

УДК 624.04:69.059

Гребенюк О.В., Гребенюк І.В.,  
Запорізька державна інженерна академія

## УРАХУВАННЯ ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ В РОЗРАХУНКОВИХ МОДЕЛЯХ БУДІВЕЛЬ ПРИ ВЛАШТУВАННІ НОВИХ БАЛКОНІВ

*Обґрунтовано необхідність врахування у розрахункових моделях деформованого стану будівель, що експлуатуються в складних ґрунтових умовах, при проведенні в них реконструкції. Вивчено вплив на напружено-деформований стан несучих стін будівлі конструкції нових балконів та розширення отворів. Кількісно оцінено спільний вплив на стіни будівлі деформації основи та улаштування нового балкона. Підтверджена необхідність урахування в розрахункових моделях деформованого стану будівель, що експлуатуються в складних ґрунтових умовах, при їх реконструкції.*

*Ключові слова:* влаштування нових балконів, реконструкція, деформований стан будівлі, розрахункові моделі, напружено-деформований стан конструкцій, складні інженерно-геологічні умови.

**Актуальність проблеми.** У зв'язку з масовою реконструкцією будівель і споруд, перепрофілюванням їх приміщень і переплануванням житлових квартир, особливо актуальною стає проблема коректного перевірного розрахунку таких будівель з обов'язковим урахуванням негативних факторів, що накопичувалися за весь період їх експлуатації або з'явилися у зв'язку з реконструкцією. На жаль, перевірочні розрахунки, які надаються в технічних висновках про можливість проведення реконструкції будівлі (всієї або її частини), або в проектах перепланування приміщень, далекі від досконалості. Основна помилка таких розрахунків – ігнорування проблем, що накопичилися в будівлі, яка розраховується, за період експлуатації. Особливо це важливо для будівель, які експлуатуються в складних інженерно-геологічних умовах. Деформації, отримані будівлею при нерівномірних осіданнях, викликаних складними інженерно-геологічними умовами (просідаючі ґрунти, підроблювані території, структурно-нестійкі та слабкі ґрунти тощо), вносять істотні спотворення до картини напружено-деформованого стану таких будівель.

Найбільш поширеним варіантом реконструкції житлових квартир, останнім часом є улаштування балконів в цегляних багатоповерхових будівлях. З одного боку, зрозуміле бажання власників квартир підвищити комфорт свого житла і розширити його площі, з іншого боку, влаштування нових балконів є кроком, що змінює не лише архітектурний вигляд будівель, але й їх

конструктивну схему. При цьому слід мати на увазі, що влаштування нових балконів в будівлях, що експлуатуються в складних інженерно-геологічних умовах, може викликати зміни напружено-деформованого стану як окремих несучих конструкцій, так і будівлі в цілому. Враховуючи наявність урядових рішень і нормативних документів, що регламентують такий вигляд реконструкції, спробуємо кількісно оцінити вплив конструкцій улаштованих балконів на конструкції будівель, що експлуатуються, які отримали деформації в результаті впливу ґрунтів основ.

**Метою даного дослідження** є кількісна оцінка впливу конструкцій улаштованих балконів на конструкції будівель для варіантів моделювання будівлі в недеформованому і деформованому стані. Розглядатися буде реальна житлова будівля з цегляними несучими стінами та збірними залізобетонними перекриттями.

**Матеріали дослідження.** Дослідження виконані у вигляді чисельного експерименту. За об'єкт досліджень прийнята розрахункова модель житлової чотириповерхової будівлі з підвалом, несучими стінами з силікатної цегли, і збірними залізобетонними перекриттями. Будівля в процесі експлуатації отримала нерівномірні осідання, викликані просіданням ґрунтів основи. Розрахункові моделі будівлі наведені на рис. 1.

Розглянуто три варіанти просторових моделей:

-варіант 1 – вихідна модель будівлі без улаштування балкона і без врахування нерівномірних осідань (див. рис 1, а). Цегляні стіни із силікатної цегли завтовшки 510 мм моделюються кінцевими елементами (КЕ) типа балки-стінки загального положення, перекриття – стержневими КЕ двотаврового перетину, що моделюють збірну залізобетонну пустотну плиту перекриття, яка шарнірно спирається на зовнішні та внутрішні несучі стіни. Закріплення низу будівлі – за лінійними ступенями свободи вузлів. Завантаження – постійним навантаженням, тимчасовим корисним на перекриття, сніговим та вітровим навантаженнями. Розмірність системи: вузлів – 17056, елементів – 16864, кількість невідомих – 99909;

-варіант 2 – модель будівлі з врахуванням улаштованого балкона і без врахування нерівномірних осідань (див. рис. 1, в). До вихідної моделі додана несуча конструкція балкона у вигляді рами із сталевих прокатних профілів – двотаврів № 16 (рис. 1, б), що жорстко закладена в цегляну стіну. Сталеві конструкції моделюються стержневими КЕ;

-варіант 3 – модель будівлі з врахуванням улаштованого балкону і нерівномірних осідань. Складена на основі моделі варіанту 2. Розрахункова схема корегувалась відповідно до результатів натурних обстежень – враховувалися фактичні нерівномірні осідання будівлі, перекося і крени, що

виявилися за період попередньої експлуатації будівлі. Нерівномірні деформації основи моделювалися вимушеними зсувами вузлів низу будівлі на величини,

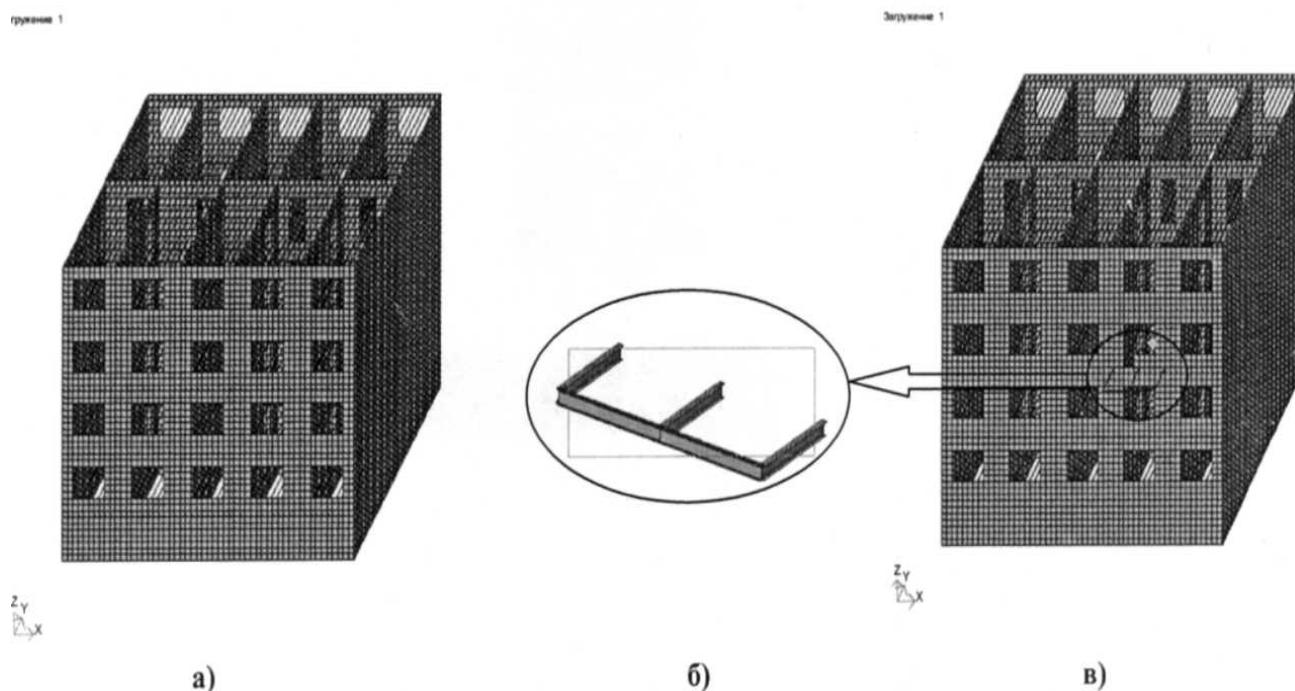


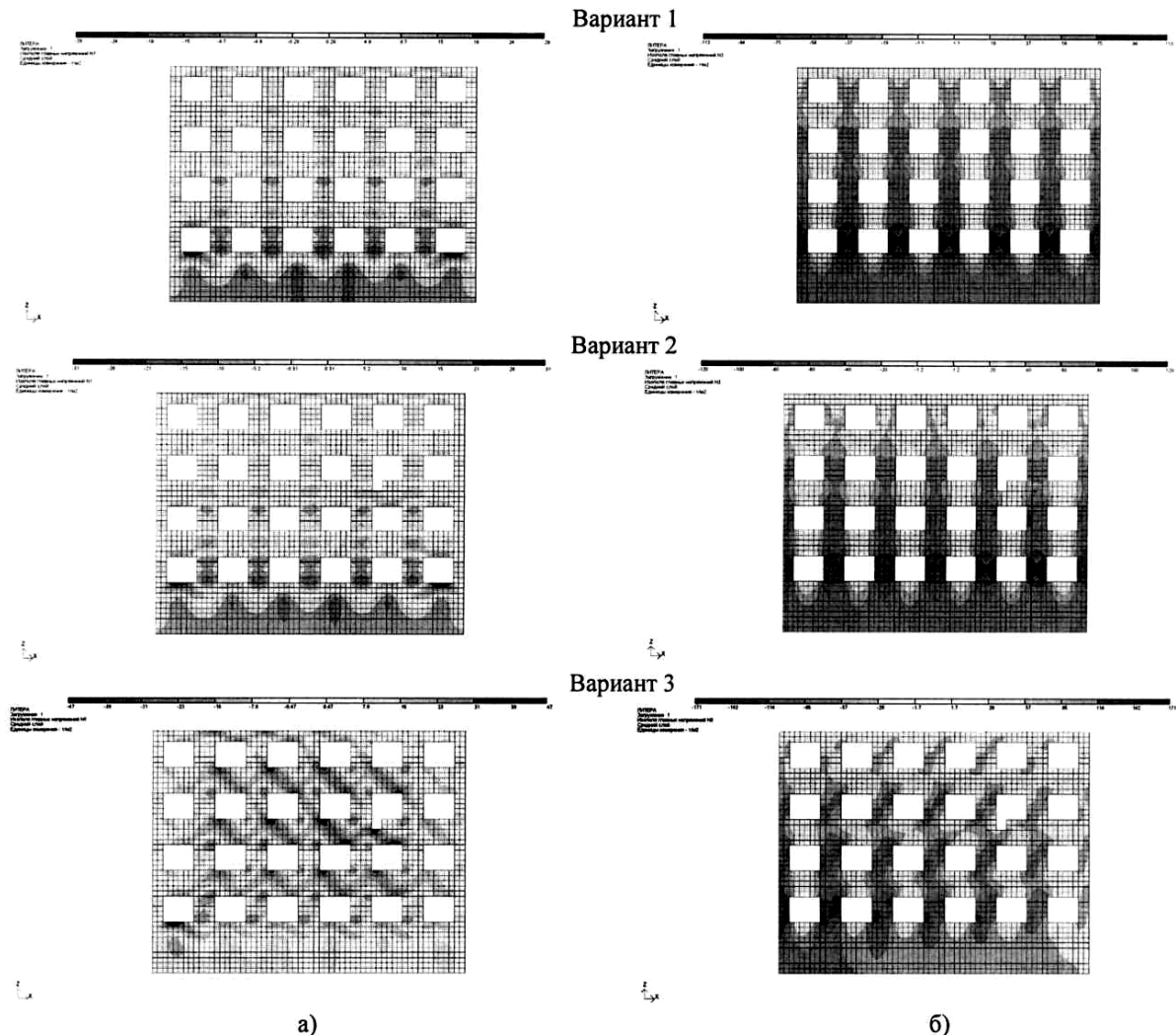
Рис. 1. Розрахункові моделі будівлі: а) модель будівлі без балконів; б) конструкція улаштованого балкона; в) модель з улаштованим балконом і розширеним отвором встановлені в результаті інструментального обстеження – нівелювання цоколя.

Розрахунки виконані за допомогою програмного комплексу «ЛІРА-Windows» версії 9.0 (ліцензія ДНДІАСБ для ЗДІА № 9с123324) [1, 2, 3]. В результаті серії розрахунків були отримані параметри напружено-деформованого стану несучих конструкцій будівлі, а також конструкції улаштованого балкону. Оцінювалася зміна головних напружень в зовнішній несучій стіні у зв'язку з улаштуванням нового балкону і врахуванням деформованого стану будівлі. Результати наведені на рис. 2.

Навіть при поверхневому аналізі розподілу напружень в елементах зовнішньої стіни будівлі видно значні відмінності як в картині розподілу, так і у величинах цих напружень. При розрахунку будівлі без балкона максимальні розтягуючі напруження в цегляній кладці досягають  $17,7 \text{ т/м}^2$  при розрахунковому опорі кладки осьовому розтягненню по перев'язаному перетину  $18,4 \text{ т/м}^2$  для силікатної цегли марки 100 і цементного розчину марки 50 без врахування дефектів і пошкоджень. Максимальні стискаючі напруження сягають  $120,9 \text{ т/м}^2$  при розрахунковому опорі кладки стисканню  $152,9 \text{ т/м}^2$ .

При врахуванні конструкцій балкону у вихідній розрахунковій моделі в зоні розширеного отвору максимальні розтягуючі напруження сягають

32,2 т/м<sup>2</sup>, що перевищують міцність кладки, а значить, необхідні заходи щодо підсилення конструктивних елементів для забезпечення необхідної міцності. Максимальні стискуючі напруження перерозподіляються, концентруючись в



області простінків вікон першого поверху, і досягають значень 130,9 т/м<sup>2</sup>.

Рис. 2. Головні напруження в елементах зовнішньої стіни будівлі для різних варіантів розрахункових моделей: а) N1, т/м<sup>2</sup>; б) N3, т/м<sup>2</sup>

Зазвичай за такою схемою і виконуються перевірочні розрахунки при підготовці проектів улаштування нових балконів або проведення реконструкції. Такий підхід припустимий лише для будівель, що не отримали в процесі експлуатації нерівномірних деформацій, та які не мають пошкоджень і дефектів. У регіонах із складними інженерно-геологічними умовами більшість будівель, що експлуатуються тривалий час, знаходяться в деформованому стані. Тому особливо важливо враховувати такі деформації при складанні розрахункових моделей. Таке врахування присутнє в третій моделі.

При врахуванні нерівномірних деформацій відповідно до результатів обстеження будівлі були отримані максимальні розтягуючі напруження  $55,2 \text{ т/м}^2$  та максимальні стискаючі –  $187,3 \text{ т/м}^2$ , що перевищує гранично допустимі значення, тобто міцність конструкції не забезпечена. Стався також перерозподіл напружень, пов'язаний з нерівномірними деформаціями будівлі. Якщо ці дані використовувати для проектування підсилення конструкцій, то в цьому випадку підсиленню підлягають абсолютно інші ділянки стіни, ніж при традиційному розрахунку.

Зони максимальних значень для перших двох варіантів концентруються у підотворних та простінкових ділянках для розтягуючих напружень і у простінках першого поверху для стискаючих (див. рис. 2). При цьому у варіанті 2 з'являються значні розтягуючі напруження в зоні розширення віконного отвору (до  $10,5 \text{ т/м}^2$ ), а максимальні стискаючі напруження ледве сягають  $53 \text{ т/м}^2$ , що далеко до гранично допустимих значень. Розрахунок по варіанту 2 показує, що підсиленню підлягають ділянки цегляної стіни, де максимальні розтягуючі напруження перевищили розрахунковий опір матеріалу стіни – під отвором, що розширювався, а також простінки вікна, що знаходяться під улаштованим балконом, і підотвірні частини віконних отворів першого поверху. Простінки вікон першого поверху не вимагають підсилення, оскільки максимальні стискаючі напруження далекі від граничних значень.

Абсолютно інша картина спостерігається при аналізі результатів розрахунку моделі варіанту 3 з врахуванням нерівномірних деформацій, викликаних осіданнями будівлі, що експлуатується в складних інженерно-геологічних умовах. В цьому випадку змінюються не лише величини напружень у відповідних елементах і переміщення вузлів. Змінюється сама картина розподілу параметрів напружено-деформованого стану цегляної несучої стіни, що вимагає абсолютно інших рішень при реконструкції такої будівлі.

В результаті нерівномірних деформацій реальної будівлі (просадочна воронка знаходиться під її правою торцевою стіною) з'являється характерна картина розподілу головних розтягуючих напружень, які мають значення, що перевищують розрахунковий опір цегляної кладки (до  $55,2 \text{ т/м}^2$ ). Що характерно, саме в цих місцях реальної будівлі виявлені тріщини в цегляній кладці – в кутах віконних отворів другого поверху, а також розшарування кладки – на ділянках під віконними отворами першого поверху. Обстеженням будівлі виявлені також дефекти кладки у вигляді сколів по гранях простінків крайнього віконного отвору першого поверху, де спостерігаються максимальні стискаючі напруження, що перевищують міцність кладки (до  $187,3 \text{ т/м}^2$ ).

При врахуванні конструкції улаштованого балкона з врахуванням

розширення отвору з'являються додаткові ділянки, де максимальні напруження перевищують міцність кладки цегляної стіни. Такими ділянками є низ отвору, що розширювався, і кутові ділянки віконних отворів третього поверху, де влаштовується балкон. Це доводить необхідність підсилення і цих ділянок стіни, чого не показав розрахунок з використанням моделі варіанту 2.

Звичайно, розрахунки за схемою варіанту 3 можливі лише за наявності результатів обстеження будівлі, де передбачається влаштування нових балконів. З одного боку, для будівель, що експлуатуються в складних інженерно-геологічних умовах, будь-яка реконструкція повинна супроводжуватися технічним висновком про можливість її проведення, незважаючи на передбачуваний обсяг (навіть в рамках реконструкції або перепланування однієї квартири). З іншого боку, враховуючи масовий характер улаштування нових балконів в даний час, така процедура, виконана для будівлі в цілому, матиме невисоку питому вартість.

Співставлення відхилень значень головних напружень, наведене в таблиці 1, показує досить невелику, особливо в надотвірній частини стіни, різницю в напруженнях, викликану впливом нового балкона. У простінках ця різниця вже істотна, оскільки позначається розширення отвору.

Таблиця 1. Співставлення головних напружень в кінцевих елементах, що примикають до розширеного отвору при улаштуванні нового балкона

Ділянка	№ елемента	Положення	Головні напруження											
			Варіант 1		Варіант 2				Варіант 3					
			N1		N3		N1		N3		N1		N3	
			Значення, т/м <sup>2</sup>	Значення, т/м <sup>2</sup>	Значення, т/м <sup>2</sup>	Відхилення, %	Значення, т/м <sup>2</sup>	Відхилення, %	Значення, т/м <sup>2</sup>	Відхилення, %	Значення, т/м <sup>2</sup>	Відхилення, %	Значення, т/м <sup>2</sup>	Відхилення, %
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13		
Надотвірна	1н	С	-3,12	-36,17	-3,19	-2,2	-35,82	1,0	-21,49	-573,7	-63,25	-76,6		
	2н	С	2,50	-24,83	2,31	7,6	-25,02	-0,8	-6,94	400,4	-71,27	-184,9		
	3н	С	4,64	-1,02	4,41	5,0	-1,13	-10,8	5,24	-18,8	-18,49	-1536,0		
	4н	С	6,70	-0,12	6,46	3,6	-0,14	-16,7	9,96	-54,2	-6,25	-4364,0		
	5н	С	7,40	-0,03	7,18	3,0	-0,05	-66,7	20,88	-190,8	-2,28	-4460,0		
	6н	С	6,37	-0,37	6,15	3,5	-0,40	-8,1	32,91	-435,1	-1,41	-252,5		
	7н	С	4,45	-20,15	4,28	3,8	-20,33	-0,9	47,01	-998,4	4,81	123,7		
	8н	С	-0,75	-33,36	-0,80	-6,7	-33,20	0,5	24,10	3112,5	-1,67	95,0		
Підотвірна	1п	С	3,09	-36,18	10,42	-237,2	-36,93	-2,1	29,26	-180,8	-18,37	50,3		
	2п	С	3,04	-0,26	9,92	-226,3	-13,40	-5054,0	49,45	-398,5	-10,57	21,1		
	3п	С	1,79	0,18	8,91	-397,8	-15,77	8861,0	26,53	-197,8	-43,01	-172,7		
	4п	С	2,39	-0,52	0,10	95,8	-1,60	-207,7	0,27	-170,0	-8,41	-425,6		
	5п	С	1,94	-21,31	0,95	51,0	-2,46	88,5	2,11	-122,1	-21,39	-769,5		
	6п	С	0,63	-38,90	2,62	-315,9	-1,98	94,9	1,59	39,3	-31,60	-1496,0		
	7п	С	4,63	-17,36	1,62	65,0	-19,61	-13,0	-14,48	993,8	-64,43	-228,6		
	8п	С	5,12	-0,82	1,40	72,7	-36,90	-4400,0	-24,80	1871,4	-48,80	-32,2		

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Простінкова	1р	С	-2,04	-50,15	-0,49	76,0	-42,37	15,5	0,10	120,4	-16,62	60,8
	2р	С	-0,93	-46,82	-0,50	46,2	-41,62	11,1	1,72	444,0	-31,66	23,9
	3р	С	-0,84	-45,87	-0,62	26,2	-42,51	7,3	2,05	430,6	-50,74	-19,4
	4р	С	-1,12	-47,44	-0,92	17,9	-45,51	4,1	2,06	323,9	-73,05	-60,5
	5р	С	-5,69	-53,85	-5,50	3,3	-53,12	1,4	-14,19	-158,0	-107,10	-101,6
	6р	С	-3,67	-55,09	-3,25	11,4	-51,28	6,9	-13,09	-302,8	-83,36	-62,6
	7р	С	-0,84	-49,01	-0,94	-11,9	-46,00	6,1	1,63	273,4	-52,36	-13,8
	8р	С	-0,83	-45,89	-0,84	-1,2	-43,79	4,6	2,03	341,7	-34,04	22,3
	9р	С	-1,20	-45,26	-1,11	7,5	-44,10	2,6	3,56	420,7	-18,85	57,3
	10р	С	-4,26	-48,70	-4,16	2,3	-48,36	0,7	26,88	746,2	-7,42	84,7

### Примітки:

1. Нумерація елементів в таблиці співставлення умовна і не відповідає нумерації елементів в розрахункових моделях.

2. С – середні волокна – положення волокон кінцевого елемента, для яких визначаються величини головних напружень.

3. Відхилення значень напружень обчислювалося для варіанту 2 відносно варіанту 1 і для варіанту 3 відносно варіанту 2.

Найбільші відхилення зафіксовані в підотвірній частині стіни, що викликане перш за все зміною контуру отвору, зменшенням кількості елементів в частині стіни, де закріплюється конструкція балкона. При врахуванні впливу нерівномірних деформацій відхилення у всіх групах елементів значні, що підтверджує зміну характеру роботи несучої стіни. При цьому вплив нового балкона оцінюється практично такими ж відносними величинами, проте при накладенні на картину розподілу напружень від вимушених деформацій дає абсолютно інші ділянки, що потребують підсилення.

**Висновки:** Таким чином, врахування в розрахункових моделях деформованого стану будівель, що експлуатуються в складних інженерно-геологічних умовах, при їх реконструкції, включаючи і влаштування нових балконів, обов'язкове для коректного визначення параметрів напружено-деформованого стану конструкцій і виконання заходів щодо їх підсилення.

### Література

1. ПК ЛИРА, версія 9. Программный комплекс для расчета и проектирования конструкций. Справочно-теоретическое пособие под ред. А.С.Городецкого. – К. - М., 2003. – 464 с.

2. Городецкий А.С., Евзеров И.Д. Компьютерные модели конструкций. – К.: «ФАКТ», 2005. – 344 с.

3. Расчетные модели сооружений и возможность их анализа / А.В.Перельмутер, В.И.Сливкер. – К.: ВПП «Компас», 2001. – 448 с.

### Аннотация

Обоснована необходимость учета в расчетных моделях деформированного состояния зданий, эксплуатируемых в сложных грунтовых условиях, при проведении в них реконструкции. Изучено влияние на напряженно-деформированное состояние несущих стен здания конструкций новых балконов и расширения проемов. Количественно оценено совместное влияние на стены здания деформаций основания и устройства нового балкона. Подтверждена необходимость учета в расчетных моделях деформированного состояния зданий, эксплуатируемых в сложных грунтовых условиях, при их реконструкции.

*Ключевые слова:* устройство новых балконов, реконструкция, деформированное состояние здания, расчетные модели, напряженно-деформированное состояние конструкций, сложные инженерно-геологические условия.

### Annotation

Necessity of account of the deformed state of buildings under reconstruction, exploiting in the difficult geological conditions, in calculation models is substantiated. Influence of constructions of new balconies and enlarging of openings on the stress-strain state of bearings walls of building is investigated. Joint influence of deformations of ground foundations and construction of new balcony on the walls of building is valued. The necessity of account of the deformed state of buildings under reconstruction, exploiting in the difficult geological conditions, in calculation models, is confirmed.

*Keywords:* arranging of new balconies, reconstruction, deformed state of building, calculation models, stress-strain state of constructions, difficult geological conditions.