

**СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА**  
**BUILDING AND ARCHITECTURE**

УДК 624.011

DOI: 10.21822/2073-6185-2022-49-2-177-184

Оригинальная статья/Original Paper

**Влияние пролета на работу большепролетных конструкций**

**А.К. Юсупов, Х.М. Муселемов, Х.М. Гаппаров**

Дагестанский государственный технический университет,

367026 г. Махачкала, пр. И.Шамиля,70, Россия

**Резюме. Цель.** Целью исследования является определение влияния пролета на работу большепролетных конструкций; рассматриваются и анализируются особенности работы большепролетных покрытий, которые широко применяются при проектировании и возведении современных зданий и сооружений. **Метод.** Приводятся конструкции и конструктивные приемы, которые позволяют проектировать здания и сооружения большого пролета. Рассматриваются примеры расчета большепролетной рамы, выполняются соответствующие чертежи, приводятся узлы и другие подробности, которые могут служить наглядным пособием при проектировании соответствующих зданий и сооружений. Рассматриваются большепролетные балочные фермы и рамные системы. **Результат.** Предложены и апробированы основные способы уменьшения большепролетных изгибающих моментов, а также конструктивные приемы, которые позволяют уменьшить пролетные перемещения. **Вывод.** Разработанные конструктивные схемы рам и ферм обеспечивают минимальные затраты металла, а также позволяют определить влияние параметров и геометрии рам и ферм на расход металла.

**Ключевые слова:** большепролётные конструкции, прогибы, изгибающий момент, конструктивные приёмы, компоновка, рамы, фермы

**Для цитирования:** А.К. Юсупов, Х.М. Муселемов, Х.М. Гаппаров. Влияние пролета на работу большепролетных конструкций. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2022; 49 (2):177-184. DOI:10.21822/2073-6185-2022-49-2-177-184

**Influence of the span on the operation of large-span structures**

**A.K. Yusupov, H.M. Muselemov, H.M. Gapparov**

Daghestan State Technical University,

70 I. Shamilya Ave., Makhachkala 367026, Russia

**Abstract. Objective.** The purpose of the study is to determine the effect of a span on the operation of large-span structures; the features of the work of large-span coatings, which are widely used in the design and construction of modern buildings and structures, are considered and analyzed. **Method.** Designs and design techniques are given that allow designing buildings and structures with a large span. Examples of the calculation of a large-span frame are considered, the corresponding drawings are made, nodes and other details are given that can serve as a visual aid in the design of the relevant buildings and structures. Large-span beam trusses and frame systems are considered. **Result.** The main methods for reducing long-span bending moments, as well as design techniques that reduce span displacements, are proposed and tested. **Conclusion.** The developed design schemes of frames and trusses provide minimal metal costs, and also allow determining the influence of the parameters and geometry of frames and trusses on metal consumption.

**Keywords:** large-span structures, deflections, bending moment, design techniques, layout, frames, trusses

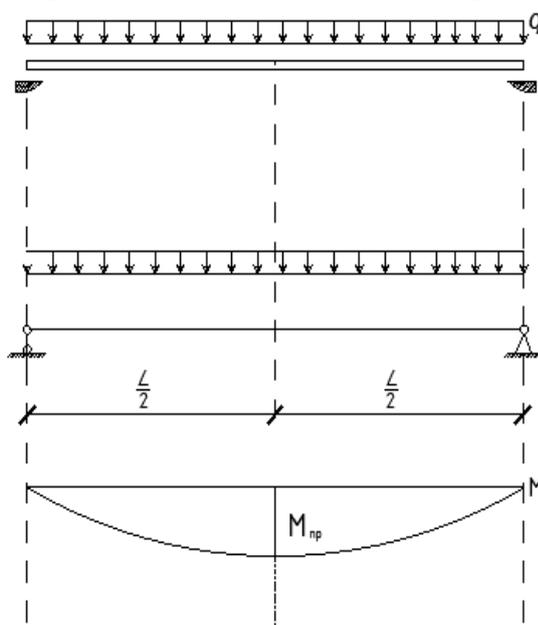
**For citation:** A.K. Yusupov, H.M. Muselemov, H.M. Gapparov. Influence of the span on the operation of large-span structures. Herald of Daghestan State Technical University. Technical Sciences. 2022; 49(2): 177-184. (In Russ.) DOI:10.21822/2073-6185-2022-49-2-177-184.

**Введение.** В связи с ростом численности населения земного шара появляется острая необходимость в строительстве большепролетных зданий и сооружений. Проектирование большепролетных покрытий связано с решением многих сложных технических и технологических задач. Здесь возникают проблемы чисто конструктивные, технологические, экономические. Однако с появлением легких материалов и конструкций, и развитием теории зданий и сооружений, а также с накоплением опыта проектирования и возведения большепролетных конструкций, появились новые возможности, которые открыли совершенно эффективные, раньше не применяемые, конструкции и конструктивные формы.

**Постановка задачи.** В статье излагаются основные особенности работы большепролетных покрытий [1-4,8,12], проведен анализ влияния больших пролетов на развитие перемещений покрытия и возникновения чрезвычайно-больших изгибающих моментов в пролетных строениях несущих конструкций. Излагаются конструктивные приёмы, которые позволяют уменьшить пролетные моменты а также стабилизировать перемещения. На отдельных примерах поясняются основные идеи, которые закладываются в основу расчета и конструирования.

**Методы исследования.** На покрытие большепролетного здания действуют различные нагрузки: собственный вес, снеговые и ветровые нагрузки, технологические воздействия, неравномерные осадки фундаментов, сейсмические воздействия, температурные перепады и т.д.

Однако основной нагрузкой для большепролетных покрытий является собственный вес самого покрытия. В большинстве случаев собственный вес покрытия меняется по пролету практически равномерно. Поэтому в расчетах собственный вес часто принимается как постоянная нагрузка по пролёту. Рассмотрим балочную конструкцию, приведенную на рис.1



**Рис. 1. Расчётная схема и изгибающие моменты балочной конструкции**

**Fig. 1. Calculation scheme and bending moments of the beam structure**

Пролетные изгибающие моменты  $M_{пр}$  с увеличением пролета начинают расти по квадратной параболе. Как известно пролетные изгибающие моменты вычисляются по формуле:

$$M_{пр} = \frac{q}{8} \cdot L^2, \quad (1)$$

где,  $q$  – расчетная погонная нагрузка на балочную конструкцию.

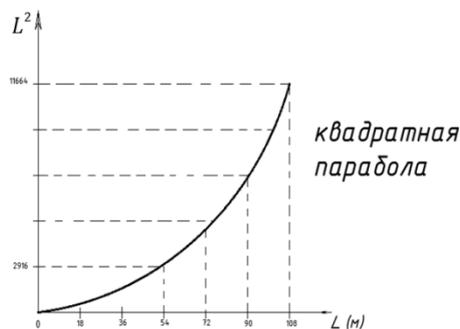
Далее приведем в табл.1. значения квадратных и кубических парабол, на основании которых построена квадратная парабола, представленная на рис.2.

**Таблица 1. Значения квадратных и кубических парабол**  
**Table 1. Values of square and cubic parabolas**

$L$ (м)	$L^2$	$L^3$
18	324	5833
36	1296	46656
54	2916	157464
72	5184	373248
90	8100	729000
108	11664	1 259712

Из рис.2 и формулы (1) видно, как быстро возрастают пролетные изгибающие моменты  $M_{пр}$  с увеличением пролета  $L$ .

Увеличение пролетного изгибающего момента  $M_{пр}$  в зависимости от  $L$  по квадратной параболе представляет собой первую особенность работы большепролетных конструкций (покрытий).



**Рис. 2. Квадратная парабола**  
**Fig. 2. Square parabola**

По первой группе предельных состояний условие прочности изгибаемого элемента определяется по формуле

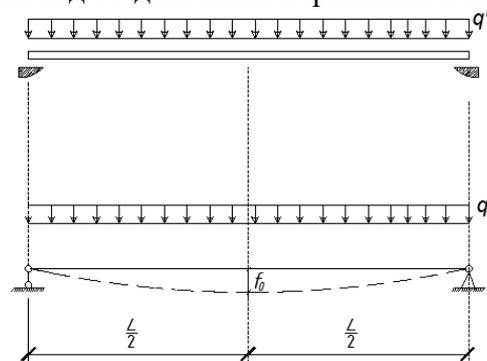
$$\sigma = \frac{M_{пр}}{W} \leq \gamma R, \quad (2)$$

или с учетом того, что можно принять приближенно  $\gamma = 1$  и с учетом формулы (1) можно записать

$$\frac{q}{8WR} L^2 \leq 1. \quad (3)$$

Из этого условия (формула 3) видно, что величина пролета покрытия  $L$  существенно влияет на условие прочности несущей конструкции покрытия.

Далее рассмотрим влияние пролёта на перемещения. На рис. 3 показаны пунктирной линией прогибы балочной конструкции под воздействием нормативной погонной нагрузки  $q^H$  [9].



**Рис. 3. Расчётная схема и перемещения балочной конструкции**  
**Fig. 3. Calculation scheme and displacements of the beam structure**

Как известно, прогиб в середине пролета балочной конструкции определяется по формуле:

$$f_0 = A \cdot \frac{q^H \cdot L^4}{E \cdot \mathcal{J}}, \quad (4)$$

где  $E, \mathcal{J}$  – модуль упругости конструкционного материала и момент инерции сечения балочной конструкции соответственно,

$A$  – коэффициент, зависящий от условия крепления концов балки на опорах.

Для случая шарнирного опирания (рис. 3)  $A = \frac{5}{384}$ .

По второй группе предельных состояний прогибы должны отвечать условию

$$f_0 \leq \frac{L}{n_0}, \quad (5)$$

где  $n_0$  – относительный прогиб, нормируемая по условиям эксплуатации величина [7,10,11];  $n_0 = 80, 100, 120, 150, 200, 250, 300, 400, 500$  – в зависимости от условий эксплуатации, по СП.

Формулу (5) с учетом выражения (4) можно представить следующим образом:

$$A \cdot \frac{n_0 \cdot q^H}{E \cdot \mathcal{J}} \cdot L^3 \leq 1. \quad (6)$$

Из последнего неравенства видно, что требования условий эксплуатации по второй группе предельных состояний существенно зависят от величины пролета покрытия.

Здесь парабола не квадратная как в случае формулы (3), а парабола – кубическая!

Ниже приводится график кубической параболы, построенный по данным табл.1.

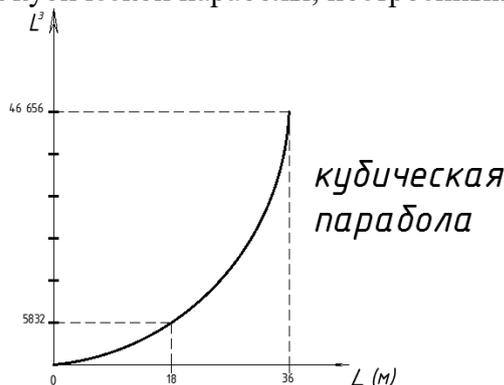


Рис. 4. Кубическая парабола

Fig. 4. Cubic parabola

Итак, мы рассмотрели две особенности работы большепролетной конструкции (покрытия):

1. Изгибающие моменты в несущей конструкции растут по квадратной параболе в зависимости от пролета  $L$ ;
2. Перемещения (прогибы) растут по параболе 4-го порядка (формула 4).

В соответствии с этими двумя особенностями работы большепролетной конструкции необходимо удовлетворять двум условиям:

по первой группе предельных состояний

$$\frac{q}{8WR} L^2 \leq 1; \quad (7)$$

по второй группе предельных состояний

$$A \cdot \frac{n_0 \cdot q^H}{E \cdot \mathcal{J}} \cdot L^3 \leq 1. \quad (8)$$

При проектировании большепролетных покрытий, так, или иначе, приходится обеспечивать выполнение приведенных выше двух условий (7, 8).

**Обсуждение результатов.** Из опыта проектирования большепролетных конструкций следует [6, 7], что инженер-проектировщик располагает достаточно эффективными конструк-

тивными приемами, которые позволяют уменьшить пролетные изгибающие моменты и прогибы в несущих конструкциях.

Ниже мы приводим небольшой перечень часто применяемых конструктивных приемов:

1. Несущие конструкции пролетного строения покрытия должны соответствовать эпюрам изгибающих моментов, поперечных сил и нормальных усилий. Другими словами, несущие конструкции покрытия должны иметь переменные сечения по пролету;
2. С целью уменьшения пролетных прогибов, а также повешения несущей способности конструкции, при соблюдении условий уменьшения собственного веса покрытия, необходимо проектировать решётчатые (сквозные) несущие конструкции;
3. Для повышения прочности отдельных участков несущих конструкций, чтобы особо не увеличивать собственный вес, применяются бистальные конструкции (в более загруженных участках конструкции применяется сталь повышенной прочности);
4. С целью уменьшения собственного веса покрытия [5] рационально применять легкие и более прочные конструкционные материалы и изделия (алюминиевые сплавы, стали повышенной прочности, высокопрочная арматура, клееная древесина, керамзитобетон, ячеистые бетоны, пенобетон, многослойные плиты, эффективные минеральные утеплители и т.д.);
5. Для повышения несущей способности большепролетной конструкции применяется предварительное напряжение с использованием высокопрочных канатов, высокопрочной арматуры, высокопрочной полосовой стали;
6. Для уменьшения пролетных изгибающих моментов опоры рамных конструкций выполняются с некоторым эксцентриситетом, что вызывает обратные изгибающие моменты в середине пролета;
7. С этой же целью в трёх пролётных зданиях предусматриваются противовесы, которые также вызывают обратные изгибающие моменты в середине основного пролета;
8. Для уменьшения пролетных изгибающих моментов большепролетные конструкции выполняются выпуклыми, что вызывает появление распора в местах опирания рам. От этих распоров возникает также изгибающие моменты обратного знака в середине пролета;
9. При значительных пролетах покрытия несущие конструкции проектируют так, чтобы они работали на растяжение и сдвиг, тем самым исключалось сжатие. Это обеспечивает устойчивость покрытия и позволяет перекрывать очень большие пролеты.

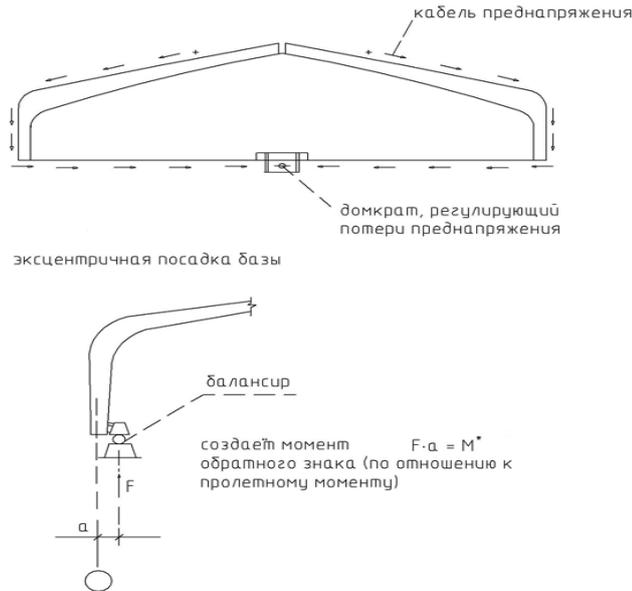
На рис. 5 приводится схема предварительного напряжения большепролетной рамы. Такой конструктивный прием уменьшает пролетные прогибы и повышает несущую способность рамы.

На уровне пола располагается приямок, в котором находится домкрат преднапряжения, с динамометром, показывающим величину усилия предварительного напряжения. С помощью этого домкрата регулируется уровень предварительного перенапряжения кабеля.

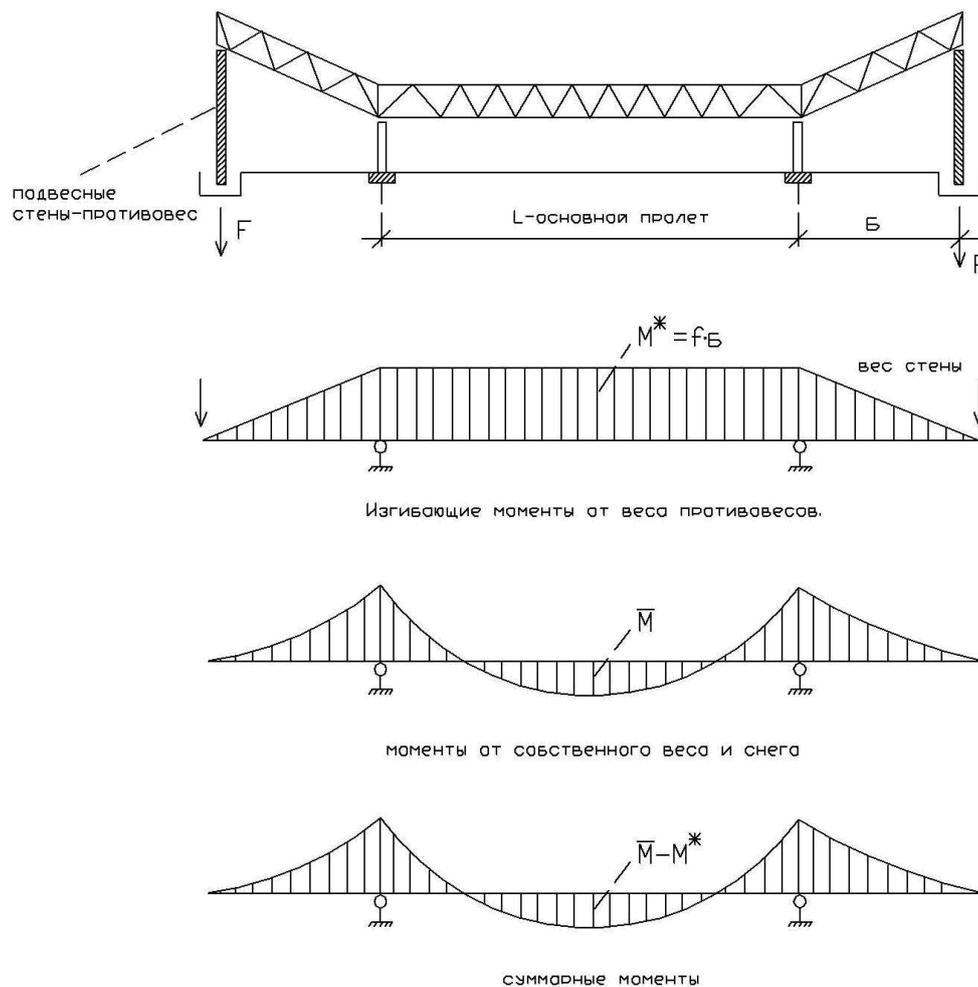
Такой конструктивный прием создает обратный пролетный изгибающий момент, который складываясь с моментом от собственного веса покрытия, уменьшает пролетный изгибающий момент.

На рис. 6 дается конструктивная схема трёхпролетного здания, где использован конструктивный прием противовесов, которые вызывают обратный изгибающий момент в главном пролете. Пролетный изгибающий момент  $\bar{M}$  уменьшается на величину  $M^*$ .

На рис. 7 приведена конструктивная схема большепролетной рамы, в качестве ригеля которого используется шпренгельная предварительно напряженная ферма. Этот конструктивный прием повышает несущую способность ригеля, а также уменьшает пролетные прогибы.



**Рис. 5. Схема эксцентричной посадки колонны рамы на опору**  
**Fig. 5. Scheme of eccentric landing of the frame column on the support**



**Рис. 6. Трёхпролётная рама с противовесами**  
**Fig. 6. Three-span frame with counterweights**

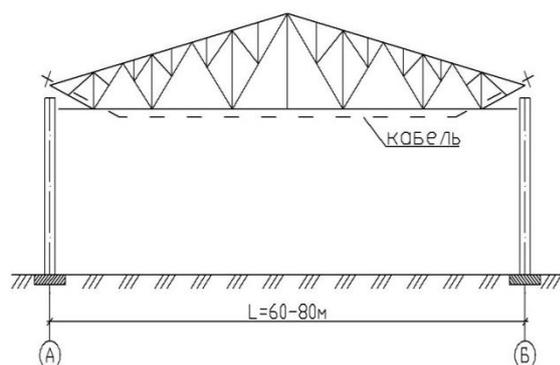


Рис. 7. Схема преднапряжения шпренгельной фермы  
Fig. 7. Scheme of the prestressing of the truss truss

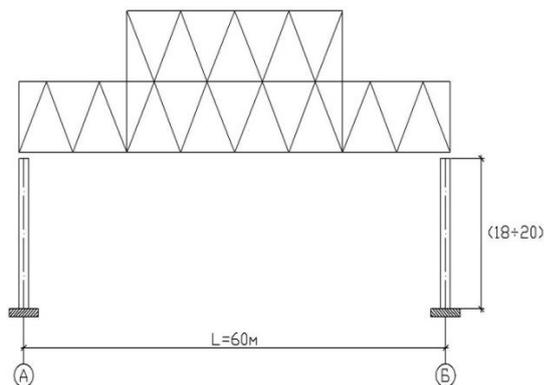


Рис. 8. Схема расположения фонаря в поперечном направлении здания  
Fig. 8. The layout of the lantern in the transverse direction of the building

На рис. 8 показано большепролетное здание с поперечным расположением фонарей. Здесь обеспечивается совместная работа основной фермы с конструкциями фонаря. Средняя часть фермы имеет двойную высоту (рис.8).

Это обеспечивает уменьшение пролетного прогиба; повышение прочности пролетного строения; появляется возможность устройства дополнительного пространства для административных помещений в пределах средней части фермы (в пределах покрытия) – эксплуатируемое покрытие.

**Вывод.** Определены особенности работы большепролетных покрытий и проведен анализ влияния величины пролета на изгибающие моменты и прогибы.

Сформулированы конструктивные приёмы и примеры, которые позволяют уменьшить пролетные изгибающие моменты и перемещения.

Рассмотрены особенности работы плоских большепролетных конструкций: балочных и рамных.

#### Библиографический список:

1. Металлические конструкции, под ред. Ю.И. Кудишина, Москва, Академия, 2008 г.
2. Металлические конструкции, под ред. Е.И. Беленя, Москва, Стройиздат, 1986 г.
3. Беленя Е.Н. Предварительно напряженные несущие металлические конструкции. –2-е изд. – Москва, Стройиздат, 1975. – 415 с.
4. Металлические конструкции (специальный курс) – 2-е изд. под редакцией Беленя Е.Н., – Москва, Стройиздат, 1976. – 600 с.
5. Брудка Ян, Лубински Мечислав. Легкие стальные конструкции (перевод с польского). – Москва, Стройиздат, 1974.
6. Металлические конструкции: Справочник проектировщика. 2-е изд. Под редакцией Мельникова М.П.– Москва, Стройиздат. 1980.– 776с.
7. Справочник конструктора «Стальные конструкции» – под редакцией Шумакова 2004 г.
8. Основы металлических конструкций – В.В. Маслов, Волгоград
9. СП 20.13330.2016 Свод правил. Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85.
10. СП 16.13330.2017 «Стальные конструкции». М.: Стандартинформ, 2017. АО "НИЦ "Строительство" – ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко, 92 с.
11. Справочник конструктора «Стальные конструкции», под редакцией Шумакова 2004 г.
12. Трофимов В.И., Еремеев П.Г. «Мембранные конструкции зданий и сооружений» – Москва, Стройиздат, 1990.

#### References:

1. Metal structures. Ed.by Yu.I. Kudishina, Moscow, Academy. 2008 (In Russ)
2. Metal structures. Ed. by E.I. Belenya, Moscow, Stroyizdat. 1986 (In Russ)
3. Belenya E.N. Prestressed load-bearing metal structures. 2nd ed. Moscow, Stroyizdat. 1975: 415. (In Russ)
4. Metal structures (special course) - 2nd ed. under the editorship of Belenya E.N., Moscow, Stroyizdat. 1976: 600. (In Russ)
5. Brudka Jan, Lubinski Mechislav. Light steel structures (translated from Polish). Moscow, Stroyizdat, 1974. (In Russ)
6. Metal structures: A designer's guide. 2nd ed. Under the editorship of Melnikov M.P. Moscow, Stroyizdat. 1980: 776. (In Russ)
7. Handbook of the designer "Steel structures" Ed. by Shumakov 2004 (In Russ)
8. V.V. Maslov. Fundamentals of metal structures. Volgograd (In Russ)
9. SP 20.13330.2016 Code of Practice. Loads and impacts. Updated edition of SNiP 2.01.07-85. (In Russ)

10. SP 16.13330.2017 "Steel structures". М.: Standartinform, JSC "Research Center "Construction" TsNIISK named after V.A. Kucherenko, 2017: 92. (In Russ)
11. Handbook of the designer "Steel structures" Ed.by Shumakov 2004 (In Russ)
12. Trofimov V.I., Ereemeev P.G. Membrane structures of buildings and structures. Moscow, *Stroyizdat*, 1990.

**Сведения об авторах:**

Юсупов Абусупян Курашевич, доктор технических наук, профессор, кафедра «Строительные конструкции и гидротехнические сооружения»; hairulla213@mail.ru

Муселемов Хайрулла Магомедмурадович, кандидат технических наук, доцент, кафедра «Строительные конструкции и гидротехнические сооружения»; hairulla213@mail.ru

Гаппаров Хизри Микдадович, аспирант кафедры «Строительные конструкции и гидротехнические сооружения»

**Information about the authors:**

Abusupryan K.Yusupov, Dr. Sci. (Eng.), Prof., Department of Building Structures and Hydraulic Structures; hairulla213@mail.ru

Hairulla M.Muselemov, Cand.Sci. (Eng.), Assoc. Prof., Department of Building Structures and Hydraulic Structures, hairulla213@mail.ru

Hizri M. Gapparov, Postgraduate Student, Department of Building Structures and Hydraulic Structures; hairulla213@mail.ru

**Конфликт интересов/Conflict of interest.**

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов/The authors declare no conflict of interest.

**Поступила в редакцию/ Received** 22.04.2022.

**Одобрена после рецензирования/ Revided** 20.05.2022.

**Принята в печать /Accepted for publication** 20.05.2022.