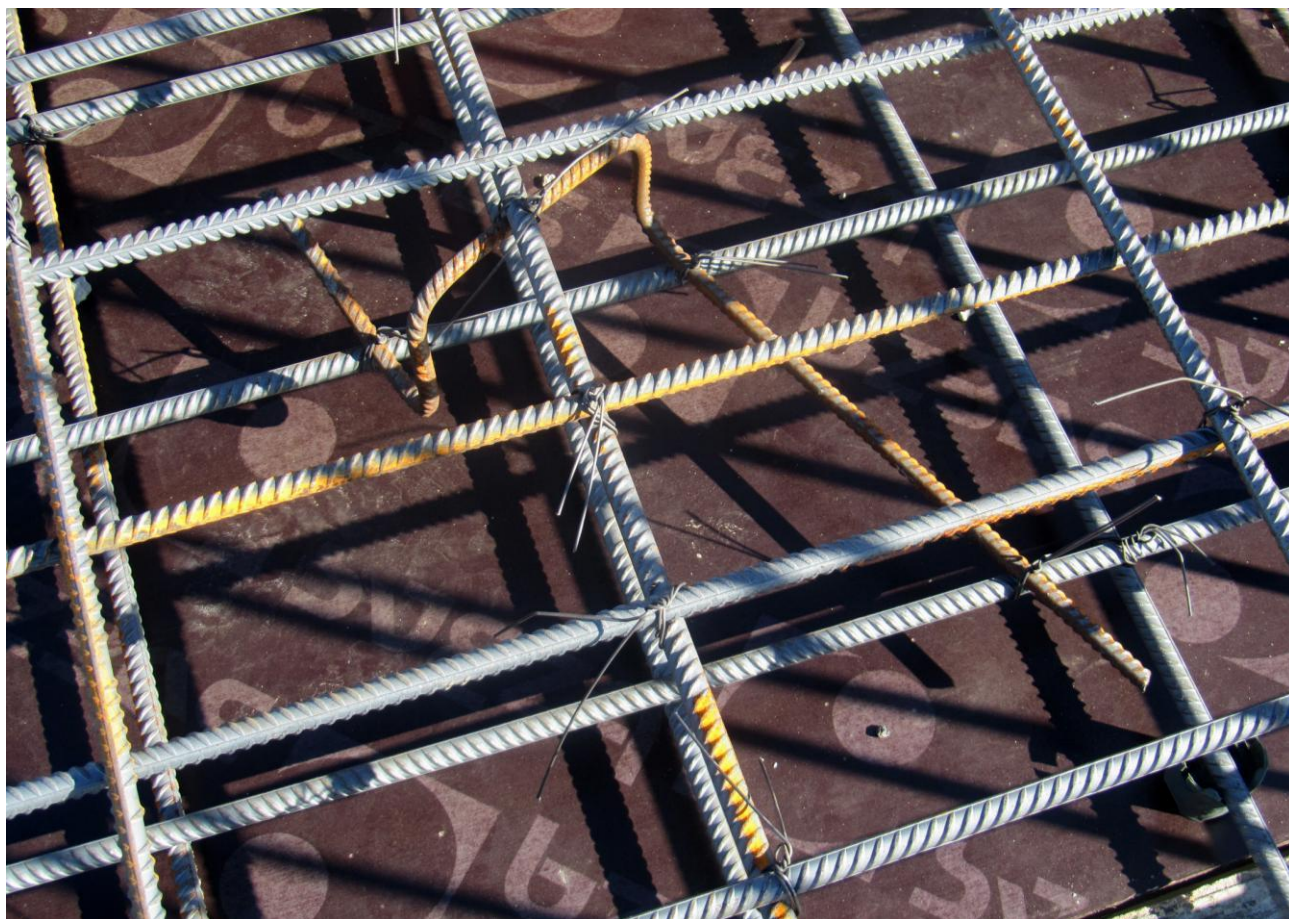


Рисунок 2.9 – З'єднання арматурних стрижнів плити перекриття за технологією ручної в'язки



Рисунок 2.10 – З'єднання арматурних стрижнів вертикальних елементів за технологією ручної в'язки

2. Стропуються й подаються каркаси до місця установки за допомогою баштового крана.

3. Установлюються каркаси по винесених оцінках відповідно до проекту.

4. Установлюються фіксатори для утвору захисного шару бетону.

5. Закріплюються встановлені каркаси до випусків арматур з елементів, що розташовані нижче.

У торцях стін або місцях прорізів установлюються посилені каркаси, щоб вони не виступали за арматурні сітки [37].

При армуванні стін одночасно з установкою арматур у місцях, передбачених проектом, установлюються тимчасові коробки або інвентарні прорізоутворювачі, закріплюються на проектних оцінках гільзи й труби для розведення електромережі.

При армуванні стін з окремих стрижнів до їхньої установки, користуючись шаблоном або рулеткою, розмічаються місця розташування вертикальних і горизонтальних стрижнів.

Спочатку встановлюються всі вертикальні стрижні, прив'язуються до них по одному нижньому й верхньому горизонтальному стрижню, а потім в'яжуться інші горизонтальні стрижні по всій висоті стін.

Зварені сітки при армуванні стін в'яжуться до випусків нижче розташованої стіни й установленим каркасам в'язальним дротом, при цьому захоплюються петлею дроту пересічні стрижні двох сіток.

Допускається в'язання вузлів у шаховому порядку, крім двох крайніх стрижнів по контуру. Армування вертикальних конструкцій проводиться з підйомно-переставного риштування. Армування колон може проводитися як готовими каркасами, так і з окремих стрижнів. Якщо маса каркаса не перевищує 50 кг, то він в'яжеться в горизонтальному положенні та установлюється вручну. Якщо маса каркаса більш 50 кг, то він установлюється за допомогою крана, каркас теж збирається й зв'язується в горизонтальному положенні, а потім краном ставиться на місце. При армуванні колон окремими стрижнями, каркас збирається й в'яжеться на місці з риштування. При цьому вертикальні стрижні кріпляться до випусків арматур нижче розташованих колон [37].



Таким чином, технологічних стан висотного будівництва в Україні наближений до світової практики та набуває розвитку у даному технологічному напрямку. Монолітний каркас висотних будівель в більшості випадків виконується в рамно-в'язевій схемі. Змінення поперечного перетину, класу бетону та діаметра робочої арматури вертикальних конструкцій по висоті будівлі дає змогу зменшити навантаження несучих елементів та об'єм витрат на матеріали на більших відмітках. На будівельний майданчик бетонна суміш транспортується в автобетонозмішувачах від централізованого бетонного вузла. Бетонування вертикальних конструктивних елементів виконується баддями, горизонтальних – за допомогою механічної розподільної стріли. В технології арматурних робіт використовується ручна в'язка стрижнів. Організація будівництва виконується згідно чинних законодавчих норм.

Для бетонування стін житлового будинку використовується рамна опалубка “Дока” [43], яка складається з:

- каркаса – елементів легких алюмінієвих рам з порошковим покриттям;
- палуби – листові фанерні плити товщиною 21 мм;
- риштування для бетонування;
- швидкодіючих затискних пристосувань (замків) “Frami”;
- універсальних фіксуєчих штифтів “Frami”.

Виходячи з планувальних особливостей будинку та холодного періоду року, вертикальні конструкції в межах однієї секції виконуються за 2 захватки. Орієнтовна схема розташування захваток показана на рисунку 2.11 [37].

В умовах будівельного майданчика виконується:

1. Приймання елементів опалубки, сортування і складування.
2. Збирання опалубних щитів, при необхідності укрупнення і об'єднання в опалубні блоки.
3. Влаштування, вивірка щитів і остаточне з'єднання стиків.

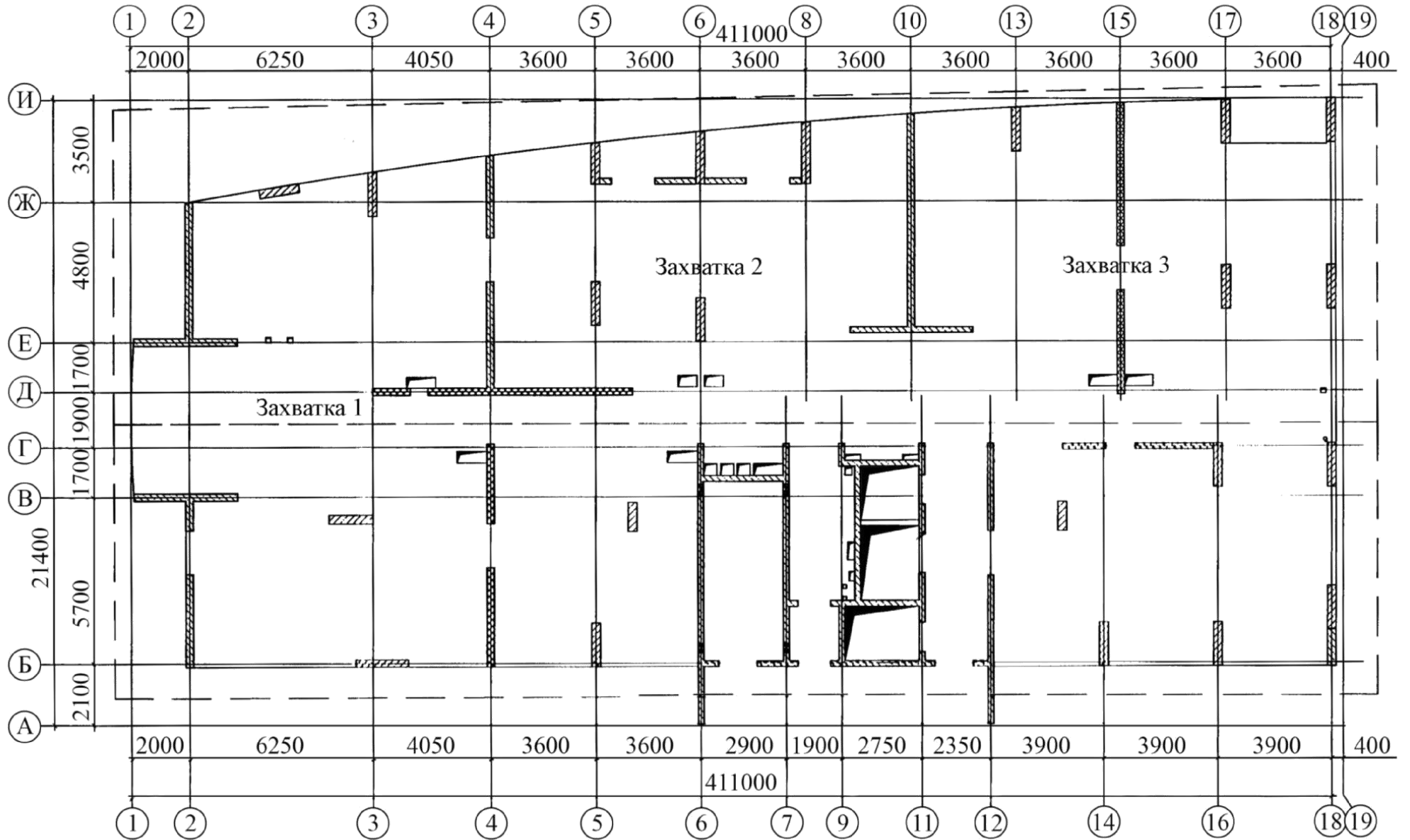


Рисунок 2.11 – Схема розміщення захваток для опалублення вертикальних елементів будівлі (на одну секцію)

Опалубні щити збирають з алюмінієвих рам і фанерних плит, які кріпляться зовні самонарізними шурупами. Фанера є зносостійкою, сприйнятливою до динамічних впливів, що дозволяє отримати високоякісну бетонну поверхню [43].

Опалубку збирають з щитів, що мають два параметри висоти – 150 і 120 см і п'ять параметрів ширини – 90 см, 75 см, 60 см, 45 см, 30 см.

Стропування та підйом щитів опалубки виконується за допомогою двогілкового стропа [43]. Подача щита опалубки на монтажний горизонт показана на рисунку 2.12.



Рисунок 2.12 – Подача щитів опалубки на монтажний горизонт будівлі

Улаштування всіх елементів залізобетонного каркасу повинно проводитися в наступній послідовності:

- геодезична розбивка осей і габаритів;
- улаштування засобів риштування;
- змащення поверхні опалубки, що стикається з бетоном;
- улаштування й в'язання арматури, улаштування закладних деталей;
- улаштування опалубки для формування прорізів;
- улаштування, вивірка й закріплення опалубки;



- остаточна геодезична вивірка опалубки;
- бетонування;
- вивірка опалубки, заповненою бетонною сумішшю;
- зняття кріплень і демонтаж опалубки;
- очищення опалубки.

Монтаж опалубки виконується в технологічній послідовності операцій, черговість яких дозволяє дотриматись технологічних вимог до бетонування.

Згідно [37, 43], монтаж опалубки стін виконується в наступному порядку:

1. Встановлення щитів опалубки в проектне положення виконується за ризиками, нанесеними на перекриття поверху згідно базису з одночасною вивіркою вертикальності щитів по розбивочним осям теодолітами.

2. По виконаних оцінках за допомогою крана, починаючи з кута, встановлюється внутрішній кутовий щит. До нього кріпиться лінійний щит опалубки за допомогою замків.

3. Щити до розстропування закріплюються до основи за допомогою монтажних підкосів. Кріплення повинне бути виконано особливо ретельно, щоб уникнути перекидання щитів опалубки.

4. За допомогою монтажних розкосів проводиться вивірка вертикальності встановлених щитів.

5. Установлюється лінійний щит опалубки з іншої сторони кутового щита й розкріплюється монтажним підкосом.

6. Усі інші лінійні щити опалубки встановлюються по периметру стіни, скріплюються один з одним замками й відразу ж фіксуються монтажними підкосами від зрушення й вітрового навантаження. Установлені щити опалубки приводять у вертикальне положення за допомогою гвинтів монтажних підкосів. Точність установки перевіряється по схилу. Монтажні підкоси встановлюються до кожного щита й кріпляться до основи за допомогою дюбелів для більших навантажень. Для установки замків може використовуватися монтажний столик.

7. Для сприйняття бокового тиску від укладеної бетонної суміші застосовуються внутрішні кріплення з анкерних стяжок, що з'єднують протилежні щити опалубки. Між щитами встановлюються ПВХ втулки крізь

спеціально виконані отвори в палубі щитів. У втулки пропускаються анкерні стягуючі стрижні, які затягуються гайковим ключем. Конструкція втулок та влаштування стяжок показані відповідно на рисунках 2.13, 2.14.

8. По верхній частині скріплених щитів через 1,25 м навішуються консолі з робочим настилом для виконання бетонних робіт. Для підйому на робочий настил передбачається начіпні сходи.



Рисунок 2.13 – Конструкція ПВХ втулок для утримання анкерних стяжок



Рисунок 2.14 – Влаштування анкерних стяжок в щитах опалубки

При демонтажі опалубки анкерні стяжки витягуються з втулок, які залишаються забетонованими в стіні. Утворені отвори для втулок в тілі конструкції, які зображені на рисунку 2.15, в подальшому замоноличуються [43].



Рисунок 2.15 – Отвори для втулок, утворені в тілі бетонної конструкції

Схема обладнання опалубки для бетонування стіни та колони за допомогою універсальних щитів показана на рисунку 2.16.

Завантаження конструкцій по досягненню необхідної міцності бетону зазначені в таблиці 2.2.

Змонтовані щити опалубки показані на рисунку 2.17.

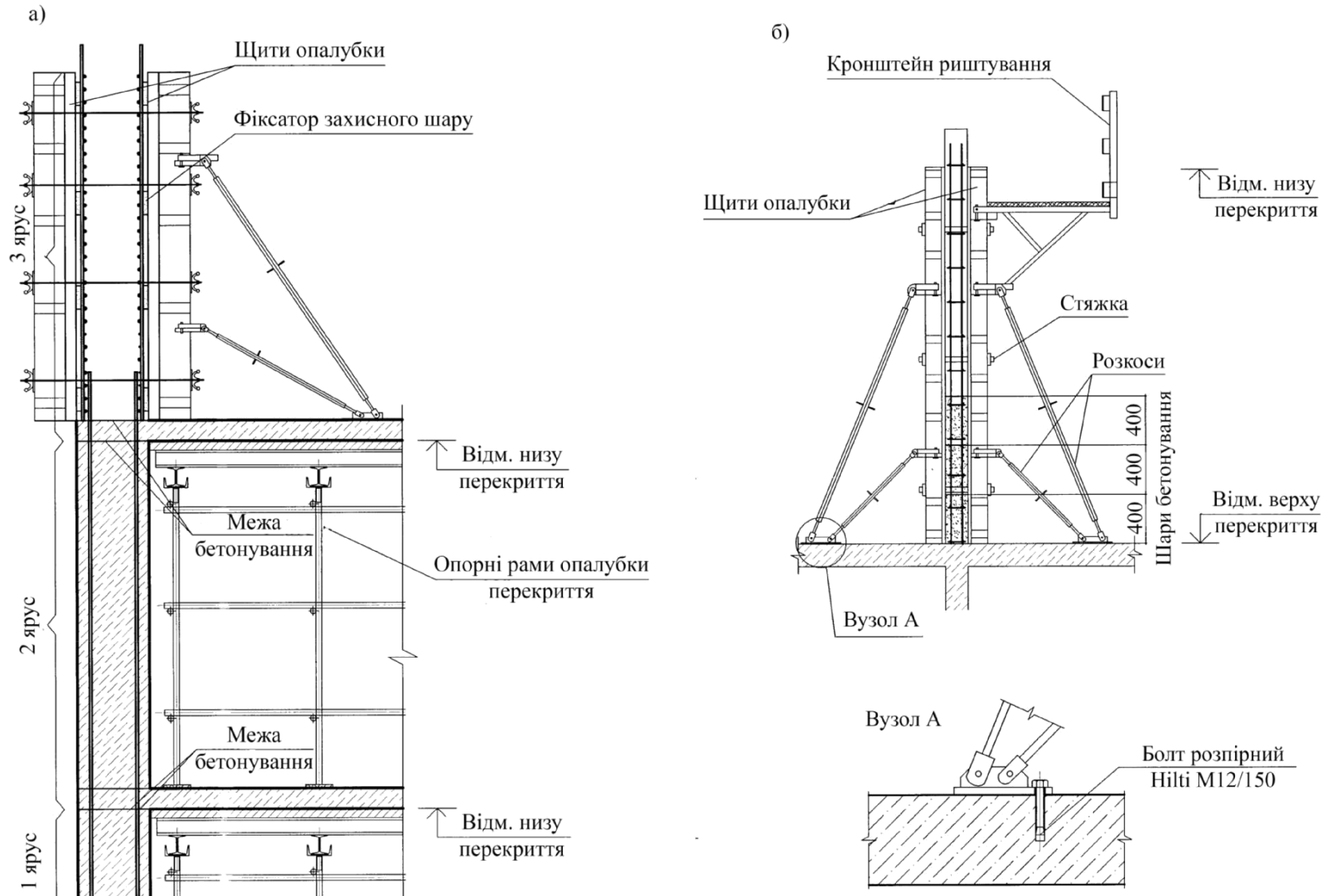
Розпалублення конструкцій виконують тільки після набору ними мінімально необхідного відсотка проектної міцності [37].

Згідно [43], демонтаж опалубки стін виконується в наступній послідовності:

- видаляють розкоси;
- вибивають клини з затискних пристосувань і видаляють їх;
- видаляють затискні пристрої;
- розбирають короб стін.

Відрив від бетону та роз'єднання внутрішньої опалубки і щитів зовнішнього контуру при відсутності монтажних риштувань виконуються після тимчасового закріплення опалубки на вантажопідіймальному механізмі.

Всі щити, розкоси, затискні пристрої, стягуючі стрижні, стяжки повинні бути очищені від бетонного розчину за допомогою скребоків і металевих щіток. Забороняється застосовувати для цих цілей молотки або інший інструмент ударної дії. Всі з'єднання після очищення повинні бути змащені [43].



а – при бетонуванні зовнішніх стін; б – при бетонуванні внутрішніх стін і колон

Рисунок 2.16 – Технологічні схеми улаштування опалубки для вертикальних залізобетонних елементів



Таблиця 2.2 – Схема завантаження конструкцій

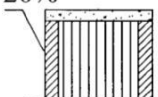
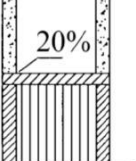
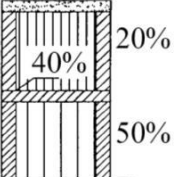
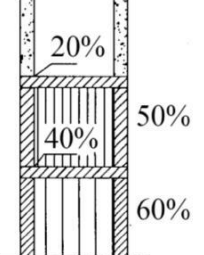
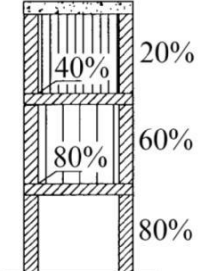

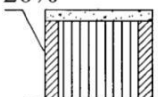
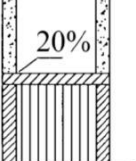
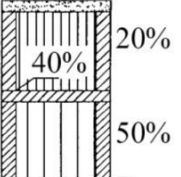
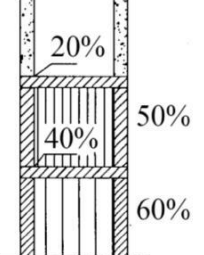
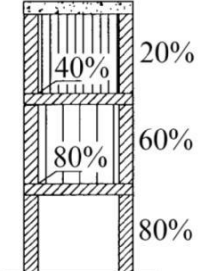
Етапи будівництва	1	2	3	4	5	6
2-ий від даного поверху						
Наступний поверх						
Даний поверх						
Мінімально допустимі рівні міцності бетону при виготовленні конструкцій даного поверху						
Стіни та колони	до 3-го поверху включно – 5 кг	20%	20%	20%	20%	80%
Перекриття	—	20%	40%	40%	40%	80%
Технологічні операції, що дозволяються						
На даному поверсі	Бетонування стін і колон	Витримування бетону в стінах, колонах; бетонування перекриття	Витримування бетону в стінах, колонах і перекриттях*	Витримування бетону в стінах і колонах, демонтаж опалубки перекриття з переобпиранням на тимчасові стійки	Витримування бетону в стінах, колонах і перекриттях	Витримування бетону в стінах і колонах, демонтаж тимчасових стійок з-під перекриття
На наступному поверсі	—	—	Бетонування стін і колон	Витримування бетону в стінах і колонах, бетонування перекриття	Витримування бетону в стінах, колонах і перекриттях*	Витримування бетону в стінах і колонах, демонтаж опалубки перекриття з переобпиранням на тимчасові стійки
На 2-ому від даного поверху	—	—	—	—	Бетонування стін і колон	Витримування бетону в стінах, колонах; бетонування перекриття
* допускається корисне навантаження на перекриття $200 \text{ кг/м}^2$ (еквівалентне рівномірно-розподілене) або обладнання зовнішніх стін і перегородок Примітка. На етапі 1, 3, 5 демонтаж опалубки стін і колон без їхнього завантаження проводиться після набору міцності бетону не менше 5 кг						



Рисунок 2.17 – Зведення каркасу будівлі з використанням комбінованої щитової опалубки “Doka”

Готовність змонтованої опалубки до бетонування стін і колон повинна бути оформлена актом. Після закінчення робіт на одній захватці й пред’явлення їх технічному нагляду, приступають до робіт по зведенню конструкцій наступної захватки.

На всі роботи виконані в межах однієї захватки повинні бути складені відповідні акти на приховані роботи. В разі виявлення дефектів конструкцій на них складається відповідний акт. Виконання робіт та методи усунення дефектів на ділянці дозволяється тільки після прийняття рішення технічним наглядом служби замовника та авторським наглядом проектної організації [37].

Згідно [43], чисельний та професіональний склад спеціалізованої ланки на виконання робіт складає 5 чоловік, в т. ч.:

- автокранівник 5 розряду – 1 люд.;
- такелажник 1 розряду – 1 люд.;
- монтажник 4 розряду – 1 люд.;
- монтажник 2 розряду – 2 люд.

При виконанні робіт слід дотримуватися вимог з контролю якості згідно [40], та заходів з охорони праці згідно [42].

Отже, в сучасній технології бетонування вертикальних конструктивних елементів висотних будівель застосовується інвентарна щитова опалубка. Вибір такої опалубної системи обумовлений багаторічним вітчизняним досвідом застосування щитової опалубки при зведенні конструкцій будівель та споруд.

## **2.2 Аналіз існуючих систем нез'ємної опалубки в сучасному будівництві**

Нез'ємною опалубкою (опалубка-облицювання, неінвентарна) називають опалубку, що залишається після бетонування в тілі монолітної конструкції. Деталі кріплень та підтримуючі елементи в залежності від конструктивних рішень можуть буди з'ємними та нез'ємними [44-46].

Основною перевагою такої опалубки є її багатофункціональність, так як спочатку вона служить формою для бетонної суміші, а на стадії експлуатації конструкції може виконувати інші функції (гідроізоляції, облицювання) [47].

Згідно , нез'ємні опалубки класифікують:

- за матеріалом – армоцементні, залізобетонні, склоцементні, фібробетонні, металеві;
- по конструкції – плоскі, ребристі, профільні, уніфіковані дірчасті блоки;
- за функціональним призначенням – формотворчі, облицювальні, тепло- та гідроізоляційні.

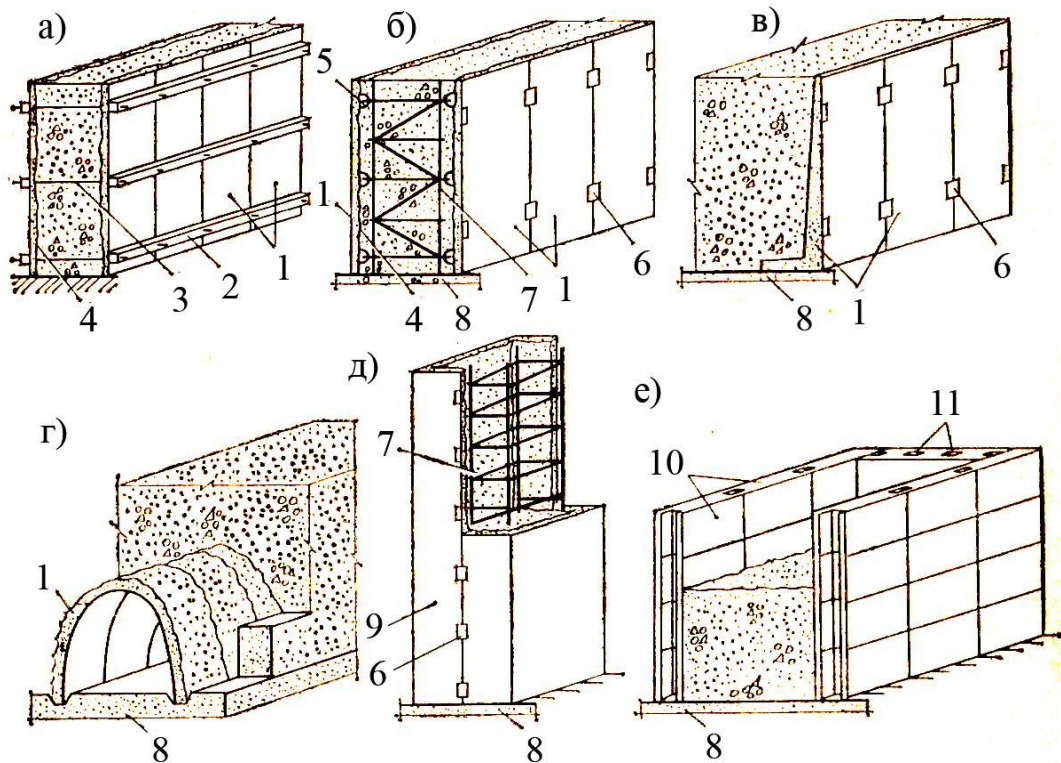
Види нез'ємних опалубок показані на рисунку 2.18 [46].

Також, згідно [48, с. 15; 49, с. 36], конструкції нез'ємних опалубок за експлуатаційною взаємодією з бетоном класифікують:

1. Структурно не сприймаючі (не несучі).
2. Структурно сприймаючі (несучі).

Структурно не сприймаюча нез'ємна опалубка композиційно не взаємодіє з бетоном та не впливає на міцність перетину монолітної конструкції в процесі експлуатації. Така опалубка може виконувати функції захисту, облицювання, тепло- та гідроізоляції.

Структурно сприймаюча нез'ємна опалубка впливає на міцність перетину монолітної конструкції (збільшення граничного стану за міцністю), а на стадії



- а, б – з плоских плит; в – з L-подібних залізобетонних плит;  
 г – з профільних плит; д – зі шкарлуп; е – з уніфікованих дірчастих блоків;  
 1 – опалубна плита; 2 – прогон (схватка); 3 – тяж; 4 – активна поверхня плити;  
 5 – анкерна петля; 6 – накладка; 7 – арматурний каркас; 8 – бетонна підготовка;  
 9 – профільний опалубний елемент; 10 – уніфікований дірчастий блок;  
 11 – вертикальний колодязь

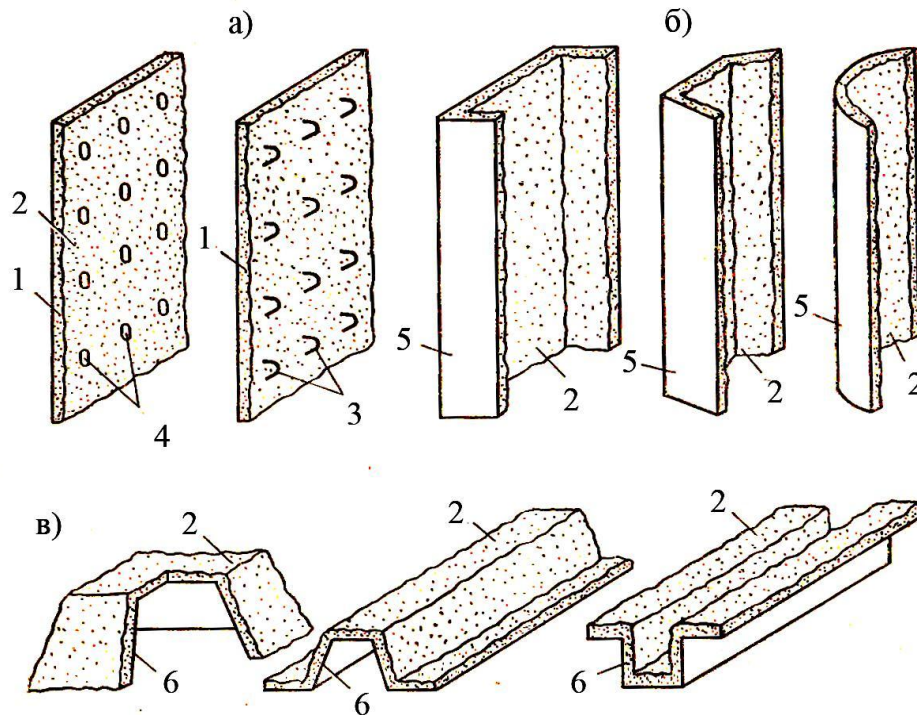
Рисунок 2.18 – Види нез'ємних опалубок

експлуатації може виконувати вищезазначені функції структурно не сприймаючої опалубки. Застосування структурно сприймаючої опалубки може привести до значної зміни акцентів щодо основних вимог в процесі проектування складеного перерізу конструкції. Розробка структурно сприймаючої опалубки має виконуватися на основі стандартів, що застосовуються до готової конструкції [48].

Армоцементні опалубні плити-оболонки (плоскі і профільні) товщиною 25-35 мм, шириною 1 м і довжиною до 3,5 м виготовляються з цементно-піщаного дрібнозернистого бетону з армуванням металевими або комбінованими тканими сітками. Вони мають шорстку (активну) поверхню, а при необхідності – анкерні



петлі-випуски. Розміри і конфігурація армоцементних опалубних плит, які показані на рисунку 2.19, визначаються розмірами і конфігурацією монолітних конструкцій, для яких вони призначені, а також технологією їх виготовлення [46, 48].



а – плоскі опалубні плити; б, в – профільні опалубні плити; 1 – плоска плита; 2 – активна поверхня; 3 – анкерні петлі; 4 – отвори; 5 – профільний елемент; 6 – лицьова поверхня

Рисунок 2.19 – Армоцементна нез’ємна опалубка

Плоскі опалубні плити армують двома-трьома тканими металевими сітками. При виготовленні плит положення сіток фіксується за допомогою спеціальних натяжних пристроїв. У деяких випадках армоцементні опалубні плити армують комбінованими армопакетами, які складаються з однієї-двох металевих сіток, затиснутих між стрижнями зварної сітки. При виготовленні армопакета тканинні сітки розташовують між стрижнями зварної сітки. При точковому електрозварюванні тканинні сітки затискаються між стрижнями зварюванням, що надає армопакету достатню жорсткість і дозволяє обійтися без фіксації сіток за допомогою натяжних пристроїв [46].

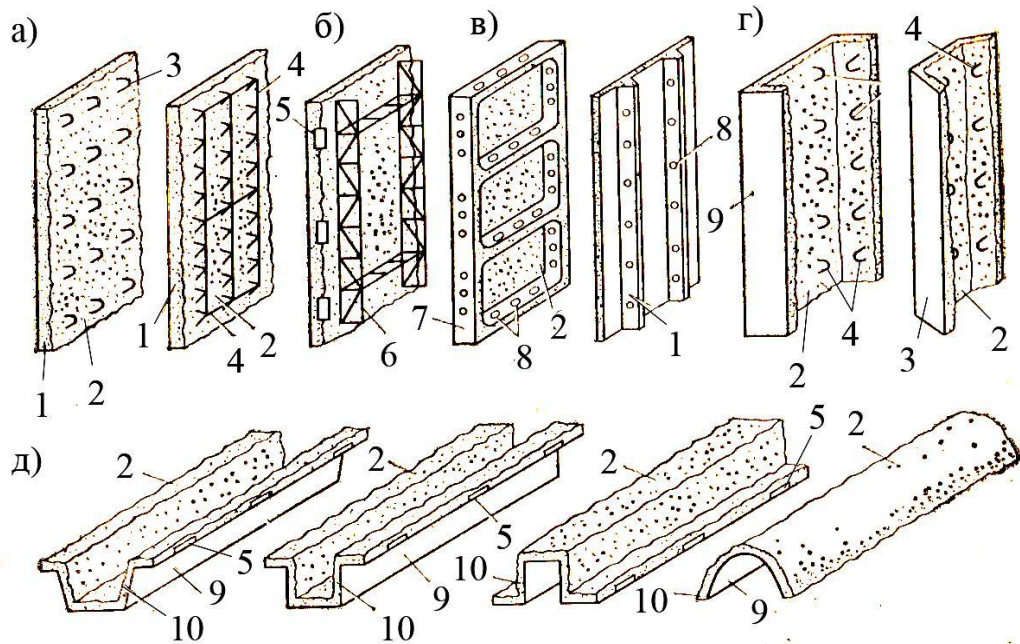
Армоцементні опалубні плити мають спеціальні анкерні пристрої у вигляді петель, гаків або «змійок», які полегшують кріплення плит при монтажі і надійно з'єднують їх з бетоном монолітної конструкції. Анкерні пристрої повинні бути надійно з'єднані з арматурної сіткою (пакетом) плити. В окремих випадках армоцементні опалубні плити з лицьового боку мають закладні деталі для з'єднання плит між собою за допомогою накладок, які приварюються. Для пропуску тяжів плити шириною не менше 1 м повинні мати отвори діаметром 12-14 мм.

Армоцементні опалубні плити прості у виготовленні, не вимагають дефіцитних і дорогих матеріалів. Їх невелика маса полегшує транспортування та монтаж, а підвищена тріщиностійкість і водонепроникність дозволяють використовувати їх в якості гідроізоляції. Тонкостінні армоцементні плити, виготовлені на білому або кольоровому цементі, застосовують в якості декоративних облицювальних опалубок при спорудженні житлових та цивільних будівель. Важливою перевагою армоцементної нез'ємної опалубки є економічність і невисокі витрати праці при виготовленні й монтажі [4].

Нез'ємна опалубка з армоцементу застосовується в промисловому і цивільному будівництві при спорудженні фундаментів, під будівлі та технологічне обладнання, стін підвалів, насосних станцій, тунелів. Профільні армоцементні плити рекомендується застосовувати при бетонуванні великорозмірних колон, стовпів, великогабаритних балок, прогонів, ребристих перекриттів, перекриттів кесонного типу, конструкцій, що експлуатуються в агресивних середовищах [50].

Залізобетонні опалубні плити являють собою плоскі, профільні та ребристі елементи з бетону класів В 15-В 25, які армовані зварними сітками. Для кращого зчеплення з бетоном плитам за допомогою механічних щіток або піскоструминних апаратів надають шорстку поверхню або обладнують їх спеціальними анкерними петлями-випусками [47].

Залізобетонні опалубні елементи виготовляють у вигляді плоских, ребристих, профільних і криволінійних плит, які зображені на рисунку 2.20.

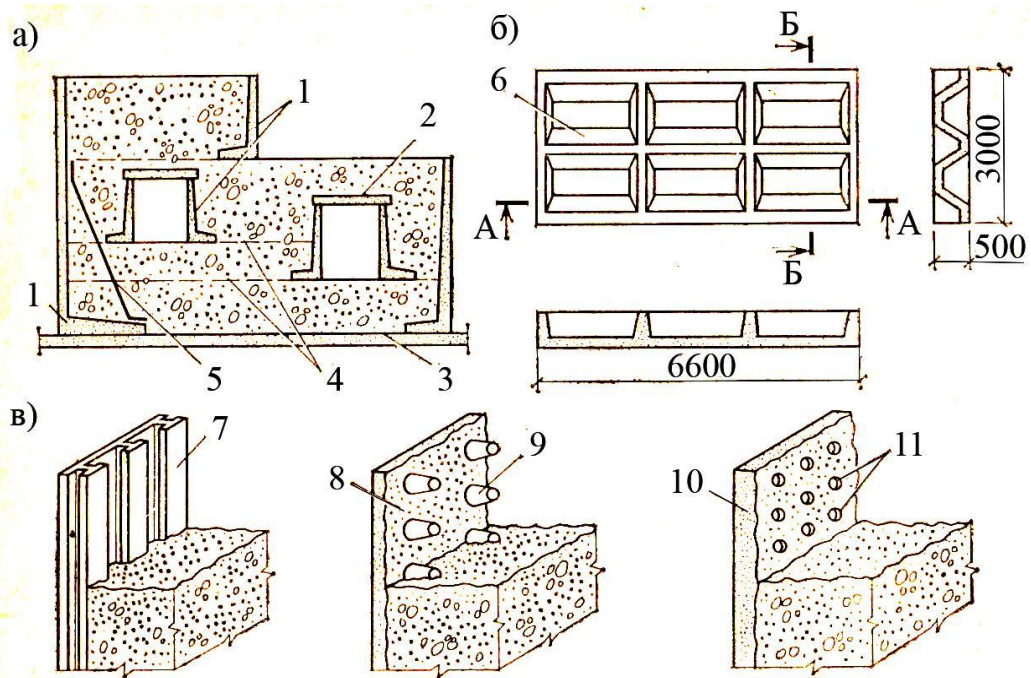


а – плоскі плити; б – армоопалубна панель; в – ребриста плита; г, д – профільні опалубні елементи; 1 – плита; 2 – активна поверхня; 3 – анкерна петля; 4 – «змійка»; 5 – закладна деталь; 6 – арматурний каркас; 7 – ребро; 8 – анкерний отвір; 9 – профільний елемент; 10 – лицьова поверхня

Рисунок 2.20 – Види залізобетонних опалубних елементів

На практиці застосовують також залізобетонні опалубні плити складної конфігурації. Так, при зведенні масивних фундаментів під прокатне обладнання ефективними є L-образні плити. Їх застосування значно спрощує монтаж і знижує витрати на кріплення нез'ємної опалубки. Специфіка гідротехнічного будівництва вимагала розробки опалубних плит складної конфігурації, а необхідність надійного з'єднання нез'ємної опалубки з бетоном конструкції – розробки так званих самоанкеруючих плит, що мають з боку активної поверхні спеціальні виступи, отвори, борозни та вм'ятини. Конфігурація залізобетонної нез'ємної опалубки показана на рисунку 2.21 [46].

Різноманітність монолітних конструкцій вимагає індивідуальних проектних рішень залізобетонної опалубки. Це збільшує терміни проектування і ускладнює її впровадження. Уніфікація конструкцій з монолітного залізобетону, яка була проваджена в промисловому і цивільному будівництві, створила необхідність уніфікації елементів залізобетонної опалубки.



а – для масивних фундаментів під технологічне обладнання; б, в – нез’ємна опалубка для гідротехнічного будівництва; 1 – L-подібні опалубні плити; 2 – плоска опалубна плита; 3 – бетонна підготовка; 4 – робочі шви; 5 – підкіс-розтяжка; 6 – профільна опалубна плита; 7, 8 – самоанкеруючі опалубні плити; 9 – виступи; 10 – плоска плита; 11 – вм’ятини

Рисунок 2.21 – Залізобетонна нез’ємна опалубка

Облицювальна залізобетонна опалубка захищає монолітну конструкцію від впливу навколишнього середовища, в тому числі від агресивних ґрунтових вод. В цьому випадку опалубні плити виготовляють із застосуванням спеціальних цементів та пред’являють особливі вимоги до щільності та водонепроникності бетону, а також до якості закладення швів між ними.

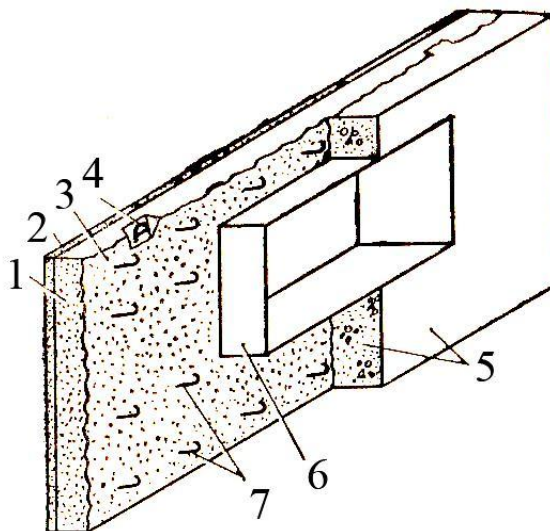
Декоративну опалубку виготовляють на білому або кольоровому цементі. При цьому особливу увагу приділяють якості лицьових поверхонь плит, точності їх виготовлення і монтажу, а також ретельності закладення швів між ними.

Елементи нез’ємної опалубки, що виконують одночасно роль гідроізоляції, готують з водонепроникного бетону. При цьому в плитах такої опалубки не допускаються наскрізні технологічні отвори [46].

Плити теплоізоляційної опалубки виготовляють з керамзитобетону з фактурним шаром з щільного цементного розчину. Досвід застосування такої



опалубки є в м. Кишиньов та інших містах при спорудженні багатоповерхових монолітних житлових будинків з монолітного залізобетону. Структура плити теплоізоляційної опалубки наведена на рисунку 2.22 [46].

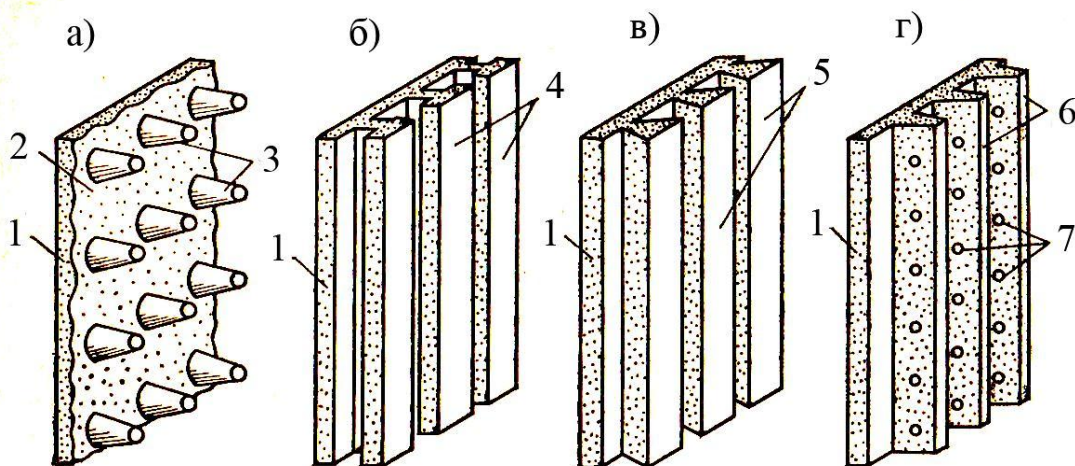


- 1 – опалубно-теплоізоляційна плита; 2 – лицьовий шар; 3 – активна поверхня;  
 4 – монтажна петля; 5 – несуча частина стіни; 6 – отвороутворювач;  
 7 – анкерні гаки

Рисунок 2.22 – Теплоізоляційна нез’ємна опалубка

Для армування елементів залізобетонної опалубки застосовують зварні сітки і армокаркаси. Схему армування вибирають відповідно до розрахунку плит на відповідні монтажно-транспортні навантаження і тиск бетонної суміші.

Широко поширені залізобетонні опалубні плити зі спеціальними анкеруючими ребрами та виступами. В зарубіжній практиці використовують масивну залізобетонну опалубку, плити якої з активної поверхні мають анкеруючі виступи у вигляді усічених конусів. Надійним анкеруючим пристроєм є ребра-колії і ребра у вигляді хвоста. Однак виготовлення плит з такими ребрами є складним і трудомістким. Тому більш поширені плити з трапецеїдальними ребрами, в яких для збільшення ефекту анкерування влаштовують наскрізні отвори діаметром 20-40 мм з кроком 150-250 мм. Види самоанкеруючих залізобетонних плит показані на рисунку 2.23 [46].



а – плита з анкерними виступами; б, в, г – теж саме, з ребрами; 1 – плита;  
 2 – активна поверхня; 3 – виступ; 4, 5, 6 – ребра; 7 – отвори  
 Рисунок 2.23 – Види самоанкерюючих залізобетонних плит

У гідротехнічному будівництві для створення монолітного водонепроникного шва між опалубних плитами по периметру плит залишають арматурні випуски. Плити монтують не щільно одна до одної, як у випадку сухого стику, а з технологічним розривом 300-400 мм, який перед бетонуванням закривають з'ємними дерев'яними щитами.

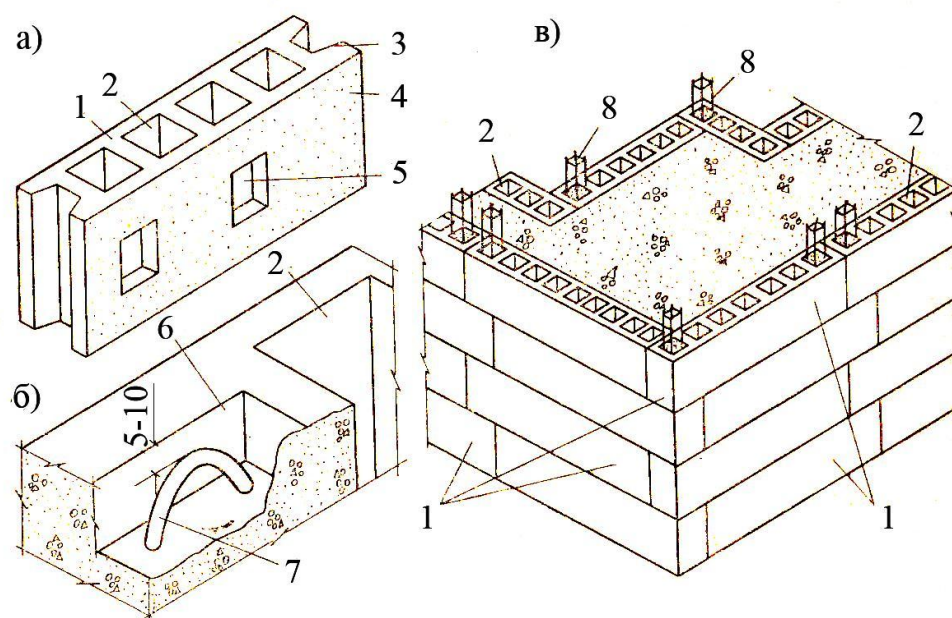
Основними перевагами залізобетонної нез'ємної опалубки є простота її конструкції і наявність технологічного досвіду, доступність вихідних матеріалів і економічність. З усіх видів нез'ємних опалубок залізобетонна набула найбільшого поширення на об'єктах промислового, цивільного, енергетичного, гідротехнічного, транспортного будівництва. Залізобетонну опалубку застосовують при спорудженні масивних фундаментів під будівлі та технологічне обладнання, стін підвалів, насосних станцій, атомних реакторів, опор мостів, гідротехнічних споруд тощо. Широке використання залізобетонної опалубки є економічно вигідним, тому що крім зниження витрат дефіцитних матеріалів (сталі, пиломатеріалів) зменшуються трудові та матеріальні витрати при виробництві опалубних робіт [46].

Використання нез'ємної опалубки з уніфікованих дірчастих блоків (УДБ) продиктовано, з одного боку, прагненням відмовитися від складних і дорогих традиційних опалубок з металу або деревини при зведенні масивних монолітних

конструкцій (споруд) простої конфігурації (підбутки, фундаменти під технологічне обладнання), з іншого боку, відсутністю достатньо жорстких армокаркасів в таких конструкціях (спорудах) і їх значними габаритами, що ускладнює застосування нез'ємної опалубки з армоцементних або залізобетонних плит.

Відмінність УДБ від нез'ємної опалубки з плит полягає в тому, що блоки не вимагають додаткових опорних і підтримуючих пристроїв (підкондукторних стійок, прогонів, жорстких армокаркасів), що значно спрощує конструктивне рішення опалубки. Зникає необхідність в складному кріпленні опалубки, тобто влаштуванні поєднань прогонів, тяжів, оскільки навантаження від бокового тиску бетонної суміші сприймається в основному гравітаційною складовою від маси УДБ.

УДБ представляють собою масивні залізобетонні елементи брускової форми, довжиною 2-6 м, висотою 0,4-0,5 м і товщиною 0,3-0,4 м. Нез'ємна опалубка з уніфікованих дірчастих блоків зображена на рисунку 2.24 [46, с. 17].



а – дірчастий блок; б – монтажна петля блока; в – загальний вид нез'ємної опалубки масивного фундаменту; 1 – уніфікований дірчастий блок; 2 – колодязь; 3 – стик; 4 – активна поверхня; 5 – вікно для утворення шпонки; 6 – поглиблення; 7 – монтажна петля; 8 – арматурний каркас

Рисунок 2.24 – Нез'ємна опалубка з уніфікованих дірчастих блоків

У блоках є спеціальні наскрізні канали-колодязі, які після влаштування в них армокаркасів бетонують і таким чином забезпечують загальну міцність і стійкість опалубки. З боку активної поверхні блоки мають непрямі бічні “вікна” для утворень анкерних шпонок і кращого з’єднання з бетоном конструкції. У торцях рядових блоків влаштовують борозни-напівканали, які при монтажі двох таких блоків утворюють вертикальний колодязь для влаштування армокаркасу і укладання бетонної суміші. У блоках, що встановлюються в зовнішніх кутах монолітної конструкції (споруди), такі борозни не влаштовують.

В окремих випадках з боку активної поверхні в торцевих гранях блоків встановлюють закладні деталі, які використовуються для з’єднання блоків між собою за допомогою зварювання (такий варіант використовується при товщині блоків 0,3 м і великому бічному тиску бетонної суміші).

Армування УДБ, як правило, незначне і розраховане на сприйняття монтажно-транспортних навантажень. Монтажні петлі для стропування УДБ розташовані в спеціальних поглибленнях на 5-10 мм нижче верхньої площини блоку (див. рисунок 2.24, б).

УДБ виготовляють з бетону, марка якого повинна відповідати марці бетону монолітної конструкції (споруди), а в тих випадках, коли нез’ємна опалубка виконує роль облицювання, – на 1-2 ступені вище.

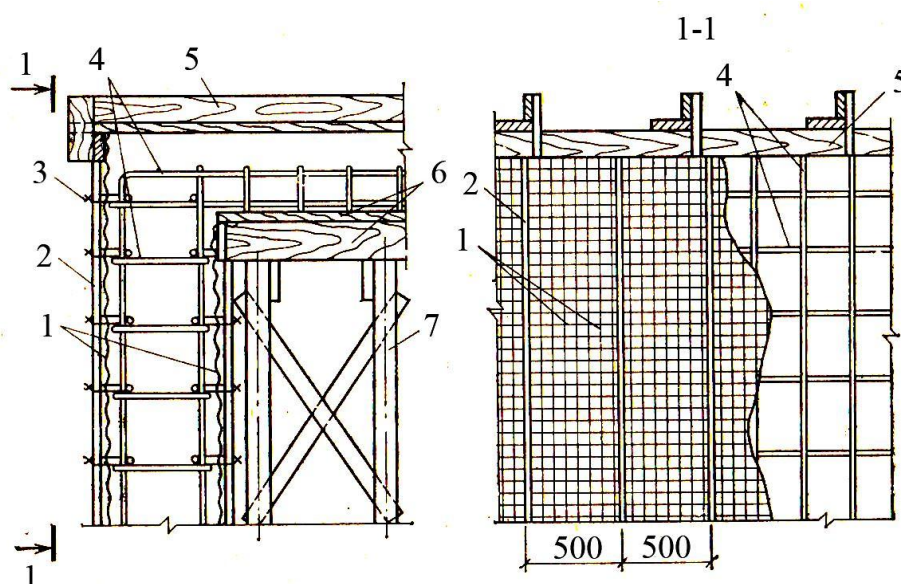
Нез’ємна опалубка з уніфікованих дірчастих блоків знаходить застосування при зведенні масивних конструкцій (споруд) в промисловому, енергетичному, гідротехнічному і транспортному будівництві, в тому числі масивних фундаментів, опор мостів, причалів, підбуток тощо [46].

Склоцементна опалубка в формі плит товщиною 12-20 мм, шириною до 1,2 м і довжиною до 2,5 м може служити для облицювання фасадів та інтер’єрів житлових і громадських будівель. При виготовленні такої опалубки використовують низько-основні цементы, зокрема глиноземний. Склоцемент забезпечує високий рівень міцності на стиск і розтяг. В результаті матеріал є відносно легким, міцним, сумісним з монолітним бетоном. Склоцементні плити армують декількома шарами склотканини або рубаним на відрізки по 8-12 см скловолокном. Плити можна розпилювати електропилами, а також свердлити в



них отвори. Завдяки підвищеній водонепроникності склоцементу (марки W10-W18) опалубка-облицювання може служити надійною гідроізоляцією підземних споруд. Крім того, поверхня склоцементної опалубки може бути попередньо пофарбована. Однак, слід приділяти особливу увагу для захисту цих поверхонь [47; 51].

Сітчаста опалубка зі сталевих тканинних сіток застосовується для бетонування конструкцій і споруд, бічні поверхні яких можуть трохи відхилитися від площини, а також в арматурно-опалубних блоках. Нез'ємну сітчасту опалубку виконують із сітки з комірками 5x5 або 8x8 мм з проволочи 0,8-1 мм. Сітку кріплять до армокаркасів за допомогою скруток і стрижнів діаметром 22-25 мм. Стрижні-прогони встановлюють зовні з кроком 300-500 мм і приварюють до армокаркасів за допомогою коротишів (крок коротишів 1,5-2 м). Між коротишами з кроком 400-500 мм встановлюють дротяні скрутки. Тиск бетонної суміші, який сприймається сітчастою опалубкою і вертикальними стрижнями-прогонами, передається через коротиші та скрутки на жорсткий арматурний каркас монолітної конструкції. Структура нез'ємної сітчастої опалубки наведена на рисунку 2.25 [46].



- 1 – сітка; 2 – притискний стрижень; 3 – скрутка; 4 – арматурний каркас;  
 5 – дерев'яний каркас; 6 – дерев'яна опалубка плити;  
 7 – підтримуюче риштування

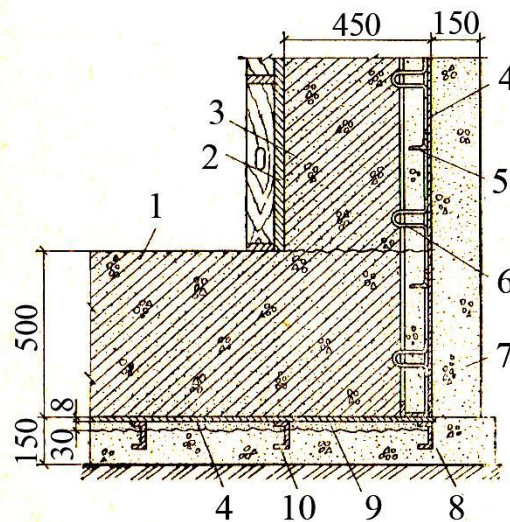
Рисунок 2.25 – Нез'ємна сітчаста опалубка

Для зменшення витоку цементного молока в нез'ємну сітчасту опалубку рекомендується укладати бетонні суміші з осіданням конуса не більше 1-4 см. При віброущільненні цементне молоко заповнює осередки сітки. При демонтажі каркасу виступаючі частини коротишів зрізають автогеном і знімають лише вертикальні стрижні-прогони – сітка залишається в бетоні.

Окремі полотнища сітки з'ємної частини опалубки стикуються внахлест і зшивають за допомогою в'язального дроту. Кріплять сітчасту опалубку до жорсткого армокаркасу монолітної конструкції. Для цього зовні з кроком 500 мм встановлюються вертикальні стрижні-прогони діаметром 22-25 мм, які до армокаркасів кріплять за допомогою коротишів на зварюванні. У таку опалубку можна укладати бетонну суміш з осіданням конуса 4-8 см.

Сітчаста опалубка відрізняється простотою і відносно невисокою трудомісткістю. В окремих випадках вона економічно доцільніша за інвентарні та нез'ємні опалубки з армоцементу, залізобетону, склоцементу. Її рекомендується використовувати для опалублення вертикальних поверхонь, до якості яких високих вимог не висувають. Крім цього сітчасту опалубку вигідно застосовувати там, де ускладнений демонтаж (робочі шви, вузькі канали, штраби, стакани фундаментів, колодязі під анкерні болти) [46].

Металеву нез'ємну опалубку встановлюють, як правило, з одного боку залізобетонної конструкції. Для її виготовлення застосовують сталеві листи товщиною від 5 до 10 мм або профільований настил, який може використовуватися не тільки в якості нез'ємної опалубки, але і як зовнішня арматура перекриттів [52, с. 14]. Надійне зчеплення з бетоном забезпечується приварюванням до листів спеціальних вертикальних анкерів, а також горизонтальних стрижнів поперек ребер настилу. Ефективне застосування настилу зі спеціальним рифленням, що збільшує зчеплення з бетоном, забезпечує спільну роботу бетону перекриття з настилом без відшаровування листа в процесі експлуатації. Для кращого з'єднання з бетоном конструкції з внутрішньої сторони до сталевій опалубки приварюють анкерні петлі діаметром 10 мм. Крок петель по вертикалі і горизонталі складає 700 мм. Структура нез'ємної металевій опалубки наведена на рисунку 2.26 [46].



1 – плита днища; 2 – з’ємна опалубка стіни; 3 – стіна; 4 – сталева гідроізоляційна опалубка; 5 – ребро жорсткості; 6 – анкерна петля; 7 – захисне облицювання; 8 – бетонна підгонка; 9 – цементний розчин; 10 – балка

Рисунок 2.26 – Металева нез’ємна гідроізоляційна опалубка

Однак, надмірна вологість протягом певного періоду експлуатації може сприяти корозії металевих листів, що при експлуатації конструкцій з високою вологістю виключає використання незнімної металевої опалубки [51].

Фібробетонна нез’ємна опалубка складається з плоских або профільних плит товщиною 20-30 мм та елементів кріплень. Фібробетонні опалубні плити мають розміри, кратні модулю 300 мм. Для з’єднання фібробетонних плит між собою служать закладні деталі, які встановлюються з боку активної поверхні [51, с. 408]. У виняткових випадках влаштування закладних деталей допускається з боку лицьової поверхні плит.

Основні переваги нез’ємної фібробетонної опалубки:

- невелика маса плит, що полегшує їх транспортування і монтаж;
- можливість знизити витрати сталевого прокату, сітки, дротів;
- можливість укрупнення в просторіві армоопалубні блоки.

Фібробетонна нез’ємна опалубка застосовується в промисловому, цивільному, енергетичному та інших областях будівництва [46].

Існують також нез’ємні опалубки з цементно-стружкових плит, самогасаючого пінополістиролу. Застосування елементів пінополістирольної



## Продовження таблиці 2.3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Конструкції нульового циклу робіт									
5	Плити підвалу:								
	- бокова поверхня								
	- нижня поверхня								
	- робочий шов бетонування								
6	Стіни підвалу:								
	- зовнішня поверхня								
	- внутрішня поверхня								
	- робочий шов бетонування								
7	Колони:								
	- внутрішня поверхня								
Конструкції першого циклу робіт									
8	Балки, ригелі:								
	- лицьова поверхня								
	- внутрішня поверхня								
9	Колони:								
	- лицьова поверхня								
10	Плити перекриття:								
	- бокова поверхня								
	- нижня поверхня								
	- робочий шов бетонування								
	- сходові клітини								
11	Мостовий настил:								
	- бокова поверхня								
	- нижня поверхня								
	- робочий шов бетонування								
	- консоль								
	- парапет								

Згідно [48], використання нез'ємної опалубки дозволяє:

- усунути або зменшити потребу у влаштуванні риштувань;
- підвищити потенціал універсальності опалубки;
- виготовлення елементів за межами будівельного майданчика в заводських умовах з наступними плановими поставками;
- прискорити час монтажу;
- прискорити виконання наступних або паралельних операцій;
- усунути обмеження повторного використання елементів;
- поліпшити процес твердіння бетону і зменшити усадку тріщин;
- забезпечити захисний шар арматури за рахунок підвищення стійкості до впливу зовнішнього середовища;
- підвищити довговічність конструкції;

- забезпечити необхідне декоративне оздоблення конструкції.

Окрім зниження трудовитрат, нез'ємна опалубка підвищує ефективність бетонування конструкцій при її поєднанні із самоущільнюючим бетоном [54].

Розрахунки показують, що застосування незнімної опалубки дозволяє в порівнянні з інвентарною металевою опалубкою знизити на 35-40% трудомісткість опалубних робіт і на 15-40% – їх вартість. Використання нез'ємної опалубки, що виконує роль гідроізоляції, знижує загальну трудомісткість робіт в 2-2,5 рази при одночасному зменшенні собівартості на 30-40% [44, 46].

Отже, нез'ємна опалубка має великий обсяг конструктивних рішень, широкий спектр застосування в різних сферах сучасного будівництва. Досвід застосування неінвентарних типів опалубки показує зниження трудомісткості та вартості опалубних робіт.

Таким чином, аналізуючи сферу застосування та конфігурацію видів нез'ємної опалубки, допускаємо можливість її використання в технології бетонування конструкцій висотних монолітних будівель.

### **2.3 Методика розрахунку елементів нез'ємної опалубки**

Елементи нез'ємної опалубки (плити, щити, шкарлупи, листи тощо) розраховують за першим (по міцності) або за другим граничним станом (по жорсткості). Опалубні елементи гідроізоляційної або облицювальної опалубки слід також розраховувати за тріщиностійкістю [46].

Вид та величина характеристичних навантажень, що визначаються згідно [40], залежать від орієнтації опалубки у просторі. При великих розмірах та значної парусності опалубки необхідно враховувати вітрове навантаження згідно [55]. Методика розрахунку та визначення вітрового навантаження детальніше розглянута в п. 3.3.

Згідно [46], на горизонтальну опалубку днищ балок, плит перекриття діють наступні вертикальні навантаження:

-  $R_{оп}$  – власна вага опалубних елементів, кріплень та підтримуючих частин;



- $P_{\sigma}$  – вага укладеної бетонної суміші;
- $P_a$  – вага арматурного каркасу (визначається згідно проекту монолітної конструкції);
- $P_T$  – вага транспортних засобів та робітників, що знаходяться на опалубці під час бетонування.

Згідно [46], на вертикальну опалубку фундаментів, стін, колон, пілонів діють наступні горизонтальні навантаження:

1.  $P_{в.н.}$  – вітрове навантаження, що визначається згідно [55].
2.  $P_{\sigma.д.}$  – боковий тиск бетонної суміші.
3.  $P_{дин}$  – динамічний вплив на опалубку від укладання бетонної суміші, що визначається згідно [40];
4.  $P_{ві\sigma}$  – навантаження від ущільнення бетонної суміші.

Граничні розрахункові значення навантажень визначаються з врахуванням коефіцієнтів наведених у таблиці 2.4 [40].

Таблиця 2.4 – Коефіцієнти для визначення розрахункових навантажень

Вид навантаження	Коефіцієнт $\gamma_{fn}$
Власна вага опалубки, риштувань та елементів кріплень	1,1
Вага бетону та арматури	1,2
Від переміщення робітників та транспортних засобів	1,3
Від ущільнення бетонної суміші	1,3
Боковий тиск бетонної суміші	1,3
Динамічний вплив на опалубку від укладання бетонної суміші	1,3

При спільній дії корисних і вітрових навантажень всі нормативні навантаження, крім власної маси, вводяться з коефіцієнтом 0,9 [40].

Тиск укладеного бетону в первинній стадії є гідростатичним, тобто залежить від висоти укладеної в опалубку суміші. Тому розрахунок тиску на опалубку, зокрема для високих конструкцій, виконується з урахуванням швидкості бетонування.

Згідно [40], максимальний боковий тиск укладеної суміші визначають:

- при ущільненні бетонної суміші глибинними вібраторами:

$$P_{\sigma.д.} = \gamma h \text{ (при } h \leq R, V < 0,75 \text{ м/год),} \quad (2.1)$$

$$P_{\sigma.д.} = \gamma(0,27V+0,78)K_1K_2 \text{ (при } h > 1 \text{ м, } V \geq 0,5 \text{ м/год),} \quad (2.2)$$

де  $\gamma$  – щільність бетонної суміші,  $\text{кг/м}^3$ ;

$h$  – висота укладеного шару бетонної суміші, що надає тиску, м;

$V$  – швидкість укладання бетонної суміші, м/год;

$R$  – радіус дії глибинного вібратора, м;

$K_1$  – коефіцієнт, що враховує рухливість бетонної суміші (приймається рівним 0,8 для сумішей з ОК=0-2 см; 1 – для сумішей з ОК=4-6 см; 1, 2 – для сумішей з ОК=8-12 см);

$K_2$  – коефіцієнт, що залежить від температури укладеної бетонної суміші (приймається рівним 1,5 для сумішей з температурою 5-7 $^{\circ}\text{C}$ ; 1 – для сумішей з температурою 12-17 $^{\circ}\text{C}$ ; 0,85 – для сумішей з температурою 28-32 $^{\circ}\text{C}$ ; для проміжних значень коефіцієнтів  $K_2$  слід приймати за більшою їх величиною);

- при ущільненні бетонної суміші зовнішніми вібраторами:

$$P_{\text{б.д.}} = \gamma h \text{ (при } h \leq 2R_1, V < 4,5 \text{ м/год),} \quad (2.3)$$

$$P_{\text{б.д.}} = \gamma(0,27V+0,78)K_1K_2 \text{ (при } h > 2 \text{ м, } V \geq 4,5 \text{ м/год),} \quad (2.4)$$

де  $R_1$  – радіус дії зовнішнього вібратора, м.

В усіх випадках тиск бетонної суміші рекомендується обмежувати гідростатичним тиском, наближуючи властивості бетонної суміші до властивостей важкої рідини із відповідними значеннями щільності.

В світовій практиці, зокрема Німеччини [56], Великобританії [57], Франції [58] та США [59], існують й інші методики визначення тиску укладеної бетонної суміші в конструкції опалубок, які враховують різні фактори впливу, зазначені в таблиці 2.5 [3].

Таблиця 2.5 – Фактори, що впливають на тиск укладеного бетону

Бетонна суміш	Опалубка	Укладання бетонної суміші
Фактори		
Заповнювачі бетону	Пропускна характеристика покриття (тиск пор)	Зростання навантаження під час укладання
Розмір, форма заповнювача	Площа перетину (стіна/колона)	Стан повітря
Марка цементу	Шорсткість покриття	Пошарове або неперервне укладання
Температура	Жорсткість опалубних конструкцій	Тип вібратора для ущільнення (внутрішній/зовнішній)
Принцип замішування	Нахил опалубки	Глибина вібрації (ущільнення)
Об'ємна вага	Вертикальна висота бетонування	Швидкість укладання по висоті

Ці способи постійно удосконалюються, що обумовлено тенденцією до постійного скорочення термінів бетонування и пов'язаному з цим підвищенням продуктивності бетононасосів, що привело до підвищення швидкості укладання бетону та висоти заповнення конструкцій.

Однак, теоретичні та емпіричні дослідження дають дещо розбіжні результати [3, с. 69].

Згідно [56], максимальний боковий тиск укладеної суміші визначають:

$$P_{\max} = G \cdot C_2 \cdot K_T \cdot (0,48 \cdot V_b + 0,74), \quad (2.5)$$

де  $G$  – об'ємна вага бетонної суміші,  $\text{кН/м}^3$ ;

$C_2$  – коефіцієнт добавок, що дорівнює:

$$C_2 = 0,065 \cdot T_v + 1, \quad (2.6)$$

$T_v$  – уповільнення твердіння бетонної суміші;

$K_T$  – температурний коефіцієнт, що дорівнює:

$$K_T = \frac{145 - 3 \cdot T}{100}, \quad (2.7)$$

$T$  – температура укладеної бетонної суміші,  $^{\circ}\text{C}$ ;

$V_b$  – вертикальна швидкість укладання бетонної суміші,  $\text{м/год}$ .

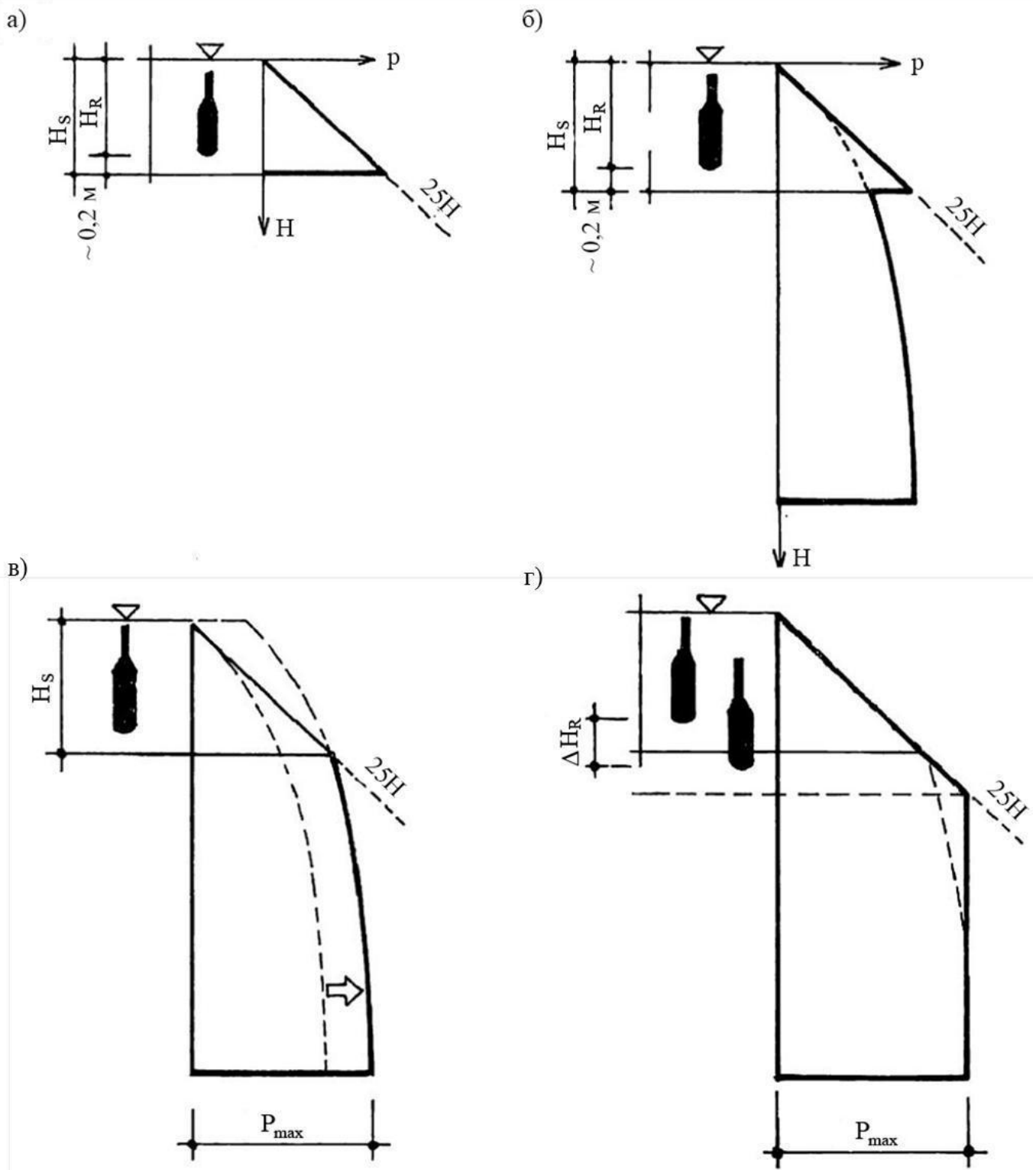
До глибини  $HR+0,2$  м в зоні дії вібратора має місце гідростатичний тиск, що зазначено на рисунку 2.27, а. Графік тиску “спокійного” бетону показує, що при заглибленні вібратора лінія тиску зміщується паралельно та досягає в низу максимального тиску  $P_{\max}$ , що показано на рисунку 2.27, б, в. Розрахунок згідно [56] наближається до цього графіку, але по прямій, як вказано на рисунку 2.27, г.

Розрахунок згідно [56] застовується при:

1. Консистенції бетонної суміші типу КР (пластична) та КР (м'яка).
2. Температурі укладеної бетонної суміші  $5^{\circ}\text{C} < T < 30^{\circ}\text{C}$ .
3. Використанні бетонів без добавок уповільнювачів тужавіння з  $C_2=1,0$ .
4. Максимальному боковому тиску  $P_{\max} < 80 \text{ кН/м}^2$  для стін.
5. Максимальному боковому тиску  $P_{\max} < 100 \text{ кН/м}^2$  для колон.
6. Проектуванні незалежному від висоти бетонування  $H$ .

Однак, при інших умовах застовується розрахунок згідно [56], а саме при:

- об'ємній вазі бетонної суміші  $25 \text{ кН/м}^3$ ;



а – еюра тиску “збудженого” бетону (в зоні дії ущільнення  $H_R + 0,2$  м);  
 б – сумарна еюра тиску “збудженого” та “спокійного” бетону; в – емпірична  
 еюра переміщення лінії при заглибленні вібратора; г – апроксимована еюра  
 розподілу тиску при ущільненні

Рисунок 2.27 – Зв'язок між глибиною ущільнення бетонної суміші  $H_R$  глибинним вібратором та тиском бетону  $P_{max}$  на вертикальній конструкції опалубки

- кінці тужавіння бетону через 5 год;
- температурі укладеної бетонної суміші  $T=15^{\circ}\text{C}$ ;
- ущільненні глибинними вібраторами;
- щільній опалубці.

Для областей консистенції, наведених у таблиці 2.6, побудовані лінії на діаграмі, за якою визначається тиск укладеної бетонної суміші. Діаграма для визначення тиску показана на рисунку 2.28 [56].

Таблиця 2.6 – Области консистенції бетонної суміші

Область консистенції	Показник
KF (текуча)	$a=49-60$ см
KR (м'яка)	$a=42-48$ см
KP (пластична)	$a=35-41$ см
KS (жорстка)	$v \geq 1,2$

$a$  – величина розпливу;  $v$  – коефіцієнт ущільнення по Вальцу

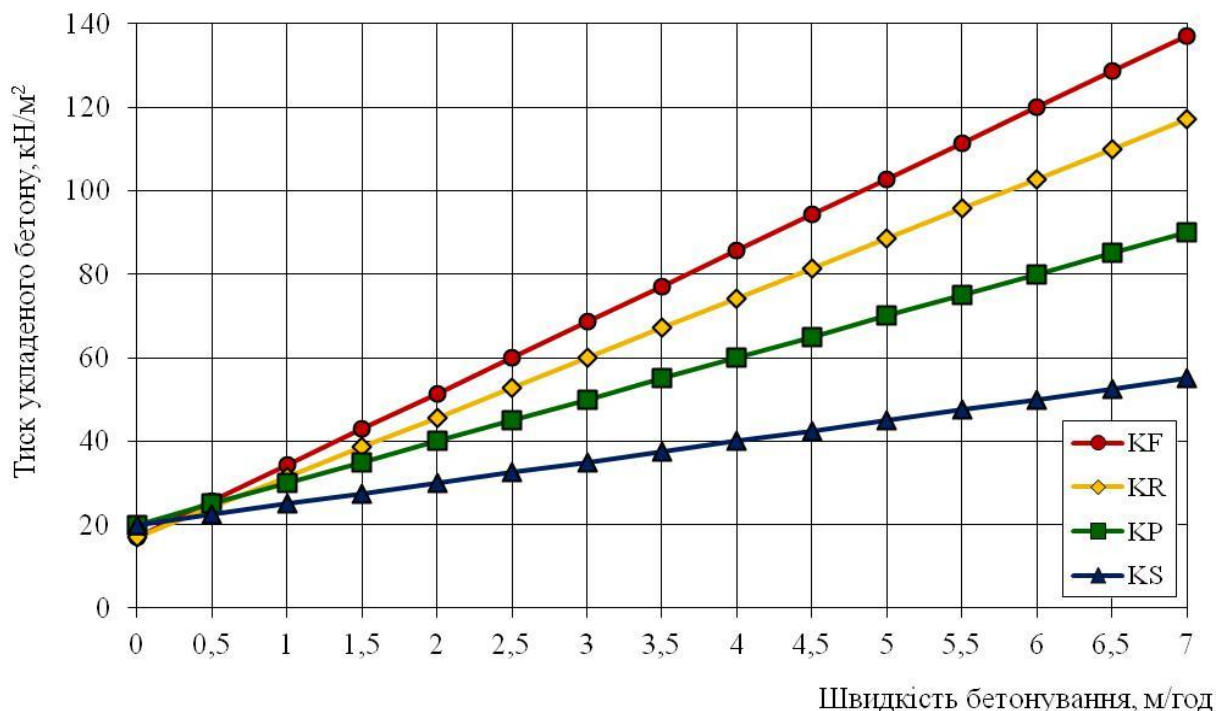


Рисунок 2.28 – Тиск укладеного бетону  $P_b$  в залежності від швидкості бетонування  $V$  при температурі бетонної суміші  $T=15^{\circ}\text{C}$

При розрахунку необхідно звертати увагу на залежність уповільнення тужавіння бетону від температури, наслідком чого є зростання тиску на елементи опалубки, що наведено на рисунку 2.29 [56].

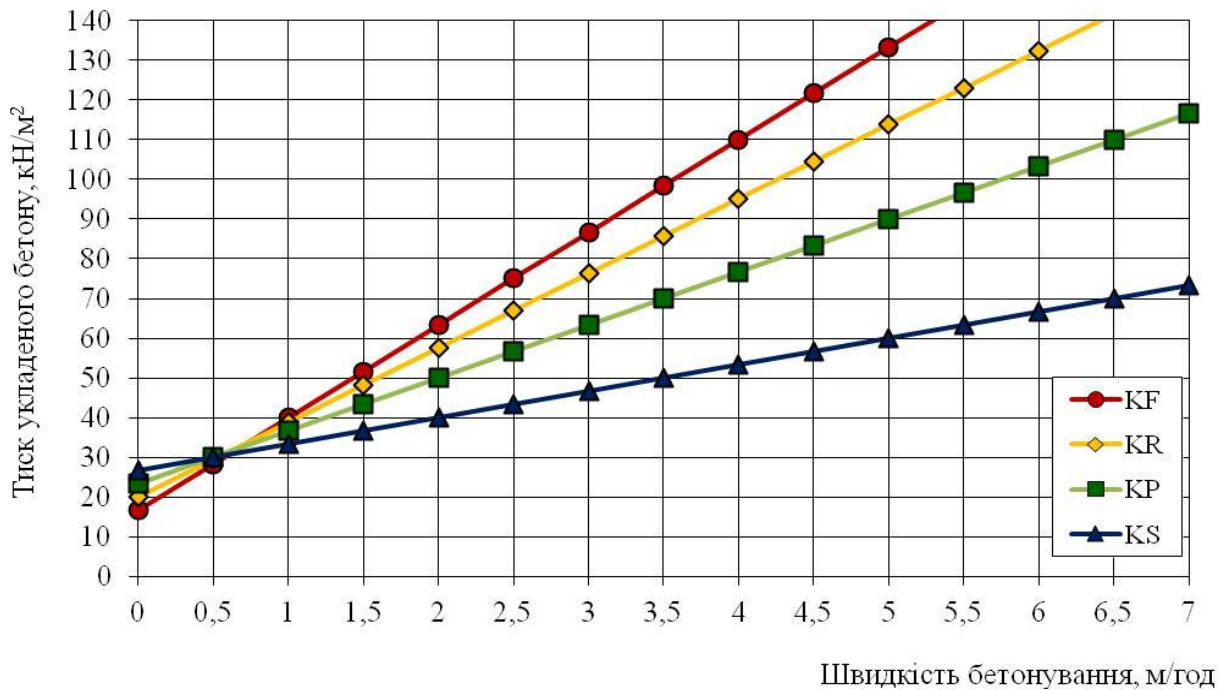


Рисунок 2.29 – Тиск укладеного бетону  $P_b$  в залежності від швидкості бетонування  $V$  при температурі бетонної суміші  $T=15^{\circ}\text{C}$  (з уповільнювачами тужавіння)

Згідно [57], максимальний боковий тиск укладеної суміші визначають:

$$P_{\max} = D \cdot \left( C_1 \sqrt{R} + C_2 K \sqrt{H - C_1 \sqrt{R}} \right), \quad (2.8)$$

де  $D$  – об'ємна вага бетонної суміші,  $\text{кН/м}^3$ ;

$R$  – вертикальна швидкість укладання бетонної суміші,  $\text{м/год}$ ;

$H$  – висота бетонування,  $\text{м}$ ;

$K$  – коефіцієнт температури, яки дорівнює:

$$K = \left( \frac{36}{T + 16} \right)^2, \quad (2.9)$$

$T$  – температура укладеної бетонної суміші,  $^{\circ}\text{C}$ ;

$C_1$  – коефіцієнт поперечного перетину (приймається рівним 1 для стін; 1,5 – для колон);

$C_2$  – коефіцієнт добавок (приймається рівним 0,3 для нормального бетону; 0,45 – для бетону з уповільнювачами твердіння).

Розрахунок згідно [57] застовується:

- незалежно від консистенції бетонної суміші;



- при температурі укладеної бетонної суміші  $5^{\circ}\text{C} < T < 30^{\circ}\text{C}$ ;

- при використанні бетонів з  $C_2 < 1,0$  значення  $K < 1,0$  (без обмежень для зниження тиску бетону при використанні бетонних наповнювачів та температурі укладеного бетону  $T=15^{\circ}\text{C}$ );

- максимальному боковому тиску  $P_{\text{max}} < 90 \text{ кН/м}^2$  для стін;
- максимальному боковому тиску  $P_{\text{max}} < 166 \text{ кН/м}^2$  для колон;
- незалежно від висоти бетонування  $H$ .

Згідно [58], максимальний боковий тиск укладеної суміші визначають три значення  $P_1, P_2, P_3$ , які враховують фактори, зазначені в таблицях 2.7, 2.8, 2.9.

Таблиця 2.7 – Визначення гідростатичного тиску  $P_1$

Висота укладання суміші, м	1	2	3	4	5	> 6
$P_1, \text{кН/м}^2$	25	50	75	100	125	150

Таблиця 2.8 – Визначення тиску  $P_2$  (ефект загуснутого бетону)

Товщина конструкції, мм	Швидкість укладання суміші, м/год											
	1	2	3	4	5	6	8	10	15	20	30	$\geq 40$
150	35	35	40	45	45	50	55	60	75	90	120	150
200	40	40	45	50	50	55	60	65	80	95	125	150
300	50	50	55	60	60	65	70	75	90	105	135	150
400	60	60	65	70	70	75	80	85	100	115	145	150
500	70	70	75	80	80	85	90	95	110	125	150	150

Таблиця 2.9 – Визначення тиску тужавіння укладеної бетонної суміші  $P_3$

Величина осідання, мм	Температура укладеної суміші, $^{\circ}\text{C}$	Швидкість укладання бетонної суміші, м/год									
		1	1,5	2	2,5	3	4	5	6	7	$\geq 8$
50	5	50	70	95	115	135	150	150	150	150	150
	10	20	55	70	85	100	135	150	150	150	150
	15	40	45	55	65	75	100	125	150	150	150
	20	35	40	45	50	55	70	90	105	125	150
75	5	60	85	110	140	150	150	150	150	150	150
	10	50	65	85	105	125	150	150	150	150	150
	15	40	50	65	80	95	125	150	150	150	150
	20	35	40	50	60	70	90	115	135	150	150
100	5	70	100	130	150	150	150	150	150	150	150
	10	55	75	100	120	150	150	150	150	150	150
	15	45	60	75	90	110	150	150	150	150	150
	20	35	45	55	70	80	110	130	150	150	150

Вище зазначенні таблиці враховують наступні фактори [3]:

- висота бетонування;
- товщина конструкції, що бетонується;
- вертикальна швидкість укладання бетонної суміші;
- величина осідання суміші за нормою NF P 18-305;
- температура укладеної бетонної суміші.

Вага укладеної суміші складає  $2400 \text{ кг/м}^3$ .

Згідно [59] для розрахунку максимального бокового тиску укладеної суміші враховується:

1. Форма поперечного перетину конструкції, що бетонується.
2. Вертикальна швидкість укладання бетонної суміші.
3. Температура укладеної суміші.
4. Висота бетонування.

За основу ваги укладеної бетонної суміші приймається величина  $2400 \text{ кг/м}^3$ .

Згідно [59], максимальний боковий тиск укладеної суміші при бетонуванні опор (колон) визначається:

$$C_{CP\max} = C_c \times C_w \times \left( 7,2 + \frac{785R}{T + 17,78} \right) \quad (2.10)$$

де  $C_c$  – коефіцієнт добавок;

$C_w$  – коефіцієнт поперечного перетину;

$R$  – вертикальна швидкість укладання бетонної суміші, м/год;

$T$  – температура укладеної бетонної суміші,  $^{\circ}\text{C}$ .

Згідно [59], максимальний боковий тиск укладеної суміші при бетонуванні стін визначається:

- при швидкості  $R < 2,14$  м/год тиск визначається за формулою 2.10;
- при швидкості  $2,14 < R < 2,4$  м/год тиск визначається:

$$C_{CP\max} = C_c \times C_w \times \left( 7,2 + \frac{1156}{T + 17,78} + \frac{244R}{T + 17,78} \right) \quad (2.11)$$

- при швидкості  $R > 3$  м/год тиск визначається:

$$C_{CP\max} = 23,5 \cdot h, \quad (2.12)$$

- де  $h$  – висота бетонування, м.

Для порівняння результатів розрахунку бокового тиску бетонної суміші за вищезазначеними методами прийняті вихідні данні та характеристики конструкцій, які наведені в таблиці 2.10. Результати розрахунків зазначені в таблиці 2.11 [3].

Таблиця 2.10 – Вихідні данні для розрахунку бокового тиску бетонної суміші

Характеристика	Одиниця вимірювання	Опалубка стін	Опалубка опор (колон)
Висота бетонування	м	4	6
Вертикальна швидкість бетонування	мм	3,0	6,0
Температура бетонної суміші	°С	15	15
Товщина конструкції	мм	300	–
Величина осідання конуса	мм	75	75
Об’ємна вага суміші	кН/м <sup>3</sup>	25	25
Наявність добавок	–	–	–
Розміри поперечного перетину	м	–	0,5x0,5

Таблиця 2.11 – Порівняння результатів розрахунку бокового тиску бетонної суміші за методами згідно [40, 56-59]

Метод розрахунку		Різниця з величиною тиску за DIN 18218-2010, %	
		Стіна	Опора (колона)
Україна	СНиП 3.03.01-87	-22,5	-20,4
Німеччина	DIN 18218-2010	–	–
Великобританія	CIRIA Report 108	+7,3	+20,4
Франція	NF P93-350	+0,9	+6,1
США	ACI 347R-14	+18,8	+5,9

Моделювання навантажень, отриманих за результатами розрахунків, може проводитися в програмних комплексах (ПК) таких, як ПК “ЛИРА”, “Strand7”, “PASCHAL Plan-light” [52, 60, 61], методика якого детальніше розглянута в п. 3.3.

Техніко-економічна ефективність нез’ємної опалубки розраховується на стадії проектування (розробки ТК, ПВР) шляхом порівняння з найбільш ефективними варіантами інвентарних опалубок.

Згідно [46], порівняння варіантів опалубок для монолітного залізобетону рекомендується виконувати за двома основними показниками:

1. Вартість опалубних робіт в розрахунку на  $100 \text{ м}^2$  опалубної поверхні.
2. Трудомісткість робіт в розрахунку на  $100 \text{ м}^2$  опалубної поверхні.

При порівнянні варіантів опалубок для конкретного об'єкта (монолітної конструкції) порівняння може бути виконано в розрахунку на  $100 \text{ м}^3$  монолітного залізобетону в ділі.

Згідно [46], собівартість опалубних робіт для нез'ємної опалубки визначається:

$$C_{ko} = C'_в + C'_з + C'_{маш} + C'_к \quad (2.13)$$

де  $C'_в$  – собівартість виготовлення опалубних елементів в розрахунку на  $100 \text{ м}^2$  опалубочної поверхні, грн..

$C'_з$  – заробітна плата робітників по монтажу нез'ємної опалубки, враховуючи всі супутні операції, грн.;

$C'_{маш}$  – вартість машинного часу кранів або інших машин, зайнятих на монтажі опалубки, грн.;

$C'_к$  – собівартість кріплень, грн..

Собівартість кріплень нез'ємної опалубки визначається:

$$C_k = C_k^{ko} + \frac{C_{ok}}{n'_0} \quad (2.14)$$

де  $C_k^{но}$  – собівартість нез'ємних кріплень (тяжів, скруток, накладок тощо), які залишаються в бетоні, грн.;

$C_{ок}$  – теж саме, оборотних кріплень, грн.;

$n'_0$  – оборотність інвентарних кріплень, цикл.

Згідно [46], трудомісткість опалубочних робіт для нез'ємної опалубки визначається:

$$Q_{но} = Q_в + Q_м + Q_{дк}, \quad (2.15)$$

де  $Q_в$  – трудомісткість виготовлення комплексу опалубних елементів та їх деталей в розрахунку на  $100 \text{ м}^2$  опалубної поверхні, чол-дн.;

$Q_м$  – трудомісткість монтажу нез'ємної опалубки, чол-дн.;

$Q_{\text{дк}}$  – трудомісткість демонтажу інвентарних кріплень, закладення швів між плитами, чол-дн.

Тривалість опалубних робіт визначається:

$$T = \frac{Q_{\text{но}}}{t \cdot N_{\text{роб}} \cdot N_{\text{маш}}}, \quad (2.16)$$

де  $Q_{\text{но}}$  – трудомісткість опалубних робіт, чол-дн;

$t$  – змінність робіт, зміна;

$N_{\text{роб}}$  – кількість робітників ланки, чол.;

$N_{\text{маш}}$  – кількість машин або механізмів, які використовуються для влаштування опалубки.

Розрахунок техніко-економічних показників (ТЕП) опалубок може виконуватися в ПК “АВК-5” [62]. Методика розрахунку детальніше розглянута в п. 3.5.

Також, ефективність використання різних варіантів опалубок крім місцевих умов, в першу чергу, визначаються видом, конфігурацією та габаритами монолітних конструкцій [46].

## РОЗДІЛ 3

### РОЗРОБКА МОДЕЛІ СИСТЕМИ НЕЗ'ЄМНОЇ ОПАЛУБКИ ДЛЯ ВЕРТИКАЛЬНИХ КОНСТРУКТИВНИХ ЕЛЕМЕНТІВ МОНОЛІТНИХ БУДІВЕЛЬ

#### 3.1 Вимоги до проектування конструктивних елементів опалубки

Збільшення поверховості будівель, ускладнення конфігурації конструктивних елементів, зменшення їх перерізу завдяки застосуванню високих класів бетону і арматурних сталей, ускладнення стиків веде до необхідності підвищення точності геометричних параметрів монолітних залізобетонних конструкцій, передусім колон і стін, що впливають на якість і надійність будівель, що зводяться, а також на економічну ефективність [22].

Встановлено, що в технологічному процесі зведення багатоповерхових каркасно-монолітних будівель головним є бетонування конструкцій. При цьому якість конструкцій, що зводяться, і точність геометричних параметрів залежить від застосованих опалубних систем та їх характеристик [22].

Згідно [46], загальні задачі при проектуванні нез'ємної опалубки:

1. Обрати об'єкт дослідження (будівлю) з різнотипними монолітними конструкціями, задана технологія їх бетонування.
2. Визначити вид нез'ємної опалубки, типорозміри опалубних елементів, їх влаштування і способи кріплень.
3. Розрахувати та спроектувати елементи і способи їх кріплень, визначити основні ТЕП нез'ємної опалубки в порівнянні з іншими варіантами.

На практиці завдання може бути спрощене, якщо відомі характеристики монолітних конструкцій, задана технологія їх бетонування, відомі параметри опалубних елементів, масовий випуск яких налагоджено в будівельному підрозділі або регіоні. У цьому випадку проводять планування влаштування опалубних елементів, визначають способи їх кріплень, розраховують елементи кріплень (підтримуючих пристроїв), визначають ТЕП опалубки.



Нарешті, при визначених характеристиках конструкцій, опалубних елементів і способів їх кріплень завдання зводиться до встановлення параметрів бетонування, при яких забезпечуються міцність і стійкість опалубки [46].

Опалубка повинна виготовлятися відповідно до вимог стандартів або технічних умов на опалубку конкретних типів. При зведенні монолітних конструкцій житлових будівель необхідна підвищена якість поверхні, тому до опалубки висувають додаткові вимоги. Від деформативності опалубки залежать міцність і якість виконання монолітних конструкцій, а також трудомісткість опалубних і оздоблювальних робіт, довговічність і вартість опалубки. Крім викривлень поверхні, порушення геометричних розмірів і інших відхилень при недостатньо жорстких елементів опалубки, існує вірогідність утворення раковини на поверхні конструкцій та повітряних бульбашок при ущільненні бетону.

Важливою вимогою до опалубки є рівномірність деформації елементів одного функціонального призначення (наприклад, великорозмірних щитів стін) [3]. При цьому точність геометричних параметрів конструкцій не залежить від відмітки, на якій ведуться опалубні роботи та геодезичні виміри [22].

При зведенні монолітних конструкцій для ущільнення бетону, вертикальних конструкцій, як правило, застосовують глибинні вібратори. Використання зовнішніх вібраторів дозволяє знизити трудові витрати бетонних робіт. Однак, конструкція опалубки стає значно важчою і, крім того, погіршується якість поверхонь бетону внаслідок засмоктування повітря при вібрації.

Всі з'єднання опалубки рекомендується виконувати швидкороз'ємними, вони повинні бути щільними і непроникними.

Клас точності змонтованої опалубки повинен бути на один клас вище класу точності конструкцій, що бетонуються, а клас точності виготовлення елементів опалубки призначається на один клас вище класу точності монтажу. Клас точності конструкцій, що бетонуються, призначають в проекті відповідно згідно ДСТУ-Н Б В.1.3-1:2009 “Система забезпечення точності геометричних параметрів у будівництві. Виконання вимірювань, розрахунок та контроль точності геометричних параметрів. Настанова.”

При проектуванні опалубних систем (або при порівнянні між варіантів опалубок) загальна вартість знижується, при одночасному зменшенні трудовитрат

та збільшенні вартості матеріалу. Проте, ТЕП при порівнянні різних систем може бути суперечливими. Позитивний економічний ефект може виникнути при зменшенні обсягів додаткових (тимчасових) робіт, термінів будівництва чи окремого виду робіт, відходів матеріалів, “вразливості” до погодних умов тощо.

Отримання економічних переваг системи нез’ємної опалубки можливе при її ефективному використанні, як на стадії будівництва (в якості опалубки), так і на стадії експлуатації (у складі готової конструкції). Для досягнення цих переваг необхідна оптимізація структурної форми, геометрії, товщини елементів опалубки. При оптимізації та проектуванні опалубки необхідно брати до уваги наступні “ризики” на етапах опалубних робіт:

1. Етап А – час до укладання бетону в опалубку, який включає в себе:

а) транспортування, прийомку та монтаж (наприклад, ушкодження під час підйому на монтажний горизонт);

б) влаштування опалубки (наприклад, прогини та пошкодження від будівельних навантажень, тимчасової стабілізації щитів).

2. Етап Б – укладання бетонної суміші (наприклад, прогини від бокового тиску).

3. Етап В – під час експлуатації готової конструкції, що включає в себе:

а) нормальне використання (наприклад, прогини, тріщини); б) перевантаження (граничний стан).

Ці етапи однаково важливі, але призводять до різних вимог і умов навантаження. Етапи А і Б включають вимоги безпеки робітників під час будівництва, в той час як етап В включає вимоги до кінцевої продукції (готової конструкції). Однак, вже під час етапів А і Б встановлюється початкова економічна межа для опалубної системи, що включає матеріальні та трудові витрати [54].

Отже, при проектуванні опалубки висувається ряд вимог до конструктивних елементів, необхідно вдаватися до оптимізації конструктивних рішень для досягнення позитивного економічного ефекту.

### 3.2 Проектування конструктивних елементів нез'ємної опалубки

Матеріали елементів опалубки. Опалубка для монолітного бетону складається з двох основних елементів – палуби (щитів опалубки) і підтримуючих конструкцій.

Палуба безпосередньо контактує з бетоном, надаючи йому задані розміри і форму, а також фактуру поверхні конструкції. Крім того, палуба повинна сприймати зусилля, що виникають при бетонуванні, без значних деформацій підтримуючих конструкцій. Згідно [3], для виконання цих функцій палуба повинна відповідати наступним вимогам:

- виготовлятися з сумісних з бетонною сумішшю матеріалів (щоб, з одного боку, матеріал не заважав протіканню хімічних реакцій при твердінні, а з іншого – не піддавався руйнівній дії укладеної суміші або затверділого бетону);
- бути герметичною – перешкоджати прониканню компонентів бетонної суміші (особливо цементного молока і дрібних фракцій);
- надавати необхідну форму бетону і витримувати задані розміри;
- зберігати форму під навантаженнями;
- бути економічною – мати низьку вартість і трудомісткість робіт.

Підтримуючі конструкції служать опорою для палуби, а також для закріплення опалубки. Вони повинні мати достатню міцність і незмінність в робочому положенні, передавати навантаження на несучі елементи будівлі. Тип підтримуючих елементів залежить від величини діючого навантаження [3].

Згідно [48], існує варіативний ряд матеріалів, які застосовуються для щитів нез'ємної опалубки. Матеріали палуби та їх функціональне призначення наведено в таблиці 3.1.

Аналізуючи данні таблиці 3.1 та п. 2.3, для проектування щитів нез'ємної опалубки (палуби) приймаємо орієнтовано-стружкові плити (OSB).

Орієнтовано-стружкова плита – щільна тришарова деревна плита, яку виготовляють методом гарячого пресування великорозмірної (3-8 см) тонкої стружки хвойних порід, змішаної зі зв'язуючим матеріалом, із наступним шліфуванням розрізаного полотна плити.

Кожен шар проклеюють водостійкими смолами з наступним пресуванням під дією високого тиску і температури [56].

Згідно, орієнтовано-стружкові плити класифікують:

1. Тип OSB-1 (плити загального призначення) – застосовуються в інтер'єрах, корпусних меблях.
2. Тип OSB-2 (конструкційні плити) – плити високої міцності, призначені для експлуатації всередині приміщень.
3. Тип OSB-3 (вологостійкі плити) – призначені для експлуатації в умовах підвищеної вологості.
4. Тип OSB-4 (високоміцні плити) – призначені для експлуатації у складі зовнішніх конструктивних елементів.

Своїми фізико-механічними властивостями OSB близька до фанери та в декілька разів перевершує за властивостями ДСП і MDF. OSB відрізняється від ДСП більшою щільністю, великою питомою вагою, товщиною і міцністю. При щільності  $660-680 \text{ кг/м}^3$  модуль пружності при вигині становить 35-48 МПа (уздовж плити), що цілком відповідає вимогам до конструкційних матеріалів і значно вище характеристик традиційної ДСП [66]. Для плит щільністю 650-720  $\text{кг/м}^3$  границя міцності при згині становить 40-50 МПа, в поздовжньому та поперечному напрямі – 20-25 МПа [65, с. 297].

Концентрація смол становить за масою від 12 до 14% від початкової композиції. Плити OSB поступаються фанері за міцністю і водостійкістю, але мають меншу вартість і позбавлені структурних дефектів фанери (сучки і порожнечі). OSB відрізняється стабільністю форми, великою стійкістю до погодних умов, ударних навантажень, характеризується високим звукопоглинанням, піддатливістю до обробки та переробки. За рахунок ламінування досягається підвищення водостійкості плит, що дозволяє застосовувати їх в якості опалубки [67, с. 45].

Плити задовольняють вимогам таких стандартів, як EN 300 (європейський), CSA 0437, CSA 0325 (канадський), PS2-04 (американський) [66]. На практиці показники властивостей плит визначаються виробником та гарантуються сертифікатами відповідності і деклараціями споживчих характеристик.

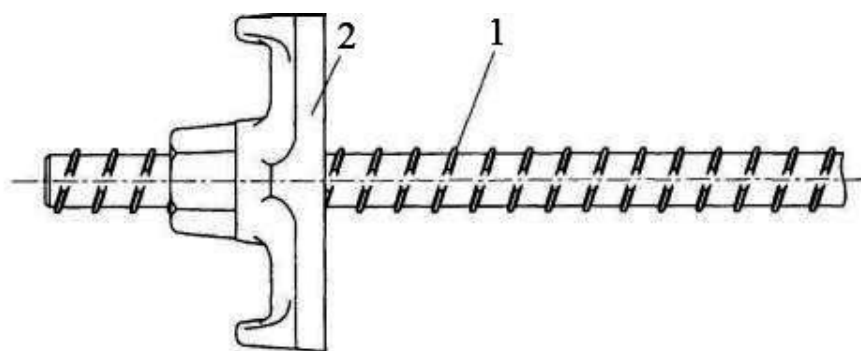
Основні властивості та характеристики OSB наведені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Основні характеристики орієнтовано-стружкових плит

Показник	Значення
Товщина плити, мм	6-25
Довжина листів, мм	2440-7320
Ширина листів, мм	1220-2440
Щільність, кг/м <sup>3</sup>	610-670
Міцність при згині, МПа	9-30
Міцність при поперечному розтягненні, МПа	0,4-0,5
Розбухання по товщині за 24 год, %	15
Теплопровідність, Вт/(м·К)	0,13
Сфера застосування	D4 (можливість експлуатації в атмосферних умовах)

Для скріплення щитів опалубки приймаємо втулки та анкерні стяжки, що застосовуються при влаштування традиційних опалубних систем за технологією, описаною в п. 2.2.

Тяж складається із стрижня діаметром 15 мм і замка, які зображені на рисунку 3.1. В світовій практиці застосовуються стрижні діаметром 14, 16 та 18 мм і довжиною 0,8-3 м. Анкерний тяж є елементом, який працює на розтяг. Для влаштування тяжів круглого перетину необхідна наявність технологічних отворів в щитах опалубки.

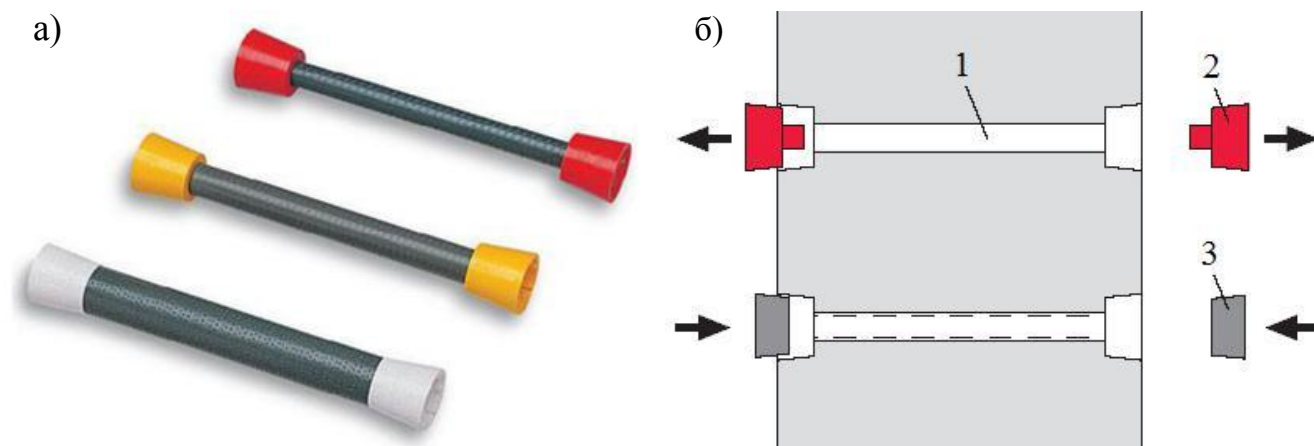


1 – високоміцний гвинтовий арматурний стрижень; 2 – гвинтовий замок

Рисунок 3.1 – Анкерний тяж для скріплення щитів опалубки

В отвори встановлюють ПВХ втулки, крізь які пропускають стрижень анкерного тяжа. Види розпірних трубок наведені на рисунку 3.2, а. Фіксація тяжа

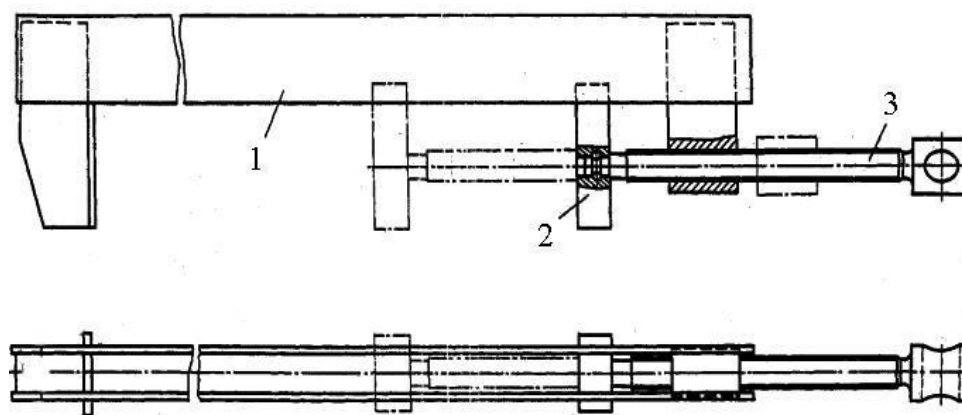
відбувається за допомогою гвинтового замка. При розпалубці стрижень вилучається з трубки та підлягає повторному застосуванню. Утворені отвори закладаються розчином, бетонними або пластмасовими пробками, які показані на рисунку 3.2, б [3].



а – різновиди ПВХ розпірних трубок (втулок); б – закладення отворів в тілі монолітної конструкції; 1 – ПВХ розпірна трубка; 2 – ущільнюючий конус; 3 – бетонний конус

Рисунок 3.2 – Система розпірних трубок під анкерні тяжі для щитів опалубки

Для фіксації суміжних щитів опалубки по верхній грані приймаємо металеву струбцину, що зображена на рисунку 3.3 [70].

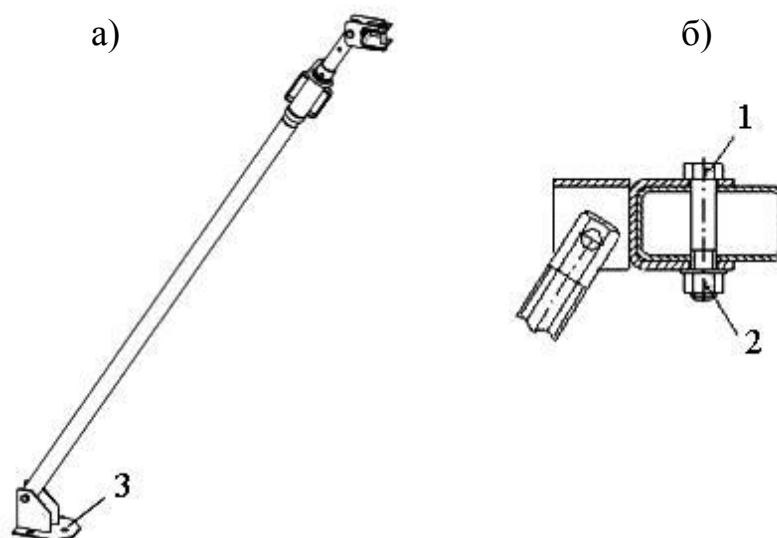


1 – станина; 2 – п'ята; 3 – гвинт

Рисунок 3.3 – Конструкція струбцини для щитової опалубки



В якості підтримуючих конструкції приймаємо монтажний однорівневий розкіс, який зображений на рисунку 3.4. Розкіс має трубну телескопічну структуру і дозволяє вирівняти щити опалубки при висоті до 4,2 метра. Вага конструкції становить близько 30 кг. Кріплення розкоса здійснюється вилкою в отвір поперечної балки щита опалубки за допомогою болта з гайкою. Фіксація може здійснюватися як до горизонтальних, так і до вертикальних балок щитів. П'ята розкоса надійно закріплюється в бетонній основі анкером [3].



а – загальний вид розкосу; б – схема закріплення вилки розкосу на балці щита опалубки; 1 – п'ята розкоса з отвором під анкер; 2 – болт; 3 – гайка

Рисунок 3.4 – Конструкція однорівневого розкосу з монтажною вилкою

Конструктивні рішення. Проектування елементів опалубки виконується для вертикальних конструктивних елементів будівлі, описаної в п. 2.1.

Щити нез'ємної опалубки є структурно не сприймаючими та влаштовуються з плит OSB-3 товщиною 22 мм. Ширина плит визначається розмірами та конфігурацією вертикальної конструкції. Довжина плит складає 2500 мм (основні щити) та 500 мм (додаткові). Основні щити формують перший висотний рівень опалубки; додаткові щити дають змогу досягти необхідного розміру палуби згідно висоти вертикального елемента, що бетонується. Усі щити мають технологічні отвори діаметром 35 мм, які розташовані на центральній осі по довжини плити, та призначені для влаштування конусів та ПВХ втулок.

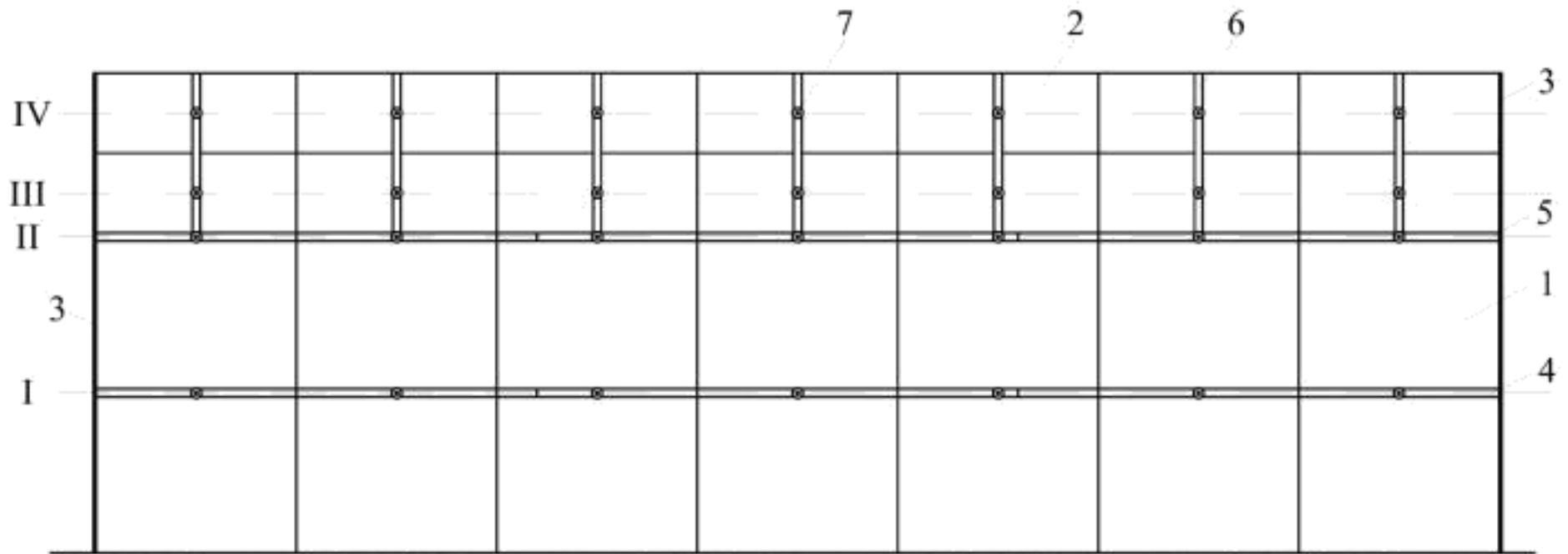
Поєднання щитів по поверхні опалубки виконується за допомогою дерев'яних монтажних рейок (брусів) з перетином 40x50 мм. Довжина рейок визначається розмірами та конфігурацією вертикальної конструкції. Рейки мають технологічні прорізи 20x25 мм і отвори діаметром 18 мм для влаштування анкерних тяжів і закріплення вилок розкосів відповідно. Рейки розташовуються горизонтально в два ряди від краю щита по всій довжині опалубної системи. Поєднання верхніх (додаткових) щитів опалубки виконується за допомогою вертикальних брусів, що щільно примикають до горизонтальних рейок верхнього ряду. Бруси фіксуються анкерними тяжами. Крім цього, система монтажних рейок забезпечує жорсткість та надійність улаштування опалубних щитів.

Торцеві щити нез'ємної опалубки (для покриття товщини вертикального елемента) шириною 300, 250 та 200 мм фіксуються за допомогою самонарізних шурупів 3,5x55 мм. Опорні розкоси закріплюються вилкою до вертикальних рейок крізь технологічні отвори за допомогою болта М16x80 з гайкою. П'ята розкоса фіксується в бетонній основі розпірим болтом (анкером) М12x120 мм.

По верхній грані щити нез'ємної опалубки фіксуються струбцинами, корегуючи положення плит гвинтом. Схема влаштування конструктивних елементів опалубки наведена на рисунках 3.4, 3.5.

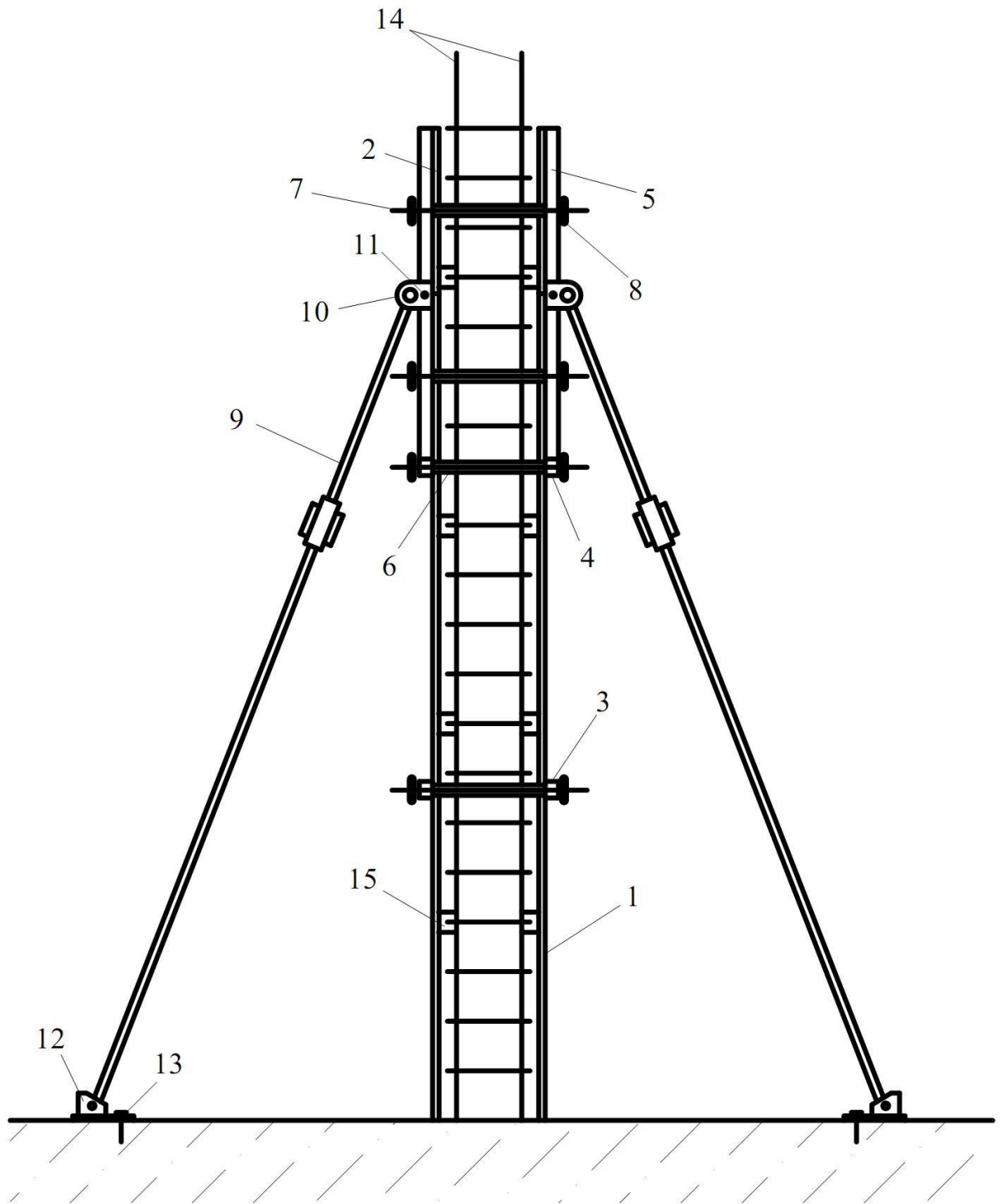
При влаштуванні кутових примикань (наприклад, діафрагми жорсткості) встановлюються два додаткових анкерних тяжа для скріплення суміжних кутових плит OSB. Технологічні отвори зовнішніх щитів зміщаються від вертикальної осі плити на величину товщини елемента, що бетонується. Монтажні рейки двох горизонтальних рядів щільно примикають одна до одної, при чому довжина брусів суміжних щитів зменшується на 40 мм, що створює аналог пазового з'єднання. Схема кутових примикань наведена на рисунку 3.6.

Слід відмітити, що при зведенні будівель за допомогою нез'ємної опалубки з OSB необхідна розробка проектних рішень щодо влаштування елементів палуби, які включаються в ПБР і є невід'ємною частиною проекту.



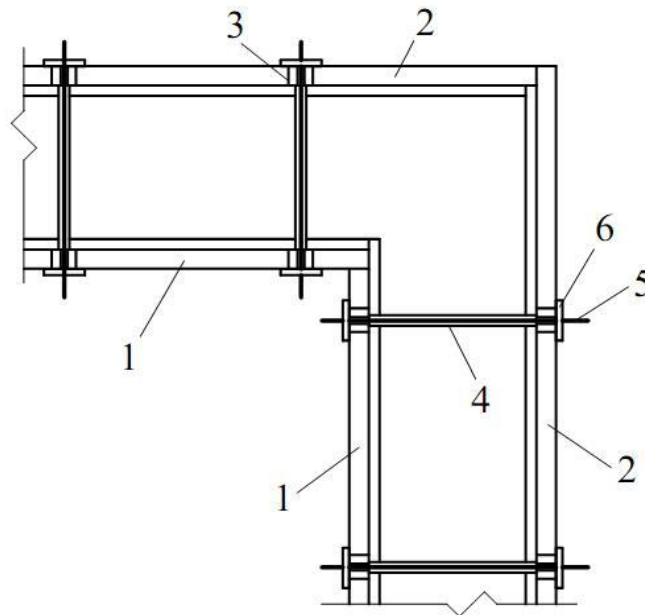
1 – основні щити; 2 – додаткові щити; 3 – торцеві щити; 4 – дерев’яні монтажні рейки нижнього горизонтального ряду;  
 5 – дерев’яні монтажні рейки верхнього горизонтального ряду; 6 – вертикальні дерев’яні монтажні рейки; 7 – анкерний тяж;  
 I – перший ряд технологічних отворів; II – перший ряд технологічних отворів; III – перший ряд технологічних отворів;  
 IV – перший ряд технологічних отворів;

Рисунок 3.4 – Влаштування щитів нез’ємної опалубки з OSB по поверхні



1 – основні щити; 2 – додаткові щити; 3 – дерев’яні монтажні рейки нижнього горизонтального ряду; 4 – дерев’яні монтажні рейки верхнього горизонтального ряду; 5 – вертикальні дерев’яні монтажні рейки; 6 – ПВХ втулка; 7 – арматурний стрижень; 8 – гвинтовий замок; 9 – однорівневий розкос; 10 – монтажна вилка розкоса; 11 – монтажний болт для фіксації вилки до вертикальної рейки; 12 – п’ята розкоса; 13 – анкер для закріплення п’яти розкоса в бетонній основі; 14 – арматурні випуски (стрижні каркаса); 15 – фіксатор захисного шару бетону

Рисунок 3.5 – Влаштування щитів нез’ємної опалубки з OSB в перетині



1 – внутрішні додаткові щити; 2 – зовнішні додаткові щити; 3 – вертикальні монтажні рейки; 4 – ПВХ втулка; 5 – арматурний стрижень; 6 – гвинтовий замок

Рисунок 3.6 – Влаштування кутових примикань щитів нез’ємної опалубки з OSB

Однак, описана система нез’ємної опалубки має обмеження щодо влаштування вертикальних конструкцій, зокрема:

1. Зовнішніх стін та вертикальних елементів, поверхні яких співпадають з контуром плити перекриття.
2. Діафрагм жорсткості.

Усунення обмежень досягається шляхом розробки додаткових проектних, інженерно-конструкторських та технологічних рішень, зокрема:

- можливості укрупненої збірки щитів опалубки;
- створення просторової опалубної системи за аналогією блок-форм;
- покращення системи кріпильних та підтримуючих елементів, геометрії їх розташування на щитах;
- влаштування захисту щитів зовнішніх стін від прямого впливу атмосферних умов.

Дотримання зазначених рекомендацій дозволить оптимізувати витрати матеріалів та інвентарних елементів на одиницю поверхні палуби, досягнути підвищення універсальності нез’ємної опалубки з OSB.

### 3.3 Розрахунок та моделювання навантажень елементів нез'ємної опалубки

Метою розрахунку є визначення напружено-деформованого стану (НДС) щитів опалубки, зокрема величин стискуючих та розтягуючих напружень, лінійних переміщень поверхні палуби, які виникають від впливу горизонтальних навантажень.

Визначаємо максимальний боковий тиск укладеної суміші. Швидкість укладання бетону щільністю  $\gamma=2780 \text{ кг/м}^3$  складає  $V=3 \text{ м/год}$ . Температура суміші дорівнює  $T \geq 5^\circ \text{C}$ , осідання конуса  $OK=16-20 \text{ см}$ . Ущільнення бетону виконується за допомогою глибинних вібраторів з радіусом дії  $R=20 \text{ см}$ . Таким чином, боковий тиск бетонної суміші розраховуємо за формулою 2.2:

$$P_{\text{б.д.}} = 2780 \cdot (0,27 \cdot 3 + 0,78) \cdot 1,2 \cdot 1,5 = 7,96 \text{ кПа.}$$

Згідно [40], динамічний вплив від укладання бетонної суміші визначається в залежності від способу його подачі до опалубки. Як вже було зазначено в п. 2.1 бетонування вертикальних конструктивних елементів виконується за допомогою бадді об'ємом  $1-2 \text{ м}^3$ . Тоді динамічний вплив на щити опалубки складає  $P_{\text{дин}} = 6 \text{ кПа}$ .

Навантаження, що виникають від ущільнення бетонної суміші, дорівнюють  $P_{\text{віб}} = 4 \text{ кПа}$  вертикальній поверхні опалубки [40].

Розраховуємо вплив вітрового навантаження на щити опалубки згідно [55]. Вітрове навантаження є змінним повторюваним навантаженням, значення якого визначається за формулою:

$$W = \gamma_{\text{fm}} W_0 C, \quad (3.1)$$

де  $\gamma_{\text{fm}}$  – коефіцієнт надійності за граничним розрахунковим значенням вітрового навантаження, що визначається згідно таблиці 2.4;

$W_0$  – характеристичне значення вітрового навантаження,

Па;  $C$  – коефіцієнт вітрового впливу.

Характеристичне значення вітрового навантаження еквівалентне тиску вітру на висоті 10 м над поверхнею землі, який може перевищуватися у середньому один раз за 50 років. Значення вітрового навантаження визначається залежно від вітрового району будівництва і дорівнює  $W_0 = 450 \text{ Па}$  [55].



Коефіцієнт  $C$  визначається за формулою:

$$C = C_{aer} \cdot C_h \cdot C_{alt} \cdot C_{rel} \cdot C_{dir} \cdot C_d, \quad (3.2)$$

де  $C_{aer}$  – аеродинамічний коефіцієнт;

$C_h$  – коефіцієнт висоти споруди;

$C_{alt}$  – коефіцієнт географічної висоти;

$C_{rel}$  – коефіцієнт рельєфу;

$C_{dir}$  – коефіцієнт напрямку;

$C_d$  – коефіцієнт динамічності.

Згідно [55], аеродинамічні коефіцієнти визначаються залежно від форми споруди або конструктивного елемента і можуть мати вигляд:

1. Коефіцієнтів нормального тиску  $C_e$ , які слід враховувати при визначенні нормального тиску, прикладеного до зовнішніх поверхонь споруди або елемента і віднесених до одиниці площі цієї поверхні.

2. Коефіцієнтів тертя  $C_f$ , які слід враховувати при визначенні сил тертя, спрямованих по дотичній до зовнішньої поверхні споруди або будівлі.

3. Коефіцієнтів нормального тиску  $C_i$ , які слід враховувати при визначенні нормального тиску, прикладеного до внутрішніх поверхонь будівель з проникними огороженнями, що відчиняються, або з постійно відкритими прорізами.

4. Коефіцієнтів лобового опору  $C_x$ , які слід враховувати для окремих елементів і конструкцій при визначенні складової загального опору тіла, що діє в напрямку вітрового потоку і віднесена до площі проекції тіла на площину, перпендикулярну до потоку.

5. Коефіцієнтів поперечної сили  $C_y$ , які слід враховувати для окремих елементів і конструкцій при визначенні складової загального опору тіла, що діє перпендикулярно до вітрового потоку і віднесена до площини проекції тіла на площину потоку.

Значення аеродинамічного коефіцієнта дорівнює  $C_{aer} = 0,8$ .

Коефіцієнт висоти споруди враховує збільшення вітрового навантаження залежно від висоти споруди або її частини, що розглядається, над поверхнею землі та типу навколишньої місцевості.

Згідно [55], типи місцевості, що оточує будівлю чи споруду, визначаються для кожного розрахункового напрямку вітру окремо:

- відкриті поверхні морів, озер, що піддаються як дії вітру на ділянці довжиною не менш як 3 км і плоскі рівнини, без перешкод;
- сільська місцевість з огорожами (парканами), невеликими спорудами;
- приміські і промислові зони і протяжні лісові масиви;
- міські площі, на яких принаймні 15% поверхні зайняті будівлями, що мають середню висоту понад 15 м.

Значення коефіцієнта висоти дорівнює  $C_h = 2,75$ .

Коефіцієнт географічної висоти враховує висоту (в кілометрах) розміщення будівельного об'єкту над рівнем моря і дорівнює  $C_{alt} = 1$ .

Коефіцієнт рельєфу  $C_{rel}$  враховує мікрорельєф місцевості поблизу площадки розташування будівельного об'єкту і приймається таким, що дорівнює одиниці [55].

Коефіцієнт напрямку  $C_{dir}$  враховує нерівномірність вітрового навантаження за напрямками вітру і приймається таким, що дорівнює одиниці.

Коефіцієнт динамічності враховує вплив пульсаційної складової вітрового навантаження та дорівнює  $C_d = 1$  [55].

Таким чином, значення вітрове навантаження на опалубку дорівнює:

$$W = 450 \cdot 0,8 \cdot 2,75 = 0,99 \text{ кПа.}$$

Моделювання навантажень та визначення НДС нез'ємної опалубки виконується в ПК "ЛИРА".

Згідно [40], розрахунок в ПК "ЛИРА" дозволяє визначити навантаження на конструкцію та полягає у:

1. Складанні розрахункової схеми, яка найближче відповідає дійсній роботі елементів конструкції.
2. Визначенні зовнішніх навантажень і впливів, які прикладаються на систему, що розраховується.
3. Визначенні внутрішніх зусиль (згинаючих моментів, поперечних і подовжніх сил) в перерізах елементів, що проектуються, з урахуванням їх жорсткості і стійкості.

Розрахунок проводиться за методом граничної рівноваги з урахуванням перерозподілу зусиль унаслідок пластичних деформацій.

Даний метод припускає забезпечення таких умови роботи конструкції, при яких би виключалася можливість настання розрахункового граничного стану, що означає втрату здатності чинити опір зовнішнім діям або відповідати заданим експлуатаційним вимогам. У зв'язку з цим розрізняють дві групи розрахункових граничних станів. До першої групи відносять втрату несучої здатності і (або) повна непридатність до експлуатації. До другої групи відносять утруднення нормальної експлуатації конструкції.

Згідно, до граничних станів першої групи відносяться:

- загальна втрата стійкості форми, положення;
- руйнування будь-якого характеру;
- перехід конструкції в змінну систему;
- якісна зміна конфігурації;
- стани, при яких виникає необхідність припинення експлуатації в результаті текучості матеріалу, зсувів в з'єднаннях, повзучості, неприпустимості залишкових або повних переміщень або надмірного розкриття тріщин.

До граничних станів другої групи відносяться стани, що ускладнюють нормальну експлуатацію або знижують довговічність унаслідок появи неприпустимих переміщень (прогинів, осідань, коливань, тріщин).

Граничні стани першої групи перевіряються розрахунком на максимальні (розрахункові) навантаження і дії, можливі при порушенні нормальної експлуатації. Граничні стани другої групи – на експлуатаційні (нормативні) навантаження і дії, що відповідають нормальній експлуатації конструкцій.

Розрахунок по першій групі є обов'язковим для всіх видів конструкцій. Розрахунок по другій групі граничних станів виконують тільки для тих конструкцій, надмірні деформації в яких можуть привести до втрати ними експлуатаційних якостей ще до того, як буде вичерпана їх несуча здатність.

Розрахунок моделі нез'ємної опалубки в ПК "ЛИРА" виконується за методом кінцевих елементів (КЕ). Суть методу полягає в тому, що задана

безперервна (континуальна) система розбивається для розрахунку на окремі (дискретні) елементи кінцевих розмірів. КЕ повинні бути такої форми, яка доступна для дослідження їх напружено-деформованого стану під навантаженням і відповідними їм переміщеннями.

Розрахунок може бути проведений по методу сил, коли за невідомі приймаються сили взаємодії між кінцевими елементами в місцях їх з'єднання, або по методу переміщень, коли за невідомі приймаються переміщення вузлів елементів, що з'єднуються. Може бути застосований і змішаний метод.

Точність розрахунку методом кінцевих елементів буде тим вище, чим більшу кількість ступенів свободи (вузлів) матиме система, і чим повніше в системі будуть відображені умови з'єднання елементів між собою.

Для створення розрахункової схеми призначаємо тип КЕ, що найбільше відповідають конфігурації та роботі конструктивних елементів нез'ємної опалубки, враховуючи властивості матеріалів палуби, підтримуючих та кріпильних конструкцій. Типи КЕ для елементів опалубки показані в таблиці 3.2.

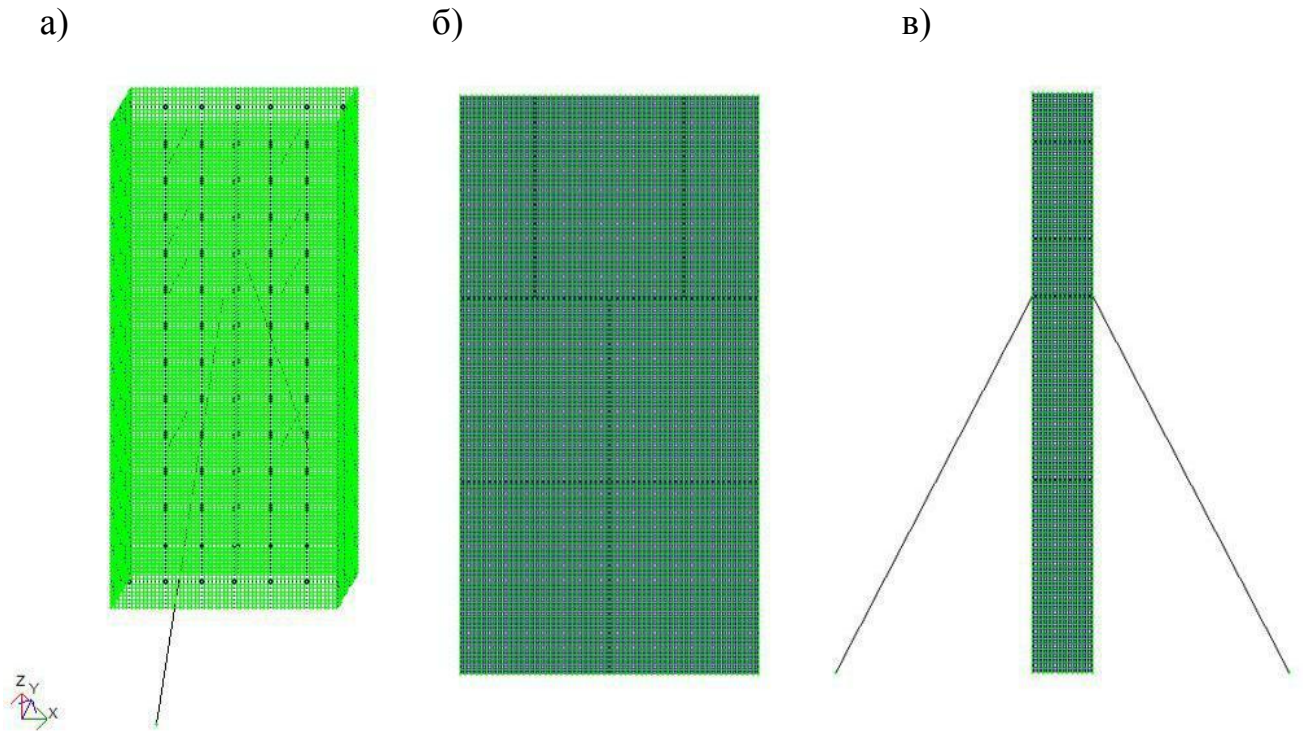
Таблиця 3.2 – Визначення типу КЕ для елементів нез'ємної опалубки з OSB

№ п/п	Елемент нез'ємної опалубки	Тип КЕ	Модуль пружності, Н/мм <sup>2</sup>	Коефіцієнт Пуассона	Об'ємна вага, кг/м <sup>3</sup>
1	Щит з OSB	Прямокутний елемент плоско напруженої системи загального положення	1980	0,07	600
2	Анкерний тяж	Універсальний стержень	210	–	7800
3	Монтажна рейка		50	–	520
4	Розкос		210	–	7800

З визначених типів кінцевих елементів виконуємо побудову розрахункової схеми нез'ємної опалубки. Розміри щитів визначаємо на прикладі влаштування опалубки для залізобетонного пілону в осях 4-6 та рядах Е-Ж [38].

Розрахункова схема має 5 ступенів свободи і наведена на рисунку 3.7.

Елементи схеми завантажуються згідно розрахованих величин навантажень, що діють на конструкцію опалубки. Виконується розрахунок опалубки, результати якого наведені на рисунках 3.8, 3.9, 3.10.



а – вид в осях XYZ; б – вид в осях XOZ; в – вид в осях YOZ

Рисунок 3.7 – Розрахункова схема нез'ємної опалубки з OSB

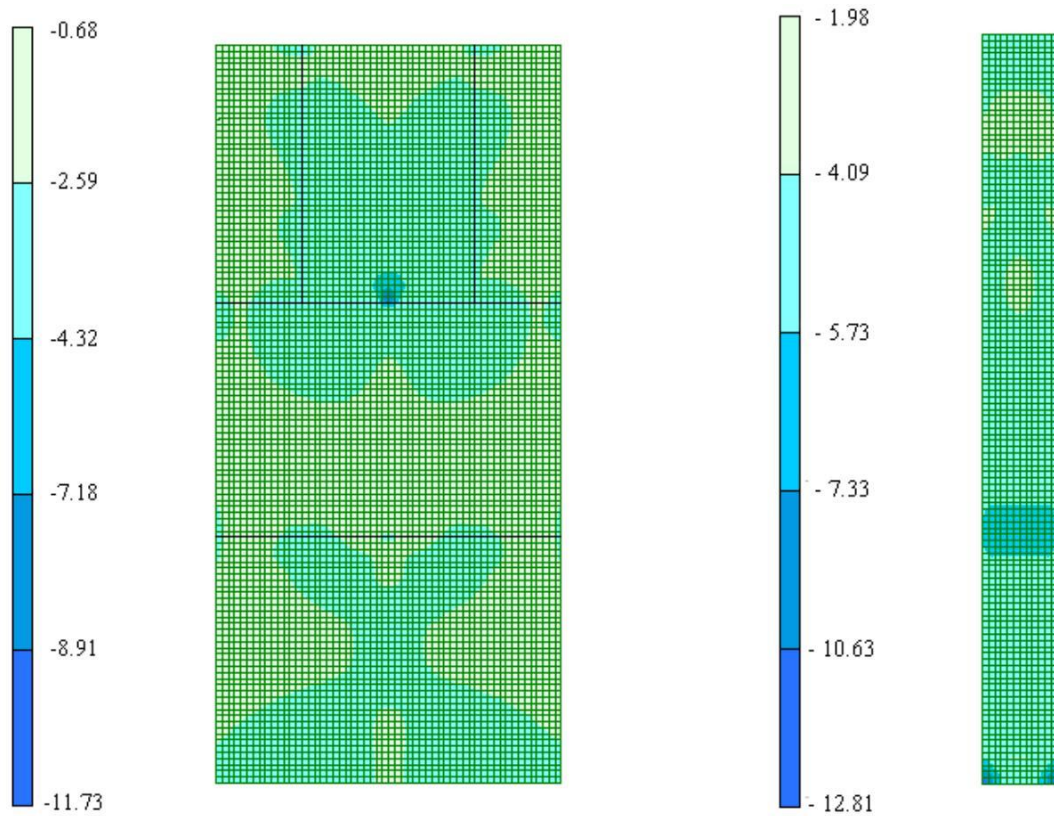


Рисунок 3.8 – Розподілення стискуючих напружень в щитах опалубки, Н/мм<sup>2</sup>



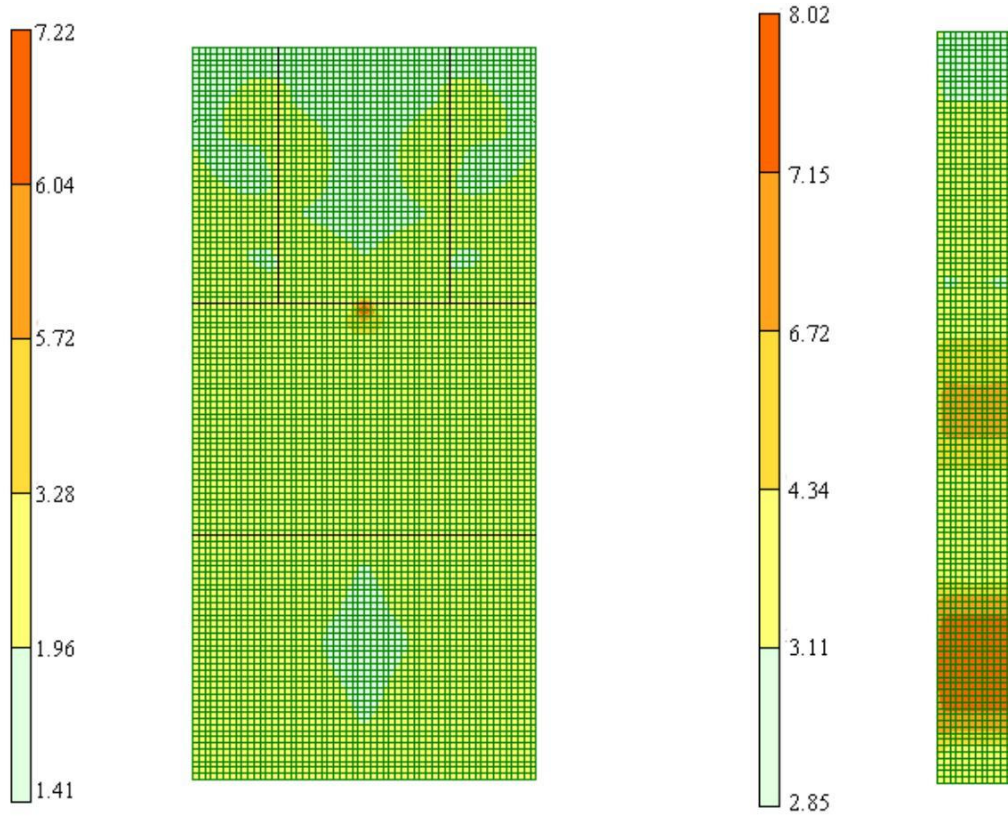


Рисунок 3.9 – Розподілення розтягуючих напружень в щитах опалубки,  $\text{H}/\text{мм}^2$

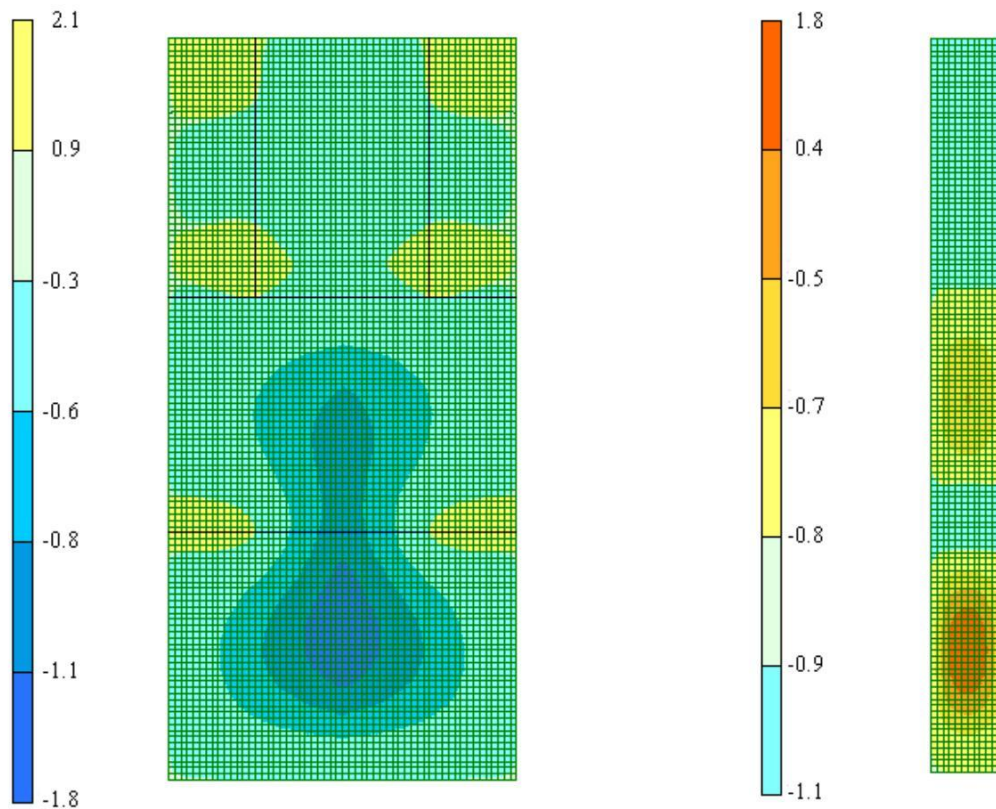


Рисунок 3.10 – Розподілення лінійних переміщень в щитах опалубки, мм

За отриманими результатами розрахунку НДС в щитах опалубки встановлені максимальні стискуючі та розтягуючих напруження, що дорівнюють  $12,81 \text{ Н/мм}^2$  та  $8,02 \text{ Н/мм}^2$  відповідно. Гранично допустимі стискуючі напруження для OSB складають  $14,8 \text{ Н/мм}^2$ , розтягуючі –  $9 \text{ Н/мм}^2$ .

Максимальні лінійні переміщення в щитах складають 2,1 мм, що є допустимою величиною та забезпечує геометричну точність опалубки.

Таким чином, несуча здатність опалубної системи забезпечена.

### **3.4 Технологія зведення монолітних будівель за допомогою системи нез'ємної опалубки з OSB**

Технологія передбачає влаштування нез'ємної опалубки для бетонування вертикальних конструктивних елементів монолітно-каркасних будівель.

Система нез'ємної опалубки включає:

- плоскі щити з OSB;
- дерев'яні монтажні рейки;
- анкерні тяжі;
- однорівневі розкоси з монтажною вилкою, вертикальні опори;
- металеві фіксуючі струбцини.

Влаштування опалубки для вертикальних конструкцій в межах однієї секції виконуються за 3 захватки.

В умовах будівельного майданчика виконується:

1. Приймання елементів опалубки, сортування і складування.
2. Підйом елементів опалубки на монтажний горизонт.
3. Влаштування, вивірка і остаточне з'єднання щитів та підтримуючих елементів.
4. Приймання робіт зі складанням акту прихованих робіт.

Опалубні щити з OSB складаються на будівельному майданчику в закритих або напівзакритих складах (під навісом). Плити зберігають в горизонтальному положенні в палетах по 20-25 штук на піддоні або підпорках висотою 60 мм з кроком не більше 500 мм. Підпірки обов'язково повинні бути однакової товщини



та встановлюються паралельно короткій стороні плити OSB. Спочатку щити складаються в палети по 10-15 штук, після чого встановлюються додаткові підпорки для забезпечення вентиляції плит та продовжується складування. Верхній щит необхідно накрити брезентом для захисту від попадання бруду і вологи. Неправильне зберігання плит OSB може привести до їх пошкодження та неможливістю подальшого застосування.

Перед підйомом щитів на монтажних горизонт, плити розкладаються в групи кількістю на певний вертикальний елемент згідно робочих креслень проекту на влаштування опалубки. Групи щитів складають на піддон для стропування.

Для полегшення групування елементів та подальшого монтажу, щити нез'ємної опалубки можуть буди промаркіровані за шифром (назвою) згідно робочих креслень.

Стропування та підйом щитів опалубки виконується за допомогою чотирьохгілкового стропа.

Групи щитів опалубки подаються на ділянки монтажного горизонту, які найбільш наближені до місця влаштування щитів певної групи (підгрупи).

Улаштування вертикальних елементів залізобетонного каркасу проводиться в наступній послідовності:

- геодезична розбивка осей і габаритів;
- улаштування й в'язання арматури, улаштування закладних деталей;
- улаштування, вивірка й закріплення щитів опалубки;
- остаточна геодезична вивірка опалубки;
- бетонування;
- вивірка опалубки, заповненою бетонною сумішшю;
- зняття кріплень і підтримуючих елементів;

Монтаж системи нез'ємної опалубки виконується в наступній послідовності:

1. Влаштування щитів з OSB в проектне положення виконується за рисками, нанесеними на перекриття поверху згідно базису з одночасною вивіркою вертикальності щитів по розбивочним осям теодолітами.

2. По виконаних оцінках, починаючи з кута, одночасно влаштовуються внутрішній та зовнішній основний щит. В технологічні отвори першого ряду вставляються конуси та втулки з ПВХ. Протилежні щити тимчасово скріплюються анкерними тяжами без влаштування монтажних рейок. Аналогічно встановлюються лінійні щити. Основні щити опалубки влаштовуються по всьому периметру вертикального елемента.

3. Влаштовуються втулок та арматурних стрижнів тяжів другого і третього ряду технологічних отворів. На арматурні стрижні другого ряду монтується дерев'яні рейки і закріплюються гвинтовими замками тяжів. Встановлення розпірних трубок та тяжів вище першого ряду отворів виконується зі стрем'янок загальною висотою 2,7 м або з розбірно-переставних риштувань, які в подальшому застосовуються для укладання бетонної суміші в опалубку та оздоблювальних робіт.

4. Виконується влаштування рейок першого ряду. Для цього відкручуються гвинтові замки тяжів на величину товщини бруса, монтується дерев'яні рейки та закріплюються гвинтовими замками.

5. Монтується додаткові щити опалубки. В технологічні отвори протилежних плит встановлюються ПВХ втулки та арматурні стрижні тяжів, на які влаштовуються вертикальні дерев'яні бруси та фіксуються гвинтовими замками. По верхній грані додаткових щитів встановлюються металеві струбцини з кроком 2,5-3 м.

6. На вертикальних рейках закріплюється вилки підтримуючих розкосів за допомогою болта та гайки. Грубе виставлення щитів за допомогою розкоса відбувається за рахунок виймання внутрішньої труби і закріплення вилки розкоса до рейці. Точне виставлення положення щита відбувається за допомогою нарізного вузла з фланцевої гайкою. Підтримуючі розкоси закріплюються до рейок через 2-3 щита в залежності від розмірів та конфігурації вертикальної конструкції.

7. Влаштовуються торцеві щити (дверних прорізів включно), які закріплюються самонарізними шурупами з кроком 250-300 мм. Додаткові (верхні) торцеві щити влаштовуються зі стрем'янок або розбірно-переставних риштувань.

Точність установки щитів опалубки перевіряється по схилу. Готовність змонтованої опалубки до бетонування стін і колон повинна бути оформлена актом.

Після укладання бетонної суміші та набуття нею необхідної міцності анкерні тяжі, рейки та струбцини демонтуються. Отвори під втулки в тілі конструкції закладаються розчином або бетонними конусами.

Всі розкоси, анкерні тяжі та струбцини повинні бути очищені від бетонного розчину за допомогою скребоків і металевих щіток. Забороняється застосовувати для цих цілей молотки або інший інструмент ударної дії. Всі з'єднання після очищення повинні бути змащені.

Після закінчення робіт на одній захватці й пред'явлення їх технічному нагляду, приступають до робіт по зведенню конструкцій наступної захватки. На всі роботи виконані в межах однієї захватки повинні бути складені відповідні акти на приховані роботи.

Чисельний та професіональний склад спеціалізованої ланки на виконання робіт складає 6 чоловік, в т. ч.:

- автокранівник 5 розряду – 1 люд.;
- монтажник 4 розряду – 1 люд.;
- монтажник 2 розряду – 4 люд.

При виконанні робіт слід дотримуватися вимог з контролю якості згідно [40], та заходів з охорони праці згідно [42].

### **3.5 Розрахунок техніко-економічних показників нез'ємної опалубки**

Визначення ефективності опалубки виконуємо шляхом порівняння показників трудомісткості та вартості робіт зі зведення вертикальних конструктивних елементів будівлі з використанням комбінованої рамної опалубки “Дока” та запропонованої системи нез'ємної опалубки з OSB.

Визначення собівартості опалубки виконуємо шляхом оцінювання витрат на матеріальні ресурси, необхідних для її влаштування. Відомість матеріалів для обраних варіантів опалубок зазначена в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Відомість матеріалів на 100 м<sup>2</sup> опалубної поверхні

№ п/п	Найменування матеріалу	Одиниця вимірювання	Кількість	
			Дока	OSB
1	Щити опалубні рамні	м <sup>2</sup>	100	–
2	Фанера ФБС ламінована 2500х1250, товщина 21 мм	шт	32	–
3	Шурупи самонарізні	т	0,00003	0,00002
4	Змазка силіконова	л	16	–
5	Рейка монтажна дерев'яна 40х50 мм, довжина 3 м	шт	–	17,7
6	Рейка монтажна дерев'яна 40х50 мм, довжина 1 м	шт	–	21
7	Плита OSB 2500х1250, товщина 22 мм	шт	–	21
8	Плита OSB 1500х500, товщина 22 мм	шт	–	21
9	Труби напорні з ПВХ, діаметр 25 мм	10 м	10,8	10,5
10	Тяж анкерний	шт	5	44
11	Розкос трубний телескопічний	шт	6	8
12	Струбцина металева	шт	–	3

При визначенні вартості окремих матеріалів необхідно брати до уваги їх оборотність, яка для ламінованої фанери складає 15 циклів, дерев'яних монтажних рейок – 20 циклів.

Розрахунок вартості матеріалів виконується по середнім показникам цін регіону будівництва. Витрати на опалубні щити “Дока”, кріпильні та підтримуючі елементи визначаються згідно величини добової орендної плати на одиницю виміру.

Розрахунок виконується в ПК “АВК-5”, результати якого наведені в таблицях 3.4, 3.5.

За отриманими значеннями трудомісткості визначаємо тривалість опалубних робіт на 100 м<sup>2</sup> опалубної поверхні за формулою 2.16. Роботи на об'єкті ведуться в 1,5 зміни.

Тривалість робіт з використанням комбінованої опалубки “Дока” складає:

$$T_1 = \frac{42,22}{5 \cdot 1,5 \cdot 8,2 \cdot 1} = 0,69 \text{ дня.}$$

Тривалість робіт з використанням нез'ємної опалубки з OSB складає:

$$T_2 = \frac{30,77}{6 \cdot 1,5 \cdot 8,2 \cdot 1} = 0,42 \text{ дня.}$$

Порівняння ТЕП опалубок наведено на рисунку 3.11.

Таблиця 3.4 – Розрахунок техніко-економічних показників комбінованої рамної опалубки “Дока”

№ п/ п	НО рм и)	Найменування робіт			Вартість одиниці, грн.		Загальна вартість, грн.			Трудові витрати робітників, чол-год	
					Всього	Експлуатації машин	Всього	Заробітної плати	Експлуатації машин	Не зайнятих обслуговуванням машин	
										Обслуговуючих машини	
					Заробітної плати	В тому числі заробітної плати			В тому числі заробітної плати	На одиницю	Всього
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	ЕН6-53-5	Монтаж і демонтаж комбінованої модульної опалубки “Дока” при влаштуванні стін	100 м <sup>3</sup>	0,1	58452,5 2 <u>14190,7</u> 2	<u>12966,63</u> 1826,83	5845,25	1419,07	<u>1296,66</u> 182,68	<u>324,1</u> 78,183	<u>32,41</u> 7,82
		Разом прямі витрати					5845,25	1419,07	<u>1296,66</u> 182,68	-	<u>32,41</u> 7,82
		Всього опалубні роботи, грн. в тому числі: - вартість матеріалів, виробів і конструкцій, грн. - всього заробітна плата, грн. Загальновиробничі витрати, грн. Трудомісткість в загальновиробничих витратах, чол. -год					5845,25				
		Заробітна плата в загальновиробничих витратах, грн.					64,31				
		Разом опалубні роботи, грн.					6361,99				
		Трудомісткість, чол.-год					42,22				
		Заробітна плата, грн.					1666,06				

Таблиця 3.5 – Розрахунок техніко-економічних показників нез'ємної опалубки з OSB

№ п/п	М И )	Найменування робіт		Клас кль	Вартість одиниці, грн.		Загальна вартість, грн.			Трудові витрати робітників, чол-год	
					Всього	Експлуатації машин	Всього	Заробітної плати	Експлуатації машин	Не зайнятих обслуговуванням машин	
										Заробітної плати	В тому числі заробітної плати
					Обслуговуючих машини						
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	-	Влаштування нез'ємної опалубки з орієнтовано-стружкових плит	100 м <sup>2</sup>	1	<u>5406,32</u> 245,21	<u>433,91</u> 61,13	5406,32	245,21	<u>433,91</u> 61,13	<u>27,07</u> 2,6163	<u>27,07</u> 2,62
		Разом прями витрати					5406,32	245,21	<u>433,91</u> 61,13	-	<u>27,07</u> 2,62
		Всього опалубні роботи, грн. в тому числі:					5406,32				
		- вартість матеріалів, виробів і конструкцій, грн.					4727,2				
		- всього заробітна плата, грн.					306,34				
		Загальновиробничі витрати, грн.					143,02				
		Трудомісткість в загальновиробничих витратах, чол. -год					1,08				
		Заробітна плата в загальновиробничих витратах, грн.					20,88				
		Разом опалубні роботи, грн.					5549,34				
		Трудомісткість, чол.-год					30,77				
		Заробітна плата, грн.					327,22				

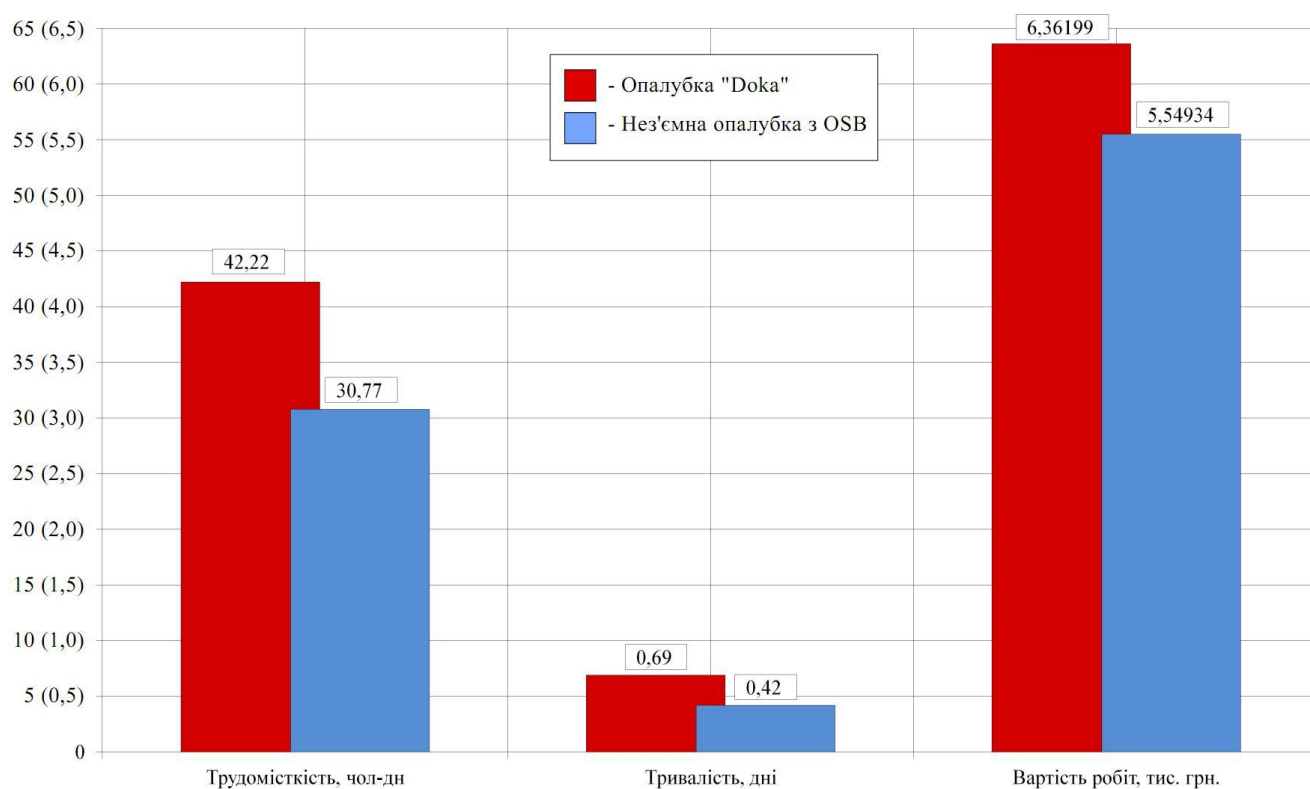


Рисунок 3.11 – Техніко-економічні показники на  $100 \text{ м}^2$  опалубки “Дока” та нез’ємної опалубки з OSB

Аналіз отриманих результатів показує ефективність використання нез’ємної опалубки з OSB. Спостерігається зменшення вартості опалубних робіт на 12% та трудовитрат на 27%. Це пояснюється відсутністю демонтажу і змащення щитів, зниженням часу роботи крану при влаштуванні опалубки. Відбувається зменшення тривалості робіт в 1,5 рази, що дозволить прискорити темпи зведення каркасу.

Крім того, припускаємо збільшення техніко-економічних показників нез’ємної опалубки з OSB при усуненні конструктивних обмежень щодо влаштування опалубки для окремих вертикальних конструкцій, зазначених в п. 3.2.

Отже, застосування інноваційних технологічних рішень таких, як нез’ємна опалубка з OSB, дозволить прискорити темпи будівництва, зменшити вартість опалубних робіт і зведення висотних монолітних будівель загалом.



## ВИСНОВКИ

Одним із недоліків залізобетону є необхідність застосування опалубки і риштувань при зведенні несучих конструкцій, що значно підвищує їх вартість, витрати матеріалів, праце- та енерговитрати. З цим недоліком провадиться постійна боротьба, наприклад, бетонування в нез'ємній залізобетонній опалубці, застосування збірно-монолітних конструкцій, використання збірного залізобетону. Це не дає бажаного результату, отже все одно доводиться в тому чи іншому вигляді застосовувати опалубку.

Нині широке застосування дістали сталезалізобетонні конструкції, які в своєму складі поєднують бетон, арматурні стрижні та сталеві прокатні профілі. Поряд з високими техніко-економічними показниками при будівництві цих конструкцій у багатьох випадках вдається повністю позбавитися необхідності застосовувати опалубку і риштування, тому що в якості опалубки можна використовувати сталеві прокатні профілі й листи, а робоча арматура з прокатних профілів із успіхом виконує функції риштувань. Але на даний час ця проблема залишається не розв'язаною.

Викладене дозволяє зробити висновок про актуальність дослідження, проектування та впровадження у будівництво залізобетонних конструкцій у нез'ємній опалубці.

Для вирішення цієї задачі в умовах визначеної проблеми в науково-дослідній роботі було зроблено наступне:

1. Уперше запропоновані та створені нові типи залізобетонних балок, плит, наскрізних конструкцій, у яких незнімна опалубка суміщена з функціями робочого армування.
2. Уперше розроблений та випробуваний спосіб забезпечення сумісної роботи бетону та сталі в залізобетонній конструкції у нез'ємній опалубці за допомогою склеювання під час виготовлення.

3. Розроблені методи сумісної роботи бетону й арматури в залізобетонній конструкції, у тому числі спосіб розрахунку місцевої стійкості сталевих листів, що працюють спільно з бетоном.

4. Отримані нові дані аналізу переваг і недоліків у нез'ємній опалубці при їх випробуванні у практичних умовах.

5. Розглянуто існуючі типи нез'ємних опалубок, їх конфігурацію та конструктивні особливості. Аналіз ефективності використання неінвентарних типів опалубок показав зниження трудомісткості опалубних робіт на 35-40% і вартості на 15-40%. Таким чином, допущена можливість застосування нез'ємної опалубки як інноваційного технологічного рішення в процесі зведення висотних монолітних будівель.

6. Розроблена структурно-функціональна модель системи нез'ємної опалубки для влаштування вертикальних конструктивних елементів висотних будинків. На основі обраного матеріалу спроектовані конструктивні рішення опалубки, розраховано вплив навантажень та НДС щитів в ПК "ЛИРА". Виявлено обмеження щодо влаштування нез'ємної опалубки для певних типів вертикальних конструкцій, дано рекомендації щодо їх усунення і, як наслідок цього, підвищення універсальності опалубки.

7. Розраховано техніко-економічні показники опалубки в ПК "АВК-5", визначена ефективність її застосування. Встановлено зменшення вартості опалубних робіт на 12%, трудовитрат – на 27%. За показниками трудомісткості визначено скорочення тривалості опалубних робіт в 1,5 рази. Таким чином, застосування інноваційних технологічних рішень таких, як нез'ємна опалубка, дозволить прискорити темпи будівництва, зменшити собівартість опалубних робіт, а отже, зменшити вартість зведення висотних будинків.

## ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАННИХ ДЖЕРЕЛ

1. Павлов І.Д., Пшегорлінська О.А. Технологія, організація та планування будівництва: навчально-методичний посібник для студентів ЗДІА спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія» денної та заочної форм навчання. Запоріж. держ. інж. акад. Запоріжжя: ЗДІА, 2018. 186 с.
2. Посібник з розробки проектів організації будівництва й проектів виконання робіт (до ДБН А.3.1-5-96). Київ : Укрархбудінформ, 1997. 105 с.
3. Пищаленко Ю. А. Технология возведения зданий и сооружений: учебник для вузов. Киев: Вища школа, 1982. 192 с.
4. Поколенко В. О., Лагутін Г. В., Тугай О. А., Куліков П. М., Борисова Н. О., Приходько Д. О., Чуприна Ю. А., Скакун В. А. Новітні інформаційно-аналітичні моделі управління підготовкою будівництва на засадах девелопменту. Управління розвитком складних систем : зб. наук. пр. Київ: Київ. нац. ун-т буд-ва і архітектури, 2010. Вип. 1. С. 39-42.
5. Торкатюк В. И. Организационно-технологические решения в многоэтажном каркасном строительстве: учебник. Харьков : Вища шк., 1986. 160 с.
6. ДБН В.1.2-12-2008. Будівництво в умовах ущільненої забудови. Вимоги безпеки. [Чинний від 2009-01-01]. Київ: Мінрегіонбуд України, 2008.. 34 с.
7. ДСТУ 3008-2015 Звіти у сфері науки і техніки. Структура та правила оформлення. [Чинний від 2017-07-01]. Вид. офіц.. Київ: ДП «Укр НДНЦ», 2016. 31 с.
8. ДСТУ 8302:2015 Бібліографічні посилання. Загальні положення та правила складання. [Чинний від 2016-01-01]. Вид. офіц.. Київ: ДП «Укр НДНЦ», 2016. 20 с.
9. ДБН Б.2.2-12:2018. Планування і забудова територій. [Чинний від 2016-07-01] Вид. офіц.. Київ: Держбуд України, 2018. 20 с.
10. ДБН В.2.2-15:2019 «Житлові будинки. Основні положення». [Чинні з 2019-01-01]. Київ : Мінрегіонбуд України. 2019. 32 с.

11. Теличенко В. И., Король Е. А., Каган П. Б., Комиссаров С. В., Арутюнов С. Г., Афанасьев А. А. Управление программами и проектами возведения высотных зданий: учебник. Москва : АСВ, 2010. 144 с.
12. Сюй Пэйфу, Фу Сюси, Ван Цуйкунь, Сяо Цунчжэнь Проектирование современных высотных зданий. Москва : АСВ, 2008. 469 с.
13. Fabian D. Hallenbad Siegburg Beispielhaftes Erneuerungsprojekt–Sport+Bader+Freizeit–Bauten, 1985. S. 137–142.
14. Хромов Ю.Б. Внешнее благоустройство и озеленение жилых комплексов : учебное пособие. Ленинград: Стройиздат, 1969. 160 с.
15. Чапкин Е.В. Концепция генерального плана города. Бюллетень строительной техники, № 5/2000. 01.06.2004.
16. Экология города: учебник / под общ. редакцией Ф.В. Стольберга. Киев: Либра, 2000. 464 с.
17. Яргина З.Н., Косицкий Я.В., Владимиров В.В. и др. Основы теории градостроительства: учебник. Москва: Стройиздат. 1986. 326 с.
18. Шаровар М. К., Терех М. Д., Данкевич Н. О. Зведення і монтаж будівель і споруд: методичні вказівки до виконання практичних занять та контрольних робіт на тему: "Розробка технологічних карт на виконання покрівельних робіт з сучасних матеріалів": для студ. ЗДІА спец. 7.092101 "ПЦБ", 7.092103 "МБГ" . Запоріжжя: ЗДІА, 2006. 40 с.
19. Staedtebau: Vielfaltundintegration, AndreasFeldkeller. Muenchen, 2001.
20. Штенгелова Т. І. Технологія реконструкції будівель та споруд: Модуль 1."Реконструкція - специфічна галузь будівельної науки і виробництва": для студ. ден. та заоч. форми навчання ЗДІА: конспект лекцій. Запоріжжя: ЗДІА, 2003. 68 с.
21. Ярмоленко М.Г., Терновий В.І., Скрипник М.А. Технологія будівельного виробництва: підручник. Київ: Вища шк., 1993. 303 с.
22. Ищенко, И.И. Технология каменных и монтажных работ: ученик. Москва: Высш. шк., 1988. 335 с.
23. Кагратапов, Р.А. Монтаж конструкций сборных многоэтажных гражданских и промышленных зданий: учебник. Москва: Стройиздат, 1988. 414 с.

24. Кузнецов, Ю.П. Проектирование железобетонных работ: учебник. Киев: Выща школа, 1986. 278 с.
25. Кузнецов, Ю.П., Прыкин П.В., Резниченко П.О. Проектирование земляных и монтажных работ: учеб. пособие для строит. вузов. Донецк: Выща школа, 1981. 296 с.
26. Кирнос В.М., Залуний В.Ф., Дадиверина Л.Н. Организация строительства: учебник. Днепропетровск: «Пороги», 2005. 309 с.
27. Павлов І.Д. Оптимальні моделі організації будівельного виробництва: навч. посібник. Київ: ІСДО, 1993. 220 с.
28. Пшегорлінська О.А. Організація та планування будівництва об'єктів та комплексів: методичні вказівки до виконання курсового та дипломного проектів. Запоріжжя: ЗДІА, 2002.
29. Черненко В.К., Ярмоленко М.Г., Батура Г.М. Технологія будівельного виробництва: підручник / за ред. В. К. Черненка, М. Г. Ярмоленка. Київ: Вища шк., 2002. 430с.
30. Черненко В.К., Осипов О.Ф., Тонкачєєв Г.М. Технологія монтажу будівельних конструкцій: навчальний посібник / за ред.. В.К. Черненка. Київ: КНУБА, 2010. 372 с.
31. Технологія будівельного виробництва: підручник / за ред. М.Г. Ярмоленка. Київ: Вища шк., 1993. 303 с.
32. Теличенко В.І Технологія зведення будівель і споруд: підручник для будівельних ВУЗів. Київ, 2004. 254 с.
33. Ушацький С.А., Лубенець В.Г. Організація зведення і реконструкції будівель та споруд: навч. посібник. Київ: Вища школа, 1992. 236 с.
34. Ушацький С.А. Організація будівництва: підручник. Київ: Кондор, 2007. 521 с.
35. Карпенко Ю. В. Технологічне забезпечення точності геометричних параметрів конструкцій багатопверхових каркасно-монолітних будівель: автореф. дис. канд. тех. наук: 05.23.08 Харк. держ. техн. ун-т буд-ва і архіт. Х., 2008. 18 с.
36. The Conco Companies // More Power, Less Noise, Zero Emissio. – 2014. Режим доступу: <http://www.conconow.com/more-power-lessnoise-zero-emissions>.

37. Косенков Е.Д. Строительство инженерных высотных сооружений из монолитного железобетона : уч. пособ. Киев: “Будівельник”, 1977. 184 с.
38. Афанасьев А.А., Данилов Н.Н., Копылов В.Д. Технология строительных процессов. Под ред. Н. Н., Данилова, О. М. Терентьева. Изд. 2-е, перераб. Москва: Высшая школа, 2001. 464 с.
39. PERI Formwork Systems [Электронный ресурс] // Skyscrapers. – 2014. – Режим доступа: [http://www.peri.ca/en/projects.cfm/fuseaction/show-reference/reference\\_ID/276/referencecategory\\_ID/6.cfm](http://www.peri.ca/en/projects.cfm/fuseaction/show-reference/reference_ID/276/referencecategory_ID/6.cfm).
40. В. И. Теличенко, О. М. Терентьев, А. А. Лapidус Технология возведения зданий и сооружений: учеб. для строит. вузов. Изд. 2-е, перераб. и доп. Москва: Высшая школа, 2004. 446 с.
41. Николаев С. Безопасность и надежность высотных зданий – это комплекс высокопрофессиональных решений. *Уникальные и специальные технологии в строительстве*. 2004. № 1. С. 8-18.
42. Росковшенко А. Ю. Визначення рівня комфортності багатоквартирного житла в залежності від його поверховості: автореф. дис. канд. арх. : 18.00.02. Київ: Київ. нац. ун-т буд-ва і архіт, 2010. 19 с.
43. Бойко Х. С. Типи будинків та архітектурні конструкції: навч. посіб. Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2012. 196 с.
44. С. Броневицький, А. Броневицьки. Висотне будівництво. *Будівництво України*. 2012. № 2. С. 2-4.
45. Присяжнюк В. Висотне будівництво в м. Київ. *Нові технології в будівництві*. 2006. № 1 (11). С. 4-11.
46. Містобудівна концепція розміщення висотних будинків і споруд в Києві на період до 2020 р. Київ: УАА, 2007. 25 с.
47. М. Ковальський, Г. В. Кузьміна, Г. Л. Ковальська. Архітектурне проектування висотних будинків: навч. посіб. Л. Запоріжжя: ПРИВОЗ ПРИНТ, 2012. 128 с.
48. Маевская М. Отражение вертикалей: Киев и Минск. *Высотные здания*. 2011. № 3. С. 22-31.

49. Проект виконання робіт на улаштування залізобетонних конструкцій вище відм. 0,000 м : проект. докум. / Шифр: 12-27/11-2014-1-ПВР-1.4.1 / ТОВ “АВН КАПІТАЛ” Київ, 2016. 65с.

50. Робочі креслення. Альбом 1.5. Житловий будинок. Секція № 1. Каркас у відмітках +3,800...+76,200. Конструкції залізобетонні [Креслення] : проект. докум. / Шифр: 12-27/11-2011-1-КБ 1.5 / ТОВ “АВН КАПІТАЛ”. Київ, 2014. 69с.

51. Проект: у 18 т. Т. 14 : Організація будівництва. Шифр 21/032016-ПОБ / ТОВ “АВН КАПІТАЛ”. – Київ, 2016. 41с.

52. Разработчики: В. Д. Топчий, Ш. Л. Мачабели, Р. А. Каграманов, Б. В. Жадановский. Строительные нормы и правила. Несущие и ограждающие конструкции: СНиП 3.03.01-87 / – дейст. от 1988-07-01. – М.: Государственный строительный комитет СССР, 1988. 90 с.

53. Бетоны. Материалы. Технологии. Оборудование . Изд. 2-е. Москва: Стройинформ. Ростов н/д; Феникс, 2008. 382 с.

54. Tecwill // Бетонный завод Cobra. 2014. Режим доступа: <http://www.tecwill.com/rus/?ID=1522>.

55. Карпенко Ю. В. Технологічне забезпечення точності геометричних параметрів конструкцій багатопверхових каркасно-монолітних будівель: автореф. дис. канд. тех. наук: 05.23.08. Харків: Харк. держ. техн. ун-т буд-ва і архіт., 2008. 18 с.

56. The Conco Companies // More Power, Less Noise, Zero Emissio. – 2014. Режим доступа: <http://www.conconow.com/more-power-lessnoise-zero-emissions>.

57. Косенков Е.Д. Строительство инженерных высотных сооружений из монолитного железобетона : уч. пособ. Киев: Будівельник, 1977. 184 с.

58. Ушацький С.А., Лубенець В.Г. Організація зведення і реконструкції будівель та споруд: навч. посібник. Київ: Вища школа, 1992. 236 с.

59. Ушацький С.А. Організація будівництва: підручник. Київ: Кондор, 2007. 521 с.