

## СПОСОБИ ПІДВИЩЕННЯ СТІЙКОСТІ ДО ПРОГРЕСУЮЧОГО РУЙНУВАННЯ В БАГАТОПОВЕРХОВИХ КАРКАСНО-МОНОЛІТНИХ БУДІВЛЯХ

Вінницький національний технічний університете

**Анотація:** визначено вплив прийнятих конструктивно-планувальних рішень для забезпеченню стійкості будівлі від прогресуючих руйнувань. Запропоновано рекомендації конструктивно-планувальних рішень.

**Ключові слова:** прогресуюче руйнування, заходи, стійкість, більш міцніші матеріали, блок жорсткості, коефіцієнт армування.

**Annotation:** it is intended to pour in the adopted architectural and planuval solutions for securing the stiffness of the future from progressive ruynuvan. The recommendations of architectural and planning solutions have been analyzed.

**Key words:** progresuyuche ruynuvannya, style, come in, block of zhorstkost, more technical materials, functional armoring.

Метою даної роботи є: виконати аналіз та узагальнити існуючий інженерний досвід, на основі чисельного моделювання оцінити ефективність інженерних заходів з підвищення стійкості будівель до прогресуючого руйнування, розробити рекомендації з підвищення стійкості до прогресуючого руйнування.

Об'єкт дослідження – дев'ятиповерхова (безригельна каркасна) житлова будівля в с. Софіївська Борщагівка Києво-Святошинського району Київської.

Предмет дослідження – напружено-деформований стан будівлі при моделюванні прогресуючого обвалення в ПК «ЛПРА-САПР».

В роботі був виконаний:

- огляд та аналіз наявних літературних джерел які стосуються питання забезпечення стійкості багатоповерхових житлових будівель до дій прогресуючого руйнування;
- числові моделювання із заходами проти прогресуючого руйнування та без них;
- оцінка ефективності результатів від застосування заходів;
- висновки і рекомендації по отриманих результатах.

Розглянемо такі проблеми, що висотні, багатоповерхові будівлі вразливі до можливих позаштатних ситуацій, які можуть призводити до лавиноподібного (прогресуючого) руйнування. Тому окрім звичайних розрахункових ситуацій, що повинні передбачатися під час проектування, слід аналізувати можливість виникнення і наслідки аварійних ситуацій, що можуть виникнути за рахунок позапроектних впливів вказаних у додатку В [1].

Найперше що потрібно, оцінити стійкість до прогресуючого руйнування каркасу багатоповерхової житлової будівлі та розглянути можливі конструктивні варіанти з підвищення стійкості та виконати їх оцінку на основі числового моделювання в ПК «ЛПРА-САПР» [2].

Розробити розрахункову схему аналітичної моделі будівлі, що найбільш наближену до реальної, оцінити параметри НДС конструктивних елементів будівлі, що відбудеться при місцевому руйнуванні несучої конструкції будівлі.

Об'єктом для дослідження було використано 9-ти поверховий каркасно-монолітний житловий будинок. В підвальному приміщенні розташований автопаркінг, тому в дослідженні розглядається руйнування несучої конструкції (пілону) який постраждав від зіткнення з автомобілем.

При вирішенні поставленої задачі було:

Закомпоновано в ПК «ARCHICAD» каркас будівлі. Завдяки формату – ifc- імпортувано схему в ПК «Сапфір». В «Сапфірі» схему було доопрацьовано у відповідну розрахункову модель для подальшого розрахунку в ПК «ЛІРА-САПР» Навантаження, а також матеріали і конструктив відповідно проекту.

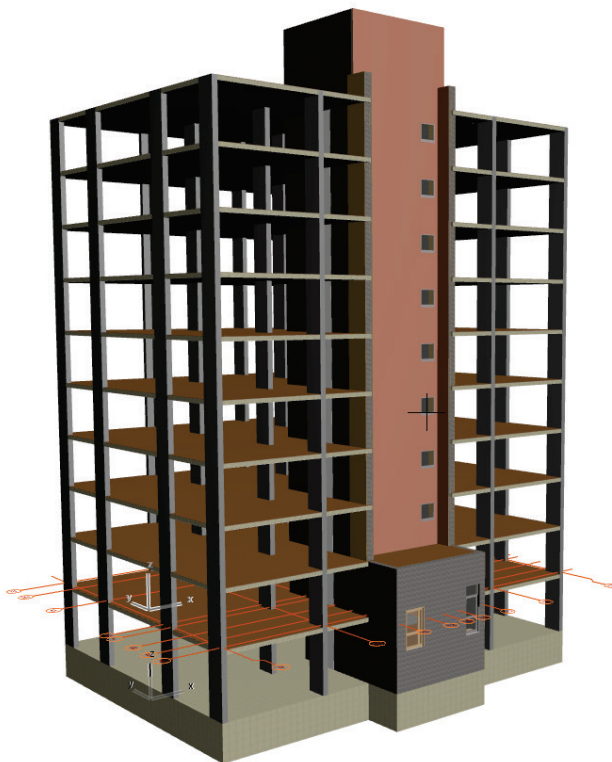


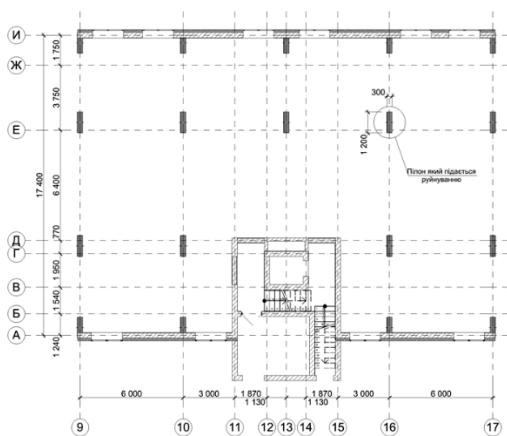
Рисунок 1 - Конструкція каркасу дев'яти поверхової будівлі

Для моделювання створено три розрахункові схеми із різними рішеннями:

Схема №1 схема із традиційними рішеннями, перекриття бетон класу C20/25 і пілони бетон C15/20.

Схема №2 використання більш міцнішого бетону, перекриття бетон класу C25/30 і пілони бетон C20/25 також збільшено коефіцієнт армування в 2 рази.

Схема №3 на дев'ятому поверсі влаштовано блок жорсткості, завдяки заміні частин стін на залізобетоні, спільна робота каркасу, перекриття і залізобетонних стін утворює блок жорсткості.



План поверху на якому “виключається” несучий елемент

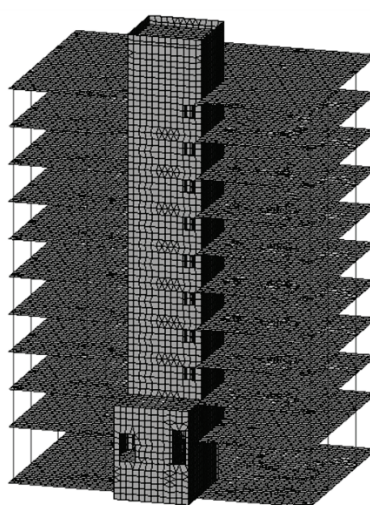


Схема №1 та схема №2

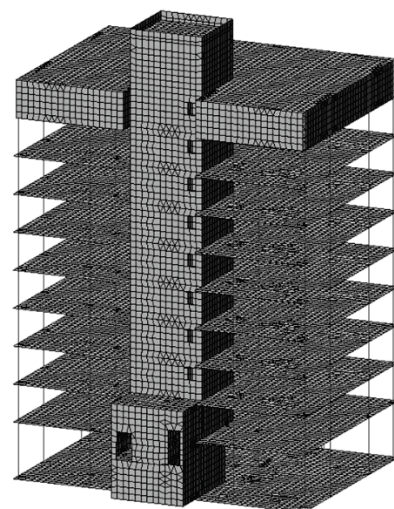


Схема №3

Рисунок 2 – План паркінгу і вигляд схем.

Для того щоб розрахунок провести із урахуванням фізичної нелінійності потрібно виконати статичний розрахунок моделі з врахуванням підбору арматури в елементах, після чого для моделювання фізичної нелінійності було замінено тип скінченних елементів в результаті якого тип 10 автоматично замінюється на 210 (фізично нелінійний універсальний просторовий стержневий елемент), типи 42, 44 на 242, 244 (фізично нелінійний універсальний трикутний і чотирикутний KE оболонки).

За допомогою Модуля ПК «Монтаж» в ЛІРІ опрацьовують стадії спочатку зведення, а після виконується моделювання обвалення конструкції. Це робиться за для того щоб врахувати всі елементи конструкції без винятку, а після врахування демонтованої несучої конструкції.

Без врахування процесу монтажу який моделюють відповідно до кількості стадій зведення будівлі, нелінійний розрахунок не буде проведений тому, що при розрахунку процес руйнування не буде змодельований;

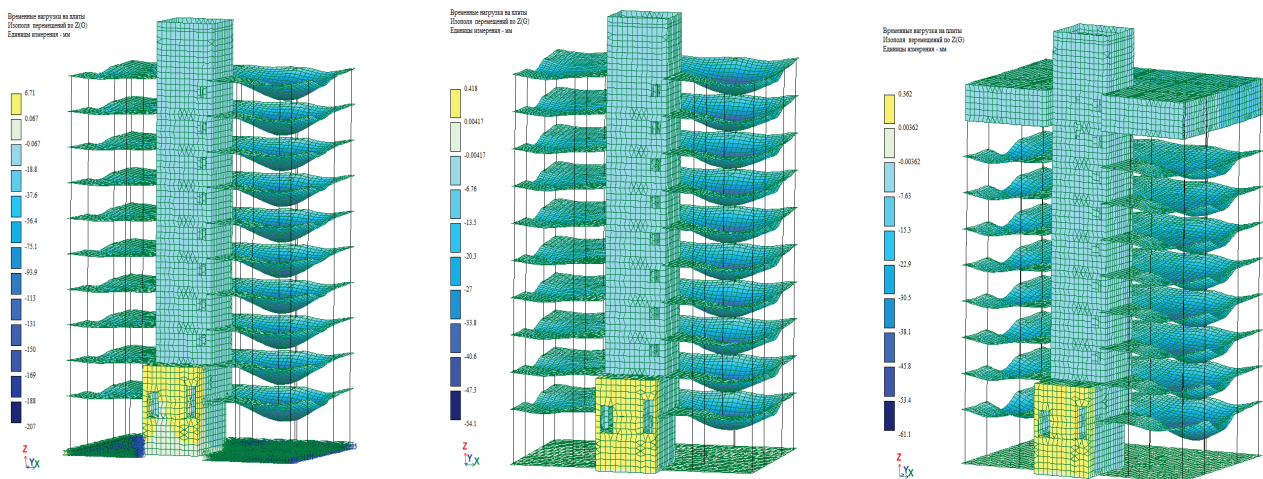


Рисунок 3 - Ізополя переміщень по осі Z відповідно у схемах (№1-№3)

Результати розрахунку які були отримані із ПК «ЛІРА-САПР» є переміщення і зусилля. На рисунку 3 можна спостерігати ізополя переміщення по осі Z у кожній схемі. Переміщення максимальне в схемі №1 в місці руйнування складає 207мм, в схемах №2 і №3 відповідно 54мм та 61мм.

На наступних рисунках 4-6 показано зусилля в пілонах які не постраждали і продовжують нести навантаження після аварії. Максимальні зусилля у стержнях 18 і 19, мінімальні значення в стержнях 5 і 17.

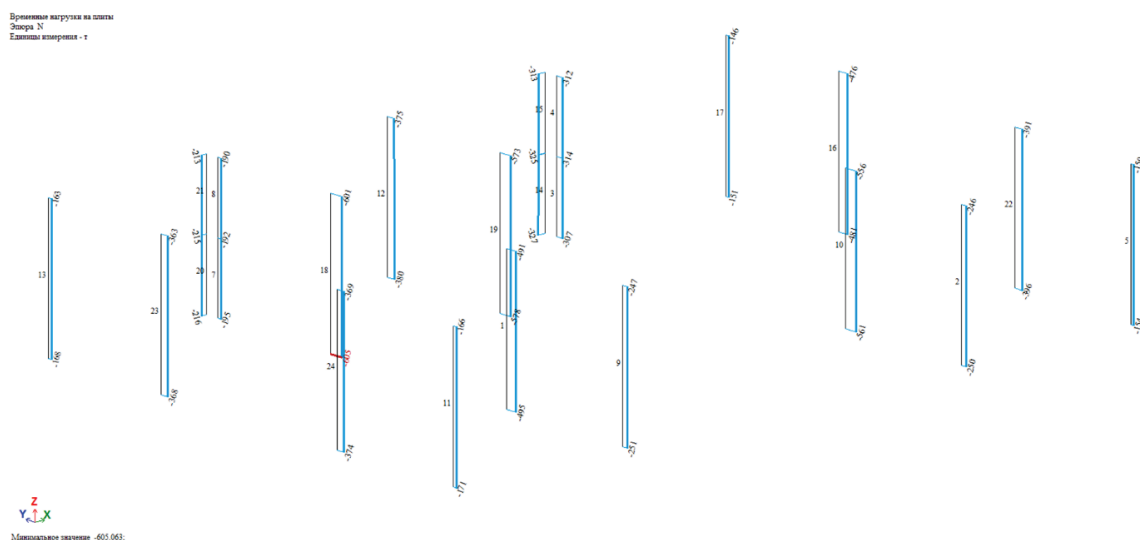
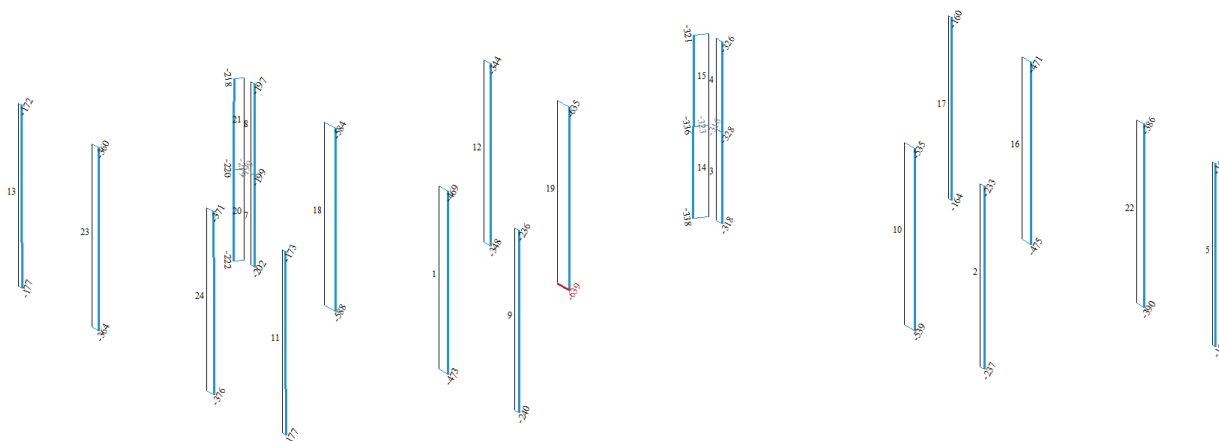


Рисунок 4 - Зусилля в пілонах цокольного поверху в схемі №1 (максимальні значення 605т, а мінімальне значення 151т).

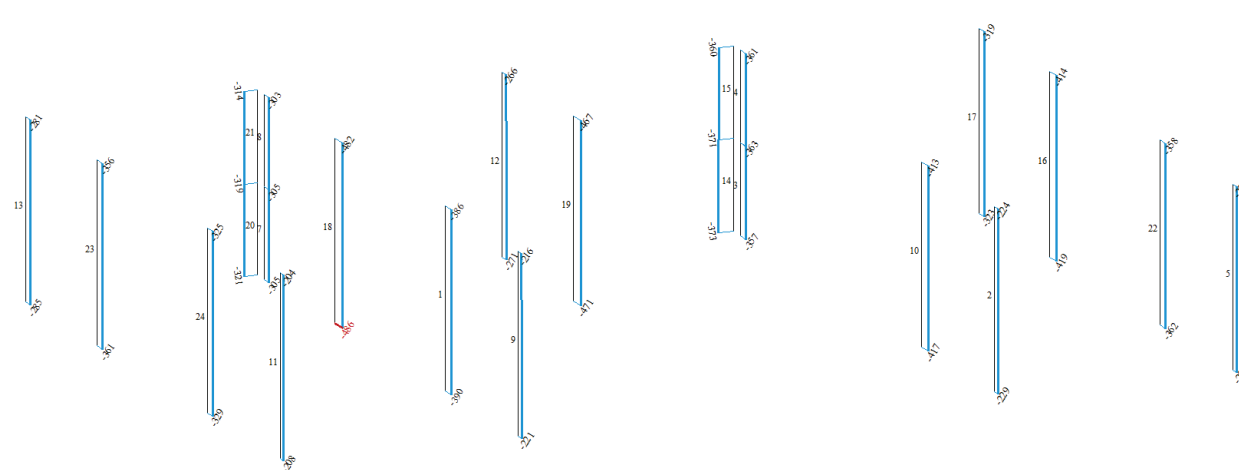
Временные нагрузки на плиты  
Экспр. N  
Единицы измерения - т



Максимальное значение - 639,266;

Рисунок 5 - Зусилля в пілонах цокольного поверху в схемі №2 (максимальні значення 639т, а мінімальне значення 164т).

Временные нагрузки на плиты  
Экспр. N  
Единицы измерения - т



Максимальное значение - 486,262;

Рисунок 6 - Зусилля в пілонах цокольного поверху в схемі №3 (максимальні значення 486т, а мінімальне значення 228т).

Підсумок отриманих результатів показано у таблиці 2.

Таблиця 2 – Значення переміщень та зусиль у схемах

Найменування	Схема №1	Схема №2	Схема №3
Переміщення в, мм	207	54,1	61,1
Максимальні значення зусиль в, т			
Елемент 18	605	588	486
Елемент 19	576	639	471
Мінімальні значення зусиль в, т			
Елемент 5	154	164	228
Елемент 17	151	167	323
max-min в, т	451	472	258
Відношення різниці %	74	74	53

Аналізуючи різницю max переміщень можна констатувати дієвість призначених інженерних рішень. Значення зменшилися порівняно із схемою №1 що найменше у три рази. Зусилля в запропонованих

схемах №2 і №3 різні, не зважаючи на зменшення переміщень. Різниця значень зусиль  $\max$  і  $\min$  у відсотках в схемах №1 та №2 співвідносяться однаково, а от у схемі №3 значення на 21% менші.

## Висновки

За результатами числового моделювання можна стверджувати, що ефективність протидії прогресуючому руйнуванню і при використанні більш міцніших матеріалів, і при використанні жорсткого блоку на 9-у поверсі будівлі дієві.

Завдяки більш міцнішим матеріалам і збільшенню коефіцієнта армування, який не перевищує допустимі значення, будівля набуває більшої стійкості завдяки якій ймовірність прогресуючого руйнування значно зменшується. Недоліком цього варіанту є перевантаження сусідніх несучих елементів, але даний спосіб протидії дієвий і це підтверджується дослідженням.

Жорсткий блок перерозподіляє навантаження на несучі конструкції, які розташовані в нижній частині будівлі. При виході із ладу одного з вертикальних несучих елементів, навантаження на себе беруть не тільки сусідні, але і віддалені елементи. Жорсткий блок перерозподіляє навантаження і зменшує руйнування, несучі елементи не перевантажуються так як у випадку із використанням більш міцніших матеріалів, що дає даному методу певну перевагу.

Запропоновано перелік рекомендованих конструктивно-планувальні рішень для попередження прогресуючого руйнування:

- проектування каркасу будівлі із більш міцніших матеріалів, а ніж то прийнято традиційно, збільшити коефіцієнт армування;
- влаштування в багатоповерховій будівлі жорстких міжповерхових блоків встановлених із кроком 9 поверхів, а можливо і частіше;
- зменшення кроку несучих конструкцій для зменшення вантажної площі.
- в будівлях каркасного типу несучими елементами якого виступають колони (або пілони), які неможливо захистити від непередбачуваного руйнівного впливу (обвалення прогресуючого типу), необхідно закладати певний резерв запасу міцності.

## СПИСОК ДЖЕРЕЛ

1. ДБН В.1.2-14:2018 Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель і споруд: Мінрегіонбуд України, 2018. – 30 с.
2. Водопьянов Р.Ю., Губченко В.Е. Новый функционал ПК ЛИРА-САПР 2020 для расчета на устойчивость к прогрессирующему (лавинообразному/цепному) обрушению: сопровождение ПК «ЛИРА-САПР» Москва - 2020 - URL: [https://rflira.ru/files/events/2020/LIRA-SAPR\\_2020\\_collapse.pdf](https://rflira.ru/files/events/2020/LIRA-SAPR_2020_collapse.pdf)

Басистий Віталій Олександрович, маг. гр. Б-19м, Вінницький національний технічний університет, факультет будівництва теплоенергетики тагазопостачання, e-mail: [vital.bass1@gmail.com](mailto:vital.bass1@gmail.com).

Керівник: Андрухов Валерій Михайлович, к.т.н., доцент кафедри ПЦБ, член-кореспондент академії будівництва України, заст. завідувача кафедри, очолює роботу СПКБ «ВІННИЦЯ-XXI».

Basistiy Vitaliy Oleksandrovych, Art. gr. B-19m, Vinnytsia National Technical University, Faculty of Building Heat and Power Engineering, gas supply, e-mail: [vital.bass1@gmail.com](mailto:vital.bass1@gmail.com).

Kerivnik: Andrukhov Valeriy Mikhailovich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of PCB, Corresponding Member of the Academy of Budgetary Ukraine, St. Head of the department, ocholye to the work of SPKB "VINNITSYA-XXI".