

УДК 699.85

**STRESS-STRAIN STATE OF SHELTER STRUCTURES UNDER THE ACTION OF AIR SHOCK WAVE****НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНІЙ СТАН КОНСТРУКЦІЙ УКРИТТЯ ПРИ ДІЇ ПОВІТРЯНОЇ УДАРНОЇ ХВИЛІ****Koliakova V. / Колякова В.***s.t.s., as.prof. / к.т.н., доц.*

ORCID: 0000-0001-6879-8520

*Kyiv National University of Construction and Architecture,**Kyiv, Povitroflotsky ave, 31, 03186**Київський національний університет будівництва і архітектури,**м. Київ, пр-т Повітрофлотський 31, 03186***Dumych A. / Думич А.***master, design engineer / магістр, інженер-проектувальник*

ORCID: 0009-0006-6784-1172

*BIP-PM, LTD, Kyiv, Vozdvyzhenska 52-54a, 04071**ТОВ "БІП-ПМ", м. Київ, Воздвиженська 52-54а, 04071***Sumak A. / Сумак А.***bachelor's student / здобувач першого (бакалаврського) рівня вищої освіти**Kyiv National University of Construction and Architecture,**Kyiv, Povitroflotsky ave, 31, 03186**Київський національний університет будівництва і архітектури,**м. Київ, пр-т Повітрофлотський 31, 03186*

**Анотація.** У роботі розглядається напружено-деформований стан конструкції укриття при дії повітряної ударної хвилі на прикладі 7-ми поверхової експериментального житлового будинку.

**Ключові слова:** моделювання, повітряна ударна хвиля, укриття, захисні споруди, напружено-деформований стан.

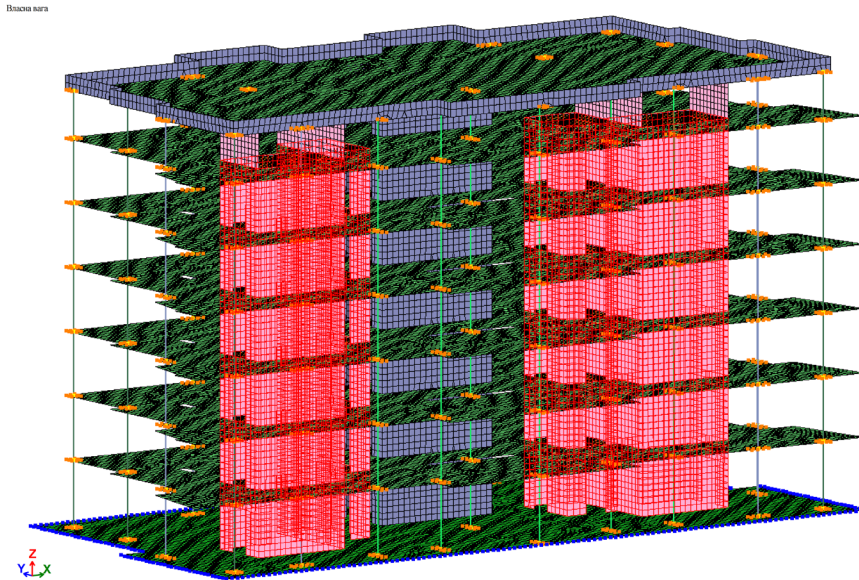
**Abstract.** The paper considers the stress-strain state of shelter structures under the action of an air shock wave on the example of a 7-storey experimental residential building.

**Key words:** modeling, air shock wave, shelter, protective structures, stress-strain state

**Вступ.**

У сучасній будівельній сфері укриття стали необхідною складовою процесу будівництва. З набуттям чинності оновленої Державної будівельної норми (ДБН), майже всі нові проекти в галузі цивільного будівництва розробляються з урахуванням потреби в наявності укриття в приміщеннях. ДБН В.2.2-5:2023 не включають розрахункових випадків прямого потрапляння боєприпасів з вибухом на поверхні або у безпосередній близькості до стін (покриття) захисних споруд (за винятком прямого потрапляння уламків), а також впливу фугасних, направлених вибухів, акумулятивних зарядів та боєприпасів із відкладеним підземним вибухом.

Фортифікаційні споруди є основою для розробки та створення укриттів. У зв'язку зі скороченим часом прильоту ракет у міста України, що прилягають до кордону, було вирішено проаналізувати досвід Ізраїлю у проектуванні та будівництві захисних кімнат.



**Рисунок 1 – Розрахункова модель**

*Авторська розробка*

### **Розрахунок та аналіз напружено-деформованого стану конструкцій укриття**

Було проведено моделювання будівлі з використанням ПК САПФІР, а розрахунки конструкцій укриття виконано за допомогою ПК ЛІРА-САПР. Розроблена розрахункова схема експериментальної будівлі включає в себе розташовані в ній захисні кімнати, (рисунок 1).

Усі навантаження від ударної хвилі були враховані для різних класів сховищ. При розробці захисних кімнат взятий за основу досвід Ізраїлю у створенні захисних кімнат-укриттів (мамадів), які будуються як єдиний стояк від фундаменту та можуть мати зовнішні стіни. Ці кімнати будуються поруч із будівлями старої забудови або враховуються при проектуванні нових будівель.

Існує кілька причин для створення кімнат-укриттів, таких як короткий час прильоту ракет, розташування цивільних осіб у небезпечних зонах або необхідність укриття для мешканців верхніх поверхів через велику відстань до підземних укриттів.

Згідно з [5], надмірний тиск від повітряної ударної хвилі для сховищ приймається від 100 кПа до 500 кПа, в залежності від класу сховища. Для ПРУ всіх класів надмірний тиск становить 100 кПа.

При розрахунку навантажень використовувались параметри, аналогічні тим, що застосовуються для укриттів, розташованих за легкоруйнівними конструкціями. Результати отримані в ПК ЛІРА-САПР були використані для визначення армування плити перекриття та стін захисних кімнат. Для захисту від вторинного сколювання необхідно виконувати армування мінімум у 3 ряди сіток зі зміщенням чарунки на 1/3 кроку, крок арматури в кожній сітці максимум 150 мм, мінімально-допустимий діаметр арматури 12 мм.

Для дослідження було прийнято 3 значення навантаження від дії ударної хвилі за [5], додатку А, таблиці А.1, значення як для сховищ класу А-IV (100кПа), А-II (300кПа) та А-I (500кПа). З урахуванням формул приведення

навантаження на стіни (1) та плити (2) перекриття та коефіцієнтом динамічності ( $K_d$ ) відповідно до вищезгаданого ДБН (таблиця 1).

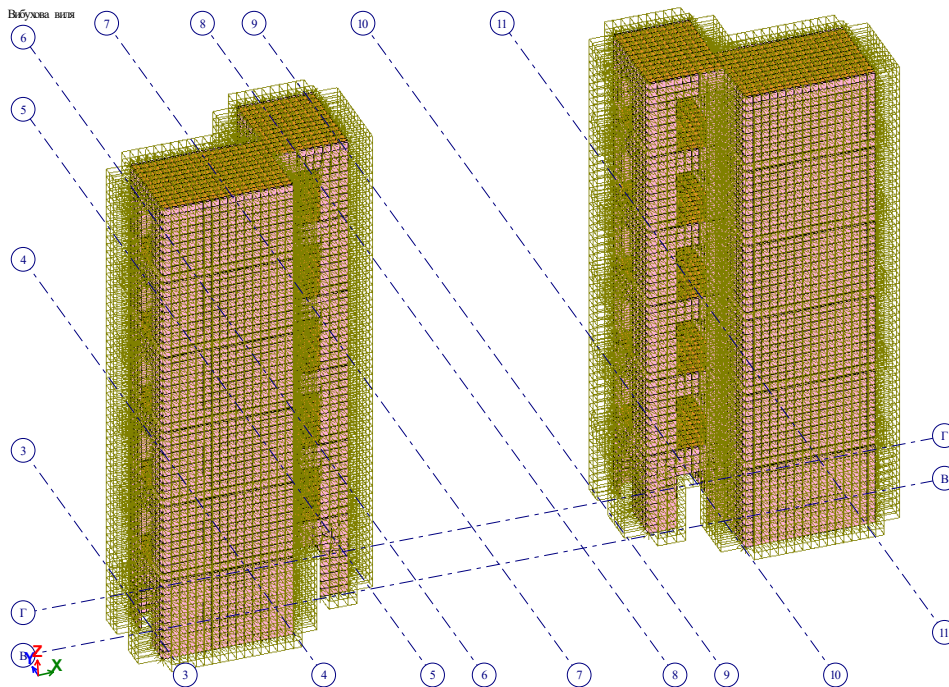
$$q_{ex,edv} = (2 \cdot \Delta P_{ex} + 6 \cdot \Delta P_{ex}^2 / (\Delta P_{ex} + 720)) \cdot K_d; \quad (1)$$

$$q_{ex,edv} = \Delta P_{ex} \cdot K_d \quad (2)$$

**Таблиця 1 – Прикладені навантаження від повітряної ударної хвилі**

	Клас сховища А-VI, надмірний тиск 100кПа	Клас сховища А-II, надмірний тиск 300кПа	Клас сховища А-I, надмірний тиск 500кПа
На стіни укриття	355,1 кН/м <sup>2</sup>	1468,2 кН/м <sup>2</sup>	2898,4 кН/м <sup>2</sup>
На плити укриття	120 кН/м <sup>2</sup>	360 кН/м <sup>2</sup>	600 кН/м <sup>2</sup>

*Авторська розробка*



**Рисунок 2 – Розрахункова схема захисних кімнат із заданим навантаженням від дії повітряної ударної хвилі**

*Авторська розробка*

Після кількох ітерацій, в ході яких проводилося збільшення товщини стін для різних класів сховищ, були визначені мінімально можливі товщини стін захисних кімнат. При цьому дотримувались умови армування на рівні 4%, і результати були перевірені за допомогою ручного розрахунку. Остаточні значення прийняті наступні:

- для класу сховищ А-IV з надмірним тиском у 100кПа, товщина стін розрахованих у ПК ЛІРА-САПР - 350мм, при ручному розрахунку 400мм;
- для класу сховищ А-II з надмірним тиском у 300кПа, товщина стін розрахованих у ПК ЛІРА-САПР - 400мм, при ручному розрахунку 700мм;
- для класу сховищ А-I з надмірним тиском у 500кПа, товщина стін

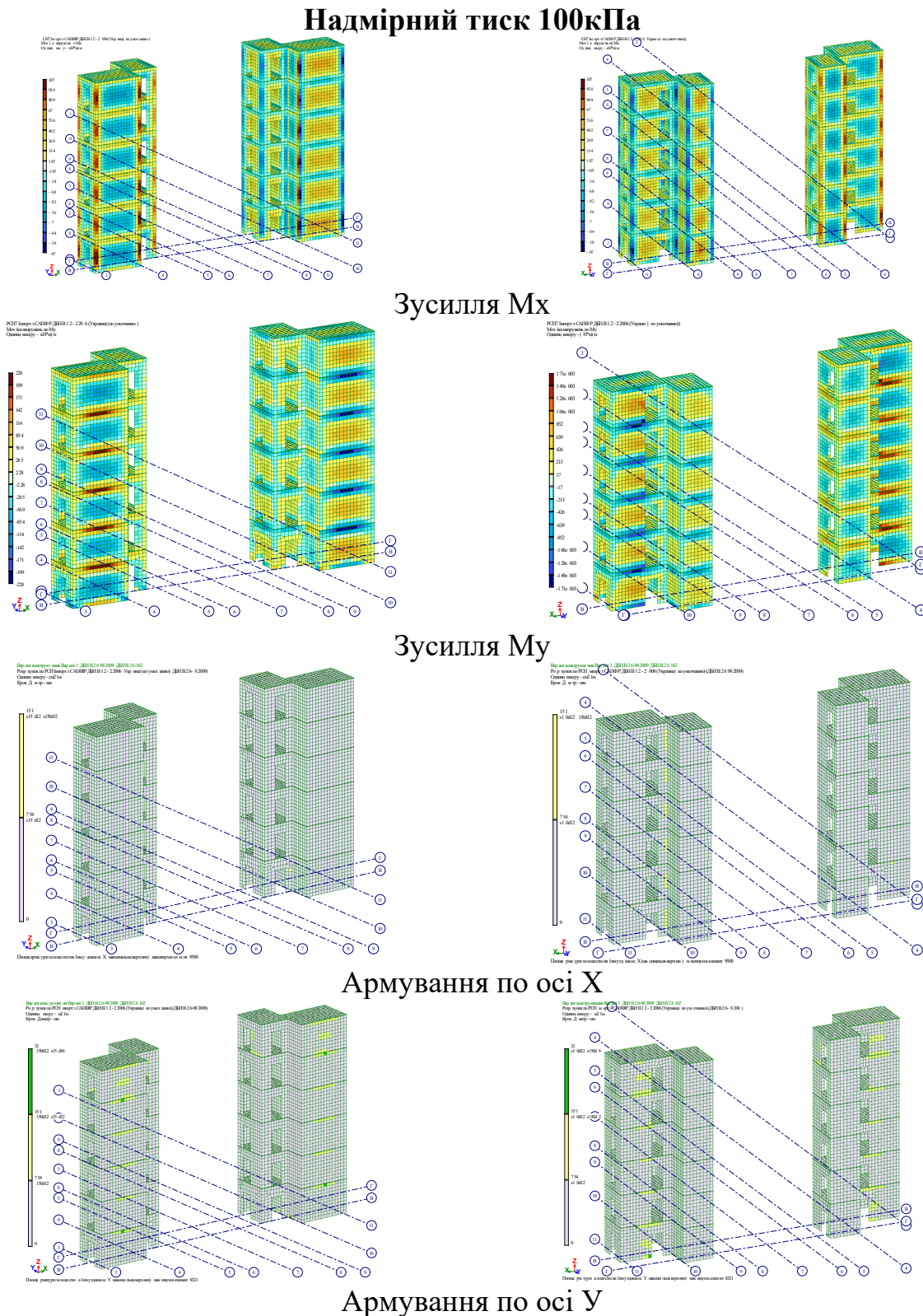


розрахованих у ПК ЛІРА-САПР - 900мм, при ручному розрахунку 1500мм.

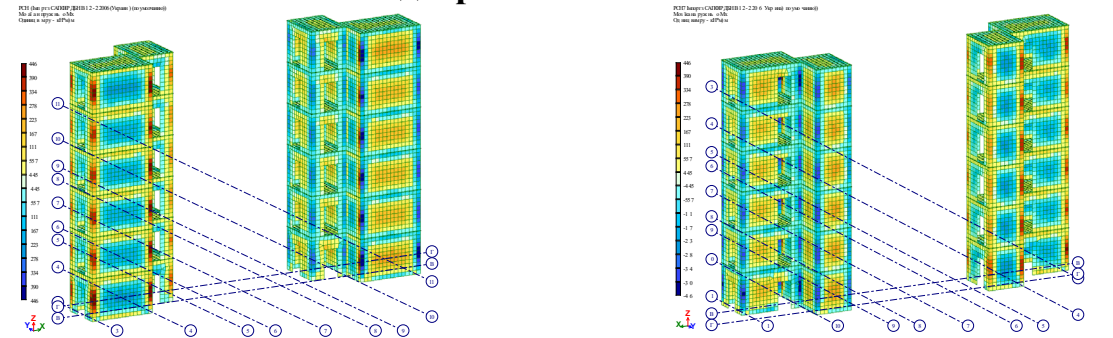
Товщини плит переkritтя лишались не змінними – 350мм.

В таблиці 2 наведені отримані дані зусиль та армування, що виникають при різних значеннях навантаження від повітряної ударної хвилі.

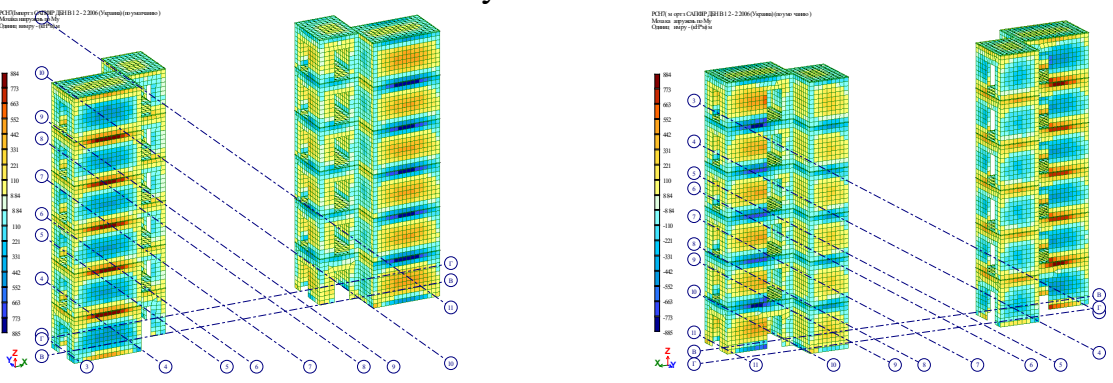
**Таблиця 2 – Зусилля та армування, що виникають за різного значення навантаження від повітряної ударної хвилі**



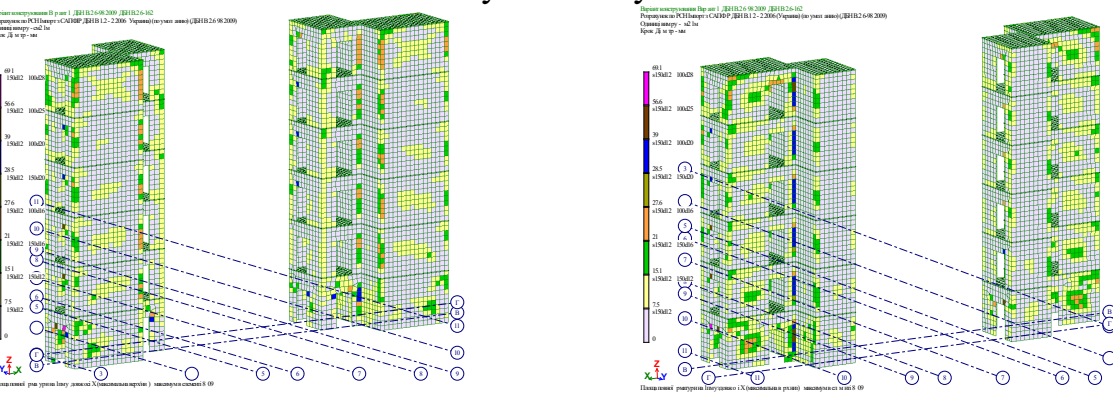
### Надмірний тиск 300кПа



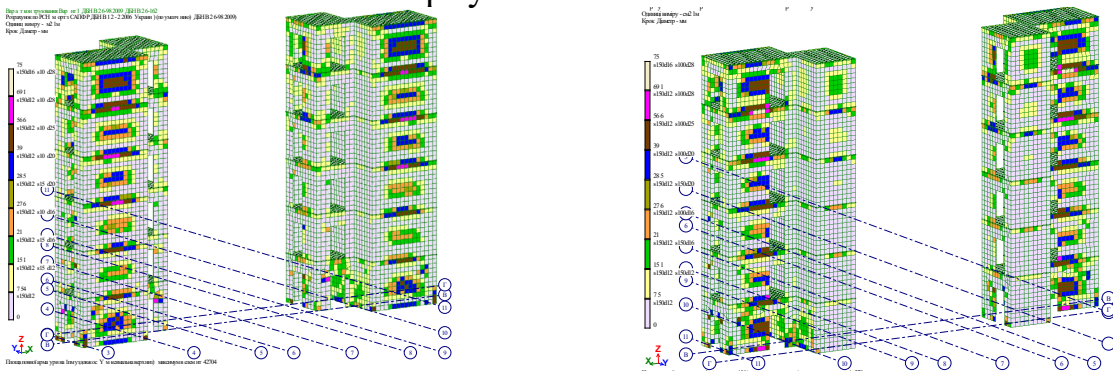
### Зусилля Mx



### Зусилля My



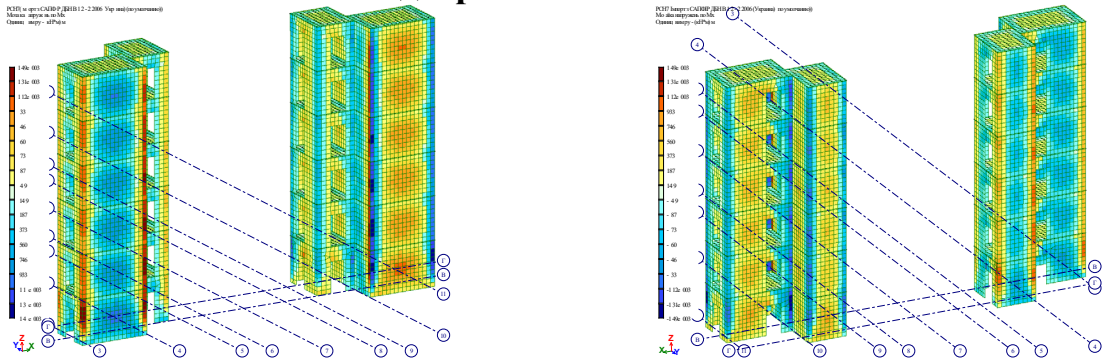
### Армування по осі X



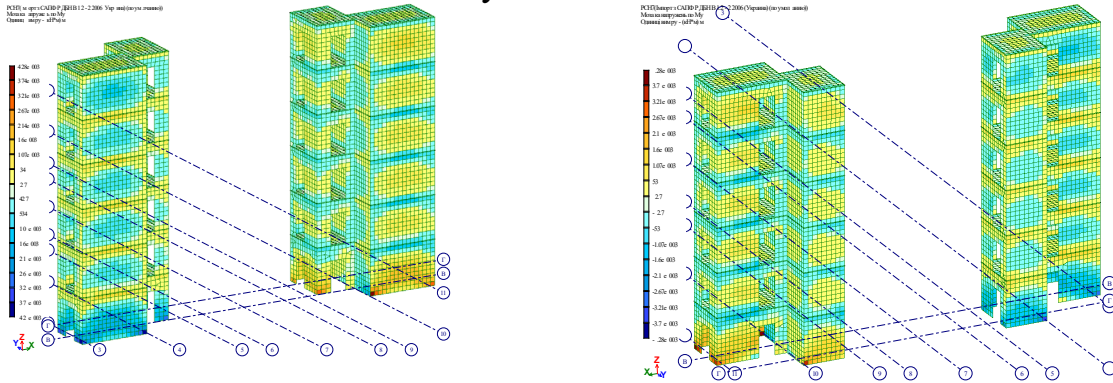
### Армування по осі Y



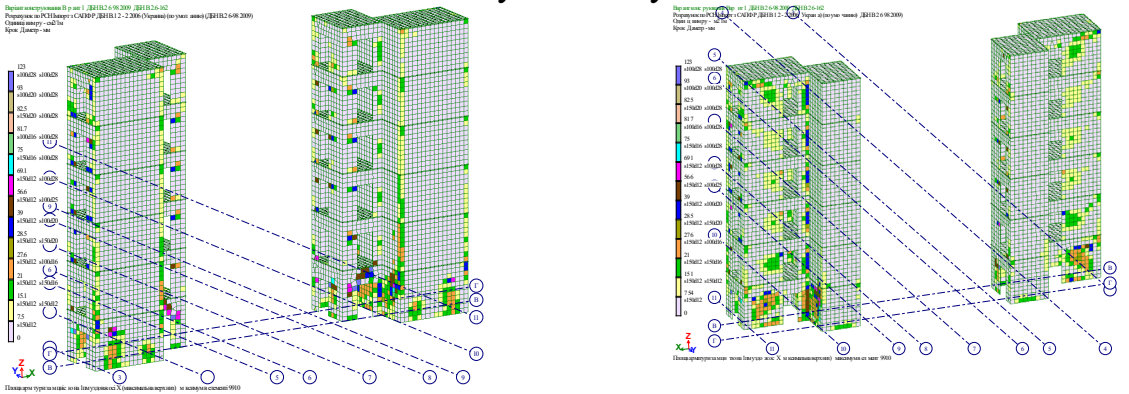
### Надмірний тиск 500кПа



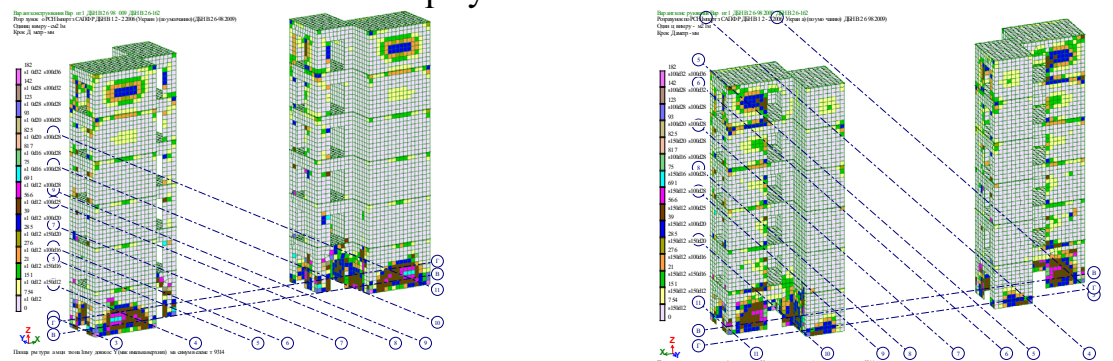
### Зусилля Mx



### Зусилля My



### Армування по осі X



### Армування по осі Y

Авторська розробка

### Висновки.

1. Товщина плити, яку було прийнято, в значній мірі відрізняється в залежності від класу сховища, який, в свою чергу, обумовлений величезними

значеннями прикладених навантажень. За результатами проведеного дослідження встановлено, що товщина плити залишається незмінною для усіх трьох класів сховищ, і складає 350 мм. Це пояснюється обмеженою площею захисних кімнат у порівнянні з загальною площею будівлі, що забезпечує стійкість каркасу. Захисні кімнати служать додатковими елементами жорсткості для конструкції будівлі, що зменшує необхідність у розташуванні колон або пілонів та навантаження на них.

2. Встановлення дверей до кімнат-укриттів передбачається при будівництві залізобетонних стін. Оскільки ці двері повинні бути металевими та витримувати навантаження від ударної хвилі.

3. Однією з причин виникнення великих напружень є вага самого укриття. Іншими словами, навантаження від кімнат-укриттів верхніх поверхів передається на стіни укриття першого поверху, що вимагає застосування арматури великого діаметру з невеликим кроком.

4. Слід враховувати кількість поверхів, на яких будуть розташовані кімнати-укриття. Чим більше поверхів, тим більша товщина стін укриття потрібна на поверсі, що межує з фундаментом.

### Література:

1. Думич А., Колякова В., Третяк Д. Конструктивні особливості внутрішньо-квартирних укриттів». /Тези доповідей IV Міжнародної науково-практичної конференції "Будівлі та споруди спеціального призначення: матеріали та конструкції".- Київ, КНУБА.- с. 105-106

2. Думич А. Вплив вибухової хвилі на напружено-деформований стан конструкцій укриття [Електронний ресурс] / А. Думич, В. Колякова, А. Сердечна // Робоча програма міжнародної науково-практичної конференції молодих вчених «BUILD-MASTER-CLASS-2023».– 2023. – Режим доступу до ресурсу:

<https://drive.google.com/file/d/1TIxi2BbXFBTCEqfCMrdQ3LRsn99bjefx/view>.

3. Гетун, Г., Колякова, В., Безклубенко, І., & Соломін, А. (2023). Конструктивні рішення вибухостійких будівель з приміщеннями цивільного захисту населення. Будівельні конструкції. Теорія і практика, (13), 41–50. <https://doi.org/10.32347/2522-4182.13.2023.41-50>

4. V.I. Kotsyuruba, I.P. Datsenko, V.O. Dachkovsky, R.M. Cherevko, V.M. Polyulyak, O.A. Ivashchuk, I.I. Furman, «Influence of air shock wave on shelter»./Опір матеріалів і теорія споруд/Strength of Materials and Theory of Structures - № 105. – Київ, Україна. - 2020. – с. 133-144.

5. ДБН В.2.2-5:2023 "Захисні споруди цивільного захисту." [Чинні від 01.11.2023] - Київ: Державне агентство з питань будівництва та житлово-комунального господарства України, - 2023. – 122 с.

6. ДБН В.2.6-98:2009 Конструкції будинків і споруд. Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення. Зі Зміною № 1. [Чинні від 24.12.2009] - Київ: Державне агентство з питань будівництва та житлово-комунального господарства України, - 2009. – 50 с.

7. ДБН В.1.2-14:2018 Система забезпечення надійності та безпеки

будівельних об'єктів. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель і споруд. Зі Зміною № 1 [Чинні від 02.08.2018]- Київ: Державне агентство з питань будівництва та житлово-комунального господарства України, - 20018. – 36 с.

*Науковий керівник: к.т.н., доц. Колякова В.*

Стаття отправлена: 20.01.2023 г.

© Віра Колякова, Анастасія Думич, Андрій Сумак