



ISSN 1814-5566 print

ISSN 1993-3517 online

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

№4, ТОМ 13 (2007) 203-209

УДК 621.396

(07)-0148-1

## **ВИЗНАЧЕННЯ РАЦІОНАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ ЩОГЛ ВИСОТОЮ ДО 30 МЕТРІВ**

**В.В. Губанов, И.В. Межинская**

*Донбаська національна академія будівництва і архітектури,  
вул. Державіна 2, 86123, м. Макіївка, Україна.  
E-mail: vadvy@dgasa.dn.ua*

*Отримана 15 жовтня 2007; прийнята 22 жовтня 2007*

**Анотація.** В даній статті розглянуто питання визначення областей раціональних геометричних параметрів щогл відносно невеликої висоти з метою спрощення роботи проєктувальників при розробці конструктивних рішень опор. Розроблена методика розрахунку щогл реалізована за допомогою ЕОМ, що прискорює процес проєктування. Вона дозволяє оптимізувати рішення шляхом завдання рівномірної епюри вигинальних моментів в стовбурі, а також врахувати вплив різних поєднань навантажень і кліматичних чинників на споруду. На основі отриманої методики проведений ряд чисельних експериментів. В результаті визначені найбільш корисні залежності: величини попередньої напруги від діаметру каната; величини попередньої напруги від кута нахилу відтяжок до вертикалі; величини попередньої напруги і експлуатаційної напруги у відтяжках від розташування опорних вузлів уздовж стовбура щогли. На підставі досліджених залежностей сформульовані рекомендації до розробки конструктивних рішень щогл на відтяжках.

**Ключові слова:** щогла, відтяжки, попередня напруга, геометричні параметри, діаметр каната, кут нахилу відтяжок до вертикалі, розташування опорних вузлів уздовж стовбура щогли.

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЦИОНАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ МАЧТ ВЫСОТОЙ ДО 30 МЕТРОВ**

**В.В. Губанов, И.В. Межинская**

*Донбасская национальная академия строительства и архитектуры,  
ул. Державина 2, 86123, г. Макеевка, Украина.  
E-mail: vadvy@dgasa.dn.ua*

*Получена 15 октября 2007; принята 22 октября 2007*

**Аннотация.** В данной статье рассмотрен вопрос определения областей рациональных геометрических параметров мачт относительно небольшой высоты с целью упрощения работы проектировщиков при разработке конструктивных решений опор. Разработанная методика расчета мачт реализована с помощью ЭВМ, что ускоряет процесс проектирования. Она позволяет оптимизировать решение путем задания равномерной эпюры изгибающих моментов в стволе, а также учесть влияние различных сочетаний нагрузок и климатических факторов на сооружение. На основе полученной методики проведен ряд численных экспериментов. В результате определены наиболее полезные зависимости: величины предварительного напряжения от диаметра каната; величины предварительного напряжения от угла наклона оттяжек к вертикали; величины предварительного напряжения и эксплуатационных напряжений в оттяжках от расположения опорных узлов вдоль ствола мачты. На основании исследованных зависимостей сформулированы рекомендации к разработке конструктивных решений мачт на оттяжках.

**Ключевые слова:** мачта, оттяжки, предварительное напряжение, геометрические параметры, диаметр каната, угол наклона оттяжек к вертикали, расположение опорных узлов вдоль ствола мачты.

## DETERMINATION OF RATIONAL PARAMETERS OF MASTS UP TO 30 METERS HIGH

V.V. Gubanov, I.V. Meginskaya

*Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture,*

*Derzavin str. 2, 86123, Makeyevka, Ukraine.*

*E-mail: vadvy@dgasa.dn.ua*

*Received 15 October 2007; accepted 22 October 2007*

**Abstract.** The determination of areas of rational geometrical parameters of guyed masts with relatively small height is considered in the article for the purpose of simplification designing in development structural decisions for masts. The proposed method of calculation for guyed masts, is realized by computer to accelerates a planning process. It allows to optimize a decision by presetting a profile for bending moments in a mast, and also to take into account influence of different combinations of loadings and climatic factors on structures. On the basis of the method the series of numeral experiments is conducted. The most useful dependencies are the value of preliminary tension against the diameter of rope; the value of preliminary tension against the angle of slope of guys to the vertical line; the value of preliminary tension and operating tensions in guys against the location of supporting knots along the mast. On the basis of the proposed dependencies recommendations for development of guyed masts structural decision are formulated.

**Keywords:** guyed mast, guys, preliminary tension, geometrical parameters, diameter of rope, angle of slope of guys to the vertical line, location of supporting knots along the mast.

### 1. Введение

В связи со стремительным темпом развития коммуникации увеличивается объем строительства сооружений мобильной связи. Возрастает потребность в возведении мачт относительно небольшой высоты (до 50м). Однако на настоящий момент не разработаны методы расчета таких мачт, отсутствуют рекомендации по их рациональному проектированию.

В соответствующей технической литературе освещены вопросы расчета и конструирования мачт высотой 150-300м [1,3,7,9,10,11]. Однако ранее из-за необходимости применения ручного счета невозможно было в достаточной мере детализировать расчет, учесть влияние различных сочетаний нагрузок и климатических факторов. Были учтены лишь некоторые факторы в соответствии с имеющимися на тот момент возможностями.

В программном комплексе SCAD возможно рассчитать мачту, но этот расчет является проверочным и не позволяет оптимизировать решение. При этом изначально задаются геометрические параметры сооружения, величина предварительного напряжения, диаметры канатов. Затем проверяются прочность и жесткость элементов мачты.

Наряду с этим отсутствуют рекомендации по проектированию мачт небольшой высоты. При разработке конструктивных решений сооружения у проектировщика возникает ряд вопросов: как определить оптимальные геометрические параметры мачты, каким диаметром лучше задаться и другие.

Поэтому целью данной работы является определение области рациональных параметров мачт небольшой высоты на примере мачты высотой 24м.

### 2. Методика расчета

Методика расчета реализована с помощью программы MathCAD, которая дала возможность выполнять быстро бывшие ранее трудоемкими операции.

Исходными данными для расчета являются геометрические параметры сооружения, нагрузочные от ветра, гололеда, диаметры оттяжек.

В основу расчета положена методика, изложенная А. Г Соколовым [1].

Применяется уравнение гибкой нити. Решается система из трех уравнений, включая кубические. Искомые величины: предварительное напряжение, максимальное и минимальное напряжения в оттяжках при среднегодовой температуре и воздействии ветра.

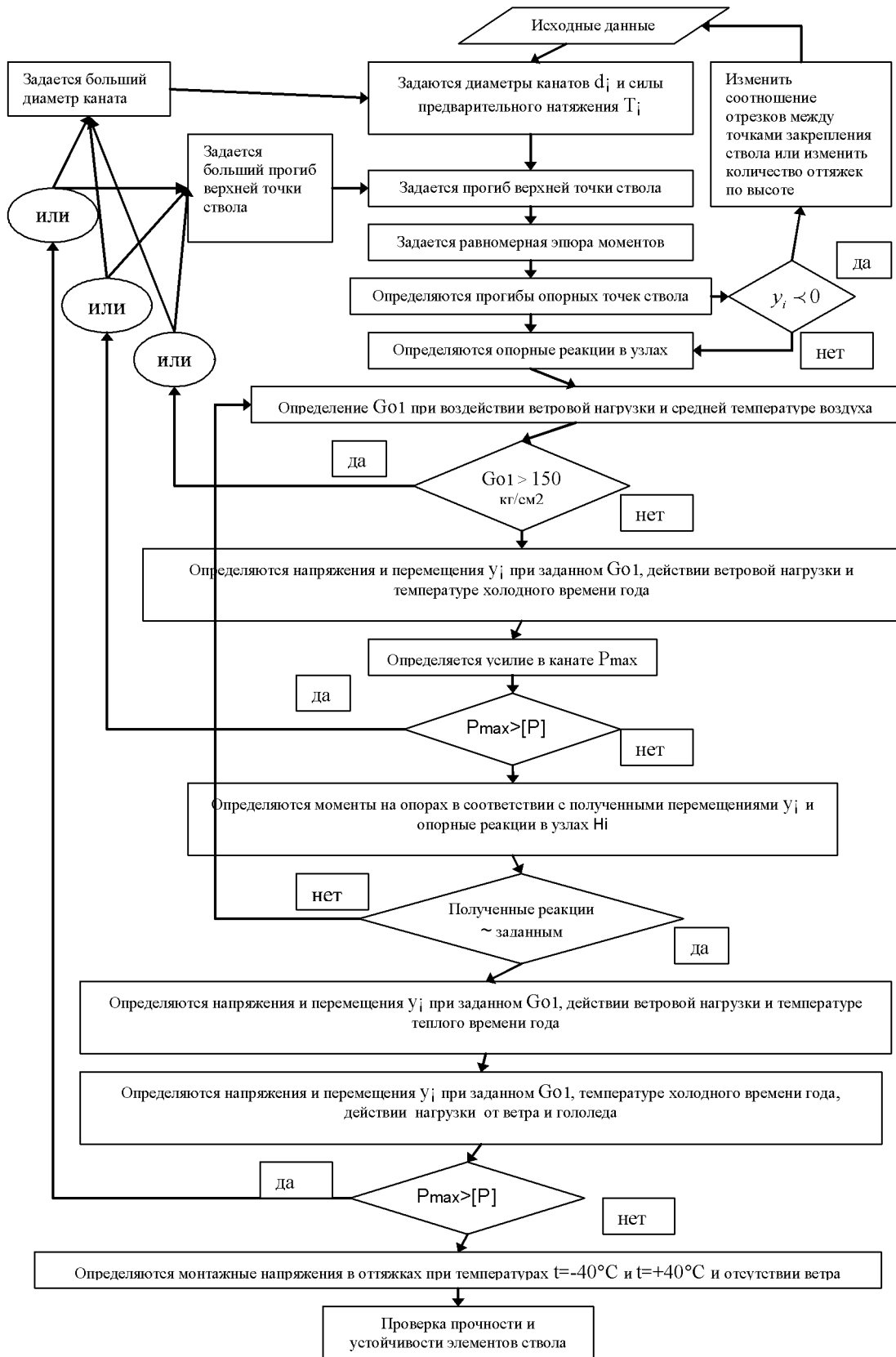


Рис. 1. Алгоритм расчета.

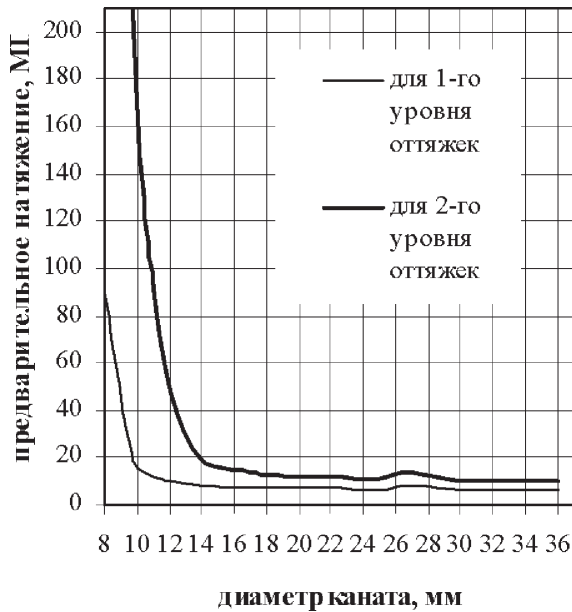


Рис. 2. Зависимость величины предварительного напряжения от диаметра каната.

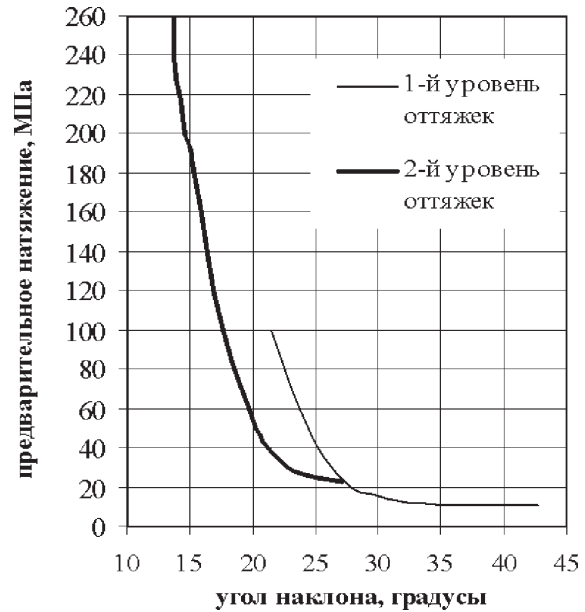


Рис. 3. Зависимость величины предварительного напряжения от угла наклона оттяжек к вертикали.

Затем рассчитываются напряжения и перемещения при температурах теплого и холодного времен года, воздействиях ветра и гололеда.

При этом изменяются перемещения, а, следовательно, эпюра моментов и опорные реакции. В соответствии с полученными изменениями пересчитываются напряжения в канатах [13].

Определяются монтажные напряжения при отсутствии ветра и перепадах температур.

Затем выполняется проверка прочности и устойчивости элементов ствола.

Алгоритм расчета приведен на рис. 1.

### 3. Результаты экспериментальных исследований

При помощи полученной методики представляется возможным проследить наиболее интересные зависимости параметров сооружения.

В результате проведения ряда численных экспериментов получены такие зависимости:

1. Величины предварительного напряжения от диаметра каната.
2. Величины предварительного напряжения от угла наклона оттяжек к вертикали.
3. Напряжений в оттяжках от соотношения расстояний между точками закрепления ствола.

Вычисления проводились на примере мачты прямоугольной формы в плане высотой 24м, с двумя уровнями оттяжек по высоте, расположенных на отметках 11,4м и 20,4м соответственно. Пояса выполнены из равнополочных уголков 63х6. Решетка треугольная с распорками из уголков 40х4. Сооружение расположено в 3 ветровом районе, тип местности А.

При определении зависимости величины предварительного напряжения от диаметра каната в каждом последующем опыте изменялись лишь диаметры канатов и фиксировались соответствующие напряжения. Все остальные параметры оставались постоянными. Зависимость приведена на рис. 2.

Для зависимости предварительного напряжения от угла наклона оттяжек к вертикали задаваемыми параметрами были углы и определялись величины предварительных напряжений (рис. 3). Остальные параметры оставались зафиксированы.

Для той же мачты, но с заданными диаметрами и зафиксированными точками закрепления на фундаментах канатов были получены зависимости напряжений в оттяжках от соотношения расстояний между точками закрепления ствола. При этом ствол условно разделен на целое число

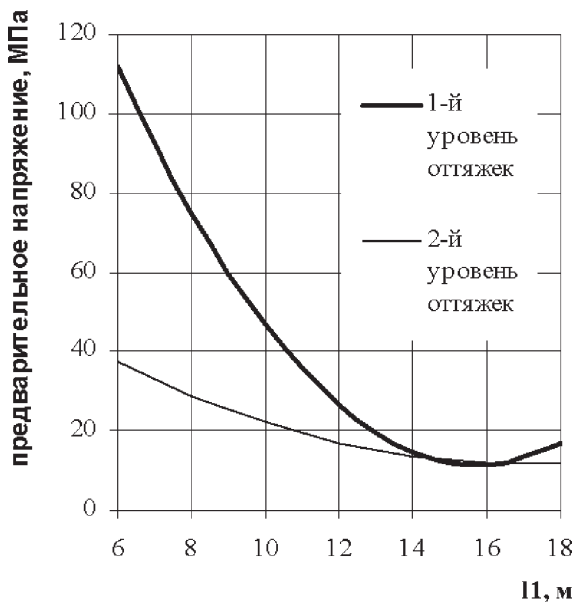


Рис. 4. Зависимость величины предварительного напряжения от расстояния  $l_1$  при длине  $l_3=0,1$ м.

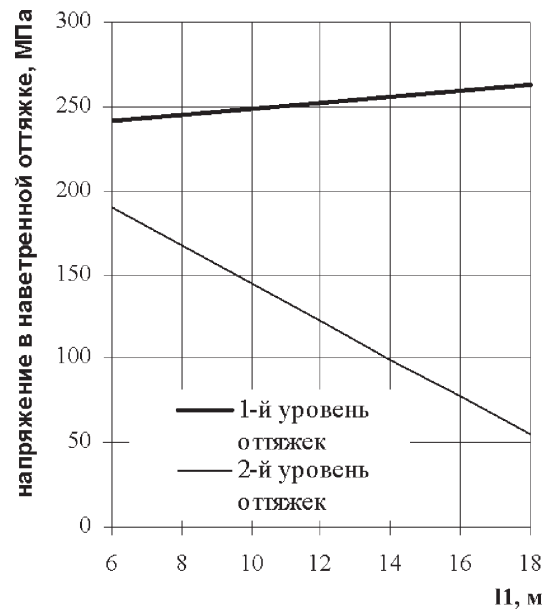


Рис. 5. Зависимость величины максимального напряжения в оттяжке от расстояния  $l_1$  при длине  $l_3=0,1$ м.

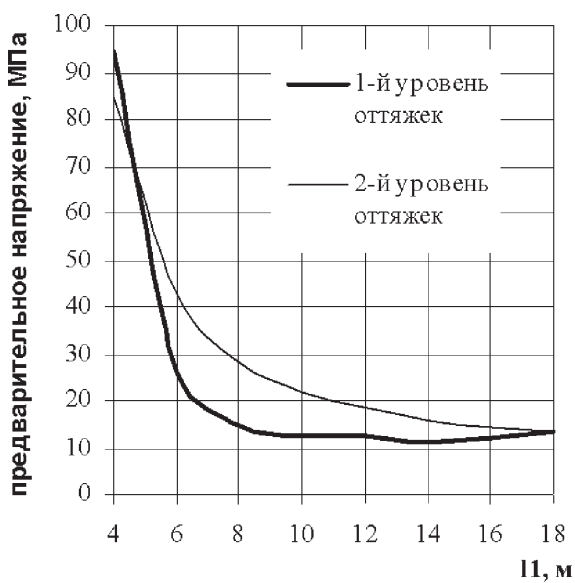


Рис.6. Зависимость величины предварительного напряжения от расстояния  $l_1$  при длине  $l_3=2$ м.

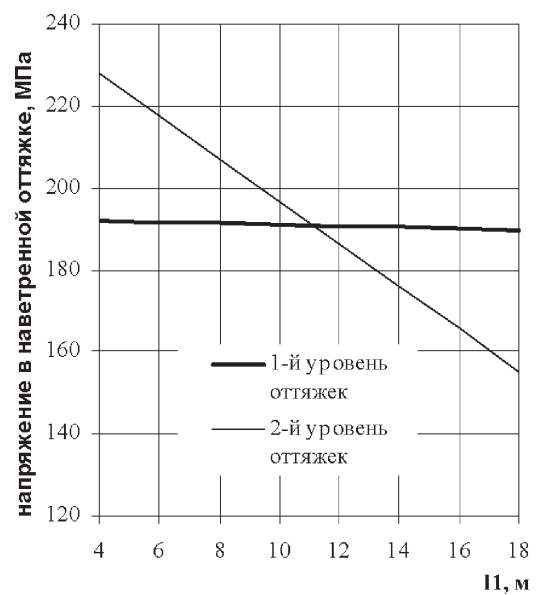


Рис. 7. Зависимость величины максимального напряжения в оттяжке от расстояния  $l_1$  при длине  $l_3=2$ м.

участков (24 участка по 1м). Соотношение отрезков обозначается  $l_1:l_2:l_3$ . Зависимости приведены на номограммах (рис. 4, 5, 6, 7). Величина предварительного напряжения влияет на гео-

метрические и жесткостные характеристики элементов ствола, а напряжение в наветренной оттяжке является максимальным и определяет диаметры канатов.

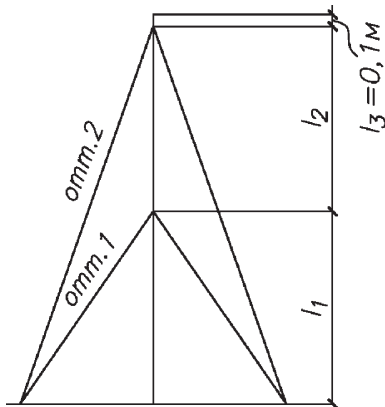


Рис. 8. Схема к рис. 4, 5.

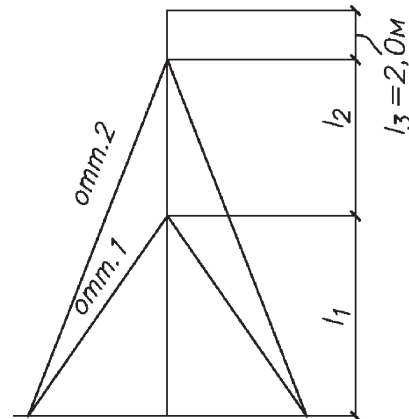


Рис. 9. Схема к рис. 7, 8.

#### 4. Выводы и перспективы дальнейших исследований

Из графика зависимости величины предварительного напряжения от диаметра каната видно, что с постепенным уменьшением диаметра каната наступает момент, когда резко возрастает величина предварительного напряжения. Значит, диаметр каната следует принимать из области, граничащей с местом увеличения напряжений, при этом будет минимальный расход материала.

Из графика зависимости величины предварительного напряжения от угла наклона оттяжек к вертикали (рис. 3) ясно, что чем больше угол наклона оттяжек к вертикали, тем требуется меньшее предварительное напряжение. Однако слишком большой угол наклона оттяжек к вертикали приводит к нерациональному использованию земельного пространства, так как тогда сооружение занимает большую площадь. Поэтому необходимо принимать величину угла из области, расположенной непосредственно перед возрастанием кривой зависимости.

По зависимостям напряжений от соотношений расстояний между точками закрепления ствола понятно, что более выгодным является принимать больший второй пролет при данных условиях закрепления оттяжек.

В перспективе планируется усовершенствовать расчет мачт, рассмотреть в нем вопросы устойчивости ствола в целом, динамики ствола, динамики оттяжек и другие.

Предполагается получить зависимости геометрических параметров для мачт с тремя, че-

тырьмя и более оттяжками по высоте, уточнить изменения в зависимостях при смене районов строительства. Определить зависимости напряжений от параметров ствола мачты (расстояния между поясами, площади поперечного сечения поясов и т.д.).

#### Литература

1. Соколов А. Г. Опоры линий передач (расчет и конструирование) – М.: Государственное издательство литературы по строительству, архитектуре и строительным материалам, 1961. – 171с.
2. Тимошенко С. П. Устойчивость упругих систем - М.: ИГИЗ-ГОСТЕХИЗДАТ, 1946. – 532с.
3. Справочник проектировщика. Металлические конструкции: Под ред. Н.П. Мельникова. - 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1980. – 776с.
4. Dynamic response of lattice towers and guyed masts (Committee rapport). Editor Madugula M.K.S. Reston (US): ASCE, 2002, 266 p.
5. Smith B.W. Communication structures. Thomas Telford, 2007, 352 p.
6. Gerstoft P.; Devenport A.G. A simplified method for dynamic analysis of a guyed mast. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, Vol 23, 1986, p. 487-499.
7. Gantes Ch.; Khoury R.; Connor J.J.; Pouangare. Modeling, loading, and preliminary design considerations for tall guyed towers. Computers and Structures, Vol 49, No 5, 1993, p. 797-805.
8. Gantes Ch. Preliminary design of guyed towers using axiomatic principles. Eurosteel'95. Proceedings of the 1th European Conference on Steel Structures, Athens (Greece), 8-20 may 1995, p. 421-428.
9. Sparring B.F.; Smith B.W.; Devenport A.G. Simplified dynamic analysis methods for guyed masts in turbulent winds. Bulletin of the International association for Shell and Spatial Structures, Vol 37, No 2, 1996, p. 89-106.

10. Meshmesha H.; Sennah K.; Kennedy J.B. Simple method for static and dynamic analyses of guyed towers. *Structural Engineering and Mechanics*, Vol 23, No 6, 2006, p. 635-649.
11. Vojevodin A. Prestressed guyed radio-masts. Moscow: Radio I sviaz, 1981, 176 p.
12. Kahla N.B. Influence of star mounts on guyed towers. *Computers & Structures*, Vol 54, No 5, 1995, p. 989-995.
13. Juozaitis J.; Pranevičius J.; Šapalas A. The influence of displacements and oscillations on behavior of masts. *Journal of Civil Engineering and Management*, Vol VIII, suppl 1, 2002, p. 57-60.
14. Kamaitis Z.; Juozapaitis A.; Jatulis D. Masts with combined guys and analysis of their behavior. Selected papers of the 8th International Conference Modern Building Materials, Structures and Techniques. Vilnius, 2004. p. 502-507.

**Губанов Вадим Вікторович** є доцентом кафедри "Металеві конструкції" Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Член Інституту інженерів будівельників (The Institution of Civil Engineers, Великобританія). Наукові інтереси: експлуатаційна надійність будівельних металевих конструкцій, розрахунок та проектування висотних споруд.

**Межинська Ірина Валеріївна** є магістрантом кафедри "Металеві конструкції" Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: експлуатаційна надійність будівельних металевих конструкцій, розрахунок та проектування висотних споруд.

**Губанов Вадим Викторович** является доцентом кафедры "Металлические конструкции" Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Член Института инженеров строителей (The Institution of Civil Engineers, Великобритания). Научные интересы: эксплуатационная надежность строительных металлических конструкций, расчет и проектирование высотных сооружений.

**Межинская Ирина Валерьевна** является магистрантом кафедры "Металлические конструкции" Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: эксплуатационная надежность строительных металлических конструкций, расчет и проектирование высотных сооружений.

**Gubanov Vadim Victorovich** is a Docent of Metal Structures department at Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. He is a member of The Institution of Civil Engineers, Great Britain. His research interests include the reliability of metal structures and design of high-rise special construction.

**Meginskaya Irina** study for magister degree of Metal Structures department at Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Her research interests include the reliability of metal structures and design of high-rise special construction.