



## Construction of Unique Buildings and Structures



journal homepage: [www.unistroy.spb.ru](http://www.unistroy.spb.ru)



### Конечно-элементный анализ стальной опоры в ПК SCAD

П.П. Власов<sup>1</sup>, И.И. Лалила<sup>2</sup>, А.В. Савченко<sup>3</sup>, Е.В. Емельянов<sup>4</sup>, А.А. Нестеров<sup>5</sup>

<sup>1-5</sup>Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, 195251, Россия, г. Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29

#### Информация о статье

УДК 69.04

#### История

Подана в редакцию 30 апреля 2015

#### Ключевые слова

SCAD;  
нагрузки;  
собственный вес;  
конечно-элементная модель;  
напряженно-деформированное состояние;

#### АННОТАЦИЯ

Расчет нестандартных конструкций с использованием современных программных комплексов приводит к необходимости выбора рациональной и корректной модели, с использованием возможностей программы. Возможности эти, на современном уровне программного вычисления обширны. Они позволяют для одной и той же конструкции создавать разные варианты расчетных схем. В данной статье предлагается сравнительный анализ результатов расчетов двух вариантов конечно-элементных моделей стальной опоры. Все расчеты выполнены в программном комплексе SCAD. Сначала было выполнено описание расчетных моделей, затем были определены нагрузки на сооружение. Сравнительный анализ результатов расчета показал, что для расчетов сооружений на собственный вес вполне достаточно использования упрощенной схемы, тогда как сложную ветровую нагрузку необходимо рассматривать только с использованием оболочной расчетной схемы, повторяющей в деталях рассчитываемую конструкцию.

#### Содержание

1.	Введение	28
2.	Обзор литературы	29
3.	Постановка цели и задач	29
4.	Описание вариантов расчетных схем	29
5.	Нагрузки на схемы	31
6.	Сравнительный анализ результатов расчетов	33
7.	Заключение	36

<sup>1</sup> Контактный автор:

+7(931) 382 7372, [vlasov.ppavel@gmail.com](mailto:vlasov.ppavel@gmail.com) (Власов Павел Павлович, студент)

<sup>2</sup> +7(911) 732 3531, [irlalina@yandex.ru](mailto:irlalina@yandex.ru) (Лалила Ирина Игоревна, ст. преподаватель)

<sup>3</sup> +7(911) 115 3597, [ya.int@yandex.ru](mailto:ya.int@yandex.ru) (Савченко Алексей Владимирович, ассистент)

<sup>4</sup> +7(911) 188 4665, [ewgenij.em@yandex.ru](mailto:ewgenij.em@yandex.ru) (Емельянов Евгений Вячеславович, студент)

<sup>5</sup> +7(952) 203 6624, [artyom\\_nesterov@mail.ru](mailto:artyom_nesterov@mail.ru) (Нестеров Артем Андреевич, студент)

## 1. Введение

Расчет нестандартных конструкций с использованием современных программных комплексов приводит к необходимости выбора рациональной и корректной модели, с использованием возможностей программы. Возможности эти, на современном уровне программного вычисления, как известно, обширны и позволяют для одной и той же конструкции создавать разные варианты расчетных схем. Понятно, что выбор мотивируется возможностью получить более точные результаты расчета.

Опорная часть уличных светильников (Рисунок 1) представляет собой конусообразный ствол, выполненный из листовой стали толщиной 4 мм марки 09Г2С.

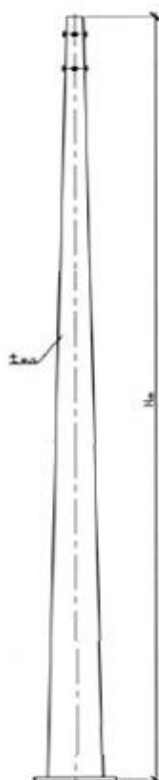


Рисунок 1. Схема опорной части уличного светильника

Сечение ствола – шестнадцатигранник с переменной шириной сечения от 210 мм внизу до 100 мм в верхней части (Рисунок 2). Высота опоры может быть разной, в зависимости от назначения светильника. В нашем примере рассматривается конструкция высотой 10м.

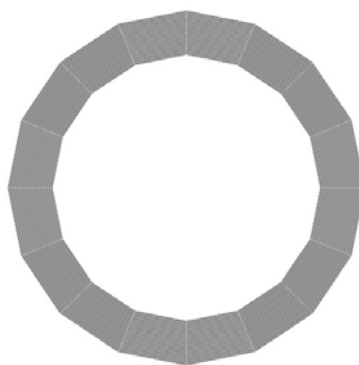


Рисунок 2. Сечение ствола – шестнадцатигранник

## 2. Обзор литературы

Проектирование и строительство надежных, высокоэффективных конструкций и сооружений в большой степени зависят от возможности прогнозирования их поведения при возможных полях воздействий на них (силовых, температурных, кинематических и т.д.).

Точность прогнозирования зависит в свою очередь от наличия соответствующих по точности методов расчета, возможностей проведения численных экспериментов и проверки достоверности результатов расчета.

Именно это предопределяет основное направление развития строительной механики — разработку новых и совершенствование известных методов расчета.

Общепризнано, что самым распространенным и универсальным численным методом решения краевых задач является сегодня метод конечных элементов. Особенно широко он применяется в задачах механики деформируемого твердого тела и строительной механики.

Теории и реализации метода конечных элементов посвящена обширная литература [1-27]. Популярность этого метода обусловлена его непосредственной связью с классическими методами строительной механики и вытекающих из них простотой и наглядностью, а также возможностью расчета тел любой геометрической формы.

Развитие метода конечных элементов как численного метода решения задач расчета сооружений идет по пути усложнения применяемых математических моделей [2, 5, 11, 13, 17, 19]. Этот метод реализован во многих промышленных программных комплексах, таких как: SCAD, ANSYS, NASTRAN, PLAXIS, SOFiSTiK, ЛИРА [6-7]. Используемые в комплексах конечные элементы строятся на базе приближенной аппроксимации неизвестной функции в пределах элемента, что приводит к погрешностям решения.

В современной научной литературе широко рассматриваются и изучаются вопросы выбора правильной модели для расчета нестандартных конструкций [1-27]. В данной статье описывается расчет нескольких схем опор светильников, с последующим анализом результатов.

## 3. Постановка цели и задач

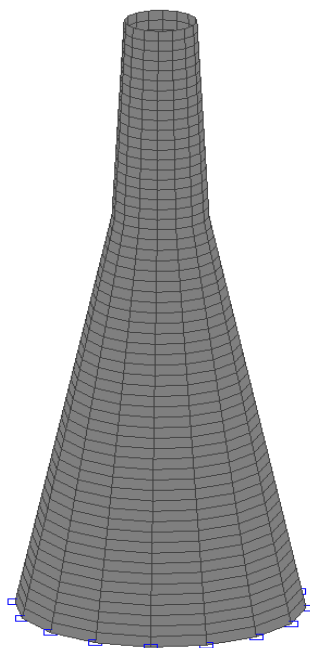
Цель настоящей работы – анализ результатов расчета опоры светильника, выполненных в Structure CAD Office (далее SCAD) с использованием двух типов расчетных схем и конечных элементов.

Из поставленной цели вытекают следующие задачи:

- создать стержневую и оболочечную КЭ модели пространственной металлической конструкции уличных светильников в SCAD;
- провести сбор нагрузок, действующих на конструкцию;
- провести анализ напряженно-деформированного состояния элементной конструкции;
- осуществить сравнение исследуемых вариантов моделей, определить сферы применения.

## 4. Описание вариантов расчетных схем

Первый вариант расчетной схемы составлен из четырехугольных конечных элементов оболочки типа 44, тип схемы 5 (система общего вида). Количество узлов в схеме 976. Количество элементов 960. Количество степеней свободы в узле 6 ( $X$ ,  $Y$ ,  $Z$ ,  $U_x$ ,  $U_y$ ,  $U_z$ ). Общее количество неизвестных 5856. Опирающие – жесткая заделка во всех узлах опорного сечения. Опорный фрагмент схемы показан на Рис. 3.



**Рисунок 3. Общий вид 1-го варианта расчетной схемы**

Второй вариант расчетной схемы составлен из стреевых элементов 2-го типа, тип схемы 2 (плоская рама), количество узлов 4, количество элементов – 3, общее количество неизвестных в задаче 12. Опираие – жесткая заделка. Общий вид схемы представлен на рисунке 4.



**Рисунок 4. Общий вид 2-го варианта расчетной схемы**

Сечения элементов представляют собой стальные трубы с учетом изменения размера по высоте, представлены в Таблице 1.

Таблица 1. Размеры сечений элементов расчетной схемы

Номер элемента	Размер сечения, мм
1	2500*20
2	1500*20
3	875*20

## 5. Нагрузки на схемы

На опору действуют следующие нагрузки:

1. Собственный вес;
2. Вес светильников;
3. Нагрузка от натяжения проводов, в том числе от действия гололеда;
4. Ветровая нагрузка с учетом пульсации.

Так как в настоящей статье поставлена задача сравнить результаты расчетов 2-х моделей то нет необходимости рассматривать весь спектр загрузжений. Рассмотрим только два вида нагрузки:

1. Собственный вес;
2. Ветровое воздействие.

Величины ветровых нагрузок определены с помощью программы ВЕСТ из пакета SCAD. Расчет выполнялся для городской территории (тип местности В). Для выполнения сравнительного анализа для всех нагрузок будем рассматривать нормативные значения. При этом надо иметь ввиду, что ветровая нагрузка для схемы первого варианта рассчитана на 1 м<sup>2</sup> площади боковой поверхности опоры, а для схемы второго варианта эта нагрузка перерасчитана на 1 погонный метр длины опоры. Учитываются нормативные значения ветровых нагрузок для 2 ветрового района.

### 5.1. Первый вариант расчетной схемы

Направление ветровой нагрузки представлено на рисунке 5.

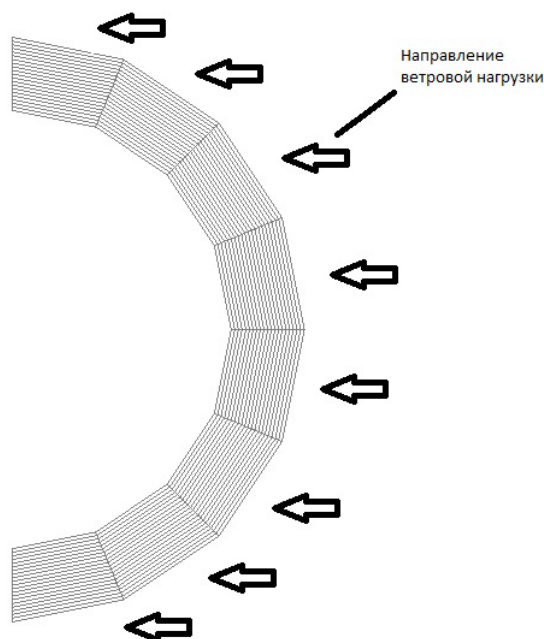


Рисунок 5. Схема приложения ветровой нагрузки первого варианта расчетной схемы

Нормативные значения ветровых нагрузок представлены в Таблице 2.

Таблица 2. Зависимость значений ветровой нагрузки от высоты конструкции

Высота, м	Значения ветровой нагрузки на грани, кН/м <sup>2</sup>	
	Нормативное значение, кН/м <sup>2</sup>	Расчетное значение, кН/м <sup>2</sup>
До 5	0,222	0,311
5-5,5	0,227	0,318
5,5-6	0,238	0,333
6-6,5	0,249	0,349
6,5-7	0,261	0,365
7-7,5	0,271	0,379
7,5-8	0,283	0,396
8-8,5	0,294	0,412
8,5-9	0,305	0,427
9-9,5	0,315	0,441
9,5-10	0,329	0,461

Схема приложения ветровой нагрузки к расчетной схеме 1 изображена на рисунке 6.

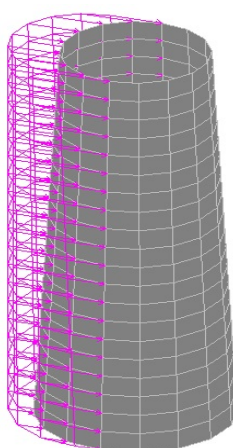


Рисунок 6. Схема приложения ветровой нагрузки к расчетной схеме 1

### 5.2. Второй вариант расчетной схемы.

Ветровая нагрузка прикладывается к расчетной схеме по тому же принципу, что и в первом случае. Схема приложения ветровой нагрузки изображена на рисунке 7.

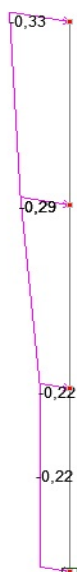


Рисунок 7. Схема приложения ветровой нагрузки к расчетной схеме 2

## 6. Сравнительный анализ результатов расчетов

Полученные значения перемещений от ветровой нагрузки для данных расчетных схем имеют один порядок. Для нахождения более точных значений перемещений, расчет необходимо вести, используя первую расчетную схему, так как она наиболее приближена к реальной конструкции.

В расчетах напряженно-деформированного состояния, при нахождении, например, устойчивости сооружения, возможно использование стержневой расчетной схемы, так как результаты обоих расчетов близки по значениям.

Данные расчетов перемещений от значений собственного веса показывают, что при решении подобной задачи выбор схемы не имеет принципиального значения, для упрощения процесса расчета возможно использовать стержневую систему.

Значения перемещений в SCAD для значений ветровой нагрузки и нагрузки от собственного веса конструкции представлены на рис. 9-12. Вид деформированных схем представлен на рисунке 8.

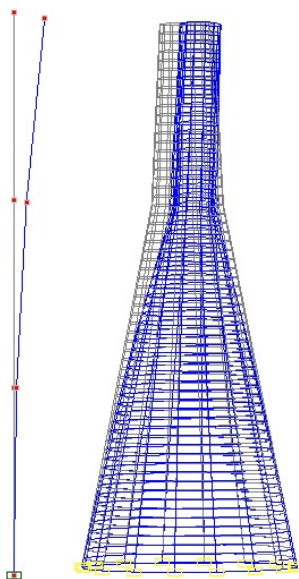


Рисунок 8. Основной вид деформированной первой и второй схемы

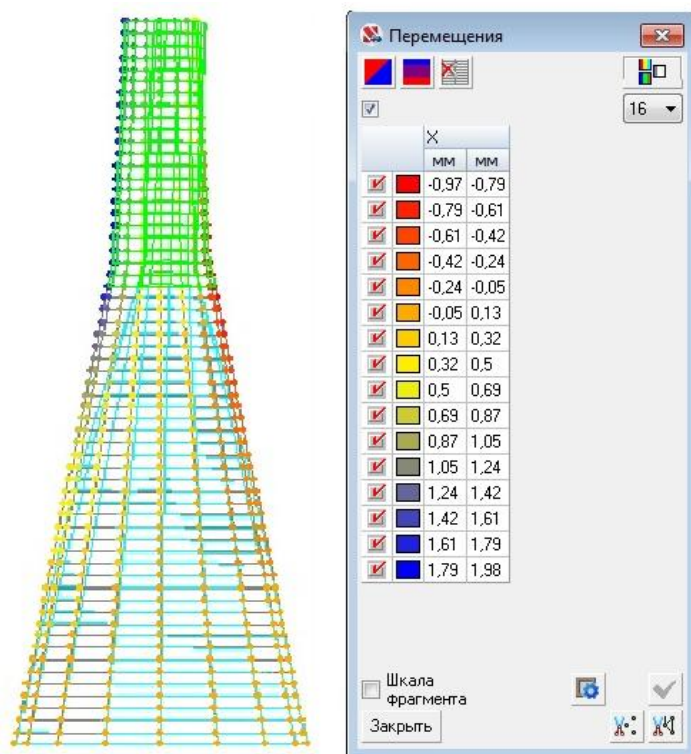


Рисунок 9. Значения горизонтальных перемещений узлов первой схемы от ветровой нагрузки



Рисунок 10. Значения горизонтальных перемещений узлов второй схемы от ветровой нагрузки



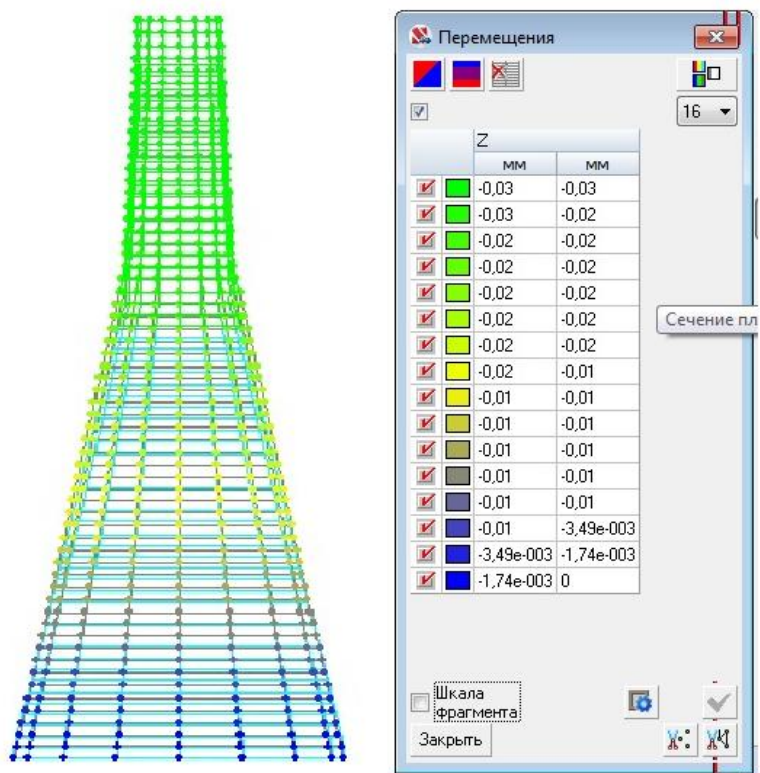


Рисунок 11. Значение вертикальных перемещения узлов первой схемы от собственного веса

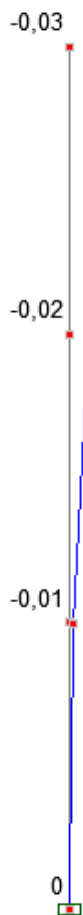


Рисунок 12. Значение вертикальных перемещения узлов второй схемы от собственного веса

## 7. Заключение

Итогами данной работы является сравнение исследуемых вариантов расчетных схем на основании результатов расчетов SCAD.

Было рассмотрено 2 типа расчетной схемы:

1. Схема, составленная из четырехугольных конечных элементов оболочки типа 44;
2. Схема, составленная из стержневых элементов 2-го типа.

Рассматривались только нагрузки, создаваемые от действия ветра и собственного веса конструкции.

В результате расчета в SCAD были получены схемы деформации каждой из выбранных типов расчетных схем, представленных на Рисунке 8, значения перемещений от приложенной нагрузки, представленные на Рисунках 9-12.

Выбор расчетной схемы зависит от поставленных задач, требуемой точности вычислений. Для расчетов опорной части уличных светильников на собственный вес вполне достаточно использования стержневой расчетной схемы, тогда как сложную ветровую нагрузку необходимо рассматривать только с использованием оболочной расчетной схемы, повторяющей в деталях рассчитываемую конструкцию.

## Литература

- [1]. Розин Л.А. Основы метода конечных элементов в теории упругости. Л.: Изд-во ЛПИ, 1972. 77 с.
- [2]. Варвак П.М., Бузун И.М., Городецкий А.С., Пискунов В.Г. Метод конечных элементов: учеб. пособие для вузов. Киев: «Вища школа», 1981. 176 с.
- [3]. Розин Л.А. Стержневые системы как системы конечных элементов. Л.: Изд-во ЛГУ, 1975. 237 с.
- [4]. Розин Л.А. Теоремы и методы статики деформируемых систем. Л.: Изд-во ЛГУ, 1986. 276 с.
- [5]. Бате К.-Ю. Методы конечных элементов. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2010. 1022 с.
- [6]. Городецкий А.С., Евзеров А.С. Компьютерные модели конструкций. Киев: Изд-во «Факт», 2005. 344 с.
- [7]. Перельмутер А.В., Сливкер В.И. Расчетные модели сооружений и возможность их анализа. М.: Изд-во «ДМК-Пресс», 2007. 600 с.
- [8]. Семенов П.Ю. Стержневой конечный элемент для расчетов с большими перемещениями и вращениями / П.Ю. Семенов // Проблемы нелинейной механики деформируемого твердого тела. Труды второй международной конференции. Казань: НИИММ им. Н.Г. Чеботарева, 2009.
- [9]. СП 20.13330.2011 «Нагрузки и воздействия». Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85\*.
- [10]. Константинов И.А., Лалина И.И. Строительная механика. Применение программы SCAD для решения задач теории упругости. СПб: Изд-во СПбГПУ, 2004. 75с.
- [11]. Зенкевич О. Метод конечных элементов в технике. М: Изд-во «Мир», 1975. 571 с.
- [12]. Новожилов В.В. Теория упругости. Л: Судпромгиз, 1958. 370 с.
- [13]. Попов В.А. Моделирование напряженно-деформированного состояния сталебетонного контейнера при ударе углом днища о жесткую поверхность для рационального проектирования. Журнал «Современное промышленное и гражданское строительство» - Издательство Донбасская национальная академия строительства и архитектуры, 2008, 159с
- [14]. Алехин А.М. Численные исследования поведения антенных опор при действии гололедно-ветровых воздействий. // Металлические конструкции. Изд-во Донбасская национальная академия строительства и архитектуры, 2008. №14 189-199 с.
- [15]. Ефрушин С.В., Флавианов В.М. Расчетная модель башенной градирни и ее комплексный анализ с помощью метода конечных элементов // Строительная механика и конструкции. Изд-во Воронежский государственный архитектурно-строительный университет, 2010, 53 с.
- [16]. Губанов В.В., Межинская И.В. Совершенствование методики расчета начального натяжения оттяжек мачт. // Металлические конструкции. Изд-во Донбасская национальная академия строительства и архитектуры, 2012, 48 с.
- [17]. Numerical methods in finite element analysis, K.-J. Bathe and E. L. Wilson, Prentice-Hall Inc., Englewood Cliffs, N.J., 1976. 319p.
- [18]. Finite Element Methods for Engineering Sciences, Chaskalovic J., Springer, 2008. 267 p.
- [19]. Zienkiewicz O.C., Taylor R.L., Zhu J.Z. The Finite Element Method: Its Basis and Fundamentals // Butterworth-Heinemann. 2013. Pp 756.
- [20]. Shahani A.R., Amini Fasakhodi M.R. Finite element analysis of dynamic crack propagation using remeshing technique. // (Materials and Design), Elsevier Science Publishing Company, Inc. №30. 2009. Pp 1032-1041.
- [21]. Lee C.K., Hobbs R.E. Automatic adaptive finite element mesh generation over arbitrary two-dimensional domain using advancing front technique. // (Computers & Structures), Elsevier Science Publishing Company, Inc. №71. 1999. Pp 9-34.
- [22]. Tranxuan D. Finite Element simulation of a layout optimisation technique by photoelastic stress minimization. // (Finite Elements in analysis and design), Elsevier Science Publishing Company, Inc. №28. 1998. Pp 277-292.
- [23]. Widjaja B.R. Path-following technique based on residual energy suppression for nonlinear Finite Element analysis. // (Computers & Structures), Elsevier Science Publishing Company, Inc. №66. 1998. Pp 201-209.
- [24]. Ren Y.J., Elishakoff I. New results in Finite Element Method for stochastic structures. // (Computers & Structures), Elsevier Science Publishing Company, Inc. №67. 1998. Pp 125-135.
- [25]. Oh H.S., Lim J.K. Modified h-method with directional error estimate for finite element stress analysis. // (Computers & Structures), Elsevier Science Publishing Company, Inc. №65. 1997. Pp 191-204.
- [26]. Pankiewicz E. On limit analysis of discs by a rigid Finite Element Method. // (Computer methods in applied mechanics and engineering), Elsevier Science Publishing Company, Inc. №127. Pp 1-12.

- [27]. Seweryn A. Modeling of singular stress fields using Finite Element Method. // (International journal of solids and structures), Elsevier Science Publishing Company, Inc. №39. Pp 4787-4804.

## Finite element analysis of the steel column in SCAD

P.P. Vlasov<sup>1</sup>, I.I. Lalina<sup>2</sup>, A.V. Savchenko<sup>3</sup>, E.V. Emelianov<sup>4</sup>, A.A. Nesterov<sup>5</sup>

<sup>1-5</sup> Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, 29 Politechnicheskaya St., St. Petersburg, 195251, Russia

---

### ARTICLE INFO

scientific article

doi:

### Article history

Received 30 April 2015

### Keywords

SCAD;  
load;  
self-weight;  
the finite element model;  
the stress-strain state;

---

### ABSTRACT

Calculation of custom designs using modern software systems leads to the necessity of rational choice and the model is correct, using the capabilities of the program. These opportunities, modern software computing, as we know, extensive. They allow for the same design to create different versions of the calculation schemes. This article provides a comparative analysis of calculation results of two variants of finite element models of steel towers. All calculations are performed using the software package SCAD. First was the description of computational models, were then determined load on the structure. Comparative analysis of calculation results showed that for the calculation of structures to its own weight is enough using a simplified scheme, whereas complex wind load should be considered only using shell design scheme, repeating the parts count design.

---

<sup>1</sup> *Corresponding author:*

+7(931) 382 7372, vlasov.ppavel@gmail.com (Vlasov Pavel Pavlovich, Student)

<sup>2</sup> +7(911) 732 3531, irlalina@yandex.ru (Lalina Irina Igorevna, Senior Lecturer)

<sup>3</sup> +7(911) 115 3597, ya.int@yandex.ru (Savchenko Alexey Vladimirovich, Assistant)

<sup>4</sup> +7(911) 188 4665, ewgenij.em@yandex.ru (Emelianov Evgenii Viacheslavovich, Student)

<sup>5</sup> +7(952) 203 6624, artyom\_nesterov-@mail.ru (Nesterov Artem Andreevich, Student)

## References

- [1]. Rozin L.A. Osnovyi metoda konechnykh elementov v teorii uprugosti. [Fundamentals of the finite element method in elasticity theory] L.: LPI, 1972. Pp. 77. (rus)
- [2]. Varvak, P.M. Metod konechnykh elementov: uchebnoe posobie dlya vuzov. [Finite element method: textbook for universities] / P.M. Varvak, I.M. Buzun, A.S. Gorodetskiy, V.G. Piskunov, Yu.H. Toloknov; pod obsch. red. P.M. Varvaka. K.: «Vischa shkola», 1981. Pp. 176. (rus)
- [3]. Rozin, L.A. Sterzhnevyye sistemy kak sistemy konechnykh elementov. [Rod system as a system of finite elements]. L.: LGU, 1975. Pp. 237. (rus)
- [4]. Rozin, L.A. Teoremy i metody statiki deformiruemyykh system. [Theorems and methods of statics of deformable systems] L.: LGU, 1986. Pp. 276. (rus)
- [5]. Bate, K.-Yu. Metody konechnykh elementov. [Finite element methods] Per. s angl. / K.-Yu. Bate. M.: FIZMATLIT, 2010. Pp. 1022 p. (rus)
- [6]. Gorodetskiy, A.S. Kompyuternyye modeli konstruksiy. [Computer models of structures] / A.S. Gorodetskiy, I.D. Evzerov. – K.: «Fakt», 2005. Pp. 344. (rus)
- [7]. Perelmuter, A.V. Raschetnyye modeli sooruzheniy i vozmozhnost ih analiza. [Calculation models of structures and their analysis] / A.V. Perelmuter, V.I. Slivker. M.: DMK Press, 2007. Pp. 600. (rus)
- [8]. Semenov, P.Yu. Sterzhnevoy konechnyy element dlya raschetov s bolshimi peremescheniyami i vrascheniyami. [Rod finite element calculations with large displacements and rotations] / P.Yu. Semenov // Problemy nelineynoy mehaniki deformiruemogo tverdogo tela. Trudyi vtoroy mezhdunarodnoy konferentsii. Kazan: NIIMM im. N.G. Chebotareva, 2009. Pp 3 (rus)
- [9]. SP 20.13330.2011 «Nagruzki i vozdeystviya» [Loads and effects]. Aktualizirovannaya redaktsiya SNiP 2.01.07-85\* (rus)
- [10]. Konstantinov I.A., Lalina I.I. Stroitel'naya mehanika. Primenenie programmy SCAD dlya resheniya zadach teorii uprugosti. [Building mechanics. The use of SCAD for solving problems of elasticity theory], 2004. Pp. 75. (rus)
- [11]. Zenkevich O.C. Metod konechnykh elementov v tekhnike. [Finite Element Method in Engineering] M.: Mir, 1975. Pp. 571. (rus)
- [12]. Novozhilov V.V. Teoriya uprugosti. [Theory of elasticity]. L: Sudpromgiz, 1958. Pp. 370. (rus)
- [13]. Popov V.A. Modelirovanie napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya stalebetonnogo konteynera pri udare uglom dnisha o zhestkuyu poverhnost dlya ratsionalnogo proektirovaniya. [Modeling of stress-strain state of reinforced concrete container with the impact angle of the bottom of the hard surface for rational design] // (Zhurnal «Sovremennoe promyshlennoe i grazhdanskoe stroitelstvo»). Izd-vo Donbasskaya natsionalnaya akademiya stroitelstva i arhitekturyi. 2008. Pp 159. (rus)
- [14]. Alehin A.M. Chislennyye issledovaniya povedeniya antenykh opor pri deystvii gololedno-vetrovyykh vozdeystviy. [Numerical study of the behavior of antenna supports the action of icing and wind effects] // (Zhurnal «Metallicheskie konstruksii»). Izd-vo Donbasskaya natsionalnaya akademiya stroitelstva i arhitekturyi. 2008. Pp 199. (rus)
- [15]. Efryushin S.V., Flavianov V.M. Raschetnaya model bashennoy gradirni i ee kompleksnyy analiz s pomoschyu metoda konechnykh elementov. [Computational model of the cooling tower and its comprehensive analysis using finite element method] // (Zhurnal «Stroitel'naya mehanika i konstruksii»). Izd-vo Voronezhskiy gosudarstvennyy arhitekturno-stroitelnyy universitet. 2010. Pp 53. (rus)
- [16]. Gubanov V.V., Mezhdinskaya I.V. Sovershenstvovanie metodiki rascheta nachalnogo natyazheniya ottyazhek macht. [Improving the method for calculating the initial tension braces masts] // (Zhurnal «Metallicheskie konstruksii»). Izd-vo Donbasskaya natsionalnaya akademiya stroitelstva i arhitekturyi. 2012. Pp 48. (rus)
- [17]. K.-J. Bathe., E. L. Wilson. Numerical methods in finite element analysis// Prentice-Hall Inc., Englewood Cliffs/ N.J. 1976. Pp 319.
- [18]. Chaskalovic J. Finite Element Methods for Engineering Sciences. Springer, 2008. Pp 267.
- [19]. Zienkiewicz O.C., Taylor R.L., Zhu J.Z. The Finite Element Method: Its Basis and Fundamentals // Butterworth-Heinemann. 2013. Pp 756.
- [20]. Shahani A.R., Amini Fasakhodi M.R. Finite element analysis of dynamic crack propagation using remeshing technique. // (Materials and Design), Elsevier Science Publishing Company, Inc. №30. 2009. Pp 1032-1041.
- [21]. Lee C.K., Hobbs R.E. Automatic adaptive finite element mesh generation over arbitrary two-dimensional domain using advancing front technique. // (Computers & Structures), Elsevier Science Publishing Company, Inc. №71. 1999. Pp 9-34.

- [22]. Tranxuan D. Finite Element simulation of a layout optimisation technique by photoelastic stress minimization. // (Finite Elements in analysis and design), Elsevier Science Publishing Company, Inc. №28. 1998. Pp 277-292.
- [23]. Widjaja B.R. Path-following technique based on residual energy suppression for nonlinear Finite Element analysis. // (Computers & Structures), Elsevier Science Publishing Company, Inc. №66. 1998. Pp 201-209.
- [24]. Ren Y.J., Elishakoff I. New results in Finite Element Method for stochastic structures. // (Computers & Structures), Elsevier Science Publishing Company, Inc. №67. 1998. Pp 125-135.
- [25]. Oh H.S., Lim J.K. Modified h-method with directional error estimate for finite element stress analysis. // (Computers & Structures), Elsevier Science Publishing Company, Inc. №65. 1997. Pp 191-204.
- [26]. Pankiewicz E. On limit analysis of discs by a rigid Finite Element Method. // (Computer methods in applied mechanics and engineering), Elsevier Science Publishing Company, Inc. №127. Pp 1-12.
- [27]. Seweryn A. Modeling of singular stress fields using Finite Element Method. // (International journal of solids and structures), Elsevier Science Publishing Company, Inc. №39. Pp 4787-4804.

*Власов П.П., Лалила И.И., Савченко А.В., Емельянов Е.В., Нестеров А.А. Конечно-элементный анализ стальной опоры в ПК SCAD // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2015. №11 (38). С. 27-41.*

*Vlasov P.P., Lalina I.I., Savchenko A.V., Emelianov E.V., Nesterov A.A. Finite element analysis of the steel column in SCAD. Construction of Unique Buildings and Structures, 2015, 11 (38), Pp. 27-41. (rus)*