



(20)-0413-1

## **ВЛИЯНИЕ КОЛИЧЕСТВА ОТТЯЖЕК НА НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ СТАЛЬНЫХ ДЫМОВЫХ ТРУБ**

**В. В. Губанов<sup>1</sup>, Е. Н. Оленич<sup>2</sup>***ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»,**2, ул. Державина, г. Макеевка, ДНР, 86123.**E-mail: <sup>1</sup> ar-r\_@mail.ru, <sup>2</sup> men2404@mail.ru**Получена 07 сентября 2020; принята 25 сентября 2020.*

**Аннотация.** В статье рассматривается влияние количества оттяжек на напряженно-деформированное состояние дымовых труб с двумя уровнями оттяжек по высоте на основании сравнительного исследования. Разработан алгоритм расчета в программном модуле Mathcad с использованием системы уравнения равновесия конструктивных элементов и учета нелинейной работы оттяжек. На основании программного модуля определены максимальные напряжения и изгибающие моменты в стволе дымовой трубы при различных сочетаниях нагрузок и углах действия ветрового потока. Выполнены численные исследования и анализ влияния различных конструктивных параметров на работу дымовых труб с тремя и четырьмя оттяжками в плане. Приведены рекомендации по рациональному выбору конструктивных решений дымовых труб с тремя и четырьмя оттяжками в плане.

**Ключевые слова:** напряженно-деформированное состояние, дымовые трубы, оттяжки, расчетная схема, нагрузки, металлические конструкции.

## **ВПЛИВ КІЛЬКОСТІ ВІДТЯЖОК НА НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНИЙ СТАН СТАЛЕВИХ ДИМОВИХ ТРУБ**

**В. В. Губанов<sup>1</sup>, О. М. Оленич<sup>2</sup>***ДОНУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури»,**2, вул. Державіна, м. Макіївка, ДНР, 86123.**E-mail: <sup>1</sup> ar-r\_@mail.ru, <sup>2</sup> men2404@mail.ru**Отримана 07 вересня 2020; прийнята 25 вересня 2020.*

**Анотація.** У статті розглядається вплив кількості відтяжок на напружено-деформований стан димових труб з двома рівнями відтяжок по висоті на підставі порівняльного дослідження. Розроблено алгоритм розрахунку в програмному модулі Mathcad з використанням системи рівняння рівноваги конструктивних елементів і врахування нелінійної роботи відтяжок. На підставі програмного модуля визначені максимальні напруження і згинальні моменти в стовбурі димової труби при різних поєднаннях навантажень і кутів дії вітрового потоку. Виконані чисельні дослідження і аналіз впливу різних конструктивних параметрів на роботу димових труб з трьома і чотирма відтяжками в плані. Наведені рекомендації щодо раціонального вибору конструктивних рішень димових труб з трьома і чотирма відтяжками в плані.

**Ключові слова:** напружено-деформований стан, димові труби, відтяжки, розрахункова схема, навантаження, металеві конструкції.

## EFFECT OF THE NUMBER OF GUYS ON THE STRESS-STRAIN STATE OF STEEL CHIMNEYS

Vadim Gubanov<sup>1</sup>, Elena Olenich<sup>2</sup>

*Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture,  
2, Derzhavina Str., Makeyevka, DPR, 86123.*

*E-mail: <sup>1</sup> ap-r\_@mail.ru, <sup>2</sup> men2404@mail.ru*

*Received 07 September 2020; accepted 25 September 2020.*

**Abstract.** The article deals with the influence of the number of back lines on a stress state of chimneys with two levels of in height based on a comparative study. The calculation of structure in the program module Mathcad is developed with the use of the equation system of equilibrium of structural elements and the account of nonlinear behaviour of back lines. Maximum stresses and bending moments in the pipe shaft at various combinations of loads and wind flow angles were determined on the basis of the program module. Numerical research and analysis of influence of different structural parameters on the chimneys with three and four guys in the plan were carried out. Recommendations are given on a effective choice of design solutions for chimneys with three and four flue guys in the plan.

**Keywords:** stress state, steel chimney, guys, design scheme, loads, metal structures.

### Введение

Дымовые трубы относятся к специальным инженерным сооружениям, работающим в сложных условиях перепадов температур, давления, агрессивного воздействия дымовых газов, ветровых нагрузок и нагрузок от собственного веса. Дымовые трубы используются на промышленных предприятиях, объектах энергетики городского хозяйства для создания необходимой тяги и отвода продуктов сгорания в верхние слои атмосферы. Металлические дымовые трубы могут сооружаться высотой от 30 до 100 м, диаметром от 1,5 до 3,6 м [2].

Согласно нормативным документам [10] и технической литературе [11, 12] металлические дымовые трубы рассчитываются в виде консольных сжато-изогнутых стержней, жёстко закреплённых в основании.

В настоящее время имеются исследования, направленные на совершенствование методов вероятностного расчета высотных сооружений и способов определения ветровых нагрузок в работах С. Ф. Пичугина [13], А. В. Махинько [14]. Также имеются работы, направленные на проектирование дымовых труб, в которых рассмотрены изменения усилий в оттяжках в дымовой

трубе высотой 80 м с двумя уровнями оттяжек вследствие влияния горных подработок [12], влияния деформаций грунта и анкерных фундаментов на НДС несущих конструкций дымовых труб с оттяжками [9].

В целом в нормативных источниках и литературе приведены лишь основные аспекты конструктивных решений дымовых труб, но отсутствует конкретная информация о выборе параметров дымовых труб. Исследования в данном направлении позволяют определить наиболее рациональные конструктивные решения дымовых труб данного вида.

### Описание объекта исследований

Объектом исследования являются стальные дымовые трубы и оттяжки в двух уровнях.

### Цель работы

Сравнительный анализ влияния диаметра каната оттяжек, предварительного напряжения оттяжек и угла наклона оттяжек к горизонтали на напряженно-деформированное состояние стальных дымовых труб с двумя уровнями оттяжек для трёх и четырёх оттяжек в плане.

### Основной материал

В работе исследовалась дымовая труба высотой 100 м с двумя уровнями оттяжек, расположенная в г. Донецке. Диаметр трубы составляет 3,0 м с толщиной стенки 8 мм до +50,0 м и 6 мм на отм. +50,00 до +100,00 м. В пространстве труба раскреплена оттяжками в двух уровнях на высоте 50,0 и 80,0 м. Расположение оттяжек принято в соответствии с [2]. Наклон оттяжек к горизонтальной плоскости составляет для 1-го уровня  $45^\circ$ , для 2-го –  $58^\circ$ . Схема дымовой трубы с оттяжками изображена на рисунке 1.

Расчетная схема дымовой трубы представлена в виде стержня, жестко защемленного в основании фундамента с упруго-податливыми опорами,

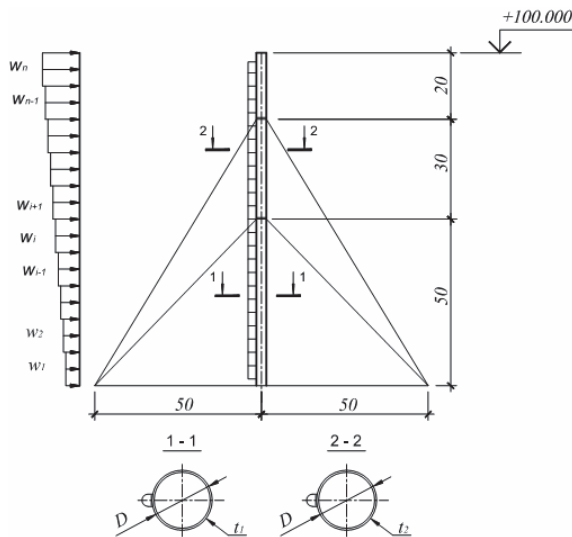


Рисунок 1. Геометрическая схема трубы.

рами, где в качестве опор выступают предварительно-напряженные оттяжки в двух уровнях.

Расчет действующих нагрузок на трубу выполнен в программном модуле Mathcad с учётом собственного веса сооружения, веса футеровки и ветровой нагрузки согласно [1].

На основании [3, 4] разработана методика расчета сооружения в целом, в программном модуле Mathcad на основании системы уравнений равновесия состояния оттяжек как гибких нитей, провисающих по параболе; уравнений равновесия сил в узле и составления канонических уравнений метода сил для статически неопределимой системы. Перемещение верха ствола трубы ограничено величиной  $1/100$  высоты в соответствии с требованиями [10].

Согласно методикам, изложенным в [3, 4, 11], рассматриваются три направления ветра для труб с тремя оттяжками под углами  $0^\circ$ ,  $60^\circ$ ,  $30^\circ$  (рис. 2) и два направления ветра для четырех оттяжек в плане под углами  $0^\circ$ ,  $45^\circ$  к оси оттяжек (рис. 3).

Для расчета НДС дымовой трубы рассматриваются расчетные сочетания нагрузок:

1. Ветровая нагрузка при среднегодовой температуре воздуха.
2. Ветровая нагрузка при среднегодовой температуре воздуха, с технологическим нагревом ствола.
3. Ветровая нагрузка при предельном расчетном значении температуры в теплый период года.
4. Ветровая нагрузка при предельном расчетном значении температуры в теплый период года, с технологическим нагревом ствола.

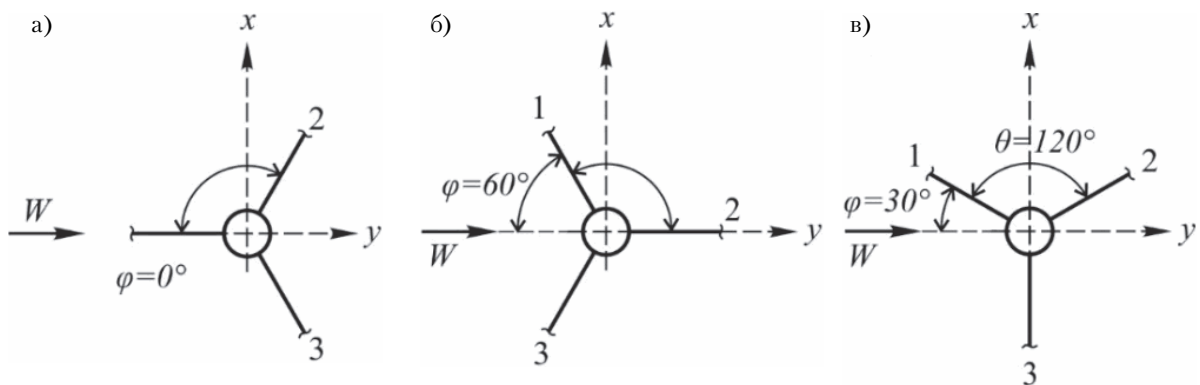
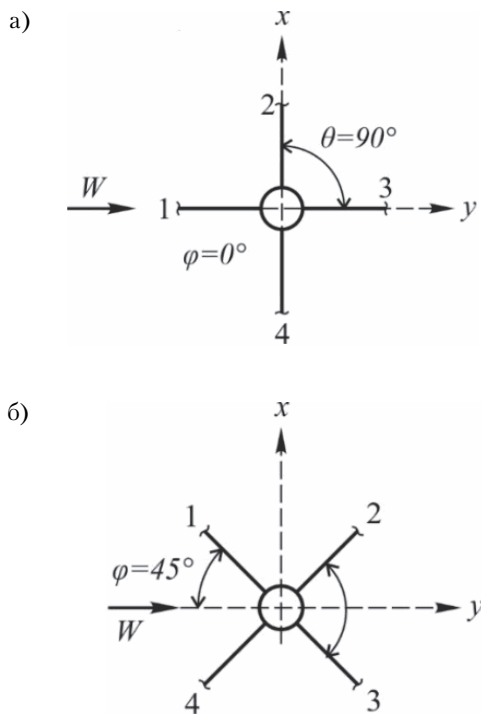


Рисунок 2. Схемы направления действия ветра при трех оттяжках в узле: а) ветер в плоскости оттяжки – угол  $0^\circ$ ; б) ветер по биссектрисе угла между оттяжками; в) ветер перпендикулярно плоскости оттяжки.



**Рисунок 3.** Схемы ветровых нагрузок при четырех оттяжках в узле: а) ветер в плоскости оттяжки; б) ветер по биссектрисе угла между оттяжками.

5. Ветровая нагрузка при предельном расчетном значении температуры в холодный период года.
6. Ветровая нагрузка при предельном расчетном значении температуры в холодный период года, с технологическим нагревом ствола.
7. Гололёдно-ветровая нагрузка и соответствующее температурное воздействие.
8. Гололёдно-ветровая нагрузка и соответствующее температурное воздействие с учетом нагревом ствола.
9. Отсутствие ветра и температура  $\pm 40^\circ\text{C}$  (для расчета монтажных натяжений).

По разработанной методике расчета дымовой трубы вычислены усилия в стволе и напряжения в оттяжках для различных вариантов расчетных сочетаний нагрузок.

Согласно рисунка 4, максимальные напряжения в оттяжках возникают при ветровой нагрузке на оттяжку в холодный период года (расчетная ситуация 5). Напряжения в наветренных оттяжках 1-го и 2-го уровня с четырьмя оттяжками в плане больше на 3–4 %, чем с тремя оттяжками.

Максимальные изгибающие моменты в стволе дымовой трубы возникают при действии ветровой нагрузки по биссектрисе угла между оттяжками (рис. 5).

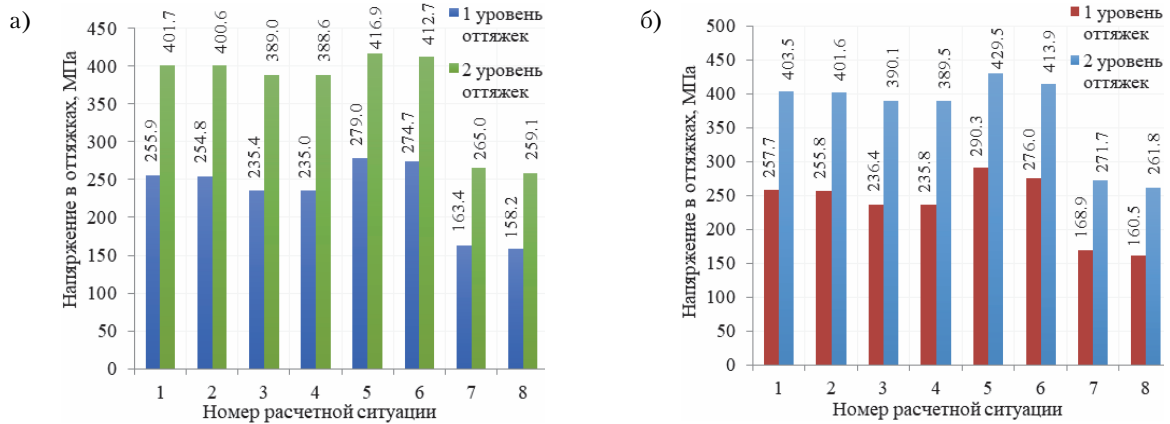
Анализ диаграмм на рисунках 5, 6 показал, что максимальные усилия в стволе возникают при 3 расчетном сочетании – ветровая нагрузка по биссектрисе угла между оттяжками и температура теплого периода года, без технологического нагрева ствола трубы. При данном сочетании изгибающий момент в основании трубы с четырьмя оттяжками в плане меньше на 34 %, а напряжение на 26 %, чем в стволе с тремя оттяжками.

Для визуального сравнения на рисунке 7 представлены эпюры изгибающих моментов в зависимости от угла действия ветрового потока и расчетного сочетания нагрузок. Эпюры дымовых труб сильно отличаются от эпюры мачт [6]. Мачта является более гибкой. Согласно методике, предложенной А. Г. Соколовым [6], опорный момент задается приблизительно равным пролетному моменту. Однако, как показал расчёт, дымовая труба менее гибкая, и добиться такого условия при проектировании с помощью рационального размещения оттяжек по высоте невозможно.

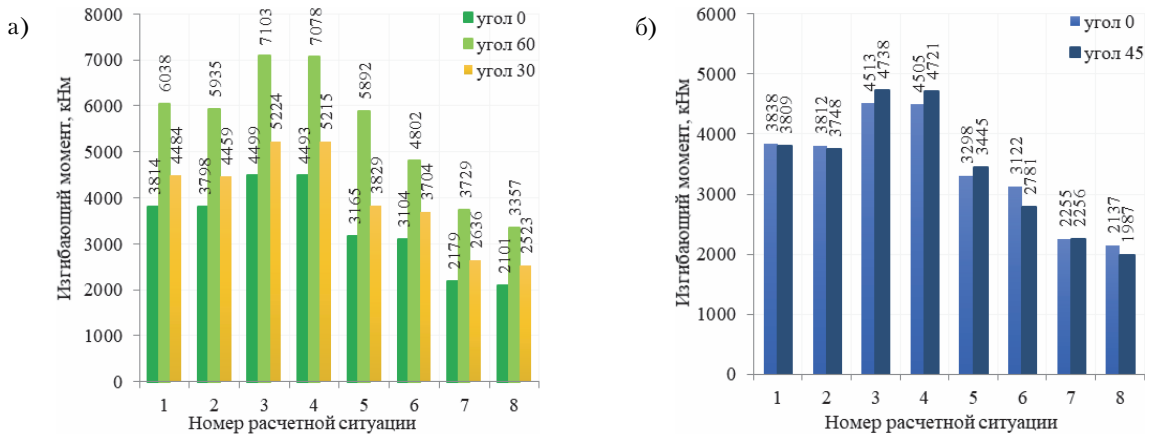
На напряженно-деформированное состояние дымовых труб значительное влияние оказывают различные диаметры каната оттяжек, предельные напряжения оттяжек и угол наклона оттяжек к горизонтали. Данные исследования позволят определить наиболее рациональные конструктивные решения дымовых труб с двумя уровнями оттяжек для трёх и четырёх оттяжек в плане.

Для дальнейшего исследования рассматриваются канаты диаметром от 31 до 55 мм двойной свивки ЛК-Р-6х19(1+6+6/6)+7х7(1+6) маркировочной группы 1670 по ГОСТ14954-80. На рисунке 8 представлены зависимости изменения напряжений в оттяжках с тремя и четырьмя в плане, при разных диаметрах каната для 5-го расчетного сочетания нагрузок. При увеличении диаметра каната напряжения, возникающие в оттяжках, уменьшаются для трех оттяжек на 37 % для 1-го уровня и 32 % для 2-го уровня оттяжек (рис. 8а), для четырех оттяжек в плане на 34 % для 1-го уровня, 29 % для 2-го уровня (рис. 8б).

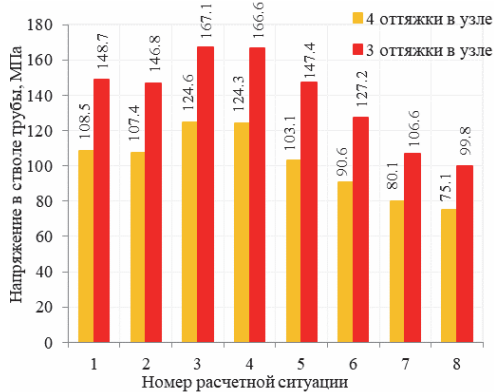
Изгибающие моменты и напряжения в стволе трубы при 3 расчетном сочетании нагрузок



**Рисунок 4.** Напряжения в наветренных оттяжках 1 и 2-го уровня: а) с тремя оттяжками; б) с четырьмя оттяжками в плане.



**Рисунок 5.** Максимальные изгибающие моменты в стволе дымовой трубы при различных углах действия ветра: а) с тремя оттяжками; б) с четырьмя оттяжками.



**Рисунок 6.** Напряжение в стволе дымовой трубы по расчетным сочетаниям нагрузок с тремя и четырьмя оттяжками при действии ветра по биссектрисе угла между оттяжками.

уменьшаются пропорционально величине диаметра каната (рис. 9). При диаметре каната от 31 до 55 мм изгибающие моменты в основании трубы уменьшаются для трёх оттяжек на 42 %, для четырёх – 40 %, а напряжения для трёх на 33 %, для четырёх – 29 %. С учетом экономии материала и условия снижения нагрузки от предварительного натяжения на основание, рационально принимать канаты диаметром 36–46,5 мм. Так, при диаметре каната 36 мм напряжение в стволе трубы с четырьмя оттяжками меньше на 33 %, чем в стволе с тремя оттяжками.

При проектировании дымовых труб важным этапом является определение рациональных величин предварительных натяжений оттяжек. Начальное натяжение обеспечивает требуемую

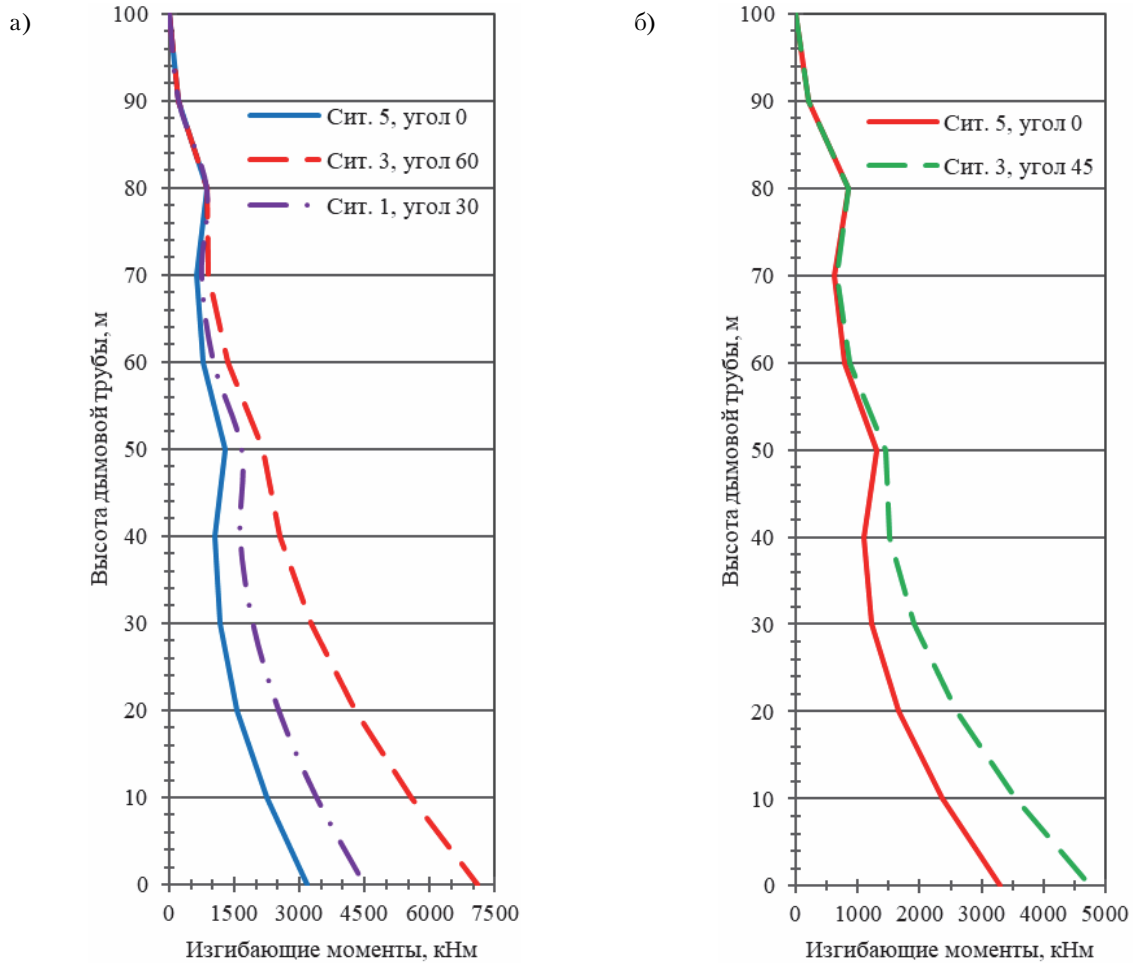


Рисунок 7. Эпюры изгибающих моментов в стволе дымовых труб: а) с тремя оттяжками; б) с четырьмя оттяжками в плане.

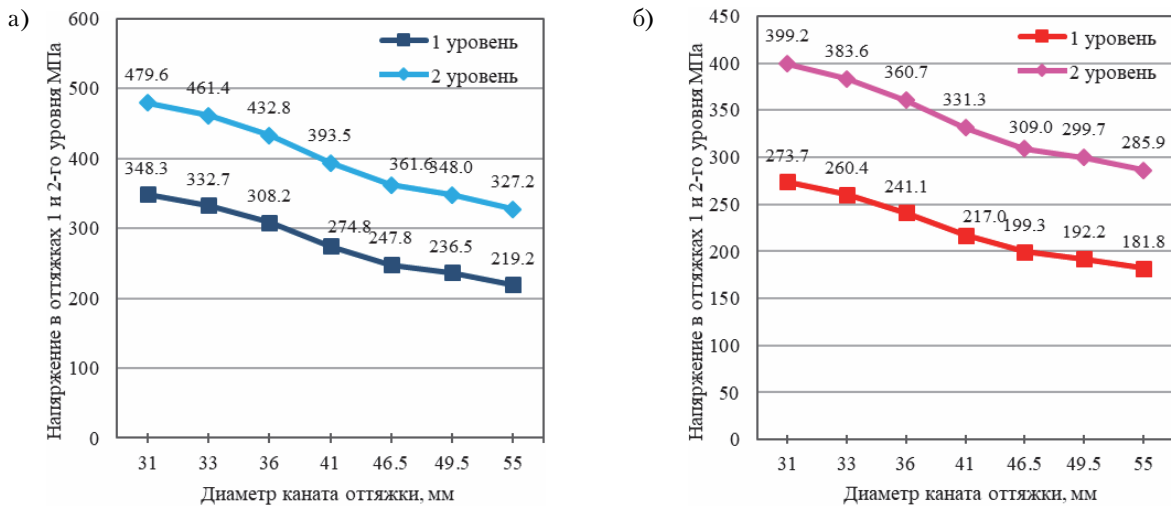
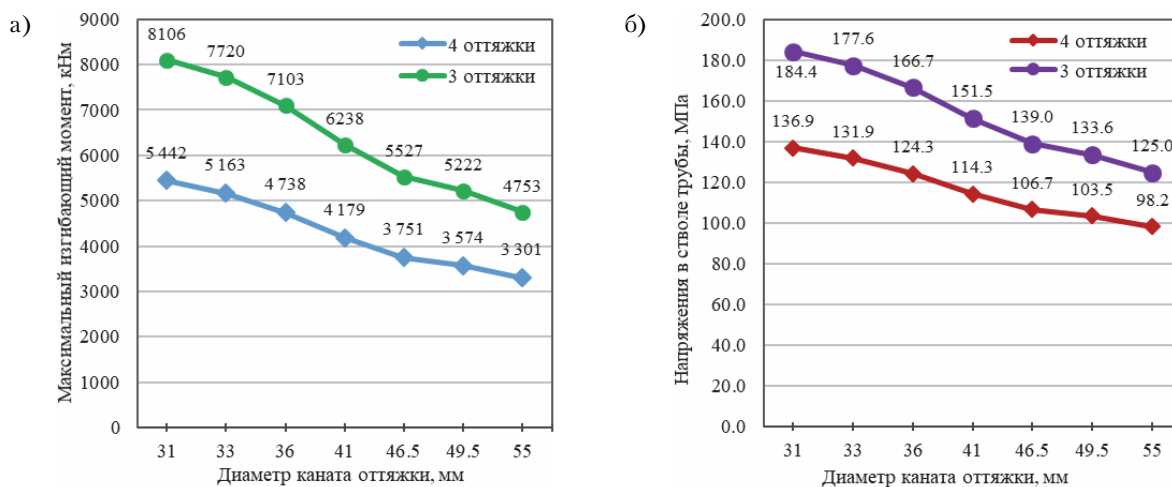


Рисунок 8. Зависимость изменения напряжения в оттяжках 1 и 2-го уровня при разных диаметрах каната (5 расчет. ситуация): а) с тремя оттяжками; б) с четырьмя оттяжками в плане.



**Рисунок 9.** Зависимость изменения изгибающих моментов (а) и напряжений (б) в створе трубы при разных диаметрах каната оттяжек с тремя и четырьмя оттяжками в узле (3 расчет. ситуация).

жесткость ствола, регулирует величины изгибающих моментов в створе, оказывает влияние на частоту собственных колебаний конструкций, то есть на величину пульсационной составляющей ветровой нагрузки [1].

Недостаточное натяжение оттяжек приводит к повышенной деформативности ствола и общим чрезмерным колебаниям конструкций. Завышенное натяжение – увеличивает напряжения в отдельных элементах конструкций, что в отдельных случаях приводит к появлению трещин и создает неоправданно высокие постоянные нагрузки на фундамент.

На рисунках 10, 11 приведены диаграммы изменения изгибающих моментов в створе трубы при варьировании предварительного напряжения оттяжек для 3 расчетной ситуации нагрузок, при диаметрах каната 36 и 46,5 мм. При ослаблении напряжения оттяжек наблюдается резкое возрастание изгибающего момента. Далее, при увеличении предварительного напряжения (от 40/68 МПа) в 3 раза, происходит плавное уменьшение изгибающего момента для трёх оттяжек в плане на 28 %, для четырёх оттяжек на 35 % при диаметре каната 36 мм; а для трех оттяжек на 39 %, для четырех оттяжек на 45 % при диаметре каната оттяжек 46,5 мм.

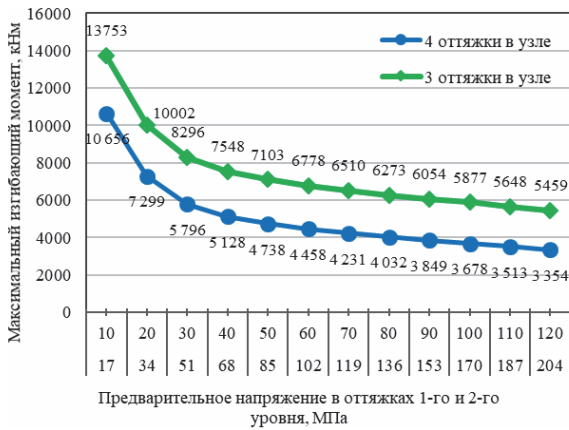
Зависимость изменения напряжений в створе трубы при варьировании предварительного напряжения оттяжек для диаметра канатов 36 и 46,5 мм изображены на рисунках 12, 13. Большие величины изгибающего момента могут при-

вести к потере несущей способности дымовой трубы. В период эксплуатации предварительное натяжение оттяжек подвергается ослаблению, это необходимо учитывать при определении напряжения оттяжек. Предварительные напряжения выше 100/170 МПа не удовлетворяют условиям прочности оттяжек. Таким образом, наиболее рационально принимать предварительное напряжение, которое соответствует горизонтальному участку графика в пределах 60–100 МПа для 1-го уровня и 102–170 МПа для второго, на котором изгибающие моменты уменьшаются для трёх оттяжек на 14 %, для четырёх на 18 %. Напряжения в створе трубы уменьшается для трёх оттяжек на 10 %, для четырёх на 12 %.

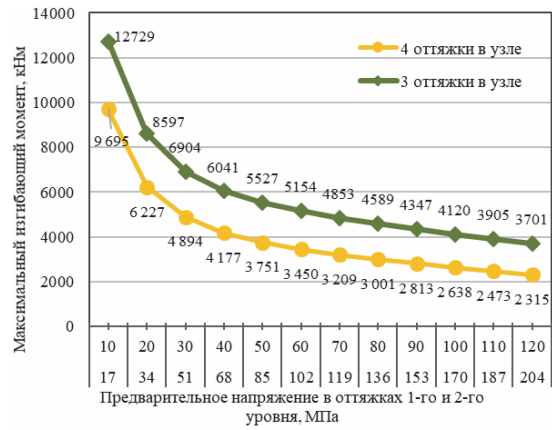
При диаметре каната 46,5 мм, для определенного выше предварительного напряжения оттяжек, изгибающие моменты в створе трубы меньше на 25–30 %, напряжения на 15–20 % по сравнению с диаметром каната 36 мм.

Анализ канатов диаметром 36 и 46,5 мм показывает, что чем больше диаметр каната, тем меньше предварительное напряжения оттяжек, и соответственно, меньше оттяжки будут ослабевать в период эксплуатации. Величину начального натяжения оттяжки можно регулировать конструктивно путем изменения угла наклона оттяжки к горизонтали. Было рассмотрено влияние заданной величины предварительного напряжения (для первого уровня 70 МПа, для второго – 119 МПа) при различных углах наклона оттяжки к горизонтали на напряжения

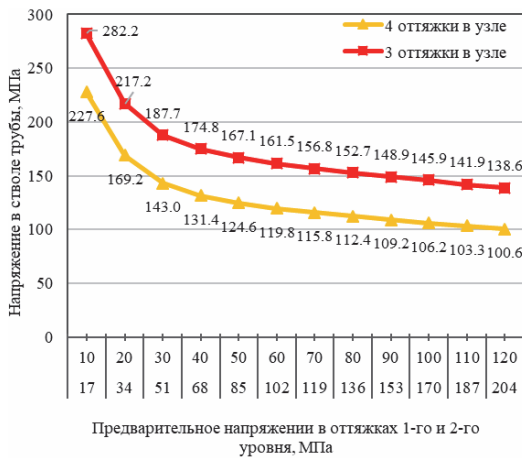




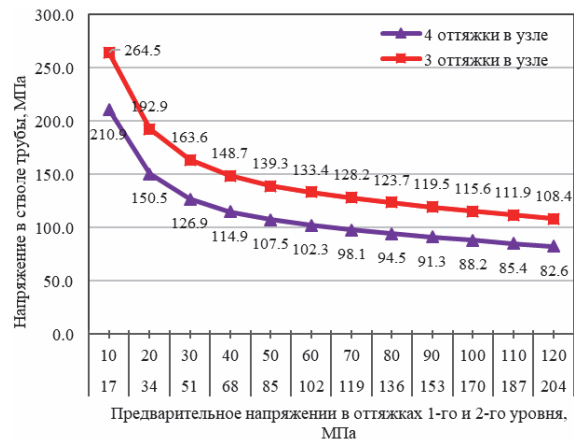
**Рисунок 10.** Максимальные изгибающие моменты при изменении предварительного напряжения оттяжек с тремя и четырьмя оттяжками в плане (диаметр каната 36 мм).



**Рисунок 11.** Максимальные изгибающие моменты при изменении предварительного напряжения оттяжек с тремя и четырьмя оттяжками в плане (диаметр каната 46,5 мм).



**Рисунок 12.** Зависимость изменения напряжения в стволе дымовой трубы при варьировании предварительного напряжения оттяжек с тремя и четырьмя оттяжками в плане (диаметр каната 36 мм).



**Рисунок 13.** Зависимость изменения напряжения в стволе дымовой трубы при варьировании предварительного напряжения оттяжек с тремя и четырьмя оттяжками в плане (диаметр каната 46,5 мм).

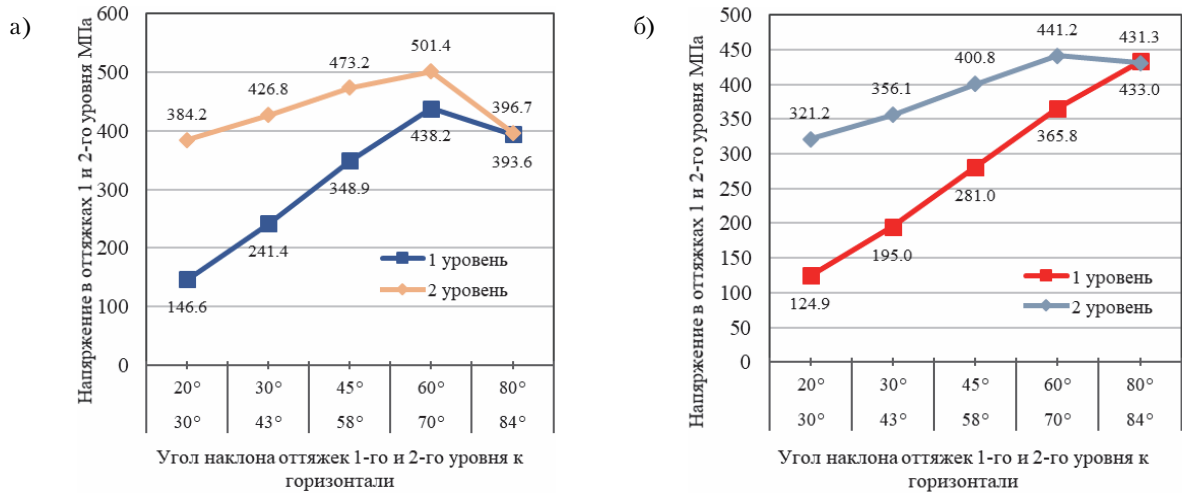
в оттяжках, изгибающие моменты и напряжения в стволе трубы. Диаметр каната оттяжки 36 мм. Интервалы углов и полученные зависимости изображены на рисунках 14, 15.

Величина напряжений 1-го уровня оттяжек при углах наклона к горизонтали от 20° до 80° увеличивается в 3 раза для трех оттяжек и 3,5 раза для четырёх. Соответственно, для 2-го уровня оттяжек при углах наклона от 30° до 84° напряжения в оттяжках увеличиваются до 31 % для трех оттяжек в плане и до 37 % для четырех.

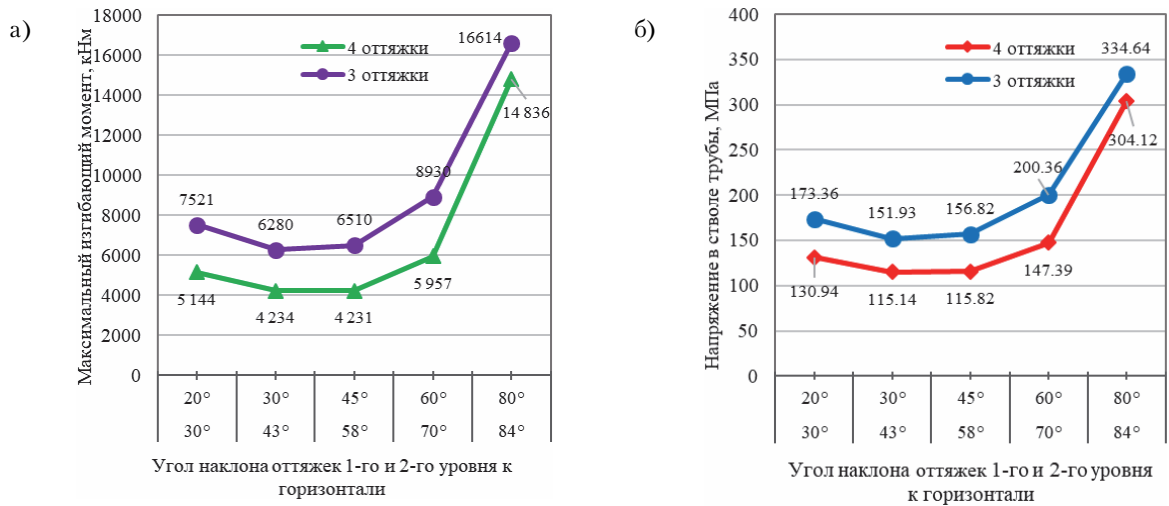
При угле наклона оттяжек 80°/84° напряжения в оттяжках почти одинаковой величины, наблюдается ослабление второй оттяжки.

Минимальные изгибающие моменты в стволе трубы возникает при угле наклона оттяжки близком 30°/43°–45°/58°, максимальный – при угле 80°/84° (рис. 15а). Зависимость изменения напряжений в стволе с тремя и четырьмя оттяжками в плане при различных углах наклона оттяжек к горизонтали изображена на рис. 15б. При увеличении угла наклона к горизонтали от 20° до 84°





**Рисунок 14.** Зависимость изменения напряжения в оттяжках 1 и 2-го уровня при различных углах наклона оттяжек к горизонтали (5 расчет. ситуация): а) с тремя оттяжками; б) с четырьмя оттяжками в плане.



**Рисунок 15.** Зависимость изменения изгибающих моментов (а) и напряжений (б) в стволе трубы при различных углах наклона оттяжек к горизонтали (3 расчет. ситуация).

напряжения в стволе трубы возрастает в 2,2 раза для трёх оттяжек и в 2,7 раза для четырёх.

Анализ полученных результатов показал, что с учетом экономии используемой площадки строительства рационально принимать угол наклона оттяжек в пределах, приближенных к 45°/58°, соответственно на расстоянии от оси ствола трубы от 40 до 60 м. Напряжение в стволе трубы с четырьмя оттяжками в плане при угле наклона оттяжек для 1-го уровня 45°, для 2-го – 58° меньше на 27 %, чем в трубе с тремя оттяжками.

### Выводы

1. Разработаны алгоритмы расчета стальных дымовых труб с тремя и четырьмя оттяжками в плане и двумя уровнями оттяжек по высоте, которые позволяют вычислить усилия в стволе и напряжения в оттяжках для различных вариантов расчетных сочетаний нагрузок.
2. Максимальные напряжения в оттяжках возникают при ветровой нагрузки на оттяжку в холодный период года. Максимальные усилия в стволе трубы возникают при ветровой

нагрузке по биссектрисе угла между оттяжками в теплый период года, без учета технологического нагрева ствола трубы. При данном сочетании изгибающий момент в основании трубы с четырьмя оттяжками меньше на 34 %, а напряжение на 26 %, чем в стволе с тремя оттяжками.

3. Напряжение уменьшается пропорционально величине диаметра каната. При диаметре каната от 31 до 55 мм напряжение в оттяжках уменьшается для трёх оттяжек на 37 % для 1-го уровня, на 32 % для 2-го уровня; для четырёх оттяжек на 34 % для 1-го уровня, 29 % для 2-го уровня. Изгибающий момент в основании трубы уменьшается для трёх оттяжек на 42 %, для четырёх – на 40 %, а напряжение для трёх на 33 %, для четырёх – 29 %. Рационально принимать диаметры канатов 36–46,5 мм, при которых напряжение в стволе трубы с четырьмя оттяжками меньше на 33 %, чем в стволе с тремя оттяжками.
4. Начальное натяжение оттяжек обеспечивает требуемую жесткость ствола, регулирует

величину изгибающего момента в стволе. С учетом ослабления оттяжек в период эксплуатации рационально принимать предварительные напряжения для каната диаметром 36 мм в пределах 60–100 МПа для 1-го уровня и 102–170 МПа для второго. Диаметр каната 46,5 мм позволяет уменьшить изгибающие моменты в стволе трубы на 25–30 %, напряжение на 15–20 % по сравнению с диаметром каната 36 мм. Следовательно, чем больше диаметр каната, тем меньше предварительное напряжение в оттяжках.

5. Угол наклона оттяжек к горизонтали от 20° до 84° приводит к увеличению момента в стволе с тремя оттяжками в 2,7 раз, с четырьмя в 3,5 раза. Напряжение в стволе трубы возрастает в 2,2 раза с тремя оттяжками, и в 2,7 раза с четырьмя. Рационально принимать угол наклона оттяжек приближенным для первого уровня к 45°, для второго – 58°, соответственно на расстоянии от оси ствола трубы в пределах от 40 до 60 м.

## Литература

1. СП 20.13330.2016. Нагрузки и воздействия [Текст] : актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85\* ; введен 2017-06-04. – М. : Минстрой России, 2016. – 110 с.
2. СНиП 2.09.03.85. Сооружения промышленных предприятий [Текст]. – Взамен СНиП II-91-77, СН 302-65, СН 471-75 ; введ. 1987-01-01. – М. : ЦИТП Госстроя СССР, 1986. – 56 с.
3. Соколов, А. Г. Опоры линий передач [Текст] : (расчет и конструирование) / А. Г. Соколов. – М. : Госстройиздат, 1961. – 171 с.
4. Савицкий, Г. А. Основы расчета радиомачт: статика и динамика [Текст] / Г. А. Савицкий. – М. : Государственное издательство литературы по вопросам радио и связи, 1953. – 111 с.
5. Грицков, П. М. Ремонт промышленных дымовых труб [Текст] / П. М. Грицков, Д. И. Вишневецкий, А. А. Зимберман. – М. : Стройиздат, 1979. – 174 с.
6. Металлические конструкции промышленных зданий и сооружений [Текст] : справочник проектировщика / А. И. Бежевец, З. И. Брауде, В. М. Вахуркин [и др.] ; под ред. Н. П. Мельникова. – М. : Госстройиздат, 1962. – 590 с.
7. Губанов, В. В. Влияние конструктивных параметров на напряженно-деформированное состояние дымовой трубы с двумя уровнями оттяжек

## References

1. SP 20.13330.2016. Loads and Impacts [Text]. M. : Ministry of Construction of Russia, 2016. 110 p. (in Russian)
2. SNiP 2.09.03.85. Industrial facilities [Text]. M. : CIRD USSR, 1986. 56 p. (in Russian)
3. Sokolov, A. G. Supports of transmission lines [Text] : (calculation and design). M. : Gosstroyizdat, 1961. 171 p. (in Russian)
4. Savitsky, G. A. Basics of calculating radio masts : statics and dynamics [Text]. M. : State publishing house of literature on radio and communications, 1953. 111 p. (in Russian)
5. Gritskov, P. M.; Vishnevsky, D. I.; Zimberman, A. A. Repair of industrial chimneys. [Text]. M. : Stroizdat, 1979. 174 p. (in Russian)
6. Bezhevets, A. I.; Braude, Z. I.; Vakhurkin, V. M. [et. al.]. Metal structures of industrial buildings and structures [Text] : designer's guide. Edited by N. P. Melnikov. M. : Gosstroyizdat, 1962. 590 p. (in Russian)
7. Gubanov, V. V.; Olenich, Ye. N.; Olenich, A. V. Influence of design parameters on the stress-strain state of a chimney with two levels of guys [Electronic resource]. In: *Proceeding of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture*. 2019. Issue 2019-4(138) Scientific and technical

- [Электронный ресурс] / В. В. Губанов, Е. Н. Оленич, А. В. Оленич // Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. 2019. Вып. 2019-4(138) Научно-технические достижения студентов строительно-архитектурной отрасли. С. 57–63. – Режим доступа : [http://donnasa.ru/publish\\_house/journals/vestnik/2019/vestnik\\_2019-4\(138\).pdf](http://donnasa.ru/publish_house/journals/vestnik/2019/vestnik_2019-4(138).pdf).
8. Губанов, В. В. Особенности и характеристики повреждаемости дымовых труб на оттяжках [Текст] / В. В. Губанов, И. В. Межинская, А. В. Голиков // Вісник Донбаської національної академії будівництва і архітектури. 2007. Вип. 2007-6(68) Баштові споруди: матеріали, конструкції, технології. С. 8–12.
  9. Губанов, В. В. Качественные характеристики взаимодействия дымовых труб на оттяжках с анкерными фундаментами [Текст] / В. В. Губанов, А. В. Голиков // Металлические конструкции. 2016. Том 22, № 3. С. 115–124.
  10. СНиП II-23-81\* Стальные конструкции (с изменениями, с поправкой) [Текст]. – Взамен СНиП СНиП II-В.3-72; СНиП II-И.9-62; СН 376-67 ; введ. 1982-01-01. – М. : Центральный институт типового проектирования, 1991. – 96 с.
  11. Металлические конструкции [Текст] : в 3 т. Т. 3. Специальные конструкции и сооружения / В. Г. Аржаков, В. И. Бабкин, В. В. Горев [и др.] ; под ред. В. В. Горева. – М. : Высш. шк., 2002. – 544 с.
  12. Дымовые трубы [Текст] / А. М. Ельшин, М. Н. Ижорин, В. С. Жолудов, Е. Г. Овчаренко ; под ред. С. В. Сатянова. – М. : Стройиздат, 2001. – 296 с.
  13. CSA Standard S37-01 Antennas, towers, and antenna-supporting structures [Текст]. – Published in May 2001. – Toronto : Canadian Standards Association, 2001. – 118 p.
  14. Ciesielski, R. Mining subsidence and mining shock influence on chimneys in Upper Silesia [Текст] / R. Ciesielski, K. Koziol // CICIND Report. 2003. Vol. 19, № 1. P. 35–40.
  15. Пичугин, С. Ф. Нормирование ветровой нагрузки на решетчатые опоры в стандартах разных стран мира [Текст] / С. Ф. Пичугин, А. В. Махинько // Металеві конструкції. 2009. Том 15, № 4. С. 237–252.
  16. Махинько А. В. Предложение по нормированию динамических ветровых нагрузок на решетчатые опоры в ДБН В.1.2-2:2006 [Текст] / А. В. Махинько // Вісник ДонНАБА. 2009. Вип. 2009-4(78) Баштові споруди: матеріали, конструкції, технології. С. 22–28.
  - achievements of students in the construction and architectural industry. P. 57–63. Access mode : [http://donnasa.ru/publish\\_house/journals/vestnik/2019/vestnik\\_2019-4\(138\).pdf](http://donnasa.ru/publish_house/journals/vestnik/2019/vestnik_2019-4(138).pdf). (in Russian)
  8. Gubanov, V. V.; Mezhinskaya, I. V.; Golikov, A. V. Features and characteristics of damageability of chimneys on guys [Text]. In: *Proceeding of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture*. 2007. Issue 2007-6(68) Tower structures: materials, structures, technologies. P. 8–12. (in Ukrainian)
  9. Gubanov, V. V.; Golikov, A. V. Qualitative characteristics of the interaction of guyed chimneys with anchor foundations [Text]. In: *Metal constructions*. 2016. Vol. 22, № 3. P. 115–124. (in Russian)
  10. SNiP II-23-81\*. Steel structures [Text]. M. : Central Institute for Typical Design, 1991. 96 p. (in Russian)
  11. Arzhakov, V. G.; Babkin, V. I.; Gorev, V. V. [et. al.]. Metal constructions [Text] : in 3 vol. Vol. 3. Special structures and constructions. Edited by V. V. Gorev. M. : Vysshaya shkola, 2002. 544 p. (in Russian)
  12. Yelshin, A. M.; Izhorin, M. N.; Zholudov, V. S.; Ovcharenko, Ye. G. Chimney [Text]. Edited by S. V. Satyanov. M. : Stroiizdat, 2001. 296 p. (in Russian)
  13. CSA Standard S37-01. Antennas, towers, and antenna-supporting structures [Text]. Toronto : Canadian Standards Association, 2001. 118 p. (in English)
  14. Ciesielski, R.; Koziol, K. Mining subsidence and mining shock influence on chimneys in Upper Silesia [Text]. In: *CICIND Report*. 2003. Vol. 19, № 1. P. 35–40. (in English)
  15. Pichugin, S. F.; Makhinko, A. V. Rationing of wind load on grid supports in the standards of different countries of the world [Text]. In: *Metal structures*. 2009. Vol. 15, № 4. P. 237–252. (in Russian)
  16. Makhinko, A. V. Proposal for a regulation of the dynamic wind loads on lattice towers in DBN.1.2-2:2006 [Text]. In: *Proceeding of the DNACEA*. 2009. Issue 2009-4(78) Tower structures: materials, structures, technologies. P. 22–28. (in Russian)

**Губанов Вадим Викторович** – доктор технических наук, профессор кафедры металлических конструкций и сооружений ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Член международной организации «Институт гражданских инженеров». Научные интересы: расчет и конструирование газоотводящих стволов с местными напряжениями, влияние локальной вогнутости на работу несущей оболочки высотных сооружений, выбор расчётной схемы для численного анализа свободностоящих дымовых труб, методика определения краевых напряжений в оболочках дымовых труб, сравнение методик расчета устойчивости стволов мачт сотовой связи.

**Оленич Елена Николаевна** – аспирант кафедры металлических конструкций и сооружений ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: дымовые трубы, сравнение методик расчета дымовых труб, расчет и проектирование дымовых труб, оценка состояния существующих конструкций.

**Губанов Вадим Вікторович** – доктор технічних наук, професор кафедри металевих конструкцій і споруд ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Член міжнародної організації «Інститут цивільних інженерів». Наукові інтереси: розрахунок і конструювання газоотводящих стовбурів з місцевими напруженнями, вплив локальної угнутості на роботу несучої оболонки висотних споруд, вибір розрахункової схеми для чисельного аналізу вільностоячих димових труб, методика визначення крайових напружень в оболонках димових труб, порівняння методик розрахунку стійкості стовбурів щогл стільникового зв'язку.

**Оленич Елена Миколаївна** – аспірант кафедри металевих конструкцій і споруд ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: димові труби, порівняння методик розрахунку димових труб, розрахунок і проектування димарів, оцінка стану існуючих конструкцій.

**Gubanov Vadim** – D. Sc. (Eng.), Professor, Metal Structure and Construction Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. A member of the international organization «Institute of Civil Engineer». Scientific interests: operational reliability of building metal structures, improvement of methods of calculation of high-rise constructions; planning of operational process of high-rise building structures and high-rise constructions.

**Olenich Elena** – Post-graduate student, Metal Structure and Construction Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: chimneys, comparison of methods of calculation of chimneys, calculation and designing of chimneys, estimation of a condition of existing designs.