



ISSN 1814-5566 print

ISSN 1993-3517 online

**МЕТАЛЕВІ КОНСТРУКЦІЇ**  
**МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ КОНСТРУКЦИИ**  
**METAL CONSTRUCTIONS**

2015, ТОМ 21, НОМЕР 4, 177–189

УДК 624.041.1+624.971

(15)-0336-1

## **ВПЛИВ НЕРІВНОМІРНИХ ЗМІЩЕНЬ ФУНДАМЕНТІВ НА РОБОТУ ГРАТЧАСТИХ БАШТ ДИМОВИХ ТРУБ**

**В. В. Губанов<sup>a</sup>, А. В. Голиков<sup>b</sup>**

<sup>a</sup> Донбаська національна академія будівництва і архітектури,  
2, вул. Державіна, м. Макіївка, Донецька область, Україна, 86123.

<sup>b</sup> Волгоградський державний архітектурно-будівельний університет,  
1, вул. Академічна, м. Волгоград, Росія, 400074.

E-mail: <sup>b</sup> alexandr\_golikov@mail.ru

Отримана 14 жовтня 2015; прийнята 27 листопада 2015.

**Анотація.** У статті розглянуто вплив деформацій основ на напружено-деформований стан несучих конструкцій башт, що підтримують димові труби, з металевим ґратчастим каркасом. Деформації основ моделюються введенням нерівномірних зміщень окремих фундаментів у горизонтальній та вертикальній площині. Від впливу зміщень визначені внутрішні зусилля в елементах башт. За об'єкт досліджень прийнято найбільш поширені типи опор трикутного та квадратного поперечного перерізу для витяжних та димових труб 115 та 140 м заввишки з окремо розташованими фундаментами. За розрахункову модель було прийнято просторову ферму. Отримано та проаналізовано якісні залежності впливу нерівномірних зміщень на зусилля в елементах. На підставі чисельних досліджень було запропоновано модель та значення коефіцієнтів для кількісного визначення додаткових зусиль в елементах для башт заввишки до 150 м. Запропоновано методика використання результатів для башт, які були запроектовані для різних вітрових умов.

**Ключові слова:** ґратчасті башти, димові труби, нерівномірне зміщення фундаментів, внутрішні зусилля, моделювання роботи.

## **ВЛИЯНИЕ НЕРАВНОМЕРНЫХ СМЕЩЕНИЙ ФУНДАМЕНТОВ НА РАБОТУ РЕШЕТЧАТЫХ БАШЕН ДЫМОВЫХ ТРУБ**

**В. В. Губанов<sup>a</sup>, А. В. Голиков<sup>b</sup>**

<sup>a</sup> Донбасская национальная академия строительства и архитектуры,  
2, ул. Державина, г. Макеевка, Донецкая область, Украина, 86123.

<sup>b</sup> Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет,  
1, ул. Академическая, г. Волгоград, Россия, 400074.

E-mail: <sup>b</sup> alexandr\_golikov@mail.ru

Получена 14 октября 2015; принята 27 ноября 2015.

**Аннотация.** В статье рассматривается влияние деформаций основания на напряженно-деформированное состояние несущих конструкций башен, поддерживающих дымовые трубы, с металлическим решетчатым каркасом. Деформации основания моделируются заданием неравномерных смещений отдельных фундаментов в горизонтальной и вертикальной плоскости. От воздействия смещений определены внутренние усилия в элементах башен. В качестве объекта исследований приняты наиболее распространенные типы опор треугольного и квадратного поперечного сечения для вытяжных и дымовых труб высотой 115 и 140 м с отдельно расположенными фундаментами. Расчетной моделью

являлась пространственная ферма. Получены и проанализированы качественные зависимости влияния неравномерных смещений на усилия в элементах. На основе численных исследований предложена модель и значения коэффициентов для количественного определения дополнительных усилий в элементах для башен высотой до 150 м. Предложена методика применения результатов к башням, запроектированным для различных ветровых условий.

**Ключевые слова:** решетчатые башни, дымовые трубы, неравномерные смещения фундаментов, внутренние усилия, моделирование работы.

## EFFECT OF DIFFERENTIAL MOVEMENTS OF FOUNDATIONS ON BEHAVIOR OF LATTICE TOWERS SUPPORTING CHIMNEY

Vadim Gubanov <sup>a</sup>, Alexander Golikov <sup>b</sup>

<sup>a</sup> Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture,  
2, Derzhavina Str., Makiyivka, Donetsk Region, Ukraine, 86123.

<sup>b</sup> Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering,  
1, Akademicheskaya Str., Volgograd, Russia, 400074.

E-mail: <sup>b</sup> alexandr\_golikov@mail.ru

Received 14 October 2015; accepted 27 November 2015.

**Abstract.** The effect of ground deformation on stresses and strains in steelworks is dealt with in the paper. The steelworks include lattice towers for supporting steel chimney. The deformations of ground are modeled by inducing differential movements of a separate foundation in vertical and horizontal planes. The internal forces in tower members due to movement are calculated. The most widespread types of towers of 115 and 140 m high supporting exhaust pipes and chimneys and having square and triangular layouts with individual foundations are adopted as the object for research. The calculation model of the towers is a space truss. The qualitative parameters for the influence of uneven soil deformations on normal forces into the tower members are obtained and analyzed. On the basis of numerical data received the simple model are proposed for calculating additional forces arising in the elements for towers up to 150 m high. The technique of applying the model for towers designed under different wind conditions is outlined.

**Keywords:** lattice towers, steel chimney, differential movements of foundations, internal forces, behavior modeling.

### Введение

В процессе эксплуатации строительных конструкций зданий и сооружений, как известно, происходит деградация их несущих и эксплуатационных свойств, т. е. различные виды износа. Наиболее подвержены износу здания и сооружения с металлическим каркасом, которые эксплуатируются в агрессивной среде промышленных предприятий. К ним относятся такие достаточно широко распространенные решетчатые башенные сооружения, как градирни, водонапорные башни, решетчатые опорные конструкции вытяжных башен.

Обычно под износом понимают появление трещин из-за усталостных процессов или уменьшение размеров поперечных сечений [4]. Вслед-

ствие этого происходит локальное снижение несущей способности отдельных элементов и узлов сооружения. Для определения степени снижения несущей способности элементов имеются достаточно хорошо разработанные методы проверочного расчета элементов с местными и общими искривлениями, вырывами и вырезами, ослаблениями сварных швов и т. д. [6, 7].

Кроме локального износа, на сооружения могут воздействовать атмосферные, технологические и геотехнические процессы и факторы, приводящие к таким изменениям конструктивных параметров сооружения, которые влияют на напряженно-деформированное состояние в конструкции в целом. Такие воздействия, как

правило, повышают уровень напряжений, т. е. оказывают влияние, аналогичное локальному износу. Для оценки безопасности несущих конструкций проектируемых и эксплуатируемых конструкций, а также планирования обслуживания [8] важно знание закономерностей и количественных характеристик воздействий. Эти характеристики существенно зависят от конструктивных особенностей конкретных типов сооружений.

Наиболее изученным является влияние общего коррозионного износа, имеющего различные значения на отдельных участках башен. Для башенных решетчатых градилен перераспределение усилий между элементами при различном распределении износа по окружности башен рассмотрено в [1]. Изменение динамических параметров башен вследствие коррозионного износа и увеличение резонансной составляющей ветровой нагрузки при различных зонах износа по высоте исследовано в [8]. Согласно имеющимся результатам данные типы износа могут вызывать увеличение напряжений в 1,2...1,8 раза.

Помимо коррозионного износа, фактором, влияющим на НДС сооружения в целом, являются неравномерные деформации основания. Они могут приводить к крену. В этом случае выполненные исследования показывают [5], что влияние кренов на сооружения с металлическим каркасом значительно меньше, чем для железобетонных конструкций.

Другой эффект деформаций основания заключается в неравномерном взаимном смещении фундаментов, которое может вызвать значительные дополнительные усилия в элементах башен, и, согласно Еврокоду 6 [13], должно учитываться как при проектировании несущих металлических конструкций, так и при определении параметров фундаментов. Особенно это актуально для промышленных площадок, где неравномерные смещения могут вызываться наличием насыпных грунтов с неоднородными свойствами, изменением уровня грунтовых вод или локальным вымыванием грунта из-за неисправностей технологических трубопроводов. Данные вопросы не нашли отражения в научной литературе.

Следует отметить, что предельные смещения фундаментов или кренов в нормах проек-

тирования не имеют явной связи с НДС. Еще более затруднительным является случай, когда данные горизонтальные и вертикальные смещения превышают указанные значения. Поэтому актуальным является вопрос учета влияния неравномерных деформаций основания и смещений фундаментов на напряженно-деформированное состояние, который исследуется в данной статье, на основании методического подхода, предложенного в [2].

### Объекты и методы исследования

В качестве объекта исследований приняты несущие решетчатые башни дымовых труб небольшого диаметра и газоотводящих стволов. Данный тип конструкций является достаточно ответственным сооружением промышленных предприятий химической и нефтехимической отраслей. Наиболее распространенными являются трех- и четырехгранные башни высотой 100...150 м, поэтому в данном исследовании рассматриваются башни высотой 115 и 140 м, запроектированные для третьего ветрового района [10] с расчетным давлением ветра 500 Па.

Четырехгранная башня высотой  $H=140$  м имеет сложную форму с двумя переломами по высоте и поддерживает газоотводящий ствол диаметром 2,4 м. Ширина башни в основании составляет 20 м, ширина вверху – 4,4 м. Сечения элементов башни состоят из двух равнополочных уголков сечением: для поясов – от  $200 \times 30$  до  $125 \times 10$  мм; для элементов решетки – от  $160 \times 12$  до  $63 \times 6$  мм.

Трехгранная башня высотой  $H=115$  м для опирания дымовой трубы диаметром 2,1 м представляет собой пространственную решетчатую систему с одним переломом по высоте. Тип решетки башни – крестовая до отм. 50,0 м и полураскосная с отм. 50,0 м до отм. 115,0 м, ширина башни в основании составляет 18,0 м, вверху – 6,4 м. Сечения элементов трехгранной башни выполнены из труб: пояса имеют сечение от  $203 \times 15$  до  $325 \times 25$  мм, элементы решетки – от  $133 \times 10$  до  $245 \times 20$  мм.

В качестве моделей несущих конструкций башен были использованы пространственные фермы. Расчет выполнялся в упругой постановке без учета вторичных эффектов в среде программного комплекса SCAD. Пояса башен

опираются на отдельно стоящие столбчатые фундаменты. Такое конструктивное решение характерно для башен высотой до 150 м. При большей высоте принимается общий монолитный плитный фундамент, который закрепляет точки опирания поясов от неравномерных смещений. Опорные закрепления поясов башни в расчетной схеме приняты:

- для четырёхгранной башни: два пояса – шарнирно-неподвижное закрепление, два – закрепление только в вертикальном направлении;
- для трёхгранной башни: два пояса – шарнирно-неподвижное закрепление, один – закрепление только в вертикальном направлении.

Неравномерные деформации основания наиболее существенно влияют на статически неопределимые системы. Аналогичное воздействие они оказывают и на решетчатые башни с неизменяемым поперечным сечением в случае, когда опорная часть башни является жестким контуром.

Дополнительные усилия в элементах вызывают как горизонтальные, так и вертикальные деформации. Исследование влияния неравномерных деформаций основания необходимо для решения следующих задач (рис. 1):

1. Назначение предельных допустимых значений неравномерных деформаций основания, которые необходимо учитывать при проектировании фундаментов.
2. Выполнение контроля технического состояния. В этом случае значение неравномерно осадки является одним из основных параметров, определяющих общее напряженно-деформированное состояние конструкций, знание которого необходимо для планирования дальнейшего обслуживания башен.
3. Определение влияния неравномерной осадки на НДС конструкций для учета в общем износе при выполнении проверочных расчетов, моделировании износа и разработке стратегий обслуживания.

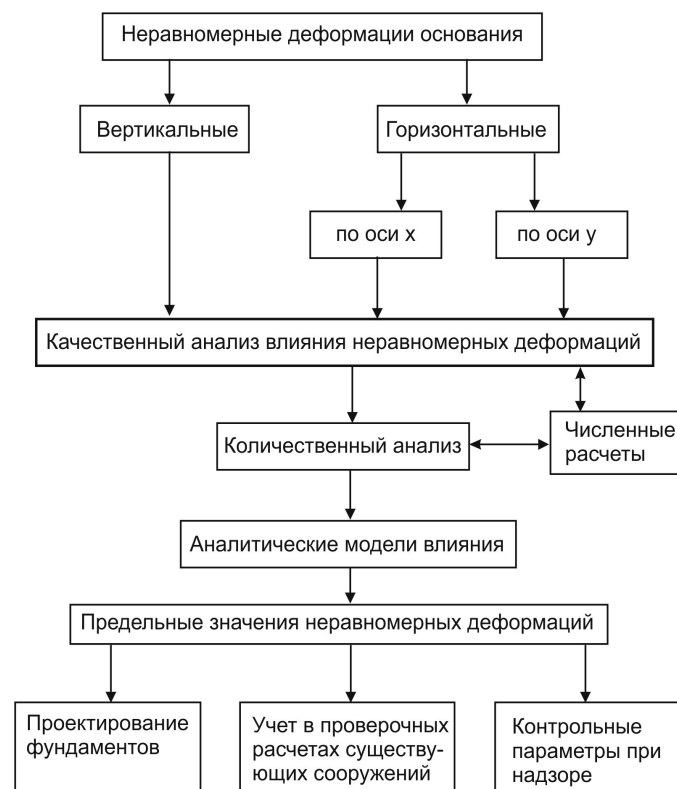


Рисунок 1. Общая схема исследования.

Для установления характера работы стволов башен при неравномерных деформациях оснований, смещении фундаментов и опор поясов было выполнено моделирование башен основных расчетных ситуаций смещений, варианты которых приведены на рис. 2 и 3 для четырех- и трехгранных башен соответственно.

Для четырехгранных башен рассматривались вертикальные и горизонтальные неравномерные смещения фундаментов.

Для трехгранных башен неравномерное вертикальное смещение одного фундамента в статическом отношении эквивалентно смещению двух фундаментов и приводит к появлению крена, вследствие которого дополнительные

усилия возникают от появления дополнительных изгибающих моментов в стволе.

Оценка напряженно-деформированного состояния конструкций башен производилась в следующей последовательности:

- 1) анализ характера влияния смещений фундаментов на работу сооружения в целом;
- 2) определение участков и элементов башни, наиболее подверженных влиянию смещений фундаментов;
- 3) определение зависимости напряжения в элементах ствола башни от значения смещений;
- 4) определение влияния смещений на несущую способность башен.

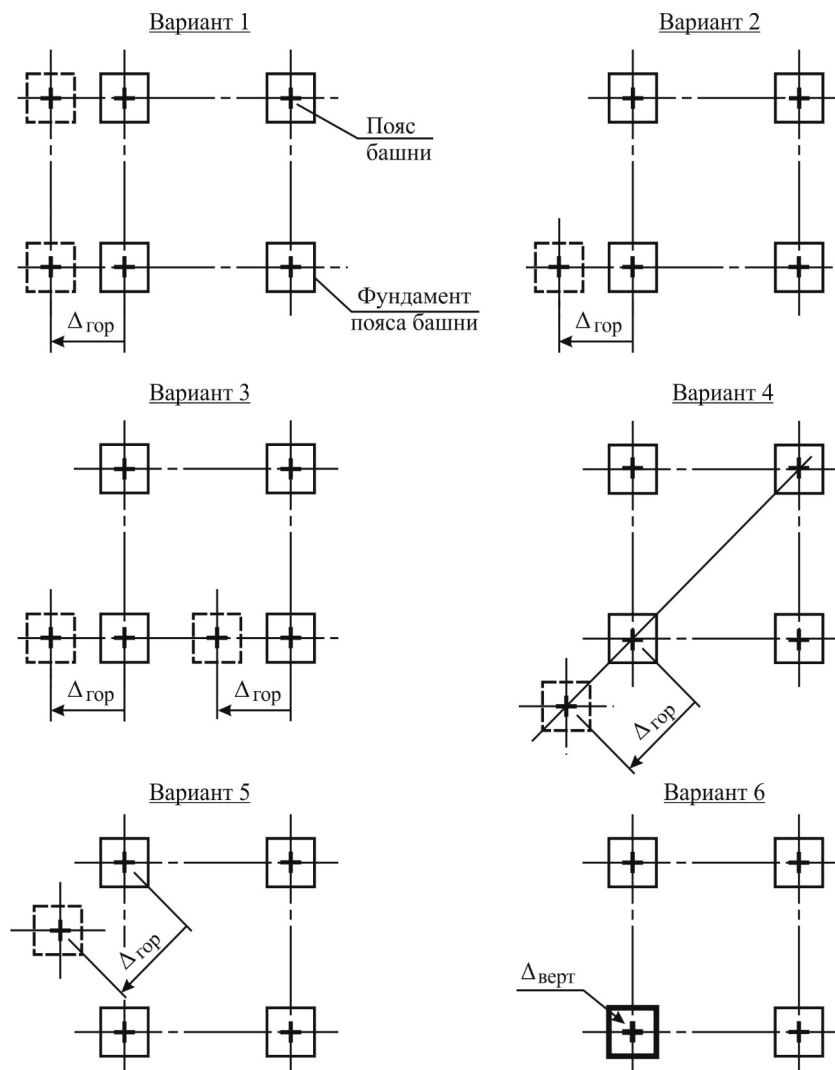


Рисунок 2. Варианты смещения фундаментов для четырехгранных башен.

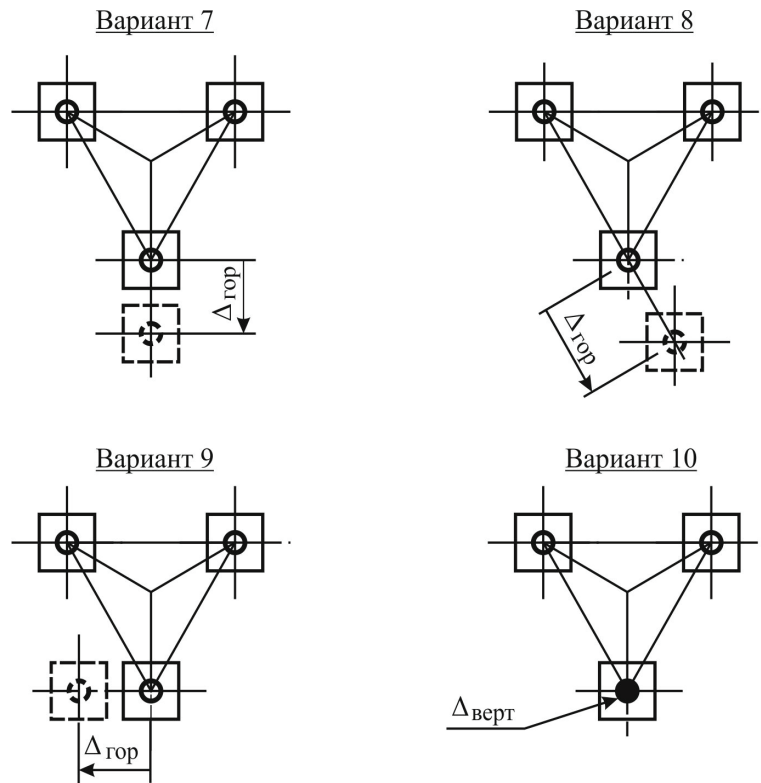


Рисунок 3. Варианты смещения фундаментов для трехгранных башен.

### Результаты численных исследований

Усилия в элементах четырехгранной башни для смещения 5 мм показаны на рис. 4. Характер изменения дополнительных усилий в нижнем участке пояса четырехгранной башни с изменением высоты при вертикальной деформации фундамента (вариант 6 на рис. 2) приведен на рис. 5. Нумерация участков принята снизу вверх по панелям решетки башни.

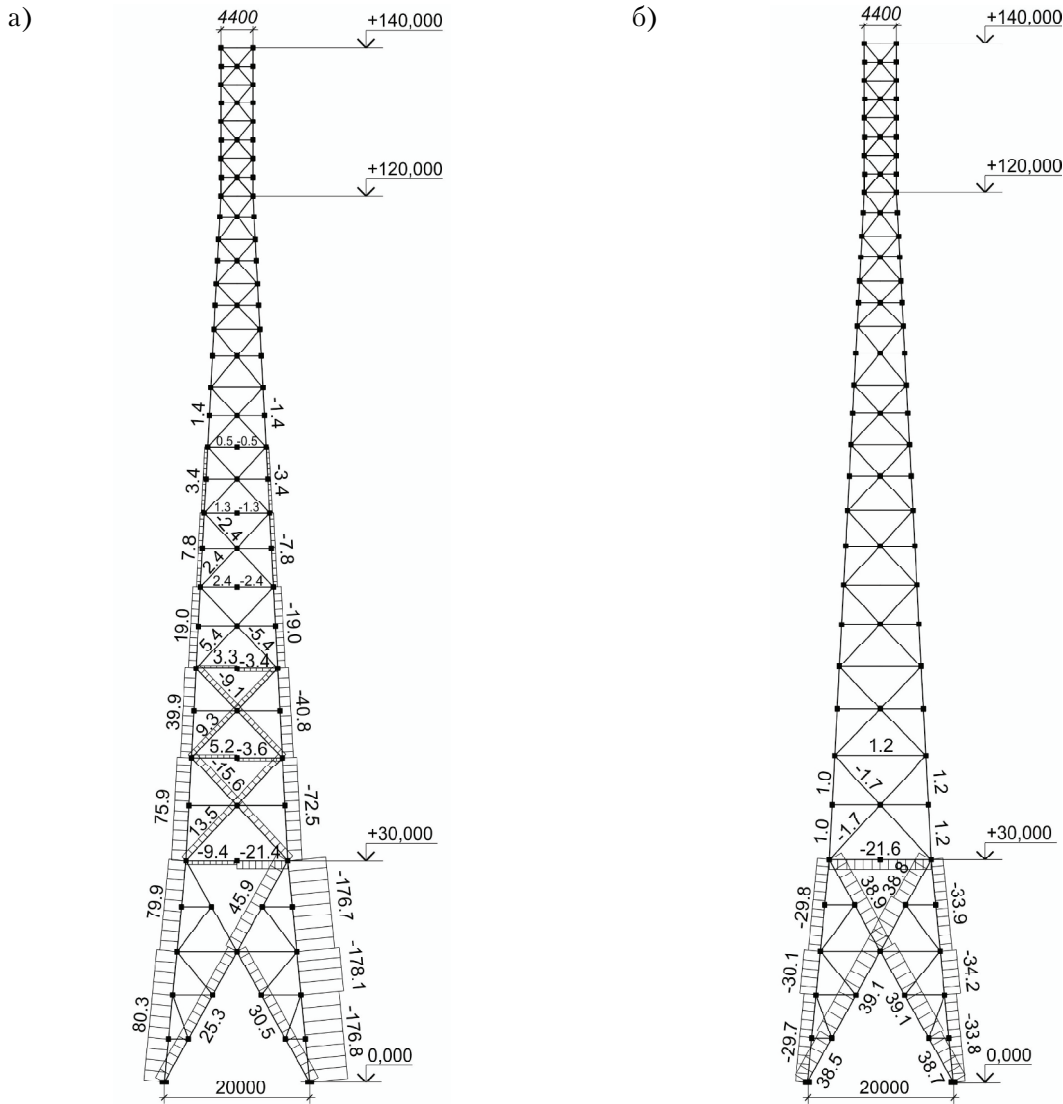
Из сравнения распределения усилий в элементах четырехгранной башни по высоте видно, что в случае горизонтальных смещений фундаментов дополнительные усилия быстро убывают с увеличением высоты расположения элемента, локализуясь в нижней части башни, где имеются дополнительные внутренние пояса (рис. 4б). При вертикальных смещениях увеличение продольных сил распространяется значительно выше, примерно до половины высоты башни (рис. 4а). Аналогичное явление имеет место и при неравномерных смещениях фундаментов трехгранных башен.

Зависимости напряжений в элементах башни от значений смещений фундаментов для различных вариантов направления смещения и количества сместившихся фундаментов для четырехгранной башни приведены на рис. 6. Учитывая распределение усилий по высоте, в качестве основных были приняты нижний участок наружного пояса и первый раскос. Для трёхгранной башни усилия в элементах нижних участков наружного и внутреннего поясов приведены на рис. 7.

Наиболее неблагоприятной расчетной ситуацией по критерию увеличения напряжений является:

- для поясов четырехгранных башен – вариант 6 – вертикальное смещение одного фундамента;
- для решетки четырехгранных башен – вариант 9 – боковое горизонтальное смещение фундамента.

При исследовании работы четырехгранных башен было установлено, что максимальные уси-

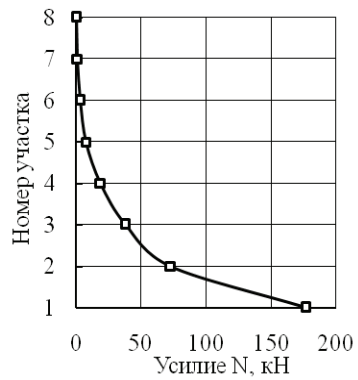


**Рисунок 4.** Распределение усилий в элементах башни (кН) при смещении фундаментов: а) при вертикальном смещении (вариант 6); б) при горизонтальном смещении (вариант 1).

лия в элементах для варианта 2 примерно равно усилиям при смещениях фундамента по варианту 1. Наиболее неблагоприятной расчетной ситуацией по критерию напряжений для трехгранных башен:

- для поясов – вариант 10 (крен) и вариант 7 (горизонтальное смещение одного фундамента в направление «на грань»);
- для решетки – вариант 1 (горизонтальное смещение одного фундамента в направление «на грань»);

Анализ результатов численных исследований влияния смещений фундаментов на напряженно-



**Рисунок 5.** Изменение усилий по высоте башни.

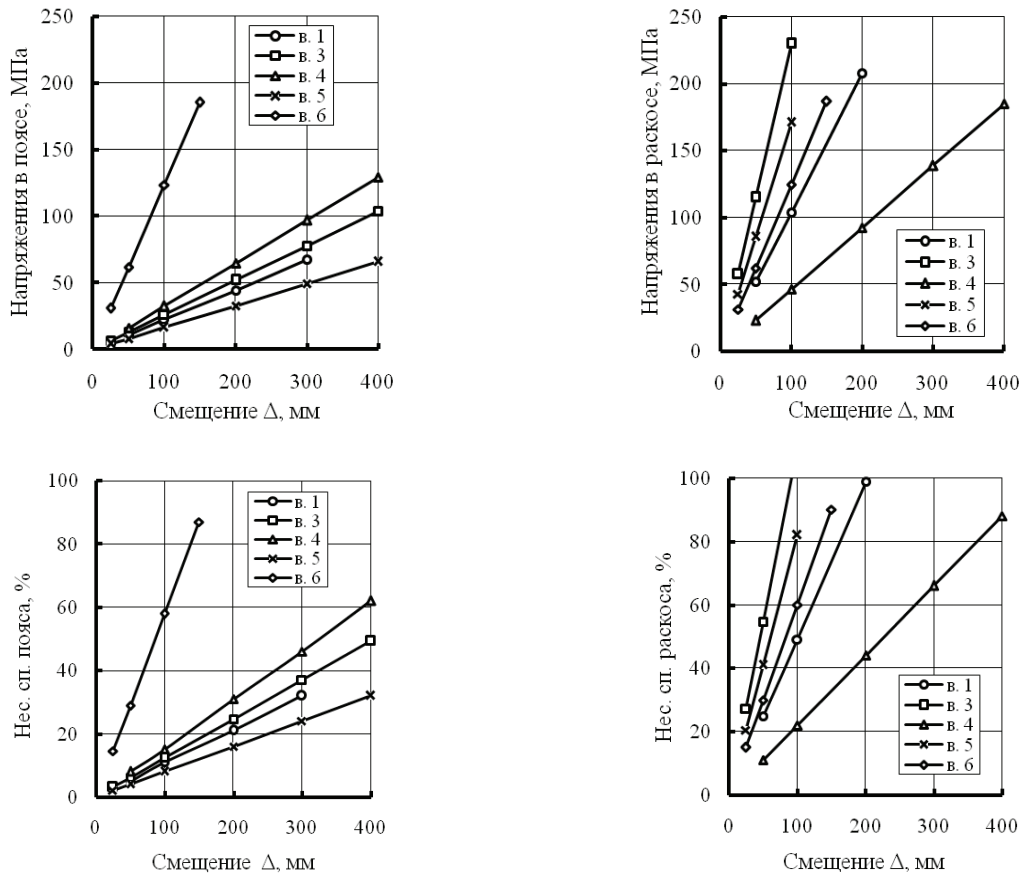


Рисунок 6. Характеристики НДС элементов четырехгранной башни.

деформированное состояние поясов и решеток башен показывает:

- наиболее чувствительны к неравномерным деформациям оснований элементы решетки башен;
- напряжения в элементах башни линейно зависят от деформаций основания;
- горизонтальные деформации основания воспринимаются преимущественно нижним приопорным неизменяемым контуром башни;
- неравномерные вертикальные деформации основания воспринимаются на высоту не более  $\frac{1}{3}$  высоты башни и резко затухают с увеличением высоты;
- при смещениях фундаментов порядка 15–20 мм напряжения в элементах башни возрастают на 10–40 %.

Сравнение башен с различным количеством граней показывает, что трехгранная башня является

более чувствительной к неравномерным смещениям фундаментов. Напряжения в элементах выше в 1,3...1,8 раза по сравнению с четырехгранной башней. На данное увеличение влияет, возможно, и меньшая высота башни, что нуждается в дальнейших исследованиях.

В реальной ситуации при оценке влияния деформаций основания на НДС башен имеет место случайное направление смещения фундаментов, которое включает в себя горизонтальные и вертикальные составляющие. Для произвольного случая результирующие напряжения для фактического направления деформации фундаментов определяются путем суммирования напряжений с учетом направления смещений. Учитывая линейный характер зависимости усилий и напряжений в элементах башни от неравномерной осадки фундаментов, общее влияние различных вариантов смещения фундаментов можно описать одним коэффициентом



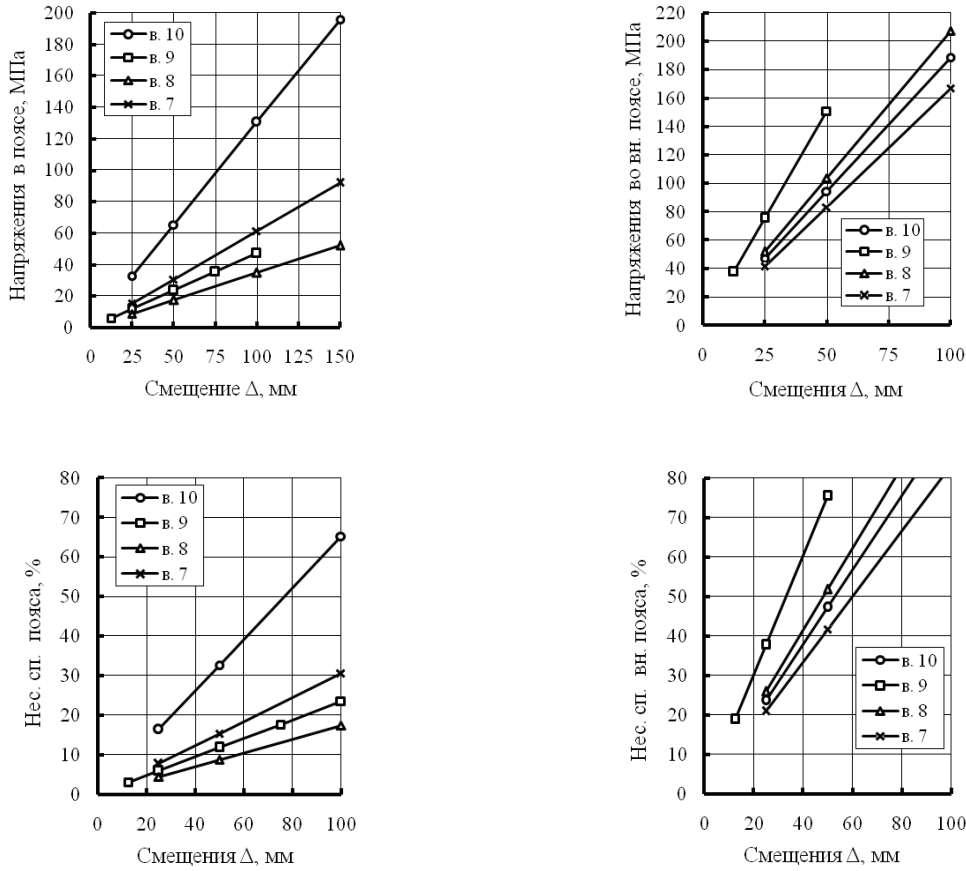


Рисунок 7. Характеристики НДС элементов трехгранной башни.

том увеличения усилий, который определяется по формуле:

$$k_{\phi} = 1 + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{m-1} k_{ij} \cdot \Delta_{ij},$$

- где  $m$  – число опор;
- $n$  – количество направлений смещения фундаментов;
- $\Delta_{ij}$  – разность смещений фундаментов;
- $k_{ij}$  – коэффициент влияния смещения  $j$ -той опоры по направлению  $i$ .

Коэффициенты  $k_{ij}$  имеют размерность 1/см и показывают, насколько возрастают усилия в элементах при единичном смещении фундаментов. Значения коэффициентов определены для нижних элементов башен, где их значения наибольшие, и приводятся в табл. 1 и 2 в процентах. Если принять для предельного случая, что расчетное усилие в элементе башни от действия всех расчетных нагрузок составляет  $N_p$  и

равняется несущей способности, то проверки прочности и устойчивости элементов башен следует выполнять на усилие  $k_{\phi}N_p$ .

Значения в табл. 1 и 2 получены для башен, рассчитанных на ветровую нагрузку для третьего ветрового района. Относительное увеличение ветрового давления для первого – пятого ветровых районов составляет 0,8...1,2. Поскольку усилия (и несущая способность) в элементах башен согласно действующим методикам расчета [10] линейно зависят от значения ветровой нагрузки, то для этих районов значения из табл. 1 и 2 следует умножать на поправочный коэффициент, равный 1,25...0,83. При необходимости оценки влияния неравномерных смещений фундаментов на элементы башен, расположенные выше первой панели, можно воспользоваться данными рис. 4.

На основании выполненных исследований влияния неравномерных смещений фундаментов на напряженно-деформированное состояние

**Таблица 1.** Значения коэффициентов  $k_{ij}$  для четырехгранных башен

№ варианта	Пояс	Раскос
1, 2	1,1	5,0
3	1,2	11,0
4	1,6	2,2
5	0,8	8,2
6	5,8	6,0

**Таблица 2.** Значения коэффициентов  $k_{ij}$  для трехгранных башен

№ варианта	Наружный пояс	Внутренний пояс
7	3,1	8,3
8	1,9	10,4
9	2,0	15,1
10	6,5	8,6

решетчатых башен высотой 115...140 м можно сделать следующие выводы:

1. Каркас башен обладает высокой чувствительностью к неравномерным горизонтальным смещениям опор, при этом усилия возрастают преимущественно в элементах решетки нижней части сооружения, где неравномерные смещения на 15–20 мм приводят к увеличению напряжений на 10–40 %.
2. Для проектируемых конструкций результаты влияния неравномерных деформаций основания позволяют сформулировать требования к предельно допустимым смещениям фундаментов, которые необходимо учитывать при расчете оснований и проектировании фундаментов.
3. Полученные результаты могут быть использованы для существующих конструкций при наличии данных геодезических наблюдений за деформациями оснований при выполнении проверочных расчетов и оценке технического состояния.

### Заключение

Используя полученные результаты, рассмотрим их применение для нормирования деформаций основания при проектировании башен, для разработки требований к обслуживанию

вытяжных башен и башен дымовых труб, а также и анализ результатов с точки зрения следствий для теории обслуживания.

1. Как было показано, неравномерные деформации оснований приводят к появлению дополнительных усилий в статически неопределимых системах типа трехгранных и четырехгранных вытяжных башен. Сопоставим полученные результаты с нормативными ограничениями. В [12] имеется ограничение только для башен связи, согласно которому предельно допустимая разность осадок составляет 0,002. Для башен высотой 115 и 140 м с шириной грани 18,0 и 20,0 м это составляет 3,6 и 4,0 см. Согласно табл. 1 и 2 в наиболее неблагоприятном случае это приведет к максимальному увеличению усилий в элементах 1,34 и 1,24 раза, соответственно. Это является существенным возрастанием расчетных усилий, которое должно быть учтено при проектировании в обычных грунтовых условиях.

В документе, регламентирующем строительство на подрабатываемых территориях [11], для «других башен» предельная относительная разность осадок не нормируется, а предельный крен составляет 0,001, если «конструкция объекта не рассчитана на усилия, возникающие при взаимодействии с основанием». Если же конструкция должна быть способна воспринимать усилия от неравномерных осадок, то крен составляет 0,005. Это означает, что трехгранная башня должна быть рассчитана на усилия, в 1,85 раз превышающие расчетные усилия от внешних нагрузок. Какой путь обеспечения надежности окажется наиболее эффективным – увеличение массы фундаментов или повышение металлоемкости конструкций башен – следует, очевидно, определять на основании технико-экономических расчетов.

Допустимая средняя осадка фундаментов по [11] составляет 15 см, в [12] средняя осадка не нормируется. Поскольку пояса башен расположены под наклоном, а подошва фундамента перпендикулярна оси пояса, равномерная осадка вдоль действия линии нормальной силы в поясе будет приводить к горизонтальному смещению фундаментов. Для рассматриваемых башен угол наклона поясов составляет 82°, поэтому вертикальному смещению 15 см будет соответствовать увеличение расстояния между точками

опирания поясов на фундамент на  $2 \cdot 2,1 = 4,2$  и  $2,1 + 1,05 = 3,2$  см для четырехгранной и трехгранной башни соответственно. Усилия вследствие этого возрастут (вариант 4) в 1,09 и (вариант 7) 1,27 раза. Очевидно, значения предельных средних осадок должны учитывать угол наклона поясов и конструктивное решение башен. Возникает вопрос, почему при такой чувствительности не происходит разрушения нижней части башен. Возможный ответ заключается в том, что фундамент для башен рассчитывается на максимальную ветровую нагрузку, которая возможна раз в 50 лет. Действительная осадка возникает при действии слабого и среднего ветра, т. е. при общей нагрузке, составляющей 30...50 % от расчетной максимальной. Кроме этого, возможны смещения опорных плит поясов относительно фундаментов.

Анализ требований нормативных документов по осадкам фундаментов для решетчатых башен показывает достаточно произвольный характер их назначения. Значения предельных осадок и кренов должны определяться на основании параметров напряженно-деформированного состояния несущих конструкций башен с учетом их назначения, материала конструкции и технических решений. В число регламентируемых параметров должны входить крены, предельные средние осадки и предельные горизонтальные смещения. Необходимы дополнительные исследования, при каких грунтовых условиях возможны значительные смещения фундаментов, а также башен различных типов и различных высот.

2. Чувствительность башен к смещениям фундаментов показывает, что в случае неблаго-

приятных свойств оснований необходимо выполнять регулярное наблюдение за плано-высотным положением опор башен в отличие от обычных требований правил технической эксплуатации, где указывается только необходимость контроля крена высотных сооружений. Согласно полученным результатам, можно установить необходимую предельную погрешность выполнения геодезических работ на уровне 2...5 мм.

3. В качестве мероприятий для снижения усилий в конструкциях башен от осадок и смещений фундаментов следует: (1) при проектировании выполнить прогноз развития осадок во времени в процессе строительства и эксплуатации; при ожидаемых значительных деформациях основания (2) не прикреплять пояса жестко к фундаменту для обеспечения возможности сдвига опорной плиты пояса относительно фундамента; (3) закрепить пояса жестко после стабилизации деформаций основания.
4. Смещение фундаментов вызывает увеличение усилий и напряжений в элементах. Это воздействие оказывает влияние на сооружение в целом и при недопустимом увеличении напряжений требует выполнения усиления конструкций. Размеры элементов усиления принимаются такими, чтобы снизить уровень напряжений до допустимых значений.

В этом смысле повышение напряжений вследствие действия процессов на все сооружение в целом можно трактовать как общий износ и включать в понятие обобщенного износа в терминах изменения толщины элементов [2, 3].

## Литература

1. Губанов, В. В. Влияние неравномерного износа на металлические башенные градирни [Текст] / В. В. Губанов, Т. А. Хашова // Вісник Донбаської національної академії будівництва і архітектури. 2011. Вип. 2011–3(89). С. 17–19.
2. Губанов, В. В. Забезпечення заданої довговічності металевих промислових споруд [Текст] : автореферат дис. ... д-ра техн. наук / В. В. Губанов; ДонНАБА. – Макіївка, 2013. – 36 с.
3. Губанов, В. В. Математическое моделирование процессов износа и обслуживания промышленных сооружений [Текст] / В. В. Губанов, С. Б. Пчельников // Актуальные проблемы исследований по

## References

1. Gubanov, V. V.; Khashova, T. O. Impact of irregular wear on metal chimney-type cooling tower. In: *Proceeding of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture*, 2011, Issue 2011–3(89), pp. 17–19. (in Russian)
2. Gubanov, V. V.; Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Provision of specified durability of metal industrial high-rise structures: A thesis for a doctor's degree. Makiyivka, 2013. 36 p. (in Ukrainian)
3. Gubanov, V. V.; Pchel'nikov, S. B. Mathematic simulation of wear phenomena and operation of industrial structures. In: *Current problems of investigation accor-*

- теории сооружений : сборник статей в двух частях. Ч. 2 / ЦНИИСК им. В. А. Кучеренко. – М. : ЦПП, 2009. – С. 316–326.
4. Долговечность стальных конструкций в условиях реконструкции [Текст] / Е. В. Горохов, Я. Брудка, М. Лубиньски [и др.] ; под ред. Е. В. Горохова. – М. : Стройиздат, 1994. – 488 с.
  5. Корсун, В. И. О состоянии промышленных дымовых и вентиляционных труб в Украине и мерах по обеспечению их эксплуатационной надежности [Текст] / В. И. Корсун, В. В. Губанов // Вісник Донбаської національної академії будівництва і архітектури. 2003. Вип. 2003–2(39), Том 2. С. 19–22.
  6. Пособие по проектированию усиления стальных конструкций (к СНиП II-23-81\*) [Текст] / Укрниипроектстальконструкция. – М. : Стройиздат, 1989. – 159 с.
  7. Усиление конструкций производственных зданий [Текст] : учебное пособие / Е. В. Горохов, Н. В. Прядко, А. А. Петраков [и др.] ; под ред. Е. В. Горохова. – Донецк : ДонНАСА, 2011. – 302 с.
  8. Qualitative analysis of operational strategy with refurbishment of metalworks of engineering structures [Текст] / Yevhen Gorokhov, Vadim Gubanov, Sergey Pchelnykov, Vladimir Mushchanov // Engineering Structures and Technologies. 2013. 5:3. P. 103–112.
  9. Gorokhov, E. V. Problems of Maintenance of Steel Chimney [Текст] / E. V. Gorokhov, V. V. Gubanov // Metal structures : the ninth international conference, 26–30 June 1995, Kraków (Poland) : [preliminary report]. Vol. 3 / ed. Janusz Murzewski. – Kraków : [Politechnika Krakowska], 1995. – P. 82–88.
  10. ДБН В.1.2-2:2006. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Навантаження і впливи. Норми проектування [Текст]. – Замість СНиП 2.01.07-85 ; надано чинності 2007–01–01. – К. : Мінбуд України, 2006. – 61 с. – (Державні будівельні норми).
  11. ДБН В.1.1-5-2000. Будинки та споруди на підроблюваних територіях і просідаючих ґрунтах. Частина 2. Будинки і споруди на просідаючих ґрунтах [Текст]. – На заміну СНиП 2.01.09-91 (в частині вимог до проектування на просідаючих ґрунтах), РСН 297-78; РСН 340-86; РСН 232-88; РСН 349-88 ; введ. 2000–07–01. – Київ : Мінрегіонбуд України, 2000. – 84 с.
  12. ДБН В.2.1-10-2009. Основи та фундаменти споруд. Основні положення проектування [Текст]. – Введено вперше зі скасуванням на території України СНиП 2.02.01-83 ; чинні від 2009–07–01. – К. : Мінрегіонбуд України, 2009. – 107 с.
  13. EN 1997. Geotechnical design – Part 1: General rules [Текст]. – Brussels : CEN, 2004. – 168 p.
  4. Gorokhov, Ye. V.; Brudka, Ya.; Lubinski, M. et al.; Edited by Gorokhov, Ye. V. Life duration of constructional steel work in conditions of reconstruction. Moscow: Stroizdat, 1994. 488 p. (in Russian)
  5. Korsun, V. I.; Gubanov, V. V. About conditions of industrial chimneys and air pipes in Ukraine and measures to support maintainability. In: *Proceeding of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture*, 2003, Issue 2003–2(39), Volume 2, pp. 19–22. (in Russian)
  6. State Research and Development Institute of the Russian Federation State Committee for Construction of USSR. Textbook according to design of reinforcement of constructional steel work (to SNiP II-23-81\*). Moscow: Stroizdat, 1989. 159 p. (in Russian)
  7. Gorokhov, Ye. V.; Priadko, N. V.; Petrakov, A. A. et al; Edited by Gorokhov, Ye. V. Reinforcement of industrial constructions: text edition. Donetsk: DonNASEA, 2011. 302 p. (in Russian)
  8. Gorokhov, Yevhen; Gubanov, Vadim; Pchelnykov, Sergey; Mushchanov, Vladimir. Qualitative analysis of operational strategy with refurbishment of metal works of engineering structures. In: *Engineering Structures and Technologies*, 2013, 5:3, pp. 103–112.
  9. Gorokhov, E. V., Gubanov, V. V. Problems of Maintenance of Steel Chimney. In: *Metal structures: the ninth international conference, 26–30 June 1995, Kraków (Poland): [preliminary report]. Vol. 3 / ed. Janusz Murzewski*. Kraków: [Politechnika Krakowska], 1995, pp. 82–88.
  10. DBN V.1.2-2:2006. National Structural Rules and Regulations. The system of reliability and safety provision of constructional projects. Loads and effects. Kyiv: Ministry of Regional Development Ukraine, 2006. 61 p. (in Ukrainian)
  11. DBN V.1.1-5-2000. Buildings and structures on the tampered with land areas and sagging soils. The second part. Buildings and structures on the sagging soils. Kyiv: Ministry of Regional Development Ukraine, 2000. 84 p. (in Ukrainian)
  12. DBN V.2.1-10-2009. Foundations of constructions. General principles of designing. Kyiv: Ministry of Regional Development Ukraine, 2009. 107 p. (in Ukrainian)
  13. EN 1997. Geotechnical design – Part 1: General rules. Brussels: CEN, 2004. 168 p.

**Губанов Вадим Вікторович** – доктор технічних наук, професор кафедри металевих конструкцій Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Член міжнародної організації «Інститут цивільних інженерів». Наукові інтереси: теорія обслуговування конструкцій, дійсна робота і технічне діагностування сталевих висотних споруд.

**Голиков Олександр Володимирович** – кандидат технічних наук, доцент кафедри будівельних конструкцій, фундаментів і надійності споруд Волгоградського державного архітектурно-будівельного університету. Наукові інтереси: розрахунок і проектування висотних споруд, оцінка стану конструкцій.

**Губанов Вадим Викторович** – доктор технических наук, профессор кафедры металлических конструкций Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Член международной организации «Институт гражданских инженеров». Научные интересы: теория обслуживания конструкций, действительная работа и техническая диагностика стальных высотных сооружений.

**Голиков Александр Владимирович** – кандидат технических наук, доцент кафедры строительных конструкций, оснований и надёжности сооружений Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Научные интересы: расчет и проектирование высотных сооружений, оценка состояния существующих конструкций.

**Gubanov Vadim** – D.Sc. (Engineering), Professor; Metal Structures Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. A member of the international organization «Institute of Civil Engineer». Scientific interests: theory of structural maintenance, behavior and refurbishment of high-rise steelworks.

**Golikov Alexander** – Ph.D. (Engineering), Associate Professor; Building Construction, Foundation and Reliability of Structures Department, Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Scientific interests: calculation and designing of high-rise constructions, evaluation of existing structures.