Для цитирования: А.К. Юсупов, Х.М. Муселемов, Т.О. Устарханов. Оптимизация параметров шпренгельной балки. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2020; 47(4):162-171. DOI:10.21822/2073-6185-2020-47-4-162-171

For citation: A. K. Yusupov, H.M. Muselemov, T.O. Ustarhanov. Optimization of strutted beam parameters. Herald of Daghestan State Technical University. Technical Sciences. 2020; 47(4):162-171. (In Russ.) DOI:10.21822/2073-6185-2020-47-4-162-171

СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА BUILDING AND ARCHITECTURE

УДК 624.011

DOI: 10.21822/2073-6185-2020-47-4-162-171

ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ШПРЕНГЕЛЬНОЙ БАЛКИ

А.К. Юсупов, Х.М. Муселемов, Т.О. Устарханов

Дагестанский государственный технический университет,
367026 г. Махачкала, пр. И.Шамиля, 70, Россия

Резюме. Цель. Целью исследования является проектирование шпренгельных балок, которые имеют оптимальные по расходу металла параметры. **Метод.** Используется математическое моделирование работы шпренгельной балки с упругоподатливой в середине пролёта опорой. На основании решения соответствующего дифференциального уравнения поперечного изгиба верхней перекладины шпренгельной балки получены расчётные формулы. **Результат.** Разработана методика, позволяющая оптимизировать конструктивные параметры шпренгельной балки с одной стойкой. Приведены конструктивные расчётные схемы, а также формулы, которые дают возможность назначать параметры конструкции, обеспечивающие минимум расхода металла при соблюдении технологической простоты изготовления шпренгельной балки. Построен алгоритм, используя которого можно проектировать шпренгельные балки с одной стойкой. Полученные расчётные формулы лаконичны и просты при использовании. **Вывод.** Предлагаемая методика позволяет уменьшить собственный вес шпренгельной балки с одной стойкой до 60% по сравнению с обычными балками.

Ключевые слова: шпренгельная балка, упругоподатливая опора, дифференциальные уравнения, оптимальные параметры, алгоритм

OPTIMIZATION OF STRUTTED BEAM PARAMETERS

A.K. Yusupov, H.M. Muselemov, T.O. Ustarhanov

Daghestan State Technical University,
70 I. Shamilya Ave., Makhachkala 367026, Russia

Abstract. Objective. The objective of the research is to design strutted beams that have optimal parameters for metal consumption. **Methods.** A mathematical simulation of the operation of a strutted beam with elastic support in the middle of the span is used. The calculation formulas are obtained based on the solution of the corresponding differential equation of the transverse bend of the upper crossbar of the strutted beam. **Results.** A method has been developed to optimize the design parameters of a single-strut beam. Constructive calculation schemes are given, as well as formulas that allow assigning design parameters ensuring a minimum of metal consumption while maintaining the technological simplicity of manufacturing a strutted beam. An algorithm is constructed that can be used to design single-strut beams. The resulting calculation formulas are brief and easy to use. **Conclusion.** The proposed method allows reducing the weight of a single-strut beam by up to 60% compared to conventional beams.

Keywords: strutted beam, elasto-yielding support, differential equations, optimal parameters, algorithm

Введение. Шпренгельные балки находят широкое применение в практике проектирова-

ния и строительства. В отличие от обычных балок шпренгельные балки обладают рядом преимуществ: здесь прогибы существенно уменьшаются, достигается экономия металла. Применение шпренгельных балок обычно рациональны, когда по первой группе предельных состояний обычная балка отвечает условиям прочности, но не проходит по прогибам (по второй группе предельных состояний). В настоящее время шпренгельные балки часто встречаются в несущих конструкциях покрытия промышленных зданий, применяются как подкрановые балки [11], когда шаг колонн 12 м и более. Кроме того, эти конструкции часто применяются в балочных клетках в качестве главных балок. В тоже время, этим конструкциям присущи недостатки: возникает необходимость в устройстве стоек и затяжек, появляются сложности в устройстве опорных узлов. Однако в целом эти конструкции эффективны [2-6,8,12].

Постановка задачи. Шпренгельные балки рациональны [1,16] на пролётах $l = (8 \div 15)$ м. При проектировании таких балок можно повысить их эффективность, оптимизируя конструктивные параметры. Здесь мы приводим методику и примеры оптимизации параметров шпренгельной балки с одной стойкой.

Рассмотрим конструктивную схему, приведённую на рис.1. Из условия удобства эксплуатации высоту h назначаем, равной $h = 0,1 \cdot l$. В сечениях перекладки возникают изгибающие моменты M и поперечные силы Q . Кроме того, на перекладину действует и нормальное усилие N (рис. 2а и 2б).

Рис.1. Конструктивные и расчётные схемы шпренгельной балки

Fig.1. Structural and design schemes of truss girders

Методы исследования. На основании использования функции прогибов с учётом упругой-податливости шпренгельных затяжек определяются изгибающие моменты в сечениях перекладки. Из условия равенства расчётных изгибающих моментов (по абсолютной величине) над средней опорой шпренгельной балки и в её пролётах, слева и справа от стойки, записывается условие оптимальности, которое позволяет определить параметры всей конструкции, что существенно уменьшают расход металла, когда сечение перекладки назначается постоянным по всему пролёту.

Всё это повышает технологичность изготовления конструкции и одновременно уменьшает её собственный вес.

Рис.2. Эпюры внутренних усилий в шпренгельной балке
Fig.2. Diagrams of internal forces in a truss beam

Если жесткость упруго-податливой опоры стремится к бесконечности ($r \rightarrow \infty$), то расчетная схема упрощается (рис.1в). В этом случае предполагается, что затяжки, показанные пунктирными линиями на рис.1а, абсолютно жесткие.

При $r = 0$ шпренгельная балка вырождается в обычную однопролетную балку (рис.1г). На рис.2а, 2в, 2б, 2г даны соответствующие эпюры внутренних усилий.

Введём функцию прогибов $y(x)$ перекадины в координатной системе, показанной на рис.1б. В расчетной схеме (рис.1б) работу затяжек и стойки (рис.1а) учитывает упруго-податливая опора. Пользуясь моделью Винклера [15], реакцию упруго-податливой опоры можно определить так (рис.2а):

$$F_0 = r \cdot y\left(\frac{l}{2}\right), \quad (1)$$

где коэффициент жесткости

$$r = 2E_3 \cdot A_3 \cdot l_3 \cdot \left(\frac{h}{l_3}\right)^2. \quad (2)$$

Здесь:

E_3 , A_3 , l_3 - соответственно модуль упругости, площадь сечения, геометрическая длина одной затяжки (рис.1а).

Усилия в затяжках найдём из условия равновесия нижнего узла шпренгельной балки (рис.1а и 3):

Рис. 3. Расчетная схема узла
Fig.3. Design scheme of the node

$$F_3 = r \cdot y\left(\frac{l}{2}\right) \cdot \frac{\sqrt{h^2 + \left(\frac{l}{2}\right)^2}}{2h}. \quad (3)$$

Далее рассмотрим равновесие левого опорного узла (рис.1а и 4)

Рис.4. Расчётная схема левого опорного узла
Fig.4. Design scheme of the left support node

$$N = \frac{l}{4} \cdot \frac{r}{h} \cdot y\left(\frac{l}{2}\right). \quad (4)$$

Формулой (4) определяется осевое усилие N (рис.2а) в сечениях перекладины, которое остаётся постоянным по всему пролёту.

Далее перейдём к построению функции прогибов $y = y(x)$. В координатной системе, принятой на рис.1б, функция прогибов определяется выражением [14]:

$$y(x) = y_0(x) - \frac{y_0\left(\frac{l}{2}\right)}{G\left(\frac{l}{2}, \frac{l}{2}\right) + \frac{1}{r}} \cdot G\left(x, \frac{l}{2}\right). \quad (5)$$

Здесь:

r - коэффициент жёсткости (2);

$$y_0(x) = \int_0^l G(x, \xi) q(\xi) d\xi, \quad (6)$$

где $q(x)$ - погонная нагрузка, распределённая, в общем случае, произвольно; функция Грина

$$G(x, \xi) = [1 - e(x - \xi)] \cdot G_1(x, \xi) + e(x - \xi) \cdot G_2(x, \xi), \quad (7)$$

где $e(x - \xi)$ - единичная функция.

Функции, входящие в равенство (7), имеют вид [14]:

$$\begin{aligned} G_1(x, \xi) &= -\frac{1}{E \cdot J} \cdot \left[\left(1 - \frac{\xi}{l}\right) \cdot \frac{x^3}{6} + A \cdot x \right], \\ G_2(x, \xi) &= -\frac{1}{E \cdot J} \cdot \left[-\frac{\xi}{l} \cdot \frac{x^3}{6} + \frac{\xi}{2} \cdot x^2 + B \cdot x + D \right], \end{aligned} \quad (8)$$

коэффициенты:

$$A = \frac{\xi^2}{2} - \frac{\xi \cdot l}{3} - \frac{\xi^3}{6 \cdot l}, \quad D = \frac{\xi^3}{6}, \quad B = -\frac{\xi \cdot l}{3} - \frac{\xi^3}{6 \cdot l},$$

EJ - жёсткость сечения перекладины при изгибе постоянная по пролёту.

Вернёмся к прогибам (6). Формулы (5 и 6) справедливы для любого распределения нагрузки. Наиболее часто встречающийся вариант нагрузки - это [7,9,10] равномерно распределённая нагрузка (рис.2). Поэтому далее примем $q = \text{const}$.

Подставив функцию (7) в подынтегральное выражение (6) и выполнив интегрирование (при $q = \text{const}$), найдём

$$y_0(x) = -\frac{q}{E \cdot J} \cdot \left(\frac{l \cdot x^3}{12} - \frac{x^4}{24} - \frac{l^3 \cdot x}{24} \right). \quad (9)$$

Отсюда при $x = \frac{l}{2}$

$$y_0\left(\frac{l}{2}\right) = \frac{5}{384} \cdot \frac{q \cdot l^4}{E \cdot J} \quad (10)$$

Из выражений (7 и 8) определим

$$G\left(\frac{l}{2}, \frac{l}{2}\right) = \frac{l^3}{48 \cdot E \cdot J}, \quad (11)$$

$$G\left(x, \frac{l}{2}\right) = \left[1 - e\left(x - \frac{l}{2}\right)\right] \cdot G_1\left(x, \frac{l}{2}\right) + e\left(x - \frac{l}{2}\right) \cdot G_2\left(x, \frac{l}{2}\right). \quad (12)$$

где

$$G_1\left(x, \frac{l}{2}\right) = -\frac{1}{E \cdot J} \cdot \left(\frac{x^3}{12} - \frac{l^2}{16} \cdot x\right), \quad (13)$$

$$G_2\left(x, \frac{l}{2}\right) = -\frac{1}{E \cdot J} \cdot \left(-\frac{x^3}{12} + \frac{l}{4} \cdot x^2 - \frac{3 \cdot l^2}{16} \cdot x + \frac{l^3}{48}\right).$$

Формулами (9 - 13) даются все функции, входящие в равенство (5). Таким образом, выражением (5) функция прогибов $y(x)$ вполне определена.

Далее для компактности введём безразмерный коэффициент

$$k = \frac{E \cdot J}{r \cdot l^3}, \quad (14)$$

где величина r дана формулой (2).

С учётом коэффициента (14) и формулы (2) осевое усилие (4) запишем так:

$$N = \frac{5}{32} \cdot \frac{q \cdot l^2}{h(1 + 48 \cdot k)}.$$

$$\text{При } \frac{h}{l} = 0,1; \quad N = 1,56 \cdot \frac{q \cdot l}{1 + 48 \cdot k}; \quad (15)$$

из формулы (3) имеем

$$F_3 = 1,02 \cdot N, \text{ или } F_3 \approx N \quad (16)$$

Теперь, с учётом формул (10 – 13), а также зависимости (14), функцию прогибов (5) представим в компактном виде:

$$y(x) = y_0(x) - \frac{5 \cdot q \cdot l}{8(1 + 48 \cdot k)} \cdot G\left(x, \frac{l}{2}\right), \quad (17)$$

где

$y_0(x)$, $G\left(x, \frac{l}{2}\right)$, даны выражениями (9), (12), (13).

Изгибающие моменты $M(x)$ и поперечные силы $Q(x)$ в сечениях перекладины определим по известным правилам:

$$M(x) = -E \cdot J \cdot y'', \quad Q(x) = -E \cdot J \cdot y'''(x) \quad (18)$$

Подставляя выражения (9), (12), (13) в равенство (17), затем полученное в формуле (18), имеем

$$M(x) = \frac{1}{2} \cdot q \cdot (l \cdot x - x^2) - \frac{5 \cdot q \cdot l}{8(1 + 48 \cdot k)} \cdot \left\{ \left[1 - e\left(x - \frac{l}{2}\right)\right] \cdot \frac{x}{2} + e\left(x - \frac{l}{2}\right) \cdot \left(\frac{l}{2} - \frac{x}{2}\right) \right\}, \quad (19)$$

$$Q(x) = \frac{1}{2} \cdot q \cdot (l - 2x) - \frac{5 \cdot q \cdot l}{8(1 + 48 \cdot k)} \cdot \left\{ \left[1 - e\left(x - \frac{l}{2}\right)\right] \cdot \frac{1}{2} - e\left(x - \frac{l}{2}\right) \cdot \frac{1}{2} \right\}. \quad (20)$$

Далее введём обозначение

$$z = \frac{5}{4(1 + 48 \cdot k)}. \quad (21)$$

С учётом обозначения (22) формулы (20 и 21) упростим:

$$M(x) = \frac{q \cdot l}{2} \cdot x \cdot \left(1 - \frac{z}{2}\right) - \frac{q}{2} \cdot x^2, \quad (22)$$

$$Q(x) = M'(x) = \frac{q \cdot l}{2} \cdot \left(1 - \frac{z}{2}\right) - q \cdot x. \quad (23)$$

Координату $x=x_1$, при которой в левом пролёте шпренгельной балки изгибающие моменты имеют максимум (рис.2а), найдём из условия

$$M'(x) = Q(x) = 0.$$

Подставляя в это равенство функцию (24), находим

$$x = x_1 = \frac{l}{2} \cdot \left(1 - \frac{z}{2}\right). \quad (24)$$

Внося координату (25) в функцию (23), определим максимальное значение момента (рис.2а)

$$M(x_1) = \frac{q \cdot l^2}{8} \cdot \left(1 - \frac{z}{2}\right)^2. \quad (25)$$

Из рис.2а видно, что изгибающие моменты имеют наибольшее значение M_0 над средней опорой. При $x = \frac{l}{2}$ по формуле (23) определим

$$M_0 = M\left(\frac{l}{2}\right) = \frac{q \cdot l^2}{8} \cdot (1 - z). \quad (26)$$

Поскольку по технологическим соображениям перекладину рационально назначать в виде прокатного широкополочного двутавра или балки коробчатого сечения (постоянного сечения по пролёту), то оптимальность конструкции по массе будет обеспечена, если принять изгибающие моменты $M\left(\frac{l}{2}\right)$ и $M(x_1)$ равными по абсолютной величине. Другими словами, условие оптимальности по массе запишем так:

$$M(x_1) = -M\left(\frac{l}{2}\right). \quad (27)$$

Здесь знак минус введён, чтобы обеспечить абсолютное значение момента. Подставляя выражения (26) и (27) в равенство (28), получаем квадратное уравнение

$$z^2 - 8z + 8 = 0.$$

Корни этого уравнения:

$$z_1=6,828; \quad z_2=1,172. \quad (28)$$

Далее воспользуемся обозначением (22):

$$k = \frac{5-4z}{4 \cdot 48 \cdot z}. \quad (29)$$

Поскольку коэффициент «k» (30) - величина положительная, то в расчётах следует принимать $z_2=1,172$ (29). При этом значении z коэффициент k (формула 30) равен

$$k = 1,387 \cdot 10^{-3}. \quad (30)$$

Теперь по формулам (25), (26) и (27) (при $z = z_2 = 1,172$) вычислим

$$x_1 = \frac{l}{4,8}, \quad M(x_1) = \frac{q \cdot l^2}{46,46}, \quad M\left(\frac{l}{2}\right) = -\frac{q \cdot l^2}{46,24}. \quad (31)$$

Таким образом, приняв коэффициент (31), равным $k=1,387 \cdot 10^{-3}$, мы обеспечиваем одинаковость (по абсолютной величине) изгибающих моментов над стойкой и в пролётах (рис.2а).

Такая процедура позволяет разгрузить перекладину над средней опорой за счёт догружения недогруженных пролётов.

$$\text{Например, при } k=0 \quad M\left(\frac{l}{2}\right) = \frac{q \cdot l^2}{32}, \quad \text{а при } k=1,387 \cdot 10^{-3} \quad M\left(\frac{l}{2}\right) = \frac{q \cdot l^2}{46,24}.$$

На пролётах:

$$\text{при } k=0 \quad M(x_1) = \frac{q \cdot l^2}{56,80}, \quad \text{а при } k=1,387 \cdot 10^{-3} \quad M(x_1) = \frac{q \cdot l^2}{46,46}.$$

Другими словами: при $k=1,387 \cdot 10^{-3}$ изгибающий момент $M\left(\frac{l}{2}\right)$ (рис.3а) уменьшается с $M = \frac{q \cdot l^2}{32}$ до $M = \frac{q \cdot l^2}{46,46}$ и, наоборот, максимальное значение изгибающего момента на пролётах увеличивается с $M = \frac{q \cdot l^2}{56,80}$ до $M = \frac{q \cdot l^2}{46,46}$.

То есть, расчётные изгибающие моменты выравниваются. Это позволяет, сохранив по пролёту сечение перекладины постоянным, уменьшить затраты металла. Кроме того, здесь обеспечивается высокая технологичность изготовления. При этом сечение перекладины можно

принимать в коробчатом виде или в виде прокатного широкополочного двутавра, так как она (перекладина) работает на изгиб со сжатием.

Обсуждение результатов. Далее рассмотрим конкретный пример расчёта.

В сечениях перекладины шпренгельной балки (рис.2а, 2б) от усилий M , Q , N возникают напряжения σ_u , τ , σ_0 соответственно. Ниже, на рис. 5 и 6, даются эпюры напряжений.

В сечении перекладины с координатой $x = x_1$ (рис.2а) эпюры имеют вид, показанный на рис. 5.

Рис.5. Эпюры внутренних напряжений
Fig.5. Internal stress plots

В сечении перекладины с координатой $x = \frac{l}{2}$ (рис.2а) эпюры имеют вид, показанный на рис. 6.

Рис.6. Эпюры внутренних напряжений
Fig.6. Internal stress plots

Условие прочности запишем по 4-й теории прочности [3]:

$$\sigma_{пр} = \sqrt{(\sigma_u + \sigma_0)^2 + 3\tau^2} \leq \gamma \cdot R. \quad (32)$$

В соответствии с рис. (5) и (6) условие (33) упростим: на нейтральной оси сечения

$$\sqrt{\sigma_0^2 + 3\tau^2} \leq \gamma \cdot R, \quad (33)$$

на фибровых точках

$$\sqrt{(\sigma_u + \sigma_0)^2} \leq \gamma \cdot R. \quad (34)$$

В формулах (33), (34), (35) [3]:

γ - коэффициент условий работы; R - расчётное сопротивление стали.

Перейдём к подбору сечения перекладины. Внутренние усилия M , Q , N будем вычислять по формулам (15), (23), (24), (26) при различных значениях коэффициентов « k » и « z » (формулы 22 и 31).

Рассмотрим различные варианты прокатного широкополочного двутавра (рис. 7). При этом будем пользоваться сортаментом [7,13].

Вид сечения перекладины - прокатный широкополочный двутавр. Для всех ниже рассматриваемых вариантов погонную нагрузку на перекладину примем равномерно распределённой, $q = 60$ кН/м, а пролёт шпренгельной балки $l = 15$ м. (рис.1а и рис.1б). Рассмотрим случай, когда $k = 0$, $z = \frac{5}{4}$; двутавр широкополочный № 55Б1 (рис. 7).

Рис.7. Сечение широкопачного прокатного двутавра

Fig.7. Section of a wide-flap rolled I-beam

Геометрические характеристики сечения:

$$h_{\delta} = 54,52 \text{ см}, A = 110 \text{ см}^2,$$

$$\text{погонный вес } g = 86,3 \text{ кг/м},$$

$$J_x = 54480 \text{ см}^4, W_x = 2000 \text{ см}^3,$$

статический момент половины сечения относительно нейтральной оси:

$$S = (27,25 \text{ см} \cdot 6,62 \text{ см}) \cdot 55 \text{ см}^2 = 1134,65 \text{ см}^3,$$

$$\text{толщина стенки } t_{ст} = 0,92 \text{ см}.$$

Внутренние усилия, вычисленные по формулам (15), (23), (24), (26):

$$M = 421,875 \text{ кН} \cdot \text{м}, N = 1406,25 \text{ кН}, Q = 281,25 \text{ кН}.$$

Напряжения:

$$\sigma_u = \frac{M}{W_x} = \frac{421,875 \text{ кН} \cdot \text{м}}{2000 \text{ см}^3} = 21,09 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2},$$

$$\sigma_0 = \frac{N}{A} = \frac{1406,25 \text{ кН}}{110 \text{ см}^2} = 12,784 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2},$$

$$\tau = \frac{Q \cdot S}{J_x \cdot t_{ст}} = \frac{281,25 \text{ кН} \cdot 1134,65 \text{ см}^3}{54480 \text{ см}^4 \cdot 0,92 \text{ см}} = 6,37 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2}$$

Условие прочности на нейтральной оси (формула 34):

$$\sqrt{\sigma_0^2 + 3\tau^2} = \sqrt{(12,784)^2 + 3 \cdot (6,37)^2} = 16,89 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2} < 33,0 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2} = R_3.$$

На фибровых точках (условие 35);

$$\sqrt{(\sigma_u + \sigma_0)^2} = \sigma_u + \sigma_0 = 21,09 + 12,78 = 33,87 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2} \approx 33,0 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2} = R_3.$$

Вывод. Приведенный в статье алгоритм расчёта шпренгельных балок с одной стойкой позволяет проектировать шпренгельные балки, которые имеют оптимальные по расходу металла параметры.

Многочисленные примеры расчёта, выполненные по приведенному выше алгоритму, показали эффективность предлагаемой методики: шпренгельные балки с оптимизированными параметрами в среднем на 60% легче по собственному весу, по сравнению с обычными балками.

В силу ограниченности объёма статьи мы не можем здесь приводить конкретные таблицы, свидетельствующие о выше сказанном. В следующей нашей статье мы приведём все числовые примеры и соответствующие им таблицы, по которым можно будет судить об эффективности шпренгельных балок с оптимизированными параметрами, как по весу, так и по стоимости металла.

Библиографический список:

1. Акаев Н.К., Юсупов А.К. Алгоритм расчета шпренгельных подкрановых балок. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. Том 42, №3, 2016 г. С.119-131.
2. Ажермачев С.Г. Приближенный метод расчета шпренгельных подкрановых балок. Строительство и техногенная безопасность. Выпуск 37, 2011 г. С.34-39.
3. Клыков В.М., Я.М. Лихтарников Расчет стальных конструкций. М.:75г. С.30-41.
4. Ливандовский Н.Н., Богатырева И.В. Усиление железобетонных балок шпренгельными затяжками и вложенными шпренгелями. XII международная конференция студентов и молодых ученых «перспективы развития фундаментальных наук» Россия, Томск, 21-24 апреля 2015 г. С.1338-1340.
5. Муселемов Х.М., Устарханов О.М., Юсупов А.К. Разработка и исследование шпренгельных балок новой раскройки. Сб.V Международной научно-практической конференции "Научные исследования: от теории к практике". Технические науки. Том 2. Г. Чебоксары. 2015. С.62-70.
6. Металлические конструкции. Под редакцией Е.И. Беленя, Москва, Стройиздат, 1986 г. С.382-384.
7. Металлические конструкции. Под редакцией Ю.И. Кудишина, Москва, Академия, 2011г. С.439-442.
8. Пат. 130333 РФ. МПК E04G 23/02. Шпренгель для усиления и обеспечения живучести изгибаемого железобетонного элемента / В.С. Плевков, Г.И. Однокопылов, И.В. Богатырева. Заявлено 08.02.2013; Опубл. 20.07.2013, Бюл. № 20. – 5 с.
9. Стальные конструкции. Справочник конструктора. Под ред. Мельникова Н.П. М.: Стройиздат, 1980. С.195-196.
10. СП 16.13330.2017 «Стальные конструкции». М.: Стандартинформ, 2017. АО "НИЦ "Строительство" – ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко, 92 с.
11. Устарханов О.М., Юсупов А.К., Муселемов Х.М. Шпренгельные подкрановые балки. Махачкала: ДГТУ, 2016. 120 с.
12. Ф. Харт (Мюнхен), В. Хенн (Брауншвайг), Х. Зонтаг (Берлин), Москва, Стройиздат, 1977г. «Атлас стальных конструкций». С. 37-84
13. Юсупов А.К. «Металлические конструкции в вопросах, в ответах и в проектировании». Махачкала, Дагестанский государственный технический университет. ГУП «Типография ДНЦ РАН», 2010.
14. Юсупов А.К. «Методы прикладной математики в строительной механике», том 1. Махачкала, Дагестанский государственный технический университет. ГУП «Типография ДНЦ РАН», 2008.
15. Юсупов А.К. «Методы прикладной математики в строительной механике», том 4. Махачкала, Дагестанский государственный технический университет. ГУП «Типография ДНЦ РАН», 2008.
16. Юсупов А.К., Муселемов Х.М., Устарханов Т.О., Джалалов Ш.Г. «Исследование металлодеревянной балки». «Вестник Машиностроения», №12, 2019.

References:

1. Akayev N.K., Yusupov A.K. Algoritm rascheta shprengel'nykh podkranovykh balok. VESTNIK DGTU, Tom 42, №3, 2016 g. С.119-131. [Akaev N.K., Yusupov A.K. Algorithm for calculating truss crane beams. Herald of Daghestan State Technical University. Technical Sciences, Vol.42, No. 3, 2016. pp.119-131. (In Russ)]
2. Azhermachev S.G. Priblizhenny metod rascheta shprengel'nykh podkranovykh balok. Stroitel'stvo i tekhnogen-naya bezopasnost'. Vypusk 37, 2011 g. С.34-39. [Azhermachev S.G. Approximate method for calculating truss crane beams. Construction and man-made safety. Issue 37, 2011. pp.34-39. (In Russ)]
3. Klykov V.M., YA.M. Likhtarnikov Raschet stal'nykh konstruksiy. M–75g. С.30-41. [Klykov VM, Ya.M. Likh-tarnikov Calculation of steel structures. M.:75g. pp.30-41. (In Russ)]
4. Livandovskiy N.N., Bogatyreva I.V. Usileniye zhelezobetonnykh balok shprengel'nyimi zatyazhkami i vlozhennymi shprengelyami. XII mezhdunarodnaya konferentsiya studentov i molodykh uchenykh «perspektivy razvitiya fundamental'nykh nauk» Rossiya, Tomsk, 21-24 aprelya 2015 g. S.1338-1340. [Livandovsky N.N., Bo-gatyreva I.V. Reinforcement of reinforced concrete beams with truss ties and embedded trusses. XII International Conference of Students and Young Scientists "Prospects for the Development of Fundamental Sciences" Russia, Tomsk, April 21-24, 2015. pp.1338-1340. (In Russ)]
5. Muselemov KH.M., Ustarkhanov O.M., Yusupov A.K. Razrabotka i issledovaniye shprengel'nykh balok novoy raskroyki. V Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskoy konferentsii "Nauchnyye issledovaniya: ot teorii k praktike". Tekhnicheskiye nauki. Tom 2. G. Cheboksary. 2015. s.62-70. [Muselemov Kh.M., Ustarkhanov O.M., Yusupov A.K. Development and research of new cut truss beams. V International scientific-practical conference "Scientific research: from theory to practice". Technical science. Vol. 2.G. Cheboksary. 2015. pp.62-70. (In Russ)]
6. Metallicheskiye konstruksii» – pod redaktsiyey Ye.I. Belenya, Moskva, Stroyizdat, 1986 g. С.382-384. [Metal structures. Edited by E.I. Belenya, Moscow, Stroyizdat, 1986, pp. 382-384. (In Russ)]
7. Metallicheskiye konstruksii» - pod redaktsiyey YU.I. Kudishina, Moskva, Akademiya, 2011g. С.439-442. [Metal structures. Edited by Yu.I. Kudishina, Moscow, Academy, 2011 pp.439-442. (In Russ)]

8. Pat. 130333 RF. MPK E04G 23/02. Shprengel' dlya usileniya i obespecheniya zhivuchesti izgibayemogo zhelezobetonnoogo elementa / V.S. Plevkov, G.I. Odnokopylov, I.V. Bogatyreva. Zayavleno 08.02.2013; Opubl. 20.07.2013, Byul. № 20. 5 s. [Pat. 130333 RF. IPC E04G 23/02. Sprengel for strengthening and ensuring the survivability of a bent reinforced concrete element / V.S. Plevkov, G.I. Odnokopylov, I.V. Bogatyrev. Stated 02/08/2013; Publ. 20.07.2013, Bul. No. 20. 5 p. (In Russ)]
9. Stal'nyye konstruksii. Spravochnik konstruktora. Pod red. Mel'nikova N.P. M.: Stroyizdat, 1980. C.195-196. [Steel structures. Constructor reference. Ed. Melnikova N.P. M.: Stroyizdat, 1980. pp.195-196. (In Russ)]
10. SP 16.13330.2017 «Stal'nyye konstruksii». M.: Standartinform, 2017. AO "NITS "Stroitel'stvo" TSNIISK im. V.A. Kucherenko, 92 s. [SP 16.13330.2017 "Steel structures". M.: Standartinform, 2017. JSC "Research Center" Construction "- TsNIISK named after V.A.Kucherenko, 92 p. (In Russ)]
11. Ustarkhanov O.M., Yusupov A.K., Muselemov K.H.M. Shprengel'nyye podkranovyye balki. Makhachkala: DGTU, 2016. 120 s. [Ustarkhanov OM, Yusupov AK, Muselemov Kh.M. Sprengel crane beams. Makhachkala: DSTU, 2016.120 p. (In Russ)]
12. F. Khart (Myunkhen), V. Khenn (Braunshvayg), KH. Zontag (Berlin), Moskva, Stroyizdat, 1977g. «Atlas stal'nykh konstruksiy». S. 37-84 [F. Hart (Munich), W. Henn (Braunschweig), H. Sontag (Berlin), Moscow, Stroyizdat, 1977. "Atlas of Steel Structures". pp. 37-84 (In Russ)]
13. Yusupov A.K. «Metallicheskiye konstruksii v voprosakh, v otvetakh i v proyektirovani». Makhachkala, Dagestanskiy gosudarstvennyy tekhnicheskyy universitet. GUP «Tipografiya DNTS RAN», 2010. [Yusupov A.K. "Metal structures in questions, answers and design." Makhachkala, Daghestan State Technical University. State Unitary Enterprise "Printing House of the DSC RAS", 2010. (In Russ)]
14. Yusupov A.K. «Metody prikladnoy matematiki v stroitel'noy mekhanike», tom 1. Makhachkala, Dagestanskiy gosudarstvennyy tekhnicheskyy universitet. GUP «Tipografiya DNTS RAN», 2008. [Yusupov A.K. "Methods of Applied Mathematics in Structural Mechanics", Volume 1. Makhachkala, Daghestan State Technical University. State Unitary Enterprise "Printing House of the DSC RAS", 2008. (In Russ)]
15. Yusupov A.K. «Metody prikladnoy matematiki v stroitel'noy mekhanike», tom 4. Makhachkala, Dagestanskiy gosudarstvennyy tekhnicheskyy universitet. GUP «Tipografiya DNTS RAN», 2008. [Yusupov A.K. "Methods of Applied Mathematics in Structural Mechanics", Volume 4. Makhachkala, Daghestan State Technical University. State Unitary Enterprise "Printing House of the DSC RAS", 2008. (In Russ)]
16. Yusupov A.K., Muselemov K.H.M., Ustarkhanov T.O., Dzhahalov S.H.G. «Issledovaniye metalloderevyannoy balki». «Vestnik Mashinostroyeniya», №12, 2019 [Yusupov A.K., Muselemov H.M., Ustarkhanov T.O., Dzhahalov Sh.G. "Study of a metal-wood beam". "Bulletin of Mechanical Engineering", No. 12, 2019. (In Russ)]

Сведения об авторах:

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

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

Устарханов Тагир Османович, ассистент, кафедра «Строительные материалы и инженерные сети»; e-mail: hairulla213@mail.ru

Information about the authors:

Abusupyan K.Yusupov, Dr. Sci. (Technical), Prof., Department of Building Structures and Hydraulic Structures, e-mail: hairulla213@mail.ru

Khairulla M.Muselemov, Cand.Sci. (Technical), Assoc. Prof., Department of Building Structures and Hydraulic Structures, e-mail: hairulla213@mail.ru

Tagir O. Ustarkhanov, Assistant, Department of Building Materials and Engineering Networks, e-mail: hairulla213@mail.ru

Конфликт интересов.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 29.10.2020.

Принята в печать 19.11.2020.

Conflict of interest.

The authors declare no conflict of interest.

Received 29.10.2020.

Accepted for publication 19.11.2020.