

Взаємозалежність конструктивних і розрахункових схем будівлі

Володимир Кріпак¹, Віра Колякова²

^{1,2}Київський національний університет будівництва і архітектури

31, просп. Повітрофлотський, Київ, Україна, 03037

¹ kripak.vd@gmail.com, <http://orcid.org/0000-0001-6575-5015>

² vkolyakova@gmail.com, <http://orcid.org/0000-0001-6879-8520>

DOI: 10.32347/2522-4182.8.2021.17-24

Анотація. На стадії проектування дуже важливим для формування надійності будь-якої будівлі являється етап формування розрахункової моделі будівлі, який являється основою для конструювання її несучих елементів. Основним на цьому етапі являється адекватність прийнятої розрахункової моделі дійсній конструктивній схемі. Дуже важливою умовою для оцінки дійсної роботи будівлі, являється врахування спільної роботи верхньої частини будівлі (каркасу) з фундаментами і ґрунтовою основою.

У статті на прикладі 9-ти поверхової будівлі паркінгу, побудованої на початку 2000 років на площі Перемоги в м. Києві розглянуто деякі проблеми в роботі конструкцій, які пов'язані з вибором розрахункових моделей, використаних при їх проектуванні.

Чисельними дослідженнями з використанням ПК ЛІРА-САПР проаналізовано вплив спільної роботи каркасу і фундаментів на зусилля на їх контакт.

Виявлено, що:

- вплив спільної роботи каркасу і фундаментів суттєвий і проявляється тільки в межах декількох нижніх поверхів каркасу;
- врахування нелінійної роботи залізобетонних конструкцій в більшості випадків суттєво знижує розрахункові зусилля в пікових точках – концентраторах;
- в процесі проектування необхідно розглядати і аналізувати варіантні конструктивні рішення системи.

Ключові слова. Надійність; колона; фундамент; напружений стан; моделювання; чисельні методи.



Володимир Кріпак
професор кафедри
залізобетонних та кам'яних
конструкцій
к.т.н., професор



Віра Колякова
доцент кафедри
залізобетонних та кам'яних
конструкцій
к.т.н., доцент

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Надійність кожної будівлі забезпечується відповідними засобами на всіх стадіях її життєвого циклу, при проектуванні, зведенні та експлуатації.

Кожен етап життєвого циклу будівлі важливий і має свої, регламентовані відповідними нормативними документами, стандартні вимоги, правила і обмеження [1].

На стадії проектування дуже важливим для формування надійності являється етап статичного розрахунку будівлі, який являється основою для конструювання її несучих елементів. Основним на цьому етапі являється адекватність прийнятої розрахункової моделі, тобто наскільки точно розрахункова модель описує дійсну роботу будівлі [2]. Сьогодні важливою, і уже практично необхідною, умовою для оцінки дійсної роботи будівлі, являється врахування спільної роботи верхньої частини будівлі з фундаментами і ґрунтовою основою.

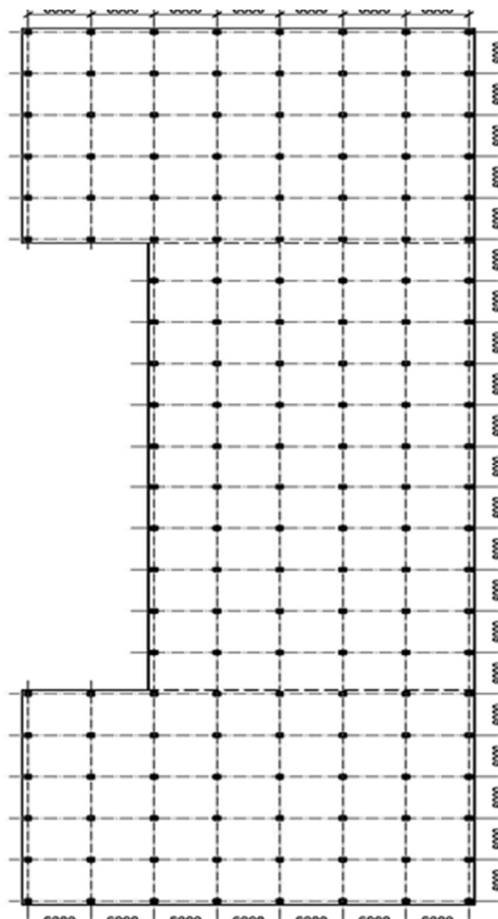
Слід зауважити, що цей етап проектування найменше формалізований і, в значній мірі, залежить від кваліфікації проектувальника, його розуміння і оцінки роботи будівлі як конструктивної системи: ґрунтова основа – фундамент – несучий каркас. Тому надійність системи залежить від надійності кожного елемента, що утворюють вказану конструктивну систему.

Поряд з надійним розрахунком системи не менш важливим є правильне конструювання фундаментів. Конструкція фундаментів повинна забезпечити необхідний резерв надійності для компенсації обмеженої точності як вихідних даних так і розрахункової моделі.

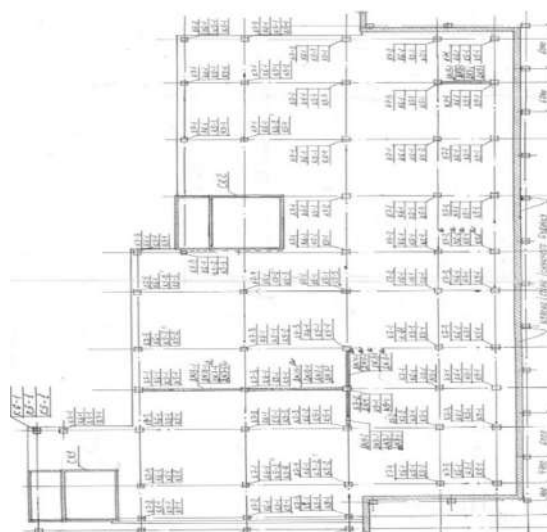
ОСНОВНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ

Виконувалися перевірочні розрахунки будівлі по виявленню резервів міцності в елементах каркасу і фундаментах. На прикладі 9-ти поверхової будівлі паркінгу, побудованої на початку 2000 років на площі Перемоги в м. Києві розглянуто деякі проблеми в роботі конструкцій, які пов'язані з вибором розрахункових моделей, використаних при їх проектуванні.

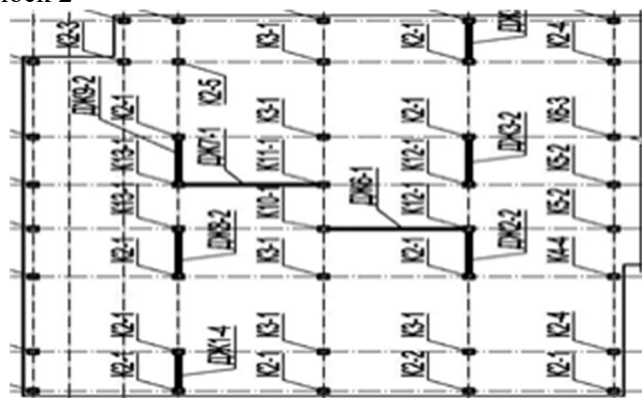
Будинок універмагу складається з трьох об'єктів – чотириповерхового блоку 1 з технічним та підвальним поверхами, п'ятиповерхової прибудови з цоколем поверхом (блок 2) та дев'ятиповерхового паркінгу - блок 3 (рис. 1).



Блок 1
Block 1



Блок 2
Block 2



Блок 3
Block 3

Рис. 1. Схема блоків будівлі універмагу.
Fig. 1. Department store building blocks layout

Будівля блоку 1 побудована в 1964 р. по проекту, розробленому інститутом “Укр-гіпроторг”.

Будинок запроектований і побудований з повним каркасом із збірних залізобетонних конструкцій серії ІІІ-60 під нормативне рівномірно-розподілене навантаження 500 і 1000 кг/м². Конфігурація будівлі в плані П-образна – довжина по головному фасаді 126 м.. Каркас будівлі збірний залізобетонний з сіткою колон 6х6 м. Фундаменти – із забивних залізобетонних паль, довжиною 9-11 м перерізом 35х35см та монолітних залізобетонних кушових ростверків.

П'ятиповерхова прибудова з цокольним поверхом (блок 2)

Конструктивно прибудова запроектована і побудована в монолітному залізобетонному в'язевому каркасі з монолітними залізобетонними плитами перекриття по безригельній схемі. Жорсткість і стійкість будівлі забезпечують роботою колон, діафрагм жорсткості і перекриттів. Прибудова примикає до первісного об'єму. Фундаменти з бурунабивних паль $d=620$ мм. з розширенням в зоні опирання до $d=1200$ мм., довжиною 18-22 м. і залізобетонних ростверків. Перекриття – безригельне під вертикальне

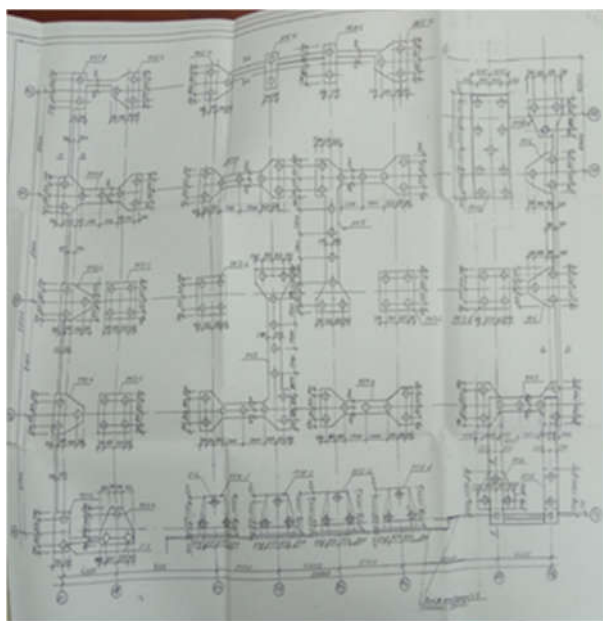
тимчасове рівномірно – розподілене по площі навантаження – 500кг/м².

Дев'ятиповерховий паркінг - блок 3

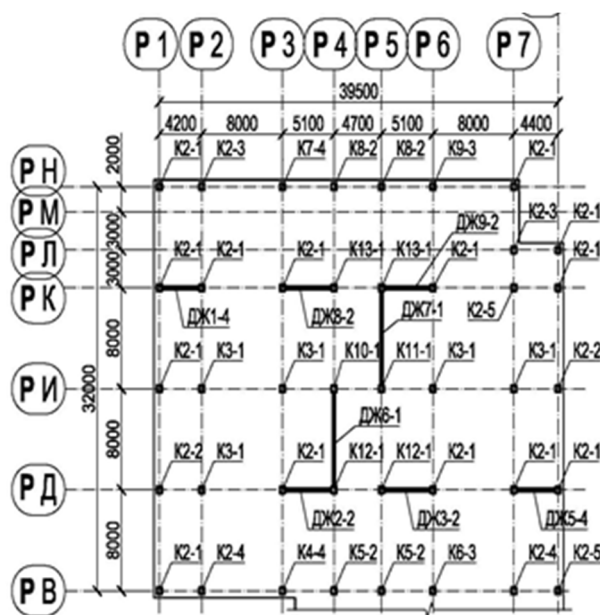
Конструктивно будівля паркінгу запроектована і побудована в монолітному залізобетонному в'язевому каркасі з монолітними залізобетонними плитами перекриття по безригельній схемі. Жорсткість і стійкість будівлі забезпечується роботою колон, діафрагм жорсткості і перекриттів. Перекриття – безригельне. Основні конструктивні елементи паркінгу – фундаменти, колони, діафрагми жорсткості, перекриття та покрівля виконують аналогічними, як і в п'ятиповерховій прибудові.

Для визначення можливості використання існуючих конструкцій блоку 3 для передбачуваної реконструкції з надбудовою кафе проведені перевірні розрахунки каркасу обстежуваної будівлі паркінга.

Розрахунки каркасу будівлі виконані з використанням програмного обчислювального комплексу „ЛІРА-САПР 2017 R3” [2,3]. Жорсткісні параметри конструктивних елементів каркасу будівлі призначалися в відповідності з уточненими проектними даними.



а



б

Рис. 2. Схеми розташування фундаментів блоку (а) та елементів каркасу (б).

Fig. 2. Block foundations layouts (a) and frame elements (b).

Колони і палі апроксимовані стержнями, приведеними до осі елементів, а ростверк – пластинами, приведеними до серединної площини і з'єднаними жорсткими вставками (рис.5) відповідно [6]. Аналізувалися зусилля в колонах при розрахунковій схемі з зацементованими колонами в фундаментах (схема по якій проектувався каркас будівлі) та при спільній роботі колон з фундаментними конструкціями (рис.3 - 5).

Споруда розраховувалася відповідно до вимог діючих норм на час обстеження. Тимчасове навантаження прийнято 400 кг/м^2 , клас бетону прийнято за результатами дослідження C20/25 замість проектного B30. При розрахунках прийнято обмеження розкриття тріщин до $0,3 \text{ мм}$.

Відповідно до [1], клас наслідків (за відповідальністю) прийнято СС2. Категорія відповідальності елементів каркасу – Б. Коефіцієнт надійності за відповідальністю для розрахунку за 1 ГС прийнято $\gamma_n=1,05$, для розрахунку за 2 ГС $\gamma_n=0,975$.

Згідно умов проектування блоку 3, як видно з рис. 2, колони, які розташовані по осі Р/В, не центровані по відношенню до центра ваги паль (рис. 4), і зусилля від них на палі передаються з суттєвим ексцентриситетом. На рис. 5 показана розрахункова модель вузла примикання колони до ростверка і передачі зусиль на палі.

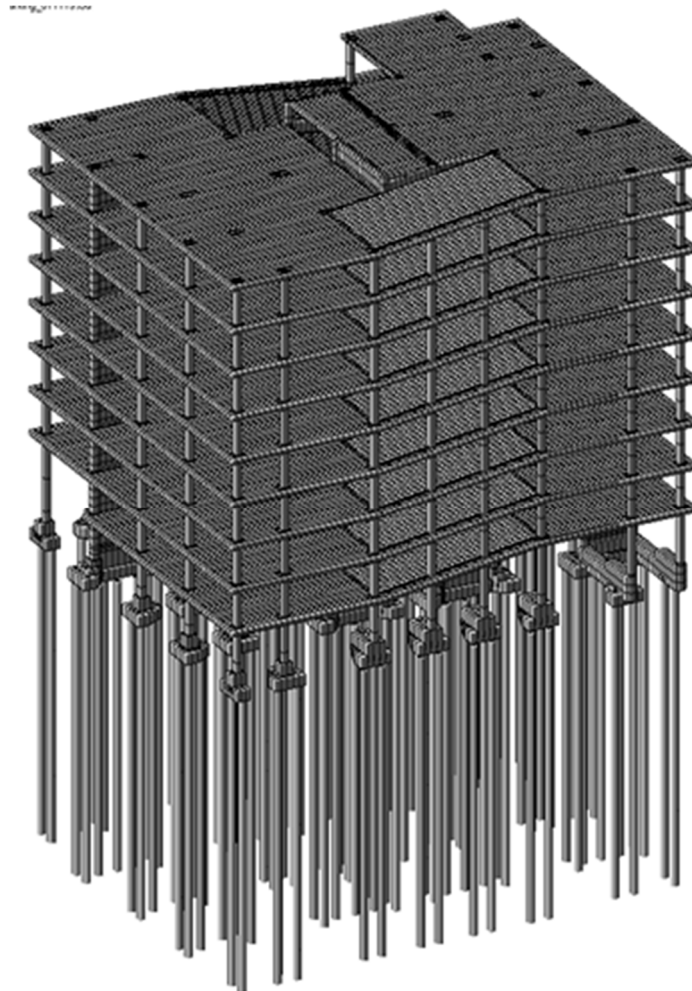


Рис.3. Розрахункова модель каркасу.

Fig. 3. Estimated model of frame.

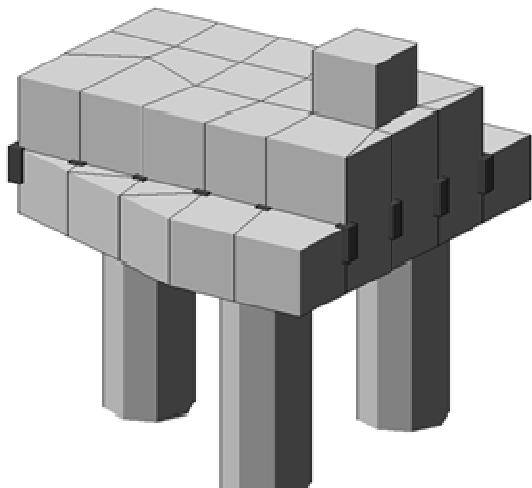


Рис. 4. 3D модель вузла ростверку.

Fig. 4. 3D model of a grid knot.

Проведеними розрахунками підтверджена загальна несуча здатність та стійкість споруди крім 4-х колон по осі Р/В (рис. 2,б), в яких проектне армування не забезпечувало сприйняття виникаючих розрахункових зусиль. На рис. 6 наведені згинальні моменти однієї з таких колон при різних

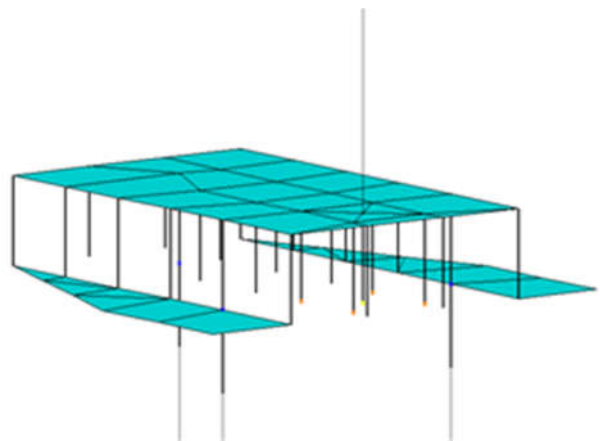
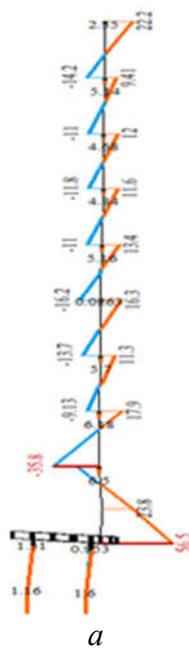


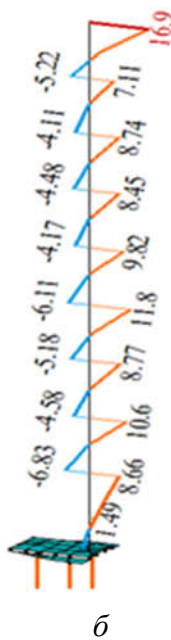
Рис. 5. Розрахункова модель фундаментного вузла.

Fig. 5. Estimated model of the foundation node.

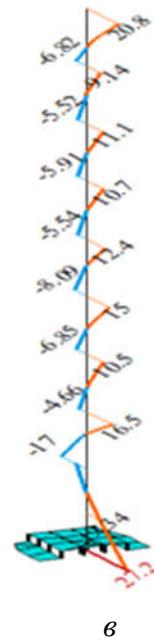
способах моделювання взаємодії каркасу з фундаментами і ґрунтовою основою, а на рис. 7 в усіх колонах. Проводився аналіз зміни зусиль при врахуванні нелінійної роботи каркасу (виникнення пластичного шарніру в місці приєднання колони до ростверку).



a



б



в

Рис. 6. Згинальні моменти в колоні на перетині осей Р/3-РВ:

a- при спільній роботі каркасу з фундаментом;

б – при жорсткому зацмеленні колони в фундаменті;

в - при виникненні пластичного шарніру в з'єднанні колони з фундаментом.

Fig. 6. Bending moments in the column at the intersection of the axes P / 3-RV:

a - at joint work of a framework with the base;

b - with rigid clamping of the column in the foundation;

c - in the event of a plastic hinge in the connection of the column with the foundation.

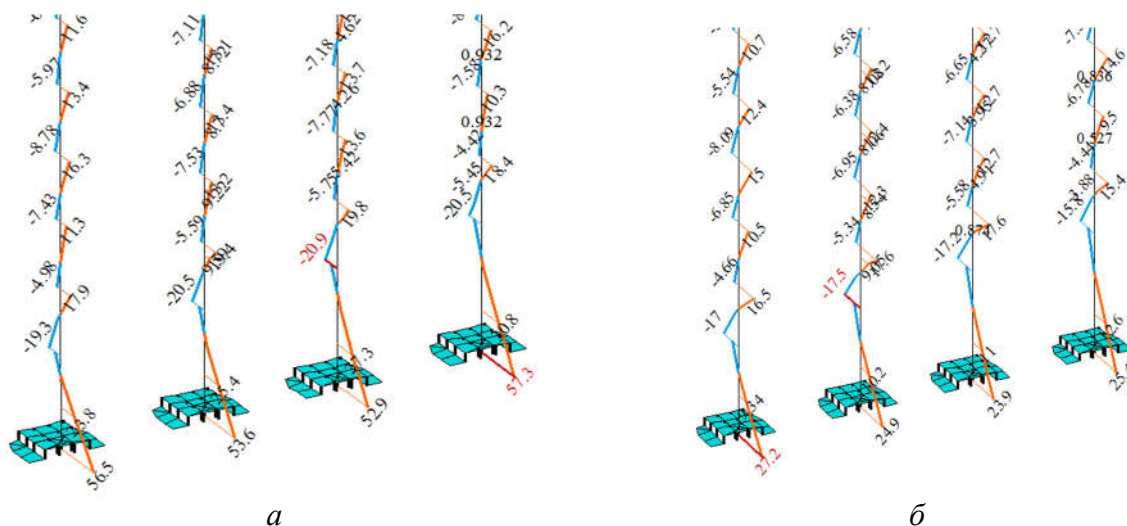


Рис.7. Згинальні моменти в колонах по осі Р/В:

a – при пружному розрахунку; *б* – при нелінійному розрахунку каркасу.

Fig. 7. Bending moments in columns on the P / V axis:

a - at elastic calculation; *b* - for nonlinear calculation of the frame

Результати статичних розрахунків показали значний перерозподіл зусиль в каркасі при різних способах моделювання роботи каркасу.

Якщо поздовжні сили в розглянутій колоні майже не змінюються, від $N = 3880$ кН до $N = 3470$ кН (розбіжність в межах 10%), то згинальні моменти різняться дуже суттєво, від $M = -20$ кНм до $M = 565$ кНм (рис.6, *a*, *б* і *в*).

Важливість врахування спільної роботи каркасу, ростверків та паль вказано в [7].

Необхідно відмітити, що при проектуванні реконструкції корпусу 3, розрахунки каркасу виконувалися без врахування його спільної роботи з фундаментами.

Згинальні моменти в проблемних колонах можна значно знизити при конструктивному об'єднанні залізобетонними стрічками відповідних фундаментних ростверків з сусідніми (рис.8,*б*).

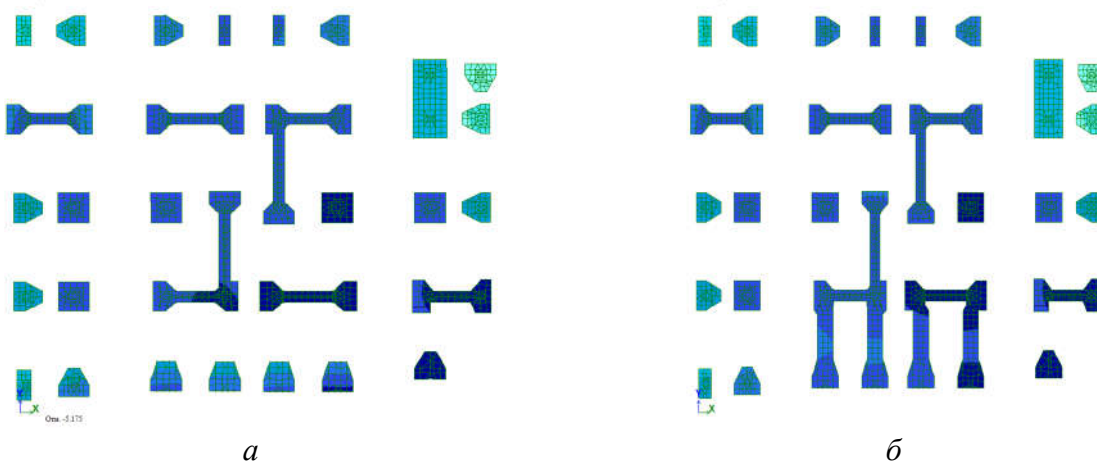


Рис. 8. Конструкція фундаментних ростверків:

a – існуюча; *б* – рекомендована згідно розрахунків

Fig. 8. Design of foundation grilles:

a - existing; *b* - recommended according to calculations

На рис.9 наведені поздовжні сили N та згинальні моменти M в колонах ряду РВ/РЗ для удосконаленої конструктивної схеми ростверків. Введення незначного коригування конструктивного рішення за рахунок об'єднання

окремих куців під проблемними колонами по осі РВ монолітними стрічками з сусідніми фундаментами по осі РД привело до перерозподілу зусиль в колонах в позитивному напрямку. Контактні моменти зменшилися майже в 5 разів.

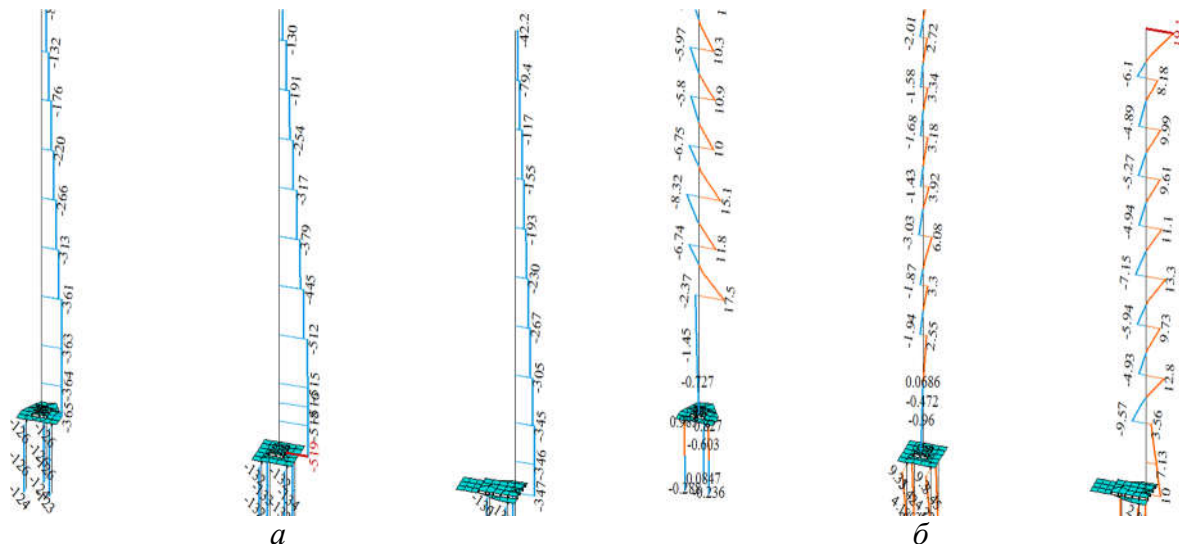


Рис. 9. Зусилля в колонах зміненої конструктивної схеми:
а – зусилля N; б – зусилля M

Fig. 9. Efforts in columns of the changed constructive scheme:
а – efforts N; б – efforts M

ВИСНОВКИ

За результатами досліджень можна зробити висновки:

- вплив спільної роботи каркасу і фундаментів суттєвий і проявляється тільки в межах декількох нижніх поверхів каркасу;
- розрахунки несучих конструкцій каркасу слід виконувати як системи «основа – фундамент – споруда»;
- при проектуванні кузових ростверків під колони дуже важливим моментом являється досягнення центрування осей колон з центрами розташування паль в ростверках;
- в процесі проектування необхідно розглядати і аналізувати варіантні конструктивні рішення системи;
- врахування нелінійної роботи залізобетонних конструкцій дозволяє значно уточнювати діючі зусилля в системі і в більшості випадків суттєво їх зменшувати за рахунок зниження розрахункових в пікових точках – концентраторах;
- при аналізі надійності будівель, побудованих в минулому чи на рубежі століть, слід передбачати вірогідність їх проектування за спрощеними розрахунковими схемами;

- адекватна розрахункова схема дозволяє проектувати надійну конструктивну систему будівлі

ЛІТЕРАТУРА

1. **ДБН В.1.2-14-2018.** Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель, споруд, будівельних конструкцій та основ. - *Мінрегіон України. Київ, 2018, -30с - чинний з 01.01.2019.*
2. **Городецкий А.С. и др.** Программный комплекс ЛИРА-САПР 2013. *Учебное пособие. - М.2013. -376 с.*
3. **Городецкий А.С., Евзеров И.Д.** Компьютерные модели конструкций. *К.: изд. Факт, 2007-394 с.*
4. **Кріпак В., Колякова В., Демченко Д.** Адекватність і взаємовплив конструктивних і розрахункових схем будівлі. //ІІІ Науково-практична конференція «Будівлі та споруди спеціального призначення: сучасні матеріали та конструкції», *Робоча програма та тези доповідей.- с.27-28.*
5. **Барабаш М.С., Київська К.І.** (2016). Концепція створення інформаційної моделі будівельного об'єкту. *Проблеми розвитку міського середовища. 2016. Вип. 1 (15). С. 60 – 68.*
6. **Кріпак В.Д., Адаменко В.М.** (2005). Чисельне моделювання роботи фрагментів залізобетонних плит при чистому згині моментами різних знаків. *Ресурсоекономні матеріали, констр., будівлі та споруди. Зб. наук.праць – Рівне: вип. 12, 2005.- С. 181-*

189.

7. **Барабаш М.С.** (2007). Дослідження сумісної роботи фундаментної плити з палями. *Науково-виробничий журнал: Будівництво України.* - К.: ДНДІАСБ, 2007.-№6.- с.40 -43.
8. **В. Колякова** (2020). Про вимоги щодо статей, які публікуються у збірнику наукових праць «Будівельні конструкції. Теорія і практика» // *Будівельні конструкції. Теорія і практика. Зб. наук праць.* - Київ: вип.6,2020.- С. 114-118.
<https://doi.org/10.32347/2522-4182.6.2020.114-118>.
9. **В.О. Плоский.** Архітектура будівель та споруд. Книга 4. Технічна експлуатація та реконструкція будівель / [В. О. Плоский., Г. В. Гетун. В. Д. Кріпак та ін.]. – Київ, 2018. – 750 с. – (Рута).

REFERENCES

1. **DBN V.1.2-14-2018.** Zahalni pryntsypy zabezpechennia nadiinosti ta konstruktyv-noi bezpeky budivel, sporud, budivelnikh konstruksii ta osnov. - *Minrehion Ukrainy.* Kyiv, 2018, -30с - chynnyi z 01.01.2019.
2. **Horodetskyi A.S. i dr.** Prohrammnyi kompleks LYRA-SAPR 2013. *Uchebnoe posobyе.* - M.2013. -376 s.
3. **Horodetskyi A.S., Evzerov Y.D.** Komp'iuternye modeli konstruksyi. K.: izd. Fakt, 2007-394 s.
4. **Kripak V., Koliakova V., Demchenko D.** Adekvatnist i vzaiemovplyv konstruktyvnykh i rozrakhunkovykh skhem budivli. // *III Naukovo-praktychna konferentsiia «Budivli ta sporudy spetsialnogo pryznachennia: suchasni materialy ta konstruksii», Robocha prohrama ta tezy dopovidei.* - s.27-28.
5. **Barabash M.S., Kyivska K.I.** Kontseptsiiia stvorennia informatsiinoi modeli budivelnogo ob'ektu. *Problemy rozvytku miskoho seredovyshcha.* 2016. Vyp. 1 (15). S. 60 – 68.
6. **Kripak V.D., Adamenko V.M.** Chyselne modeliuvannia roboty frahmentiv zalizobetonnykh plyt pry chystomu zghyni momentamy riznykh znakov. *Resursoekonomni materialy, konstr., budivli ta sporudy. Zb .nauk.prats – Rivne: vyp. 12, 2005.- S. 181-189.*
7. **Barabash M.S.** Doslidzhennia sumisnoi roboty fundamentnoi plyty z paliamy. *Naukovo-vyrobnychiy zhurnal: Budivnytstvo Ukrainy.* - K.: DNDIASB, 2007.-№6.- с.40 -43.
8. **V. Koliakova** (2020). Pro vymohy shchodo statei, yaki publikuiutsia u zbirnyku nau-

kovykh prats «Budivelni konstruksii. Teoriia i praktyka» // *Budivelni konstruksii. Teoriia i praktyka. Zb. nauk prats.* - Kyiv: vyp.6, 2020.- S. 114-118.

[https://doi.org/10.32347/2522-](https://doi.org/10.32347/2522-4182.6.2020.114-118)

[4182.6.2020.114-118](https://doi.org/10.32347/2522-4182.6.2020.114-118).

9. **V.O. Ploskyi.** Arkhitektura budivel ta sporud. Knhyha 4. Tekhnichna ekspluatatsiia ta rekonstruksiiia budivel / [V. O. Ploskyi., H. V. Hetun., V. D. Kripak ta in.]. – Kyiv, 2018. – 750 s. – (Ruta).

Interdependence of constructive and settlement schemes of the building

Volodymyr Kripak, Vira Koliakova

Summary. At the design stage is very important for the formation of the reliability of any building is the stage of formation of the design model of the building, which is the basis for the construction of its load-bearing elements. The main at this stage is the adequacy of the adopted calculation model to the actual design scheme.

A very important condition for assessing the actual operation of the building is to take into account the joint work of the upper part of the building (frame) with the foundations and soil base.

The article examines some problems in the operation of structures, which are related to the choice of design models used in their design, on the example of a 9-storey parking lot built in the early 2000s on Pobeda Square in Kyiv. Chi-rural studies using PC LIRA-CAD analyzed the impact of joint work of the framework and foundations on the efforts at their contact.

It was found that:

- the impact of joint work of the frame and foundations is significant and is manifested only within a few lower floors of the frame;

- taking into account the nonlinear operation of reinforced concrete structures in most cases significantly reduces the calculated forces at peak points - concentrators;

- in the design process it is necessary to consider and analyze the variant design solutions of the system.

Keywords. Reliability; column; foundation; stress; modeling; numerical methods.