

УДК 624.151.5

**Е. О. БРЫЖАТАЯ, О. Э. БРЫЖАТЫЙ, Н. С. МАСЛО**

ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»

**РЕГУЛИРОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО  
СОСТОЯНИЯ КОНСТРУКЦИЙ МНОГОЭТАЖНОГО КАРКАСНОГО  
ЗДАНИЯ НА ПЛИТНОМ ФУНДАМЕНТЕ**

**Аннотация.** Статья посвящена изучению напряженно-деформированного состояния элементов каркаса многоэтажного здания при исправлении крена с применением различных типов регулируемых фундаментов. Разработаны конечно-элементные модели многоэтажного здания с конструктивными мерами защиты от влияния сверхнормативных кренов, которые учитывают взаимодействие сооружения с деформируемым основанием и конструкции фундаментов с изменяемыми в процессе расчета размерами. Обоснованы технологические схемы выравнивания здания. При этом рассматривались схемы опускания менее просевших частей здания с применением регулирующего устройства по типу «песочница» и поднятия более просевших частей здания с помощью домкратов. Приведен сравнительный анализ полученных результатов напряженно-деформированного состояния конструкций здания при использовании различных типов регулируемых фундаментов.

**Ключевые слова:** неравномерная деформация основания, напряженно-деформированное состояние (НДС), крен, исправление крена здания, песочница, домкрат.

В настоящее время на территории Донецкой Народной Республики имеется значительный объем аварийного и ветхого жилья, и, вероятнее всего, в ближайшие годы тенденция к его увеличению сохранится. Одним из важнейших факторов, препятствующих нормальной эксплуатации зданий и сооружений, является возможность их повреждения в результате неравномерных деформаций грунтового основания. При этом сложные инженерно-геологические условия являются одной из основных причин нестабильности оснований как строящихся, так и уже существующих объектов, вследствие этого увеличивается риск потери несущей способности зданий и сооружений. По этой причине важную роль приобретает проблема контроля технического состояния несущих конструкций сооружений с целью недопущения и предотвращения возникновения аварийных ситуаций, а также обоснованность выбора комплекса инженерных мероприятий по их недопущению. Регулируемые фундаменты по конструктивному различию могут быть: для проектируемых и эксплуатируемых зданий. Для эксплуатируемых зданий они представляют собой комплекс усиления и преобразований цокольно-подвальной части, направленных на обеспечение жесткости и целостности конструкций зданий при подъеме и выравнивании. Для строящихся зданий несущие конструкции и фундамент уже проектируются с учетом подъема и выравнивания, при этом устройство регулируемого фундамента на стадии строительства новых объектов гораздо менее материально затратно и трудоемко, нежели для эксплуатируемых зданий и сооружений.

Целью работы является исследование напряженно-деформируемого состояния элементов каркасного здания при регулировании геометрического положения здания в пространстве с помощью регулируемых фундаментов: домкратами и по типу «песочница».

Методика исследования основывается на использовании расчетных моделей, которые учитывают взаимодействие конструкций с деформируемым основанием и конструкции фундаментов с изменяемыми в процессе расчета размерами. Конструкции регулируемых фундаментов используются для моделирования процесса выравнивания здания методом опускания его менее просевших частей для регулируемого фундамента по типу «песочница», а также подъема более просевших частей с использованием домкратов. В расчетной схеме устройства для исправления кренов сооружения моделируются

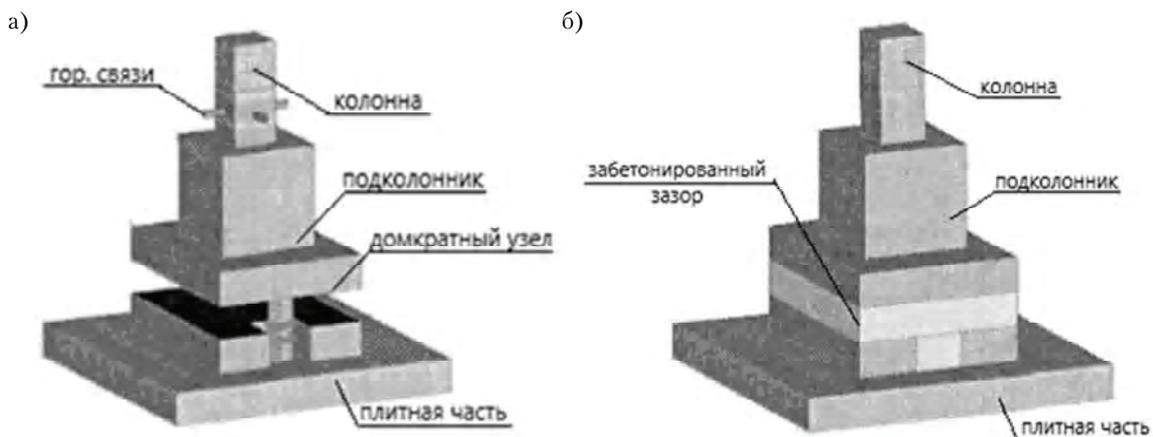
© Е. О. Брыжатая, О. Э. Брыжатый, Н. С. Масло, 2021

стержневыми конечными элементами с заданной осевой жесткостью. Для регулируемых фундаментов по типу «песочница» прототипом стало устройство, разработанное в работе [1] (рис. 1).



**Рисунок 1** – Конструкция внешних оболочек регулируемого фундамента «песочницы» – прототипа.

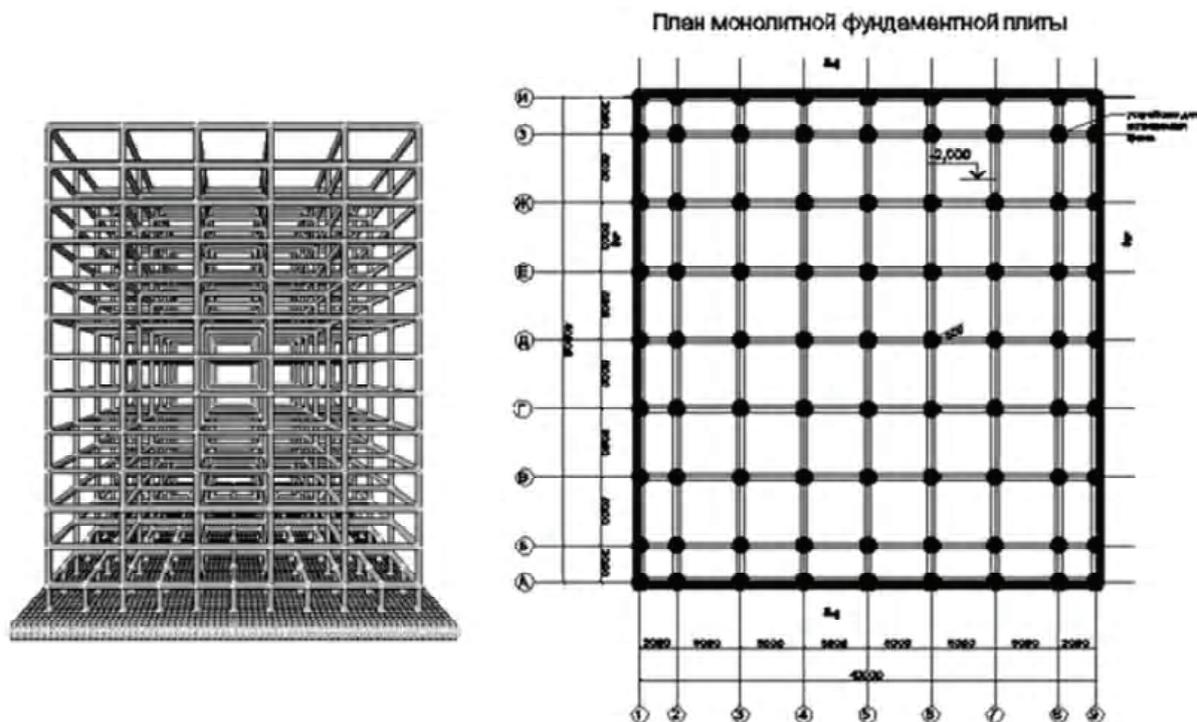
Устройство моделируется стержневым конечным элементом с жесткостью-труба профиль 420×65 мм. Для домкратов прототипом стала домкратная система, разработанная в работе [2] (рис. 2). Данный вид регулируемого фундамента моделируется в ПК «Лира» двумя элементами: железобетонным подколонником с сечением 60×60 см и железобетонным домкратным узлом с сечением 70×70 см. Уменьшение и увеличение высоты устройства в расчетах учитывается как температурная деформация.



**Рисунок 2** – Регулируемый фундамент для проектируемых зданий с железобетонным каркасом в процессе подъема с помощью домкрата: а) подъем и выравнивание здания, б) бетонирование образовавшегося зазора.

Для получения данных о напряженно-деформированном состоянии элементов каркасного здания на плитном фундаменте в программном комплексе Lira была построена конечно-элементная модель 12-этажного здания с технологическим этажом. Высота типового этажа 3 метра, шаг колонн 6 м (рис. 3).

Методика расчета системы «строение-фундамент-основание» при исправлении пространственного положения здания основывается на уточненных определениях нагрузок и воздействий. Таким



**Рисунок 3** – Расчетная схема 12-этажного здания в ПК LIRA и план расположения регулирующих устройств.

образом, рассматриваются основные, особые и технологические сочетания нагрузок. В основное сочетание нагрузок входят эксплуатационные нагрузки, которые приложены к конструкциям здания до момента исправления пространственного положения здания с помощью регулируемых фундаментов. В особые сочетания нагрузок входят нагрузки основного сочетания и неравномерные осадки основания, которые проявились к моменту начала работ по выравниванию здания. В технологические сочетания нагрузок входят основные и особые сочетания и одно из технологических воздействий в виде вынужденных перемещений в стержнях (температурное воздействие), моделирующих устройство. А также для выравнивания геометрического положения здания с помощью системы домкратов необходимо учитывать давление, необходимое для подъема здания с помощью домкратов, которое передается на плиту через сосредоточенные силы.

Чтобы не вызвать разрушение фундаментной плиты, при приложении нагрузки от выравнивающего устройства – домкрат необходимо распределительное устройство с площадью основания  $70 \times 70$  см. При подъеме и выравнивании каркасных зданий с регулируемыми фундаментами в виде домкратов рассматривается изменение его НДС в процессе подъема и выравнивания каркасного здания, в общем случае, состоящее из четырех основных этапов: «монтаж гидродомкратной системы из домкратных узлов – обжим рабочей группы домкратов – подъем здания – перемонтаж рабочей группы домкратов». При моделировании процесса выравнивания здания в ПК Лира с помощью домкратов учитывалось давление, которое подавалось на рабочую группу основных домкратов, необходимое для подъема здания, так как нагрузка передается на плиту через две сосредоточенные силы от домкратов.

Количество технологических сочетаний нагрузок соответствует необходимому количеству этапов по выравниванию здания.

Методики разработаны для выявления оптимальных схем корректировки зданий, при которых в несущих конструкциях возникают минимальные усилия.

Для первого этапа исследования были заданы постоянная и временная нагрузки. Максимальная осадка основания составила 8,5 см, что не превышает предельно допустимую осадку 10 см (рис. 4).

На втором этапе исследования был рассчитан коэффициент жесткости основания по формуле  $c_z = P/S$  для осадки равной 30 см и задан в ПК LIRA на часть пластинчатых конечных элементов, которые моделируют работу фундаментной плиты. Таким образом, 12-этажное здание получило неравномерную осадку основания, превышающую 30 см (рис. 5).

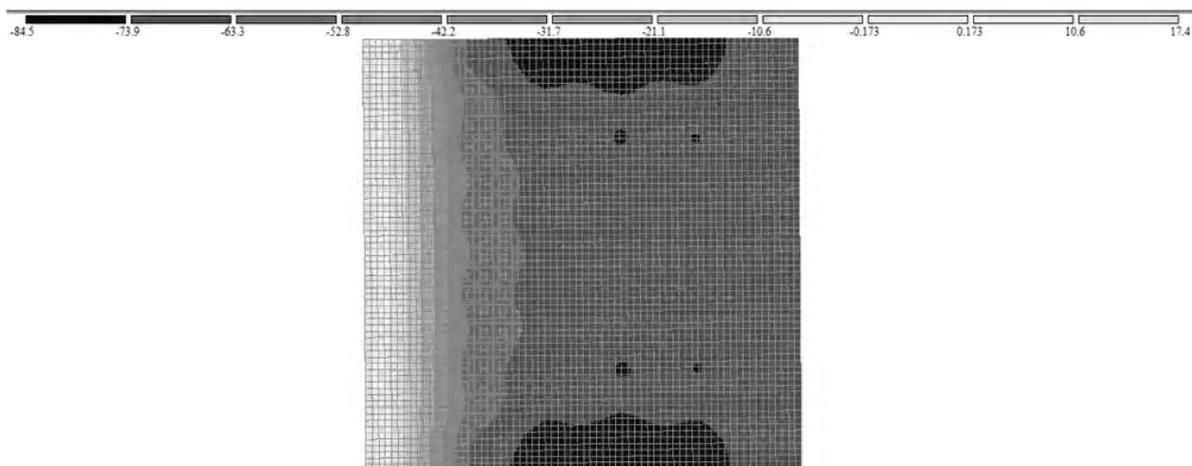


Рисунок 4 – Изополя перемещений по Z(G) на первом этапе исследования.

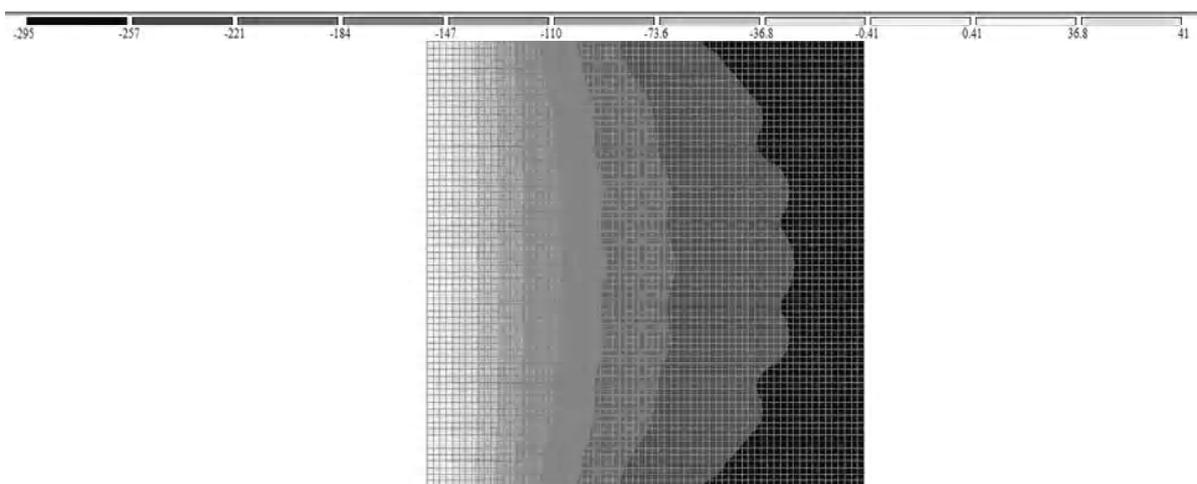


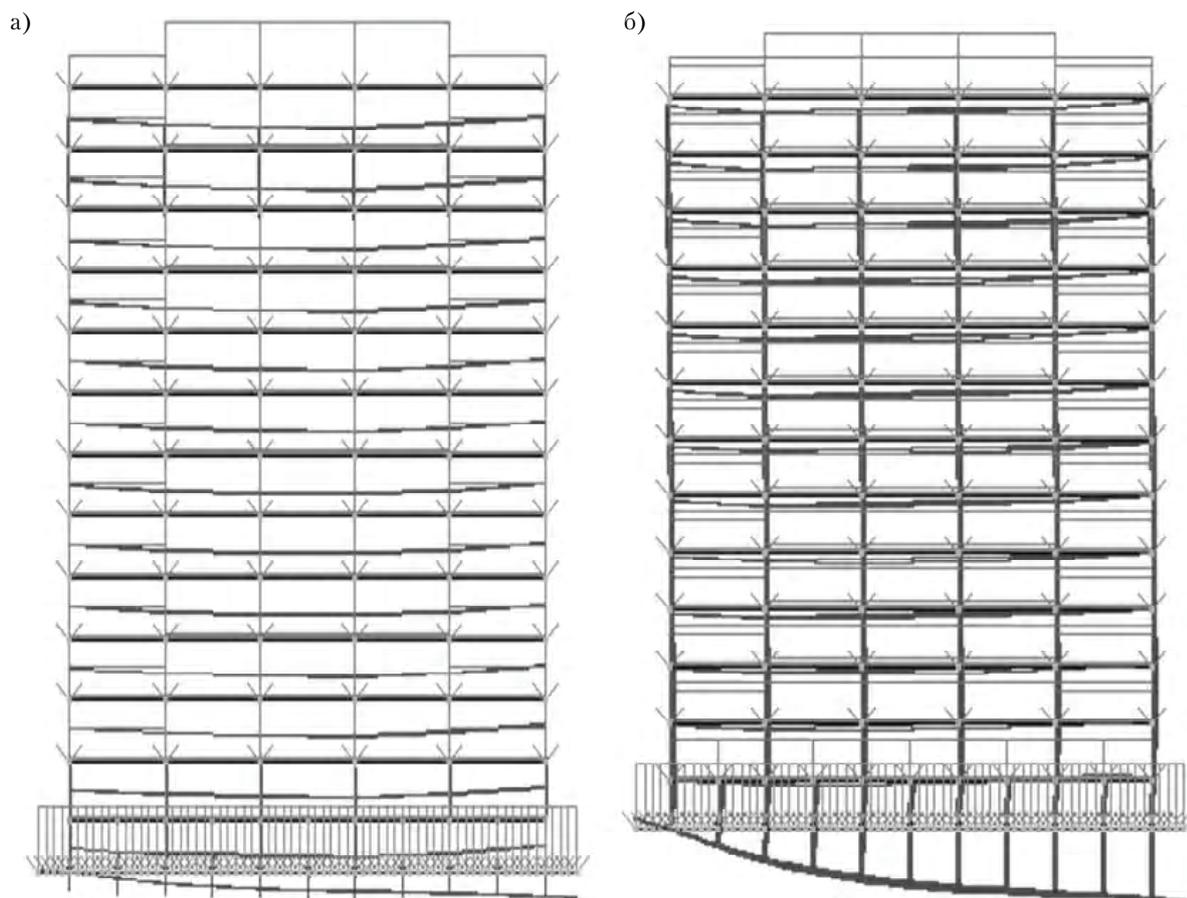
Рисунок 5 – Изополя перемещений по Z(G) при получении зданием крена.

На последующих этапах исследования осуществлялось выравнивание геометрического положения здания двумя схемами (рис. 6). Исправлению геометрического положения подвергались только надземные конструкции, включая колонны и опирающиеся на них конструкции здания. Деформированное состояние фундаментной плиты, вызванное неравномерной осадкой основания, не корректируется, а остается таким, каким сформировалось после двух этапов нагружения. Так как неравномерная осадка фундаментной плиты была задана с помощью коэффициента жесткости основания, величина необходимой корректировки рассчитывалась отдельно для каждого элемента, моделирующего работу устройства. В среднем на каждом этапе исследования величина корректировки варьировалась от 2 до 4 см.

Величина температурного воздействия, при котором уменьшится длина элемента определяется по формуле 1.

$$\Delta t = \frac{\delta_i}{\alpha_i \cdot l_i}, \quad (1)$$

где  $\Delta t$  – величина температурного воздействия, необходимая для перемещения стержня на величину  $\delta_i$ ;  
 $\delta_i$  – необходимая величина перемещения стержня;  
 $\alpha_i$  – коэффициент линейного расширения материала стержня;  
 $l_i$  – номинальная длина стержня оболочки по проекту.



**Рисунок 6** – Исходная и деформированная схема здания на этапе выравнивания здания: а) методом поднятия наиболее просевших частей; б) методом подъема наиболее просевших частей.

Для устройств по типу «песочница» данные рассчитаны при  $\alpha = 11 \cdot 10^{-6}$  1/град, и  $l_i = 0,6$  м, для домкратов  $\alpha = 10 \cdot 10^{-6}$  1/град и  $l_i = 0,6$  м.

С целью недопущения возникновения в элементах конструкции усилий, которые значительно превышают предельно допустимые, нагрузка «равномерный нагрев» прикладывается поэтапно, начиная с оси колонн с наибольшей величиной осадки.

Для того, чтобы определить количественный показатель изменения усилий при исправлении крена здания, рассмотрим наиболее нагруженную раму конструкции при изменении вертикального положения в пространстве на всех этапах исследования.

По полученным результатам расчетов построены графики изменения изгибающего момента для каждого из рассмотренных этапов выравнивания здания (рис. 7–9).

## ВЫВОДЫ

Выявлено, что работа обоих регулирующих устройств приводит к поэтапному уменьшению усилий, что положительно влияет на НДС элементов каркасного здания на плитном фундаменте. При выравнивании здания поэтапно по 2...4 см усилия, которые возникают в элементах каркаса здания, с каждым этапом уменьшаются на 10...15 %. При указанной схеме усилия в конструкциях, полученные в результате неравномерных осадок основания, монотонно уменьшаются до их значения при отсутствии неравномерных осадок основания, и конструкции здания не испытывают дополнительных перегрузок.

Также установлено, что при многоэтапном выравнивании с помощью домкратов происходит уменьшение усилий на каждом этапе исследования на 8...10 %. При этом установлено, что на первом этапе выравнивания с помощью домкратов происходит увеличение изгибающих моментов и продольной силы на 12 %.

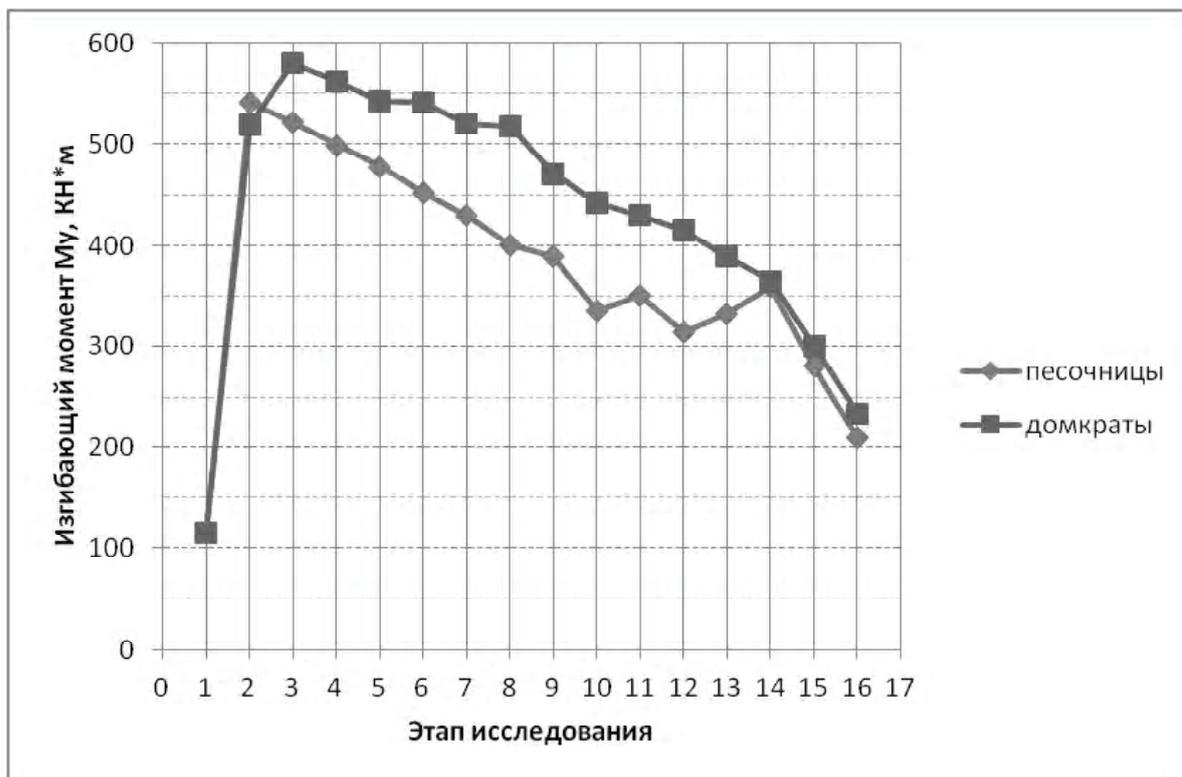


Рисунок 7 – Максимальное значение изгибающего момента в изучаемых элементах каркасного здания при многоэтапном выравнивании песочницами и домкратами в ПК Лиры.

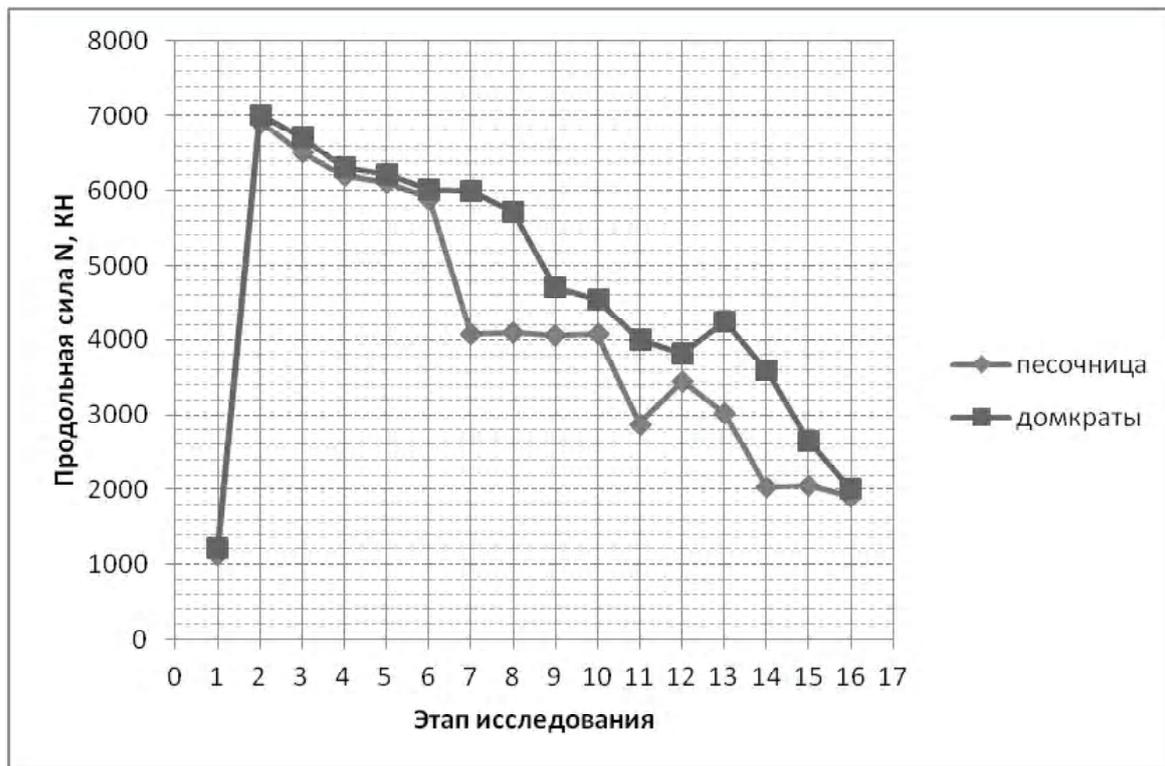
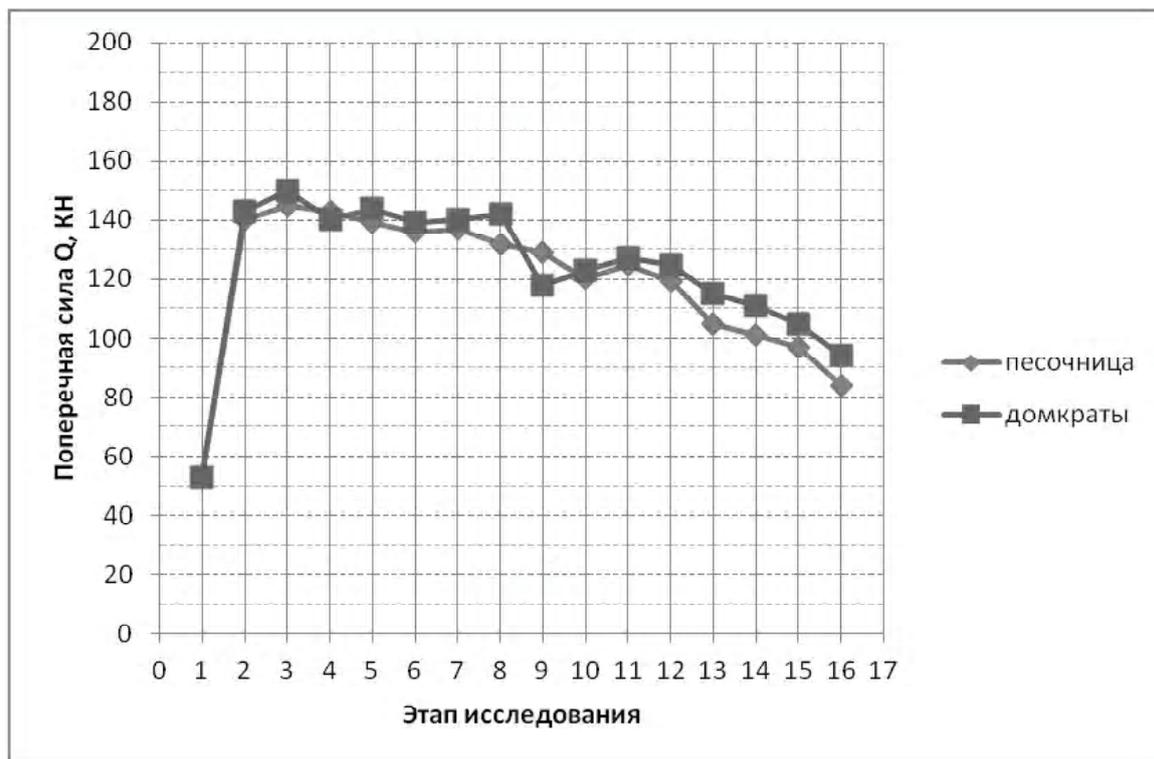


Рисунок 8 – Максимальное значение продольной силы в изучаемых элементах каркасного здания при многоэтапном выравнивании песочницами и домкратами в ПК Лиры.



**Рисунок 9** – Максимальное значение поперечной силы в изучаемых элементах каркасного здания при многоэтапном выравнивании песочницами и домкратами в ПК Лиры.

Для выравнивающего устройства по типу «песочница» результаты усилий сведены в таблицу 1, для домкратов в таблицу 2.

**Таблица 1** – Максимальное значение усилий, возникающих в конструкциях здания при выравнивании с помощью устройств «песочница»

	Этап 1	Этап 2 (до выравнивания)	Этап 16 (после выравнивания)
Наиболее нагруженный элемент рамы	$M_y = 115 \text{ кН}\cdot\text{м}$ $N = -1123 \text{ кН}$ $Q = -53 \text{ кН}$	$M_y = 541 \text{ кН}\cdot\text{м}$ $N = -6914 \text{ кН}$ $Q = -140 \text{ кН}$	$M_y = 210 \text{ кН}\cdot\text{м}$ $N = -1912 \text{ кН}$ $Q = -84 \text{ кН}$

**Таблица 2** – Максимальное значение усилий, возникающих в конструкциях здания при выравнивании с помощью домкратов

	Этап 1	Этап 2 (до выравнивания)	Этап 16 (после выравнивания)
Наиболее нагруженный элемент рамы	$M_y = 115 \text{ кН}\cdot\text{м}$ $N = -1123 \text{ кН}$ $Q = -53 \text{ кН}$	$M_y = 519 \text{ кН}\cdot\text{м}$ $N = -7015 \text{ кН}$ $Q = -142 \text{ кН}$	$M_y = 234 \text{ кН}\cdot\text{м}$ $N = -2015 \text{ кН}$ $Q = -94 \text{ кН}$

Таким образом, на втором этапе исследования в самом нагруженном элементе (колонне первого этажа) рассматриваемой рамы усилия возросли в среднем на 80 %.

При выравнивании песочницами усилия уменьшились на 61 %.

Таким образом, на втором этапе исследования в самом нагруженном элементе (колонне первого этажа) рассматриваемой рамы усилия возросли в среднем на 77 %.

При выравнивании домкратами усилия уменьшились на 55 %.

Если сравнивать данные схемы, разница в усилиях составляет 10...15 % на разных этапах исследования.

Данные, полученные по результатам теоретических исследований эффективности технологических процессов с использованием регулируемых фундаментов, позволили внести ряд уточнений и дополнений в существующие методики численного моделирования работы зданий на регулируемых фундаментах. Указанные уточнения касаются расчетных моделей и методик численных исследований.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Брыжатая, Е. О. Конструкции с изменяемыми параметрами для исправления кренов сооружений : специальность 05.23.01 «Строительные конструкции, здания и сооружения» : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Брыжатая Екатерина Олеговна ; Донбасская национальная академия строительства и архитектуры. – Макеевка, 2017. – 157 с. – Текст : непосредственный.
2. Зотов, А. М. Регулируемые фундаменты каркасных зданий. Конструкция, технология и расчет при подъеме и выравнивании : специальность 05.23.01 «Строительные конструкции, здания и сооружения», 05.23.08 «Технология и организация строительства» : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Зотов Александр Михайлович ; Ростовский государственный строительный университет. – Ростов-на-Дону, 2013. – 166 с. – Текст : непосредственный.
3. Болотов, Ю. К. О проектировании бескаркасных зданий на просадочных грунтах, приспособленных к выравниванию домкратными системами / Ю. К. Болотов, Ю. П. Шумовский. – Текст : непосредственный // Проблемы защиты, строительства зданий и сооружений на просадочных грунтах. – Киев : НИИСК. – 1987. – С. 115–117.
4. Гусаренко, С. П. Регулируемые фундаменты / С. П. Гусаренко, М. Г. Скибин, А. М. Зотов. – Текст : непосредственный // Вестник гражданских инженеров. – 2009. – № 2(19). – С. 139–141.
5. Гусаренко, С. П. Технология и устройство регулируемых фундаментов железобетонных зданий с несущими стенами : специальность 05.23.08 «Технология и организация строительства», 05.23.02 «Основания, фундаменты и подземные сооружения», : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Гусаренко Сергей Павлович. – Ростовский государственный строительный университет. – Ростов-на-Дону, 2012. – 146 с. – Текст : непосредственный.
6. Abelev, M. Yu. Leveling the tilts of tenement building founded on loess soils prone to slump-type settlement by regular wetting / M. Yu. Abelev, V. I. Krutov. – Текст : непосредственный // Soil Mechanics and Foundation Engineering. – 2000. – Vol. 37, № 5. – P. 164–185.
7. Bolotov, U. Calculations and protection of buildings against mining subsidense / U. Bolotov, J. Slobodyan, V. Zotov. – Текст : непосредственный // Budownictwo Politechniki Slaskiej. Gliwice, Zeczyty Naukowe. – 1995. – № 2. – P. 15–19.
8. Ulitskii, V. M. Geotechnical problems associated with the constructions of high-rise buildings. Foreign experience and domestic practice / V. M. Ulitskii, A. G. Shashkin, K. G. Shashkin. – Текст : непосредственный // Soil Mechanics and Foundation Engineering. – 2003. – Vol. 40, № 5. – P. 121–132.
9. Imanzadeh, S. Foundation and overall structure designs of continuous spread footings along with soil spatial variability and geological anomaly / S. Imanzadeh, A. Denis, A. Marache. – Текст : непосредственный // Engineering Structures. – 2014. – № 71. – P. 212–221.

Получена 17.05.2021

#### К. О. БРИЖАТА, О. Є. БРИЖАТИЙ, М. С. МАСЛО РЕГУЛЮВАННЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ КОНСТРУКЦІЙ БАГАТОПОВЕРХОВОГО КАРКАСНОГО БУДИНКУ НА ПЛИТНОМУ ФУНДАМЕНТІ ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури»

**Анотація.** Стаття присвячена вивченню напружено-деформованого стану елементів каркаса багатоповерхової будівлі при виправленні крену із застосуванням різних типів регульованих фундаментів. Розроблено кінцево-елементні моделі багатоповерхової будівлі з конструктивними заходами захисту від впливу наднормативних кренів, які враховують взаємодію споруди з деформованою основою і конструкцій фундаментів зі змінними в процесі розрахунку розмірами. Обґрунтовано технологічні схеми вирівнювання будівлі. При цьому розглядалися схеми опускання менш просівших частин будівлі із застосуванням регулюючого пристрою за типом «пісочниця» і підняття більш просілих частин будівлі за допомогою домкратів. Наведено порівняльний аналіз отриманих результатів напружено-деформованого стану конструкцій будівлі при використанні різних типів регульованих фундаментів.

**Ключові слова:** нерівномірна деформація основи, напружено-деформований стан (НДС), крен, виправлення крену будівлі, пісочниця, домкрат.

EKATERYNA BRYZHATAYA, OLEG BRYZHATY, NIKOLAY MASLO  
REGULATION OF THE STRESS-STRAIN STATE OF STRUCTURES OF A  
MULTI-STOREY FRAME BUILDING ON A SLAB FOUNDATION

Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

**Abstract.** The article is devoted to the study of the stress-strain state of the elements of the frame of a multi-storey building when correcting the tilt with the use of various types of adjustable foundations. Finite-element models of a multi-storey building with structural measures of protection against the influence of excess tilts, which take into account the interaction of the structure with the deformable base and the construction of foundations with dimensions that change during the calculation, are developed. Technological schemes of building alignment are justified. At the same time, the schemes of lowering the less sagging parts of the building with the use of a regulating device of the «sandbox» type and lifting the more sagging parts of the building with the help of adjustable jacks were considered. A comparative analysis of the obtained results of the stress-strain state of building structures using various types of adjustable foundations is presented.

**Key words:** nonuniform deformation of the base, stress-strain state, tilt, correction of the tilt of the building, sandbox, adjustable jack.

**Брыжатая Екатерина Олеговна** – кандидат технических наук, доцент кафедры оснований, фундаментов и подземных сооружений ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: влияние расчетных моделей на напряженно-деформированное состояние конструкций здания, методы исправления кренов зданий.

**Брыжатый Олег Эдуардович** – кандидат технических наук, доцент кафедры железобетонных конструкций ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: проектирование инженерных сооружений и методы реконструкции.

**Масло Николай Сергеевич** – ассистент кафедры оснований, фундаментов и подземных сооружений ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: конструкции подпорных стен. Особенности определения нагрузок на подпорные стены.

**Брижата Катерина Олегівна** – кандидат технічних наук, доцент кафедри основ, фундаменти та підземних споруд ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: вплив розрахункових моделей на напружено-деформований стан конструкцій будівлі, методи виправлення кренів будівель.

**Брижати́й Олег Едуардович** – кандидат технічних наук, доцент кафедри залізобетонних конструкцій ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: проектування інженерних споруд та методи реконструкції.

**Масло Микола Сергійович** – асистент кафедри основ, фундаментів та підземних споруд ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: конструкції підпирних стін. Особливості визначення навантажень на підпірні стіни

**Bryzhataya Ekateryna** – Ph. D. (Eng.), Associate Professor, Basements, Foundations and Underground Structures Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: influence of design models on the stress-strain state of building structures, methods for correcting building tilts.

**Bryzhaty Oleg** – Ph. D. (Eng.), Associate Professor, Reinforced Concrete Constructions Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: design of engineering structures and methods of reconstruction.

**Maslo Nikolay** – Assistant, Basements, Foundations and Underground Structures Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: construction of retaining structure. Specifics of determining loads on the retaining structures.