



(20)-0407-1

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ДЫМОВЫХ ТРУБ С ВЕТРОВЫМ ПОТОКОМ

В. В. Губанов¹, А. Р. Толстяков²*ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»,**2, ул. Державина, г. Макеевка, ДНР, 86123.**E-mail: ¹ ap-r_@mail.ru, ² atol.ro@yandex.ua**Получена 08 апреля 2020; принята 22 мая 2020.*

Аннотация. В статье представлено моделирование физического процесса обтекания воздушным потоком ствола стальной трубы и определение его геометрических размеров и граничных условий. Определены воздействия на дымовую трубу воздушных потоков, которые могут изменяться в зависимости от надстроженных конструкций, таких как гасители колебаний, навивки и т. д. Объект исследования – стальная, отдельно стоящая цилиндрическая дымовая труба высотой 30 м и диаметром 1,5 м, без нижнего конуса и оттяжек. При помощи моделирования потока по методике, приведенной в книге А. Н. Бирбраера, А. Ю. Роледера «Экстремальные воздействия на сооружения» 2009, получена наглядная картина распределения скорости, давления и возникающей турбулентности вблизи расчетной поверхности. Определенные ветровые нагрузки, приложенные к стволу трубы, позволили выявить основные особенности аэродинамики трубы как плохобтекаемого тела и определить значения лобового сопротивления. Числовой расчет был выполнен в программе Mathcad 15.0. Визуальное моделирование воздействия воздушного потока на исследуемое сооружение осуществлялось посредством программного комплекса Comsol Multiphysics 5.4.

Ключевые слова: дымовые трубы, моделирование, ветровой поток, ветровая нагрузка, число Рейнольдса.

МОДЕЛЮВАННЯ ВЗАЄМОДІЇ ДИМОВИХ ТРУБ З ВІТРОВИМ ПОТОКОМ

В. В. Губанов¹, А. Р. Толстяков²*ДОНУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури»,**2, вул. Державіна, м. Макіївка, ДНР, 86123.**E-mail: ¹ ap-r_@mail.ru, ² atol.ro@yandex.ua**Отримана 08 квітня 2020; прийнята 22 травня 2020.*

Анотація. У статті представлено моделювання фізичного процесу обтікання повітряним потоком стовбура сталеві труби і визначення його геометричних розмірів і граничних умов. Визначення впливу на димову трубу повітряних потоків, які можуть змінюватися залежно від надбудованих конструкцій, таких як гасителі коливань, навивки і т. д. Об'єкт дослідження – сталева, циліндрична димова труба, що окремо стоїть, висотою 30 м і діаметром 1,5 м, без нижнього конуса і відтяжок. За допомогою моделювання потоку за методикою, наведеною в книзі А. Н. Бірбраєра, А. Ю. Роледера «Екстремальні впливи на споруди» 2009, отримана наочна картина розподілу швидкості, тиску і турбулентності, що виникає поблизу розрахункової поверхні. Певні вітрові навантаження, прикладені до стовбура труби, дозволили виявити основні особливості аеродинаміки труби як погано обтічного тіла і визначити значення лобового опору. Числовий розрахунок було виконано в програмі Mathcad 15.0. Візуальне моделювання впливу

повітряного потоку на досліджувану споруду здійснювалося за допомогою програмного комплексу Comsol Multiphysics 5.4.

Ключові слова: димові труби, моделювання, вітровий потік, вітрове навантаження, число Рейнольдса.

MODELING THE INTERACTION OF CHIMNEYS WITH WIND FLOW

Vadim Gubanov¹, Anton Tolstiaikov²

Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture,

2, Derzhavina Str., Makeyevka, DPR, 86123.

E-mail: ¹ ap-r_@mail.ru, ² atol.ro@yandex.ua

Received 08 April 2020; accepted 22 May 2020.

Abstract. Modeling the physical process of air flow around a steel pipe barrel and determining its geometric dimensions and boundary conditions. Determination of the effect on the chimney of air flows that may vary depending on the superstructure, such as vibration dampers, windings, etc. The object of research is a steel, free-standing cylindrical chimney with a height of 30 m and a diameter of 1,5 m, without a lower cone and drawbars. By means of flow modeling according to the method given in the book A. N. Birbraer, A. Yu. Rolleder «Extreme impacts on structures» 2009, obtained a visual picture of the distribution of speed, pressure, and the resulting turbulence near the calculated surface. Certain wind loads applied to the pipe stem allowed us to identify the main features of the pipe's aerodynamics as a poorly streamlined body and determine the values of drag. The numerical calculation was performed in the Mathcad 15.0 program. Visual modeling of the effect of air flow on the structure under study was performed using the Comsol Multiphysics 5.4 software package.

Keywords: chimneys, modeling, wind flow, wind load, Reynold's number.

Введение

Технологические процессы предприятий цветной металлургии влекут за собой значительные пыле- и газовыделения, что вызывает необходимость в проектировании газоочистных сооружений и дымовых труб. При этом, как правило, используются газоотводящие стволы небольшой высоты 30...60 метров, диаметром 720...2 500 мм.

Описание объекта исследований

Объектом нашего исследования выступает стальная, отдельно стоящая цилиндрическая дымовая труба высотой 30 м и диаметром 1 500 мм, без нижнего конуса и оттяжек.

Цель работы

Моделирование физического процесса обтекания воздушным потоком ствола стальной трубы и определение его геометрических размеров и

граничных условий (рис.1, рис. 2). Все они были запроектированы в соответствии с действующим СП 20.13330.2016 «Нагрузки и воздействия». Влияние пульсационной составляющей воздействия ветра и пространственная корреляция ветрового давления на сооружение учитывается с помощью коэффициента динамичности C_d . Однако применение коэффициентов динамичности не всегда дает единый верный результат, поэтому прибегаем к моделированию. В СП 20.13330.2016 «Нагрузки и воздействия», изложена методика такого специального расчёта. Предполагается, что такой подход даёт некоторый запас прочности, так как коэффициент увеличения ветрового давления по высоте сооружения C_h уже частично учитывает влияние пульсации давления ветра. По второму предельному состоянию (ограничение деформаций), следует отметить, что аэродинамические коэффициенты в новых нормах имеют те же значения, что и старых.

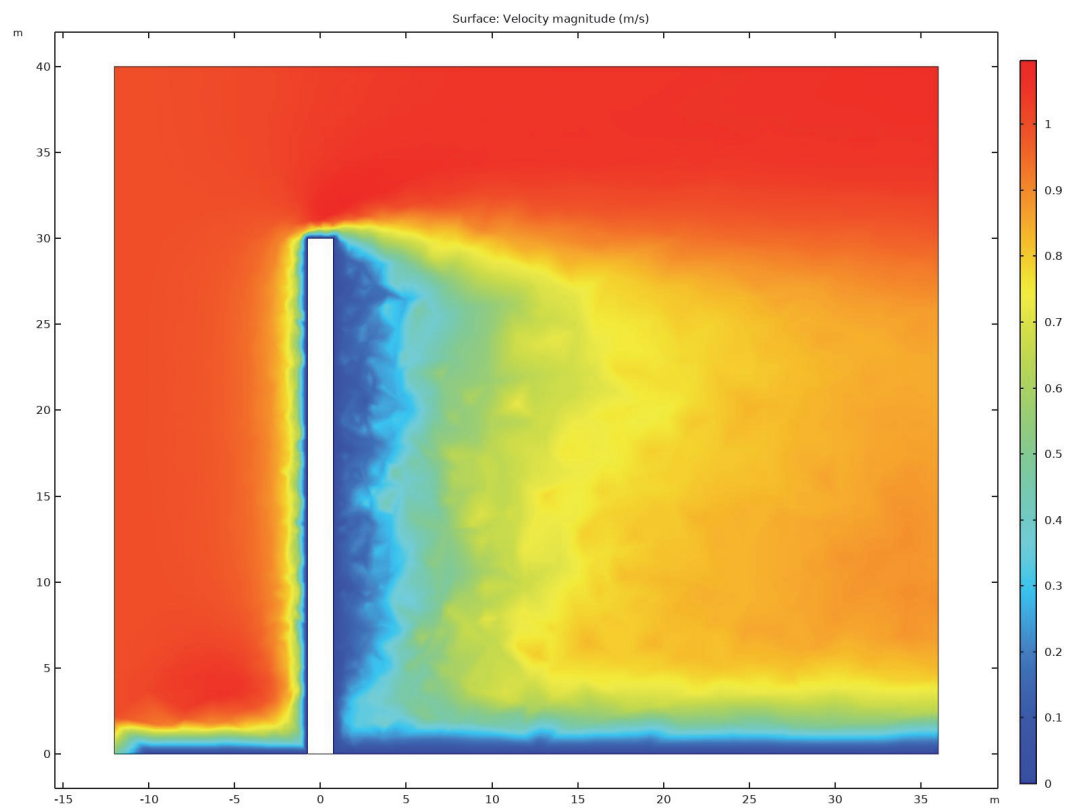


Рисунок 1. Поверхность: величина скорости м/с.

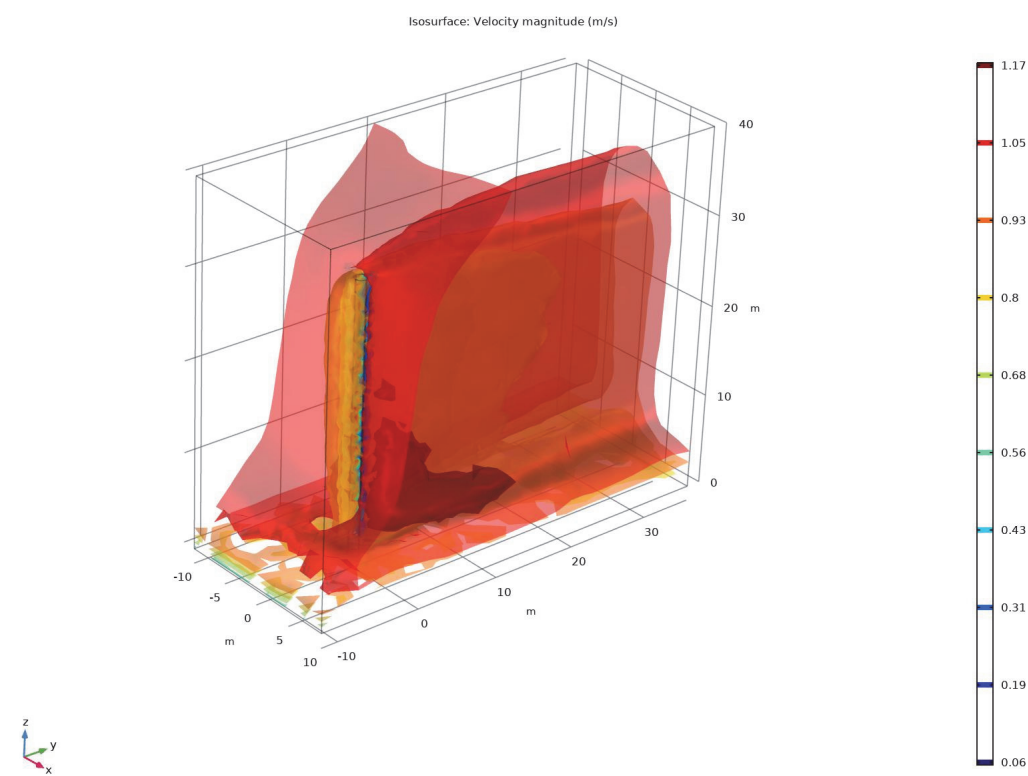


Рисунок 2. Изоповерхность: величина скорости м/с.

Сооружения и строительные конструкции относятся к так называемым плохообтекаемым телам [1, 6, 8]. В этом смысле они являются противоположностью, например, летательным аппаратам или морским судам, которые проектируются исходя из требования наилучшего обтекания потоком. Экспериментально установлено, что при протекании воздушного потока над неподвижной гладкой поверхностью происходит его прилипание. Это вызывает торможение потока и образование так называемого пограничного слоя, в пределах которого скорость увеличивается от нуля (на поверхности) до ее полного значения. Наибольшее влияние на воздушный поток оказывают две силы – вязкости и инерции. Критерием, от которого зависят характерные особенности течения, является безразмерный параметр – число Рейнольдса [1, 8, 14, 16–18].

При помощи моделирования потока по методике, приведенной в [1], в качестве расчетной модели выбрана модель цилиндра, на который воздействует набегающий плавный (ламинарный) поток ветра. В процессе исследования были созданы отдельно плоская 2D модель и объем-

ная 3D модель цилиндра диаметром 1,5 м и высотой 30 м, расположенного в прямоугольном контейнере 20×48×40 м. По фронтальной грани контейнера задавалось воздействие воздушного потока; тыльная грань контейнера являлась отводящей поток; боковые и верхняя грань устанавливали симметричные граничные условия (рис. 3).

Моделирование позволило определить характер ветрового потока в зависимости от значения числа Рейнольдса Re , проанализировать изменение характера потока, отрыв потока вблизи тыльной стороны цилиндра, образование и чередование вихрей, а также получить визуализацию образования вихревой «дорожки Кармана» (рис. 5–8). Возникновение вихрей может явиться причиной вынужденных колебаний конструкции. Этот процесс подлежит отдельному исследованию и моделированию.

Исследование двухмерной модели позволило определить значения скорости и давления вблизи поверхности цилиндра (рис. 3–8 и 9–12).

Также, получили диаграммы ветрового давления на трубу (рис. 9–12).

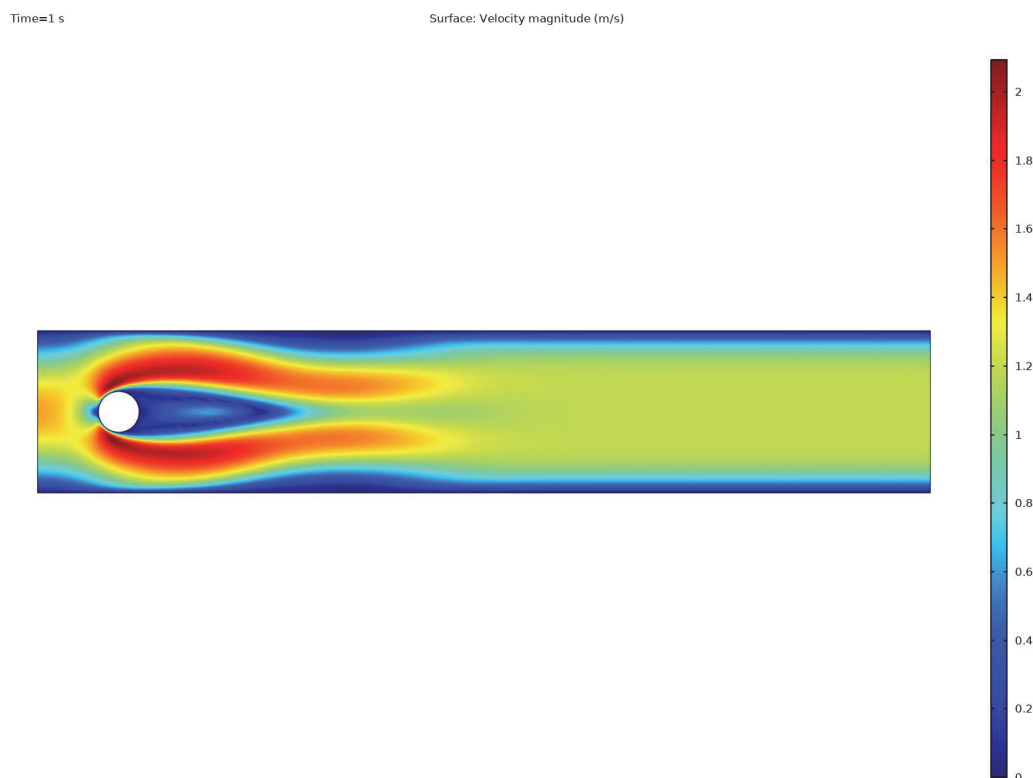


Рисунок 3. Величина скорости при 1 с.

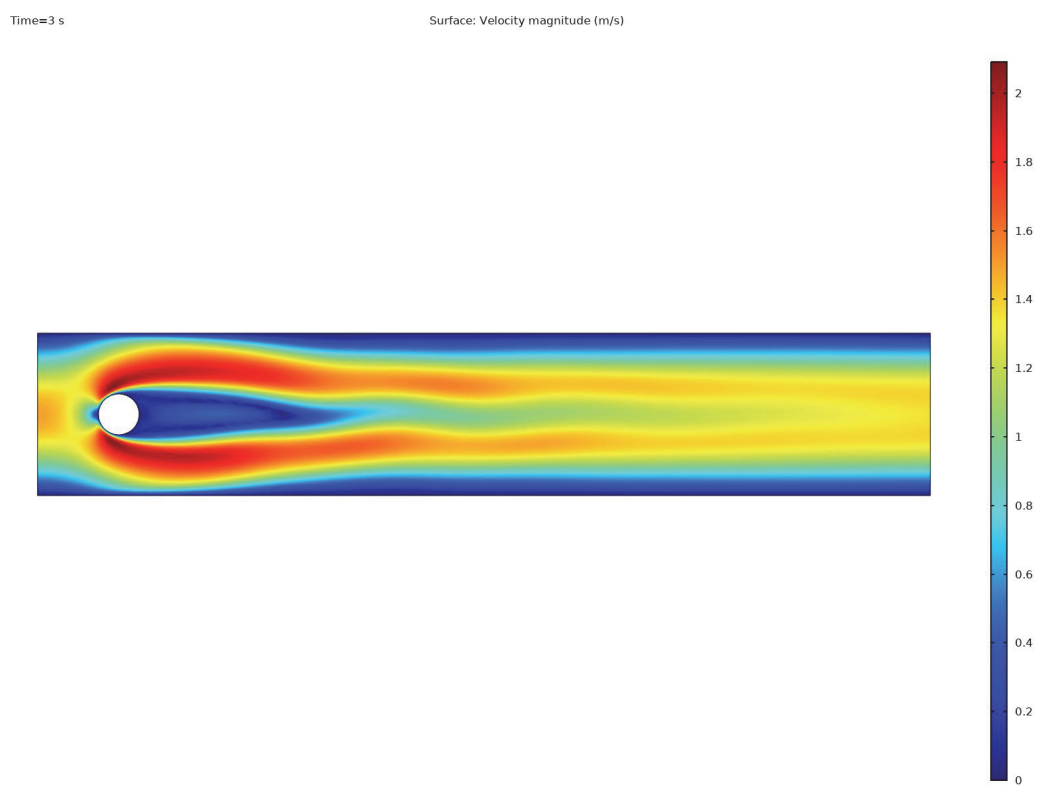


Рисунок 4. Величина скорости при 3 с.

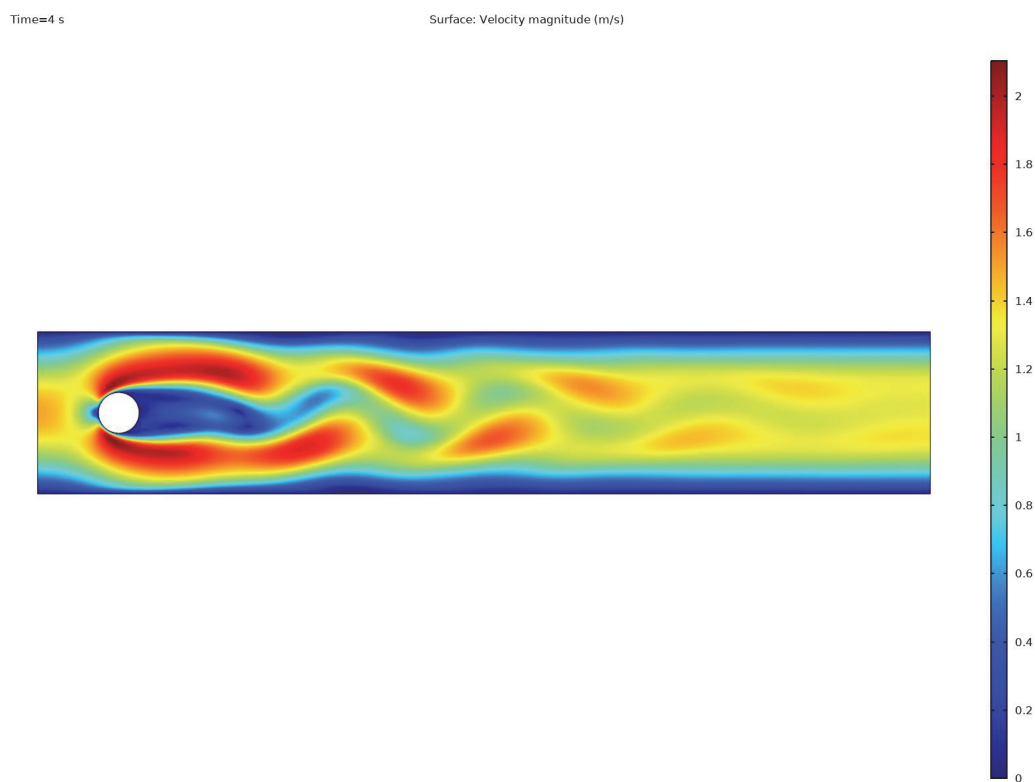


Рисунок 5. Величина скорости при 4 с.

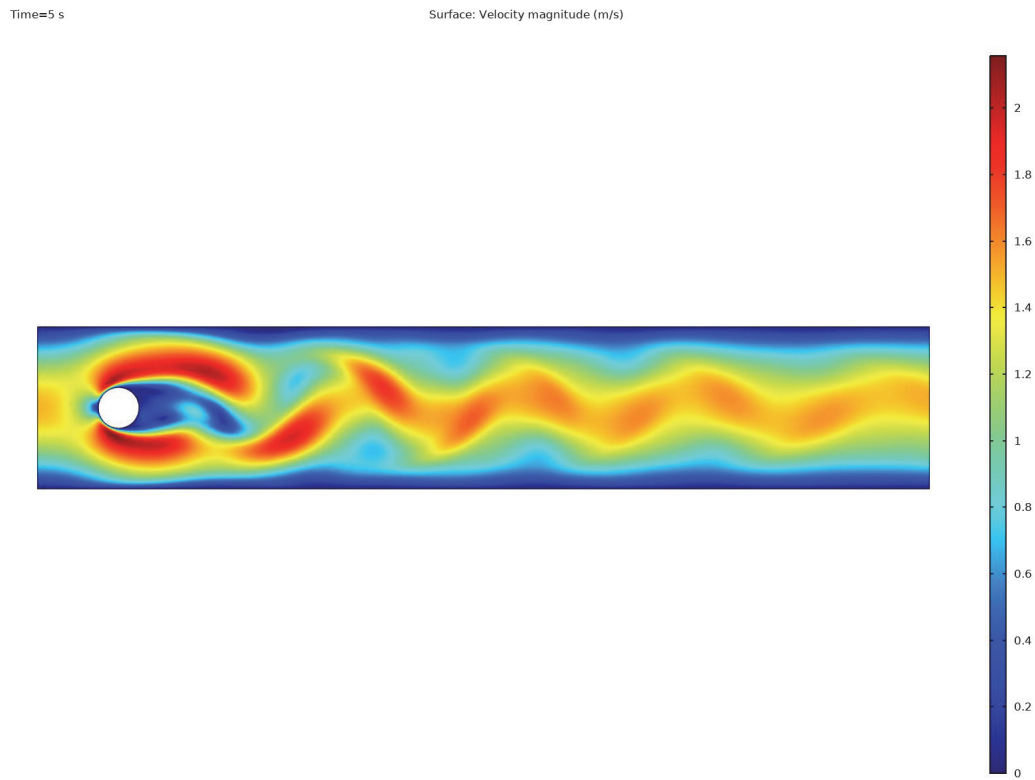


Рисунок 6. Величина скорости при 5 с.

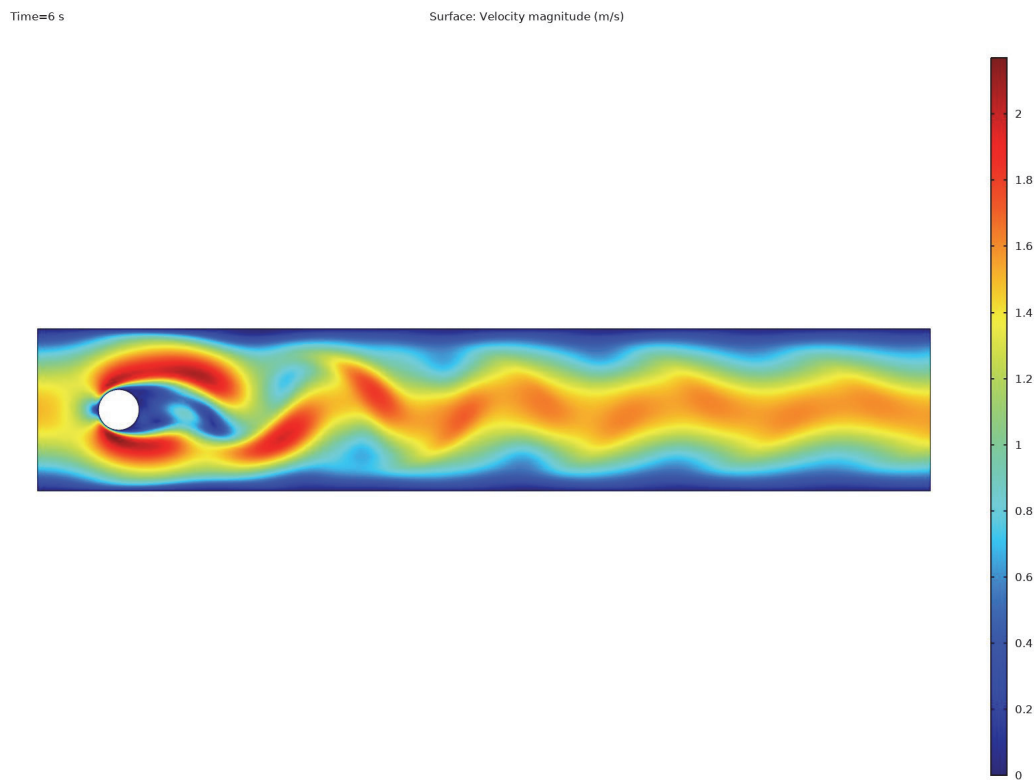


Рисунок 7. Величина скорости при 6 с.

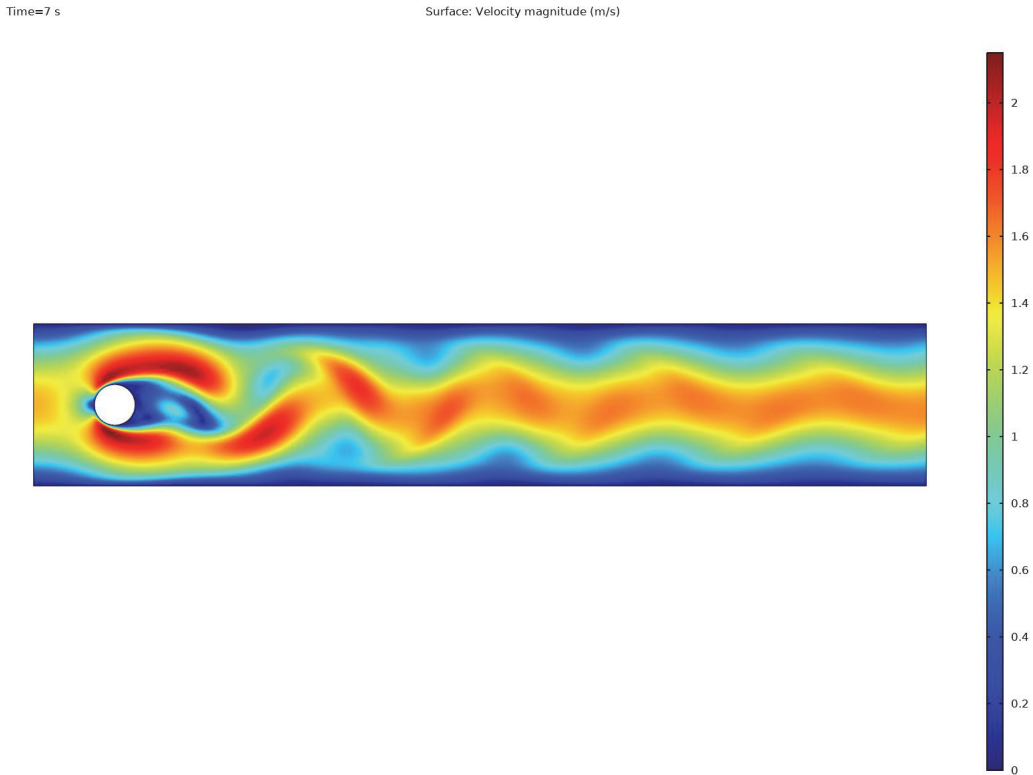


Рисунок 8. Величина скорости при 7 с.

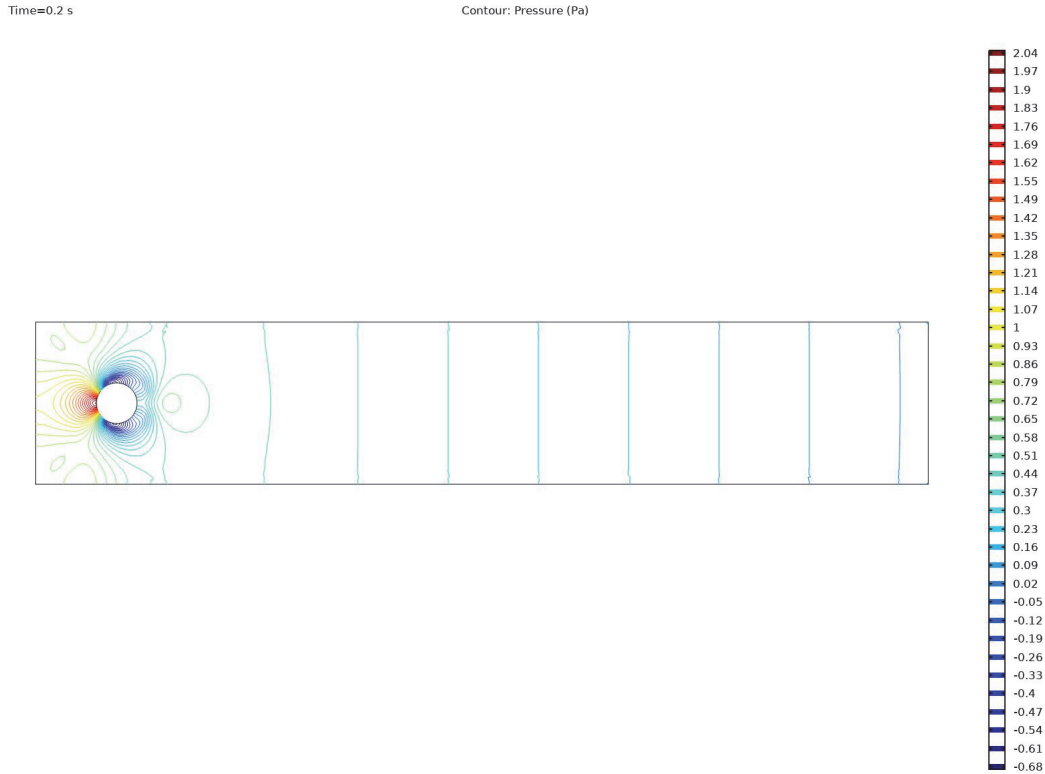
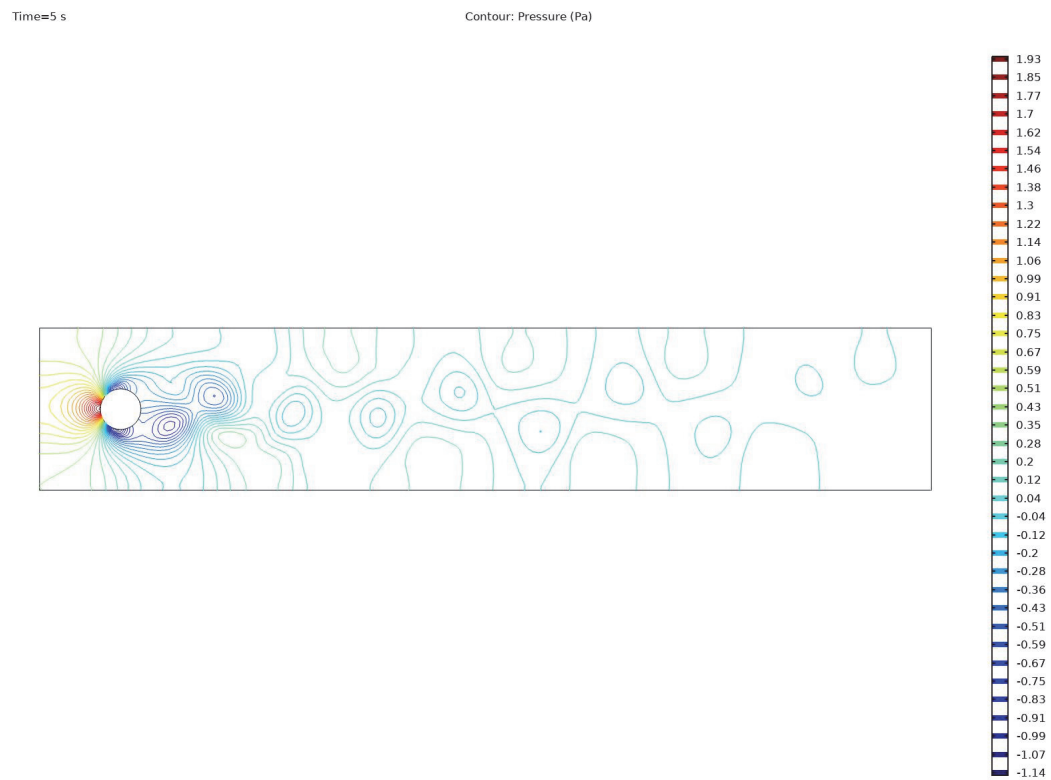


Рисунок 9. Давление при 0,2 с.

**Рисунок 10.** Давление при 3 с.**Рисунок 11.** Давление при 5 с.

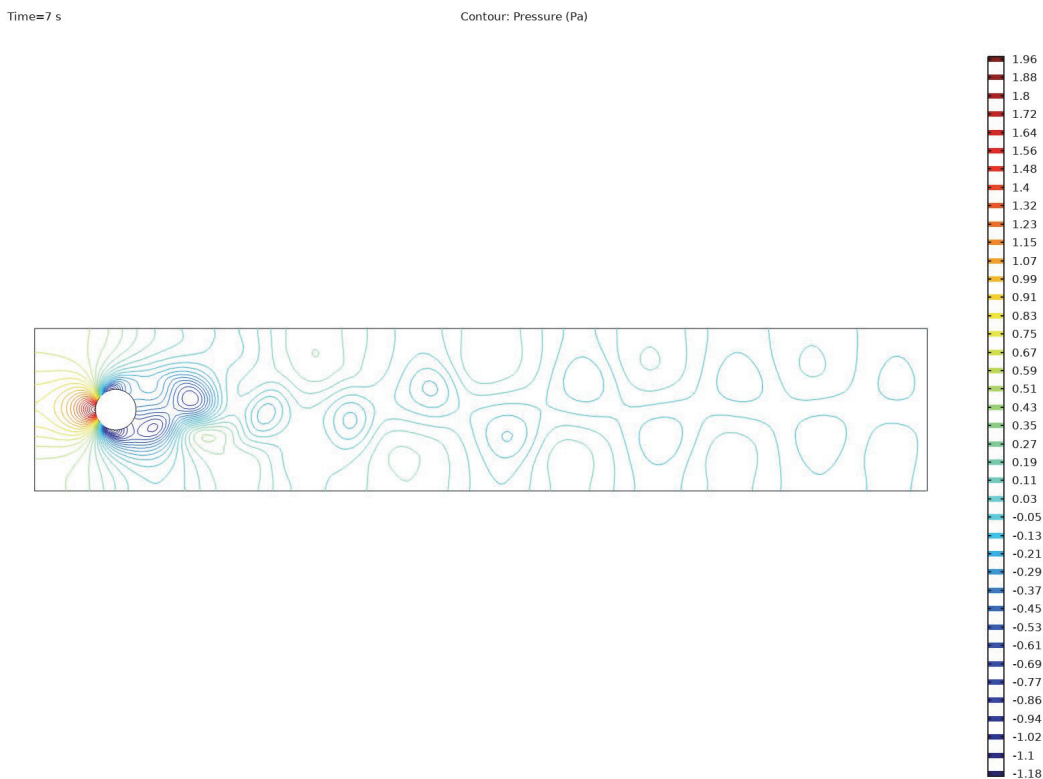


Рисунок 12. Давление при 7 с.

При практическом расчете мы пользуемся нормами СП для определения ветровой нагрузки. Определяем число Рейнольдса, собственную частоту колебаний, определяем нагрузку по СП 20.13330.2016 «Нагрузки и воздействия». После сбора нагрузок, определяем погонную нагрузку, распределенную по длине трубы, умножая ветровое давление на диаметр трубы (ширина проекции, которая используется в дальнейших расчетах по проверке несущей способности трубы). По получившимся данным можно сказать, что поверхность трубы является плохообтекаемым аэродинамическим телом, которое характеризуется возникновением «нестабильной» области, обусловленной отрывом пограничного турбулентного слоя с поверхности трубы, что, как следствие, приводит к возникновению малых скоростей течения потоков.

Определенные ветровые нагрузки, приложенные к стволу трубы, позволили выявить основные особенности аэродинамики трубы как плохообтекаемого тела и определить значения лобового сопротивления.

В результате численного моделирования воздушного потока у цилиндрической поверхности

трубы были определены значения скорости воздушного потока, м/с (рис. 13) и давления ветра, Па (рис. 14), в контрольных точках поверхности КТ1...КТ4 и по всей поверхности цилиндра. Графически значения представлены на рис. 1, 2. Значения величин в контрольных точках КТ1...КТ4 указаны в таблице.

Скорости воздушного потока распределяются следующим образом:

- Максимальные значения скорости воздушного потока наблюдаются у боковых поверхностей цилиндра (касательное направление потока) – в контрольных точках КТ3, 4.
- Минимальное значение скорости – на подветренной стороне, в контрольной точке КТ2.
- Пониженное значение скорости – на наветренной стороне, в контрольной точке КТ1.

Давление ветра распределяется следующим образом:

- Максимальное активное давление (+) на наветренной стороне, в контрольной точке КТ1.
- Отрицательное давление – отсос (-) на подветренной стороне, в контрольной точке КТ2.
- Минимальное отрицательное давление – отсос (-) в контрольных точках КТ3, 4.

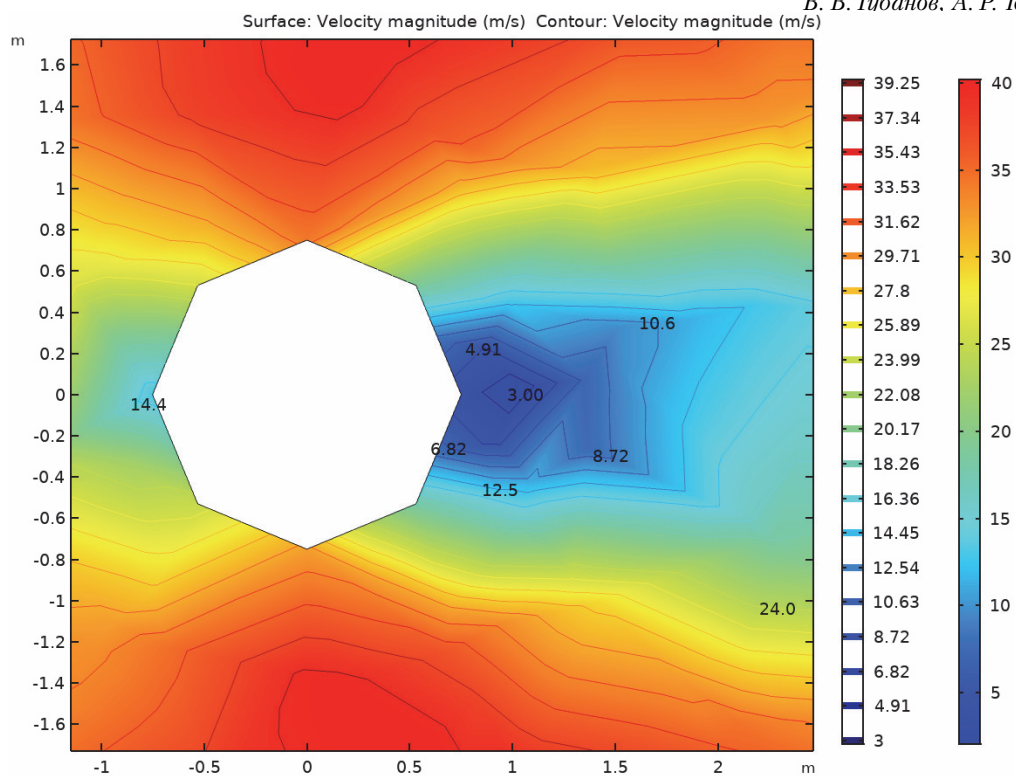


Рисунок 13. Значения скорости потока, м/с.

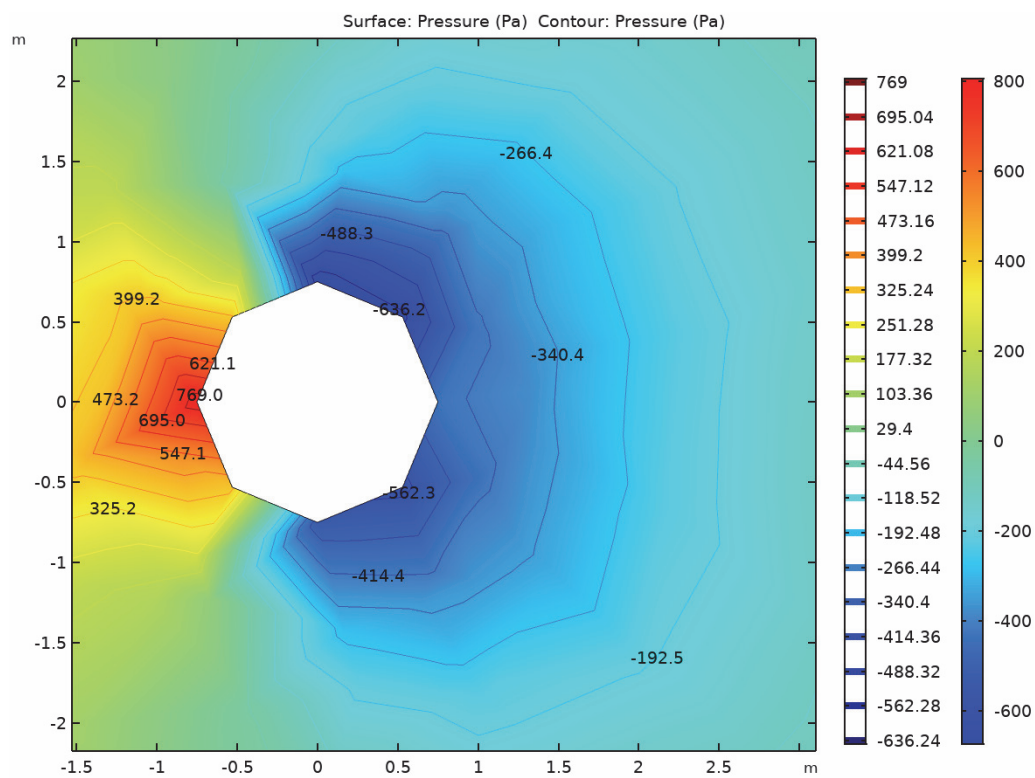
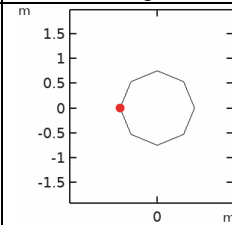
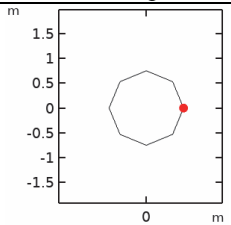
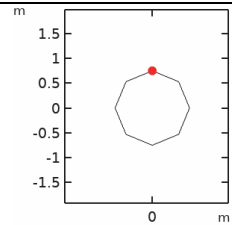
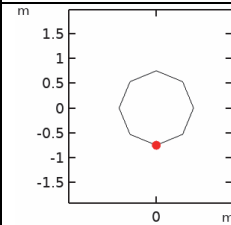


Рисунок 14. Значения давления, Па.

Таблица. Значения скорости и давления в контрольных точках

Наименование	КТ1. Наветренная	КТ2. Подветренная	КТ3. Боковая	КТ3. Боковая
Расположение контрольной точки				
Скорость, м/с	13,2	3,5	32,2	34,3
Давление, Па	806	-431	-673	-528

Взаимосвязь между значениями скорости ветра и ветрового давления проверим по формуле (11.3) СП 20.13330.2016:

$$W_0 = 0,43v^2.$$

Фактически эта взаимосвязь выполняется для значений в контрольных точках КТ3 и 4, т. е. на боковых поверхностях, касательных к потоку:

Для КТ3: при $v = 32,2$ м/с $W_0 = 446$ Па.

Для КТ4: при $v = 34,3$ м/с $W_0 = 506$ Па.

Для наветренной стороны рассматриваемого сечения (контрольная точка КТ1) и подветренной стороны (контрольная точка КТ2) взаимосвязь между значениями скорости ветра и ветрового давления не описывается указанной формулой. Воздушный поток в этих точках разделяется (КТ1) и смешивается (КТ2), образуя вихревые области завихрения, создавая эффекты турбулентного течения. Воздушный поток по боковым сторонам цилиндра протекает по плавной траектории, огибая сечение. Характер потока в этих

местах ближе к ламинарному. Таким образом, характер потока изменяется вдоль поверхности рассматриваемого сечения.

Выводы

1. Определены ветровые нагрузки, примененные к стволу трубы, которые позволили выявить основные особенности аэродинамики трубы как плохообтекаемого тела и определить значения лобового сопротивления.
2. Смоделированы ветровые потоки, обтекающие исследуемый объект для визуального понимания процесса обтекания дымовой трубы ветровыми потоками.
3. Изучена взаимосвязь между значениями скорости ветра и ветрового давления, а также характер потока на основании расчетных значений скорости воздушного потока и давления в контрольных точках на поверхности рассматриваемого сечения трубы.

Литература

1. Бирбраер, А. Н. Экстремальные воздействия на сооружения [Текст] / А. Н. Бирбраер, А. Ю. Роleder. – СПб. : Издательство Политехн. ун-та, 2009. – 594 с.
2. Динамический расчет зданий и сооружений [Текст] / М. Ф. Барштейн, В. А. Ильичев, Б. Г. Коренев [и др.] ; под ред. Б. Г. Коренева, И. М. Рабиновича. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Стройиздат, 1984. – 303 с.
3. Руководство по расчету зданий и сооружений на действие ветра [Текст] / ЦНИИСК им. Кучеренко. – М. : Стройиздат, 1978. – 216 с.
4. Динамический расчет специальных инженерных сооружений и конструкций [Текст] : справочник

References

1. Birbrayer, A. N.; Roleder A. Yu. Extreme impacts on structures [Text]. SPb. : Publishing house SPbPU, 2009. 594 p. (in Russian)
2. Barshteyn, M. F.; Ilichev, V. A.; Korenev, B. G. [et. al.]. Dynamic calculation of buildings and structures [Text]. Edited by B. G. Korenev; I. M. Rabinovicha. – 2-nd ed., revised and supplemented. M. : Stroizdat, 1984. 303 p. (in Russian)
3. V. A. Kucherenko CSRIBS. Guidelines for calculating buildings and structures for wind action [Text]. M. : Stroizdat, 1978. 216 p. (in Russian)
4. Ambriashvili, Yu. K.; Ananin, A. I.; Barchenkov, A. G.; Bernshteyn, A. S. [et. al.]. Dynamic

- проектировщика / Ю. К. Амбриашвили, А. И. Ананьин, А. Г. Барченков, А. С. Бернштейн [и др.] ; под ред. Б. Г. Коренева, А. Ф. Смирнова. – М. : Стройиздат, 1986. – 461 с.
5. Дымовые трубы [Текст] / А. М. Ельшин, М. Н. Ижорин, В. С. Жолудов, Е. Г. Овчаренко ; под редакцией С. В. Сатьянова. – М. : Стройиздат, 2001. – 296 с.
 6. Дымовые трубы [Текст] : справочник / Под ред. М. Н. Ижорина. – М. : Теплотехник, 2004. – 496 с.
 7. Справочник проектировщика. Металлические конструкции [Текст] / Под ред. В. В. Кузнецова : в 3 т. Т. 1. Общая часть. – Москва : Изд. АСВ, 1998. – 576 с.
 8. Методика расчета нагрузок, прочности и ресурсов стволов дымовых и вентиляционных промышленных труб [Текст] / В. Г. Сатьянов, Н. А. Хапонен, П. Б. Пилипенко [и др.]. – М. : Универсум, 2005. – 264 с.
 9. Павловский, В. Ф. Стальные башни (проектирование и монтаж) [Текст] / В. Ф. Павловский, М. П. Кондра. – Киев : Будивельник, 1979. – 198 с.
 10. СП 20.13330.2016 Нагрузки и воздействия [Текст] : актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85* (с Изменениями N 1, 2). – Введ. 2017-06-04. – М. : Стандартинформ, Россия, 2018. – 104 с.
 11. Солодарь, М. Б. Металлические конструкции для строительства на севере [Текст] / М. Б. Солодарь, Ю. С. Плишкин, М. В. Кузнецова. – Ленинград : Стройиздат, 1981. – 208 с.
 12. Перельмутер, А. В. Расчетные модели сооружений и возможность их анализа [Текст] / А. В. Перельмутер, В. И. Сливкер. – Киев : ВПП «Компас», 2001. – 448 с.
 13. Попов, Н. А. Рекомендации по уточненному динамическому расчету зданий и сооружений на действие пульсационной составляющей ветровой нагрузки [Текст] / Н. А. Попов ; Госстрой России, ЦНИИСК им. В. А. Кучеренко, ООО Еврософт. – М. : ЦНИИСК им. В. А. Кучеренко, 2000. – 43 с.
 14. Симиу, Э. Воздействие ветра на здания и сооружения [Текст] / Э. Симиу, Р. Сканлан ; пер. с англ. Б. Е. Маслова, А. В. Швецов. – М. : Стройиздат, 1984. – 358 с.
 15. Сооружение промышленных дымовых труб [Текст] : справочное издание в 3-х книгах. Книга 1. Конструкции, расчеты, экспертиза / Я. М. Щелочков, Ф. П. Дужих, В. П. Осоловский, М. Г. Ладыгичев ; под общ. ред. Ф. П. Дужих, В. П. Осоловского. – М. : Теплотехник, 2007. – 336 с.
 16. Cavanagh, K. 2D Flow Past a Confined Circular Cylinder with Sinusoidal Ridges [Электронный ресурс] / K. Cavanagh, R. Wulandana // *Proceedings of the 2019 COMSOL Conference* (24–26 September 2019, Boston, MA, United States). – Режим доступа : https://www.comsol.ru/paper/download/679441/wulandana_paper.pdf.
 17. Hashiguchi, M. Finite-Element Analysis of Unsteady Flow Past a Circular Cylinder Based on a Variational Multiscale Method [Электронный ресурс] : projector reference / edited by B. G. Koreneva, A. F. Smirnova. M. : Stroiizdat, 1986. 461 p. (in Russian)
 5. Yelshin, A. M.; Izhorin, M. N.; Zholudov, V. S.; Ovcharenko, Ye. G. Chimneys [Text] / edited by S. V. Satyanova. M. : Stroiizdat, 2001. 296 p. (in Russian)
 6. Chimneys [Text] : handbook / edited by M. N. Izhorin. M. : Teplotekhnika, 2004. 496 p. (in Russian)
 7. Projector reference. Metal constructions [Text] / edited by V. V. Kuznetsov : in 3 vol. Vol. 1. General part. M. : ACB, 1998. 576 p. (in Russian)
 8. Satyanov, V. G.; Khaponen, N. A.; Pilipenko, P. B.; Frantsuzov, V. A.; Satyanov, S. V. The methodology for calculating the loads, strength and resource of the trunks of smoke and ventilation industrial pipes [Text]. M. : Universum, 2005. 264 p. (in Russian)
 9. Pavlovsky, V. F.; Kondra, M. P. Steel towers (design and installation) [Text]. Kyiv : Budivelnik, 1979. 198 p. (in Russian)
 10. SP 20.13330.2016 Loads and Impacts [Text]. M. : Ministry of Construction of Russia, 2016. 104 p. (in Russian)
 11. Solodar, M. B.; Plishkin, Yu. S.; Kuznetsova, M. V. Metal structures for construction in the north [Text]. Leningrad : Stroiizdat, 1981. 208 p. (in Russian)
 12. Perelmutter, A. V.; Slivker, V. I. Design models of structures and the possibility of their analysis [Text]. Kyiv : PPC «Kompas», 2001. 448 p. (in Russian)
 13. Popov, N. A.; Ministry of construction and housing and communal services of the Russian Federation; V. A. Kucherenko CSRIBS; LLC Yevrosoft. Recommendations on the updated dynamic calculation of buildings and structures on the action of the pulsating component of the wind load [Text]. M. : V. A. Kucherenko CSRIBS, 2000. 43 p. (in Russian)
 14. Simiu, E.; Skanlan, R. The impact of wind on buildings and structures [Text] ; trans. from english B. Ye. Maslov, A. V. Shvetsova. M. : Stroiizdat, 1984. 358 p. (in Russian)
 15. Shchelokov, Ya. M.; Duzhikh, F. P.; Osolovsky, V. P.; Ladygichev, M. G. Industrial chimney construction [Text] : reference edition in 3 books. Book 1. Designs, calculations, examination / edited by F. P. Duzhikh, V. P. Osolovsky. M. : Teplotekhnika, 2007. 336 p. (in Russian)
 16. Cavanagh, K.; Wulandana, R. 2D Flow Past a Confined Circular Cylinder with Sinusoidal Ridges [Electronic resource]. In: *Proceedings of the 2019 COMSOL Conference*. Access mode : https://www.comsol.ru/paper/download/679441/wulandana_paper.pdf. (in English)
 17. Hashiguchi, M. Finite-Element Analysis of Unsteady Flow Past a Circular Cylinder Based on a Variational Multiscale Method [Electronic resource]. In: *Proceedings of the 2019 COMSOL Conference*. Access mode : https://www.comsol.ru/paper/download/679461/hashiguchi_paper.pdf. (in English)

- pecypc] / M. Hashiguchi // Proceedings of the 2019 COMSOL Conference (24–26 September 2019, Boston, MA, United States). – Режим доступа : https://www.comsol.ru/paper/download/679461/hashiguchi_paper.pdf.
18. Hashiguchi, M. Implicit LES for Two-Dimensional Circular Cylinder Flow by Using COMSOL Mutiphysics [Электронный ресурс] / M. Hashiguchi // Proceedings of the 2014 COMSOL Conference (17–19 September 2014, Cambridge, UK). – Режим доступа : https://www.comsol.com/paper/download/199923/hashiguchi_paper.pdf.
 19. Benchmark computations of laminar flow around a cylinder [Текст] / M. Schäfer, S. Turek, F. Durst, E. Krause [et. al] // Flow simulation with high-performance computers II. 1996. Vol. 48. P. 547–566.
 20. Singha, S. Flow past a circular cylinder between parallel walls at low Reynolds numbers [Текст] / S. Singha, K. P. Sinhamahapatra // Ocean Engineering. 2010. Vol. 37(8–9). P. 757–769.
 18. Hashiguchi, M. Implicit LES for Two-Dimensional Circular Cylinder Flow by Using COMSOL Mutiphysics [Electronic resource]. In: *Proceedings of the 2014 COMSOL Conference*. Access mode : https://www.comsol.com/paper/download/199923/hashiguchi_paper.pdf. (in English)
 19. Schäfer M., Turek S., Durst F., Krause E. [et. al]. Benchmark computations of laminar flow around a cylinder [Text]. In: *Flow simulation with high-performance computers II*. 1996. Vol. 48. P. 547–566. (in English)
 20. Singha, S.; Sinhamahapatra, K. P. Flow past a circular cylinder between parallel walls at low Reynolds numbers [Text]. In: *Ocean Engineering*. 2010. Vol. 37(8–9). P. 757–769. (in English)

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.

Толстяков Антон Романович – магистрант кафедры металлических конструкций и сооружений ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: дымовые трубы, сравнение методик расчета дымовых труб, моделирование воздействия ветровых потоков.

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 угнутої 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.

Толстяков Антон Романович – магістрант кафедри металевих конструкцій і споруд ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: димові труби, порівняння методик розрахунку димових труб, моделювання впливу вітрових потоків.

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: calculation and design of gas discharge shafts with local stresses, the influence of local concavity on the work of the load-bearing shell of high-rise structures, the choice of a design scheme for numerical analysis of free-standing chimneys, methods for determining the edge stresses in the shells of chimneys, comparison of methods for calculating the stability of trunks of cellular communication masts.

Tolstiakov Anton – Master's student, Metal Structure and Construction Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: the flue pipe, comparison of methods for calculating chimneys, modeling the impact of wind flows.