Самченко Р.В.

Запорізький національний університет

Юхименко А.І.

Запорізький національний університет

Ільїн С.В.

Запорізький національний університет

ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ОСІДАНЬ ФУНДАМЕНТІВ ЗА ЗМІНИ КОЕФІЦІЄНТА ЖОРСТКОСТІ ОСНОВИ В ПРОЦЕСІ ВІДНОВЛЕННЯ ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ БУДІВЕЛЬ, СПОРУД

Є велика кількість деформованих будівель, споруд, які збільшуються постійно через вплив різних чинників природного та техногенного характерів. Здебільшого наслідком цих впливів є деформації основ фундаментів і, відповідно, будівель загалом. Деформації будівель відбуваються в різних проявах, але найчастіше у вигляді нахилів, які є результатом нерівномірних осідань фундаментів. Розроблений метод вирівнювання нахилених об'єктів перфоруванням шарів основ обмеженої товщини безпосередньо під фундаментом шляхом буріння горизонтальних свердловин змінних параметрів. При цьому відбувається зміна жорсткості основи. Таким чином, цей метод ліквідації деформованого стану – кренів, базується на управлінні жорсткістю основ.

Жорсткість основ є одним із основних параметрів, що визначають напружено-деформований стан будівель, споруд. Коефіцієнт жорсткості якої-небудь ділянки поверхні основи являє собою зусилля, яке необхідно докласти до одиниці поверхні для її переміщення на відстань, рівну одиниці. Для визначення коефіцієнта жорсткості необхідно знати розміри деформації поверхні основи, викликані дією зовнішніх навантажень на неї від фундаменту.

Під дією ваги споруди та додаткової технологічної процедури зволоження ціликів ґрунту свердловини деформуються, трансформуючись із круглої форми в еліпсоподібну. Перфорований шар піддається деформації стиску, і фундамент осідає відповідно до змінних розрахункових параметрів горизонтальних свердловин.

Для реалізації розробленого методу відновлення деформованого стану пошкоджених будівель, споруд управлінням жорсткістю основ висвітлений спосіб визначення осідань фундаментів під час перфорації шару основи під фундаментом бурінням горизонтальних свердловин.

Цим методом успішно ліквідований деформований стан понад 60 об'єктів різного призначення: будівлі 3–14 поверхові, висотні споруди, у тому числі димові труби висотою 50–100 м без відселення людей, без затримки діяльності об'єктів, без додаткового збільшення деформованого стану. На кожному об'єкті вирівнювання супроводжувалось моніторингом геодезичними способами та автоматизованою системою контролю.

Ключові слова: деформації будівель, відновлення деформованого стану, жорсткість основ, осідання фундаментів, параметри перфорації.

Постановка проблеми. Відновлення деформованого стану будівель, споруд є визначальним питанням у процесі підтримки будівельного фонду в належному стані, адже деформації будівельних об'єктів є передвісником їх аварійного стану. До того ж деформації будівель, споруд є надто поширеним фактом, який фактично знекровлює будівельний фонд будь-якої країни. Особливо це стосується України, де через фінансовий стан капітальне будівництво звелось до мінімальних обсягів. Тому відновлення деформо-

ваних об'єктів має бути державним пріоритетом, але державні органи не завжди належним чином опікуються цим питанням. Крім того, вирішення цього питання повинно відбуватися за допомогою адекватних технологічних інноваційних рішень.

Розробка прогресивних технологій усунення деформованих станів будівель, споруд повинна відповідати інноваційному рівню одночасно з розробкою передових технологій капітального будівництва. При цьому з урахуванням вищезазначеного відновлювальні технології, поряд

з питаннями відповідності вимог техно-економічного характеру, мають бути соціально спрямованими. Адже через старіння житлового фонду житлові будівлі зазнають суттєвих деформацій. Зазвичай через відсутність переселенського житлового фонду в Україні відновлювальні технології мають забезпечувати ліквідацію деформованого стану без відселення мешканців з житлових будинків. Навіть за наявності такого фонду тимчасове переселення є морально-психологічним потрясінням. Окрім того, відновлювальні технології мають забезпечувати безперебійну роботу виробничих об'єктів або мінімальне призупинення їх діяльності.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У зв'язку із вельми поширеною ситуацією деформацій будівель, споруд, які приносять суттєві збитки різного характеру і в різних сферах життєдіяльності, цій проблемі приділяється серйозне ставлення. Розроблені різні підходи технологій, якими намагаються якщо не усувати деформований стан, то хоча би зменшити його негативний вплив.

Здебільшого деформації будівель відбуваються внаслідок деформації основ фундаментів через деградацію властивостей ґрунтів під впливом різних чинників, зазвичай техногенних. Тому є різні технології зміцнення ґрунтів – цементация, силікатизация, термічне укріплення. На їх основі розроблені різні технології укріплення основ фундаментів. Найбільш ефективною технологією вважається армування основ різними способами [1, с. 215]. Їх впровадження в капітальне будівництво сприяє суттєвому зменшенню деформацій будівель. Але більшість способів поліпшення властивостей ґрунтів та технологій укріплення основ, хоча і зменшують кількість деформацій будівель, однак уже виниклих деформацій вони не усувають, а можуть лише сприяти їх стабілізації. Тому є велика потреба в розробці технологій для ліквідації деформованого стану будівельних об'єктів.

Враховуючи, що деформації будівель відбуваються в різних проявах, то і технології з їх ліквідації розроблені для різних способів. Одним із поширених і небезпечних видів деформацій є крени.

Є декілька способів ліквідації наднормативних кренів димових труб [2, с. 102; 3, с. 53; 4, с. 114]: підтрубка стовбуру труби; одностороння пригрузка фундаментів; одностороннє замочування ґрунтів основи; піддомкращування та інші. Але такі технології володіють різними недоліками, які пов'язані із технікою безпеки, недостатньою

ефективністю через докладання суттєвих зосереджених зусиль до конструкцій об'єктів труб тощо.

Найбільш дослідженим та впровадженим методом усунення нахилів будівельних об'єктів, у тому числі димових труб, є часткове видалення ґрунту в основі з-під менш осілої частини фундаментів. Цей метод може застосовуватись у будь-яких ґрунтових умовах без докладання до конструкції труби зосереджених зусиль. Об'єктом впливу є не конструкція труби, а ґрунти основи. Відомі технології видалення надлишкового ґрунту похилими свердловинами [5, с. 13; 6, с. 36; 7, с. 38].

Технологія усунення нахилів будівель, споруд похилими свердловинами має декілька недоліків. По-перше, недостатня керованість, по-друге, значно збільшується об'єм бурових робіт тощо. Тому запропоновано видалення надлишкового ґрунту здійснювати горизонтальними свердловинами змінних параметрів [8, с. 2].

Ліквідація деформованого стану будівель, споруд різних конструктивних схем частковим видаленням ґрунту основи з-під фундаменту, у тому числі за допомогою технології буріння горизонтальних свердловин, базується на принципі зміни жорсткості основи. Нами розроблений метод ліквідації деформованого стану будівельних об'єктів будь-яких видів – прогину, вигину, крену, кручень, управлінням зміни жорсткості основи фундаментів [9, с. 3]. Для реалізації вказаного методу необхідно розробити методику визначення технологічних параметрів.

Мета статті полягає у розробці методики визначення технологічних параметрів у процесі зміни жорсткості основи фундаментів під час усунення деформованого стану будівельних об'єктів.

Виклад основного матеріалу. Жорсткість основ є одним із основних параметрів, що визначають напружено-деформований стан будівель, споруд. Коефіцієнт жорсткості якої-небудь ділянки поверхні основи являє собою зусилля, яке необхідно докласти до одиниці поверхні для її переміщення на відстань, рівну одиниці [10, с. 43]. Для визначення коефіцієнта жорсткості необхідно знати розміри деформації поверхні основи, викликані дією зовнішніх навантажень на неї від фундаменту. В разі вертикального навантаження від будівлі коефіцієнт жорсткості визначають за формулою:

$$k = P/S, \quad (1)$$

де: P – середній тиск під подошвою фундаменту; S – осідання основи від тиску P .

Середній тиск під подошвою фундаменту деформованих будівель P визначається із проєк-

тної документації на будівлю як частка від ділення навантаження на фундамент на його площу. Задача з визначення коефіцієнта жорсткості основи в загальному вигляді зводиться до знаходження осідань S у точках під підшоною фундаменту на розрахункових вертикалях, що перетинають усі нашарування, лінзи, різні можливі включення, тобто складники частини геологічного розрізу. Повна осадка в загальному вигляді трактується як сума пружної і пластичної частин

$$S = S_{el} + S_{pl}, \quad (2)$$

де S – повна осадка від зовнішньої загрузки, що визначається в межах товщі основи, що стискається; S_{el} – пружна її частина; S_{pl} – пластична частина.

Пружні осадки основи визначаються методом пошарового підсумування за формулою:

$$S_{el} = \beta \sum_{i=1}^n \sigma_{zp,i} \cdot h_i / E_{el,i}, \quad (3)$$

де $\beta=0,8$; $\sigma_{zp,i}$ – додаткове вертикальне напруження в i -му шарі від загрузок, які передаються системою фундаментів; h_i – товща i -го шару; $E_{el,i}$ – модуль пружних деформацій i -го шару ґрунту. Пластичні осадки визначаються по формулі:

$$S_{pl} = \sum_{i=1}^n \varepsilon_{sl,i} h_i, \quad (4)$$

де: $\varepsilon_{sl,i}$ – відносна просадочність i -то шару від загрузок, які передаються на цей шар за існуючого рівня побутового тиску.

Окрім указаних осадок, у задачах з відновлення деформованих будівель, тобто в технологічних задачах, враховуються так звані додаткові осадки S_d , визвані технологічними прийомами – перфоруванням ґрунтів, замочуванням та ін., які суттєво зменшують модуль деформації ґрунтів.

Враховуючи вище наведене, вираз (1) – коефіцієнт жорсткості основи буде мати такий загальний вигляд (5)

$$K = P / (S_{el} + S_{pl} + S_d), \quad (5)$$

Під час визначення коефіцієнта жорсткості основи приймаємо слідуєчу гіпотезу. В нашому разі під час розробки методу ліквідації деформованого стану будівель шляхом управління жорсткістю основи бурінням під фундаментами горизонтальних свердловин змінних параметрів та методики визначення технологічних параметрів по реалізації розроблених технологій необхідно мати на увазі таке. Оскільки перфорацію ґрунтів основи

бурінням горизонтальних свердловин виконують у шарі ґрунту безпосередньо під фундаментом, тобто практично на початку стисливої зони, а перфоруємий шар має обмежену товщину, то на коефіцієнт жорсткості впливають технологічні осідання, які суттєво більші ніж складники пружних і пластичних осідань, тобто $S_{el} + S_{pl} \ll S_d$. Тому задача практично зводиться до визначення технологічних осідань S_d .

На рис. 1 показана ілюстрація вищенаведених міркувань, де показаний приклад технологічної схеми усунення деформованого стану будівлі у вигляді крену керуванням жорсткості основи. На практиці величина стисливої зони H_c суттєво більша ніж товщина шару перфорації під фундаментом h , тобто $H_c \gg h$, тому коефіцієнт жорсткості k (5) практично залежить від технологічних осідань S_d .

Залежно від жорсткості будівлі споруди по-різному реагують на нерівномірні деформації основ і, відповідно, осідання фундаментів і, як наслідок, піддаються різним видам деформацій – кренам, вигинам, прогинам та іншим. Наприклад, жорсткі будівлі – монолітні, крупнозбірні на суцільних плитних фундаментах, шахтні копри, ємнісні споруди та інші, за нерівномірних осідань зазнають нахилів без викривлення фундаментів, тобто нерівномірно осідають як жорсткі штампи. Тоді як гнучкі будівлі кінцевої жорсткості, наприклад, цегляні на стрічкових збірних фундаментах, за нерівномірних осідань сумісно із верхньою будовою піддаються деформаціям у вигляді прогинів, вигинів тощо, тобто фундаменти піддаються викривленню.

Поряд із розробкою інноваційних технологічних рішень з усунення деформованого стану будівель, споруд, важливим моментом має бути розробка методики визначення технологічних параметрів з реалізації цих рішень. Нами запропоновані методики розрахунків технологічних параметрів з усунення деформацій кренів, прогинів, вигинів будівель, споруд як жорстких, так і гнучких об'єктів.

Методика розрахунків параметрів усунення деформованого стану жорстких будівель (кренів) показана в роботі [11, с. 323]. Розрахунки параметрів усунення деформованого стану гнучких будівельних об'єктів базуються на даних статистичної обробки експериментальних досліджень [12, с. 226].

На схемі (а) рис. 1 умовно показана шарувата товща основи будівлі. Під впливом навантаження будівлі сформована стислива зона розміром H_c із початковою, рівномірно розподіленою жорсткістю K_0 . Під впливом різних чинників жорсткість основи змінюється K_0 (схема б) із максимальним та мінімальними значеннями K_2 і K_1 ,

Рис. 1. Технологічна схема процесу усунення деформованого стану будівлі керуванням зміни жорсткості основи: а) шарувата товща основи і початкове положення епюри коефіцієнта жорсткості основи будівлі K_0 ; б) нерівномірні осідання фундаменту внаслідок зміни жорсткості основи; в) вплив на жорсткість основи нерівномірною перфорацією шару ґрунту під фундаментом; г) вирівнювання жорсткості основи внаслідок нівелювання деформацій шару ґрунту під фундаментом;

$H_{с.м}$ – величина стисливої зони основи; h – товщина перфорованого шару основи; K_0 – початкова епюра жорсткості основи; S_0 – епюра нерівномірних осідань фундаменту; S_1, S_2 – максимальні та мінімальні осідання фундаменту; $S_с$ – епюра осідань після перфорації шару основи; K_0 – початкове положення епюри жорсткості основи; $K_с$ – нівельована епюра жорсткості

внаслідок чого виникають нерівномірні осідання фундаменту S_1 та S_2 і як наслідок, будівля зазнає крену. Для вирівнювання нахиленої будівлі нами запропоновано змінити жорсткість основи перфорацією шару під фундаментом товщиною h бурінням горизонтальних свердловин змінних параметрів – діаметрів d і кроків t (схема в). Внаслідок буріння горизонтальних свердловин змінних параметрів і додаткової технологічної операції зволоження ґрунтів навколо свердловин, під дією тиску фундаменту P цілики ґрунту, досягаючи межі міцності, руйнуються, заповнюючи порожнини свердловин. Зруйнований та зволожений ґрунт ущільнюється під тиском P , перфорований шар ґрунту стискається відповідно до розрахункових параметрів горизонтальних свердловин із відповідною зміною епюри осідань S (схема г) і нівелюванням коефіцієнта жорсткості K , вирівнюючи його. Такі зміни коефіцієнта жорсткості K і епюри технологічних осідань S відповідно до зміни параметрів перфорації шару основи дають позитивний результат – об'єкт повертається в проєктне положення, деформація усувається.

Цим методом успішно ліквідований деформований стан понад 60 об'єктів різного призначення: будівлі 3–14 поверхові, висотні споруди, у тому числі димові труби висотою 50–100 м без відселення людей, без затримки діяльності об'єктів, без додаткового збільшення деформованого стану. На кожному об'єкті вирівнювання супроводжувалось моніторингом геодезичними способами та автоматизованою системою контролю [13, с. 4].

Висновки. Усунення деформованого стану будівель, споруд у вигляді кренів, прогинів, вигинів тощо запропоновано виконувати шляхом управління жорсткістю основ шляхом нерівномірної перфорації шару основи під фундаментом бурінням горизонтальних свердловин змінних параметрів.

Під час ліквідації деформованого стану об'єктів параметри зміни епюри осідань фундаменту адекватні зміні жорсткості основи, тому під час визначення технологічних параметрів усунення деформованого стану завдання зводиться до визначення технологічних осідань фундаментів.

Враховуючи, що деформації жорстких будівель і будівель кінцевої жорсткості по-різному реагують на деформації основ, відповідно, фундаменти жорстких будівель осідають за прямолінійною закономірністю, тобто без викривлення, тоді як фундаменти будівель кінцевої жорсткості викривляються, слідуючи деформаціям основ, тому методи визначення параметрів усунення деформованого стану цих видів об'єктів мають розроблятися окремо.

Список літератури:

1. Друкований М.Ф., Матвеев С.В., Корчевський Б.Б. Армовані основи будівель та споруд : монографія. Вінниця, 2006. 235 с.
2. Вараница А.В. О кренах кирпичных дымовых труб. *Вісник ДонГАСА «Будівельні конструкції»*. 2001. Вип. 5 (30). С. 101–102.
3. Мавроди Ф.И., Саенко В.Г. Способ устранения крена дымовой трубы. *Научно-технический сборник «Современные проблемы строительства»*. Донецк : ООО «Лебедь», 1997. С. 53–54.
4. Криворотов А.П., Лубячин А.В. К вопросу о выравнивании кренов высотных зданий и сооружений на плитных фундаментах. *Известия вузов. Строительство*. Москва, 2005. № 2. С. 113–116.
5. Косаренко Г.И., Казначеевский П.А., Яроцкий Г.Д. Крены зданий и методы их выправления в порядке обслуживания. *Строительство и архитектура Узбекистана*. 1980. № 12. С. 11–14.
6. Косаренко Г.И., Яроцкий Г.Д. Устойчивость неконсолидированных оснований, сложенных слабыми подстилающими грунтами. *Фундаментостроение в сложных грунтовых условиях*. Алма-Ата, 1977. С. 32–37.
7. Шишко Г.Ф. Устранение кренов силосных корпусов элеваторов способом выбуривания грунтов. *Фундаментостроение в сложных грунтовых условиях*. Алма-Ата : Будівельник, 1987. С. 35–40.
8. Спосіб вирівнювання будівель, споруд: пат. 65455А Україна : МПК Е 02Д 35/00. №2003109485 ; заявл. 21.10.2003, опубл. 15.03.2004, Бюл. № 3. 12 с.
9. Спосіб усунення деформацій будівель, споруд: пат. 95510 Україна : МПК Е02Д 3/12 (2006.01). №201407845 ; заявл. 11.07.14, опубл. 25.12.14, Бюл. № 24. 3 с.
10. Клепиков С.Н. Общее решение для балок и плит на упругом искривленном основании переменной жесткости. *Исследования по основаниям, фундаментам механике грунтов*. Киев : Будівельник, 1969. С. 37–47.
11. Самченко Р.В. Методика розрахунку параметрів вирівнювання нахилених будівель. *Збірник наукових праць (галузеve машинобудування, будівництво)*. Полтава : ПолтНТУ, 2013. Вип. 3(38) Т. 1. С. 321–327.
12. Шокарев В.С., Степура И.В., Самченко Р.В. Управление жесткостью основания при ликвидации кренов зданий и сооружений. *Труды международного семинара по механике грунтов, фундаментостроению и транспортным сооружениям*. Самарканд, 2002. С. 224–229.
13. Електромагнітна вимірювально-інформаційна система неруйнівного контролю параметрів напружено-деформованого стану конструкцій і споруд: пат. 75876 Україна: МПК G01N27/90, G01M19/00. №2002054241; заявл. 23.09.02, опубл. 15.06.06, Бюл. № 6. 20 с.

Samchenko R.V., Yukhymenko A.I., Ilyin S.V. DEFINING THE PARAMETERS WHEN CHANGING THE SUBSIDENCE OF THE FOUNDATION STIFFNESS BASES DURING RECOVERY OF DEFORMED BUILDINGS, STRUCTURES

There is a large number of deformed buildings, structures that are constantly increasing due to the influence of various factors of natural and man-made nature. In most cases, the consequence of these effects is the deformation of the foundations and, accordingly, buildings in general. Deformations of buildings occur in various manifestations, but most often in the form of slopes, which are the result of uneven subsidence of the foundations. A method of leveling inclined objects by perforating layers of foundations of limited thickness directly under the foundation by drilling horizontal wells of variable parameters has been developed. At the same time there is a change of rigidity of a basis. Thus, this method of eliminating the deformed state - rolls is based on the control of the rigidity of the foundations.

The rigidity of the foundations is one of the main parameters that determine the stress-strain state of buildings and structures. The stiffness of any part of the surface of the base is the force that must be applied to a unit of surface to move it at a distance equal to one. To determine the stiffness coefficient, it is necessary to know the size of the deformation of the surface of the base caused by the action of external loads on it from the foundation.

Under the action of the weight of the structure and the additional technological procedure of moistening the soil pillars, the wells are deformed, transforming from a round shape into an elliptical shape. The perforated layer is subjected to compression deformation and the foundation settles in accordance with the variable design parameters of horizontal wells.

To implement the developed method of restoring the deformed condition of damaged buildings, structures by controlling the rigidity of the foundations, the method of determining the subsidence of the foundations during perforation of the foundation layer under the foundation by drilling horizontal wells is highlighted.

This method has successfully eliminated the deformed condition of more than 60 objects for various purposes: buildings 3–14 storeys, high-rise buildings, including chimneys 50–100 m high without relocation of people, without delay of activity of objects, without additional increase of the deformed condition. At each object, the alignment was accompanied by geodetic monitoring and an automated control system.

Key words: deformations of buildings, restoration of the deformed condition, rigidity of bases, subsidence of the bases, perforation parameters.