



УДК 624.072.014.2

ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ КАСАТЕЛЬНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ В ПЕРЕМЫЧКАХ ПЕРФОРИРОВАННЫХ БАЛОК-СТЕНОК

К.А. Емельянов, А.И. Притыкин

REGULARITIES OF THE SHEAR STRESS DISTRIBUTION IN WEB-POSTS OF PERFORATED BEAM-WALLS

K.A. Emelianov, A.I. Pritykin

Аннотация. Наличие перфорации существенным образом меняет характер распределения напряжений в стенках балок. Чаще всего причиной потери устойчивости стенок перфорированных балок являются деформации сдвига, поэтому в статье проведен анализ распределения касательных напряжений в балках-стенках при наличии регулярно расположенных прямоугольных и шестиугольных вырезов. Поскольку характер распределения напряжений в балках-стенках и в стенках двутавровых балок практически идентичен, в качестве объекта исследования выбраны балки-стенки, так как у них меньше варьируемых параметров. Установлены закономерности изменения уровня касательных напряжений, получены аналитические зависимости для усилий сдвига и касательных напряжений, возникающих в перемычках, в зависимости от параметров перфорации при действии на балку сосредоточенной силы. Полученные результаты могут быть использованы при оценке местной устойчивости перфорированных балок.

Ключевые слова: балка-стенка; прямоугольные и шестиугольные вырезы; касательные напряжения; перемычки; аналитическая зависимость; сосредоточенная сила; МКЭ.

Abstract. Perforation in web of beam is essentially changing the stress distribution in it. More often the reason of buckling of web is the shear deformation that is why in article analysis of the shear stress distribution is performed in the beam-walls under regularly located rectangular and hexagonal openings. So as the character of stress distribution in beam-walls and in I-beams is almost identical the investigations were performed on beam-walls, as if they have less number of variables. Some regularities of changing of level of shear stresses were determined and analytical relations for shear forces in web-posts in dependence of parameters of perforation under action of pointed load were obtained. Obtained results can be used under estimation of local stability of perforated beams.

Keywords: beam-wall; rectangular and hexagonal openings; shear stresses; web-posts; analytical relation; pointed load; FEM

Современное состояние вопроса

Несмотря на то, что перфорированные балки применяются в строительных сооружениях почти 100 лет, до конца характер распределения напряжений в них не исследован. Объясняется это, прежде всего, сложностью явления. Велико разнообразие перфорированных балок как по форме самих вырезов – прямоугольные, круглые, шестиугольные, овальные, ромбовидные, синусоидальные, так и по их относительным размерам. Наименьшая высота вырезов, как правило, составляет величину $h = 0.667H$, а наибольшая достигает иногда $h = 0.8H$ (H – высота балки).

Вопросам исследования напряженно-деформированного состояния перфорированных балок посвящено немало работ как зарубежных [1-6], так и отечественных авторов [7-16]. Однако большинство их посвящено исследованию нормальных напряжений или концентрации их в районе вырезов. В то же время характер распределения касательных напряжений в перемычках [8, 10], которые как раз теряют чаще всего устойчивость от сдвига,

до конца не исследован. В известном выражении для усилия сдвига T в перемычке не исследована зависимость параметра f от относительной высоты вырезов.

Изучение особенностей распределения касательных напряжений τ_{xy} производится в балке-стенке с прямоугольными вырезами, т. е. в балке без полок, так как это позволяет сократить число независимых параметров, влияющих на величину напряжений. Сам характер их распределения практически одинаков как в балках-стенках, так и в двутавровых балках.

Несмотря на то, что прямоугольные вырезы приводят к высокой концентрации напряжений, они нередко применяются даже в таких ответственных конструкциях, как мосты (рис.1).



Рисунок 1 – Балка с прямоугольной перфорацией стенки

Хотя рассматриваются балки с прямоугольными вырезами, полученные выводы, как будет показано ниже, применимы к балкам с любой формой вырезов. Для удобства анализа исследование проводилось на балках-стенках одного размера $l - H - t_w = 300 - 20 - 0.1 \text{ см}$ под действием одной и той же сосредоточенной силы $P = 10.84 \text{ кН}$, приложенной посередине пролета, что обеспечивало постоянство поперечной силы $V = 5.42 \text{ кН}$.

Цель работы – изучить закономерности распределения касательных напряжений в перемычках балок-стенок и получить их аналитическую зависимость от параметров перфорации. Основными средствами исследования явились метод конечных элементов с применением программного комплекса ANSYS и методы сопротивления материалов. Метод конечных элементов эффективен не только при исследовании пластинчатых конструкций, но и трехмерных, как показано в работах [17, 18].

Аналитическое определение касательных напряжений

При постоянной поперечной силе распределение касательных напряжений в балке со сплошной стенкой на уровне ее нейтральной оси носит равномерный характер, причем величина максимальных напряжений τ_{\max}^{cni} определяется по известной формуле Д.И. Журавского.

$$\tau_{\max}^{cni} = VS / It_w . \quad (1)$$

Здесь I – момент инерции сечения; S – статический момент половины сечения относительно нейтральной оси; t_w – толщина стенки; V – поперечная сила в сечении.

Учитывая, что для балки-стенки $I = H^3 t_w / 12$, а $S = H^2 t_w / 8$, получим из (1)

$$\tau_{\max}^{cni} = 1.5V / H t_w . \quad (2)$$

При наличии перфорации (рис.2) уровень касательных напряжений повысится.

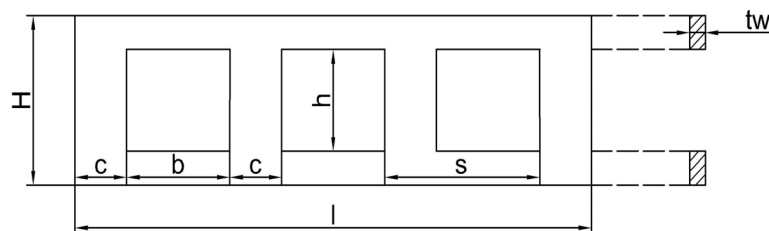


Рис 2 – Расчетная схема перфорированной балки с прямоугольными вырезами

Для последующих выкладок примем обозначения: H – высота балки-стенки; t_w – толщина стенки; c – ширина перемычки; b – ширина выреза; h – высота вырезом; $\beta = h/H$ – относительная высота вырезом; $s = c + b$ – шаг вырезом; $\eta = b/c$ относительная ширина вырезом.

По-существу, именно касательные напряжения обеспечивают совместную работу верхней и нижней половины балки, так как нормальные напряжения на уровне ее нейтральной оси отсутствуют.

При наличии вырезом из-за уменьшения зоны взаимодействия поясов балки напряжения $\tau_{cp}^{перф}$ в перемычках возрастают. Причем напряжения $\tau_{cp}^{перф}$ возрастут в k раз пропорционально отношению шага вырезом s к ширине перемычек c . Величина k определится как

$$k = s/c = 1 + \eta. \quad (3)$$

Уровень средних величин напряжений $\tau_{cp}^{перф}$ в перемычке перфорированной балки-стенки будет соответствовать величине

$$\tau_{cp}^{перф} = (1 + \eta)\tau_{max}^{cнл}. \quad (4)$$

где $\tau_{max}^{cнл}$ – уровень максимальных касательных напряжений в балке со сплошной стенкой.

При оценке уровня $\tau_{cp}^{перф}$ (4) пока ничего не говорилось об относительной высоте вырезом, поэтому формально уровень напряжений (4) относится к балке с высотой вырезом близкой к нулю, т. е. к балке с вырезами в виде узких прорезей. Изменение относительной высоты вырезом β при той же относительной их ширине η тоже вносит определенную лепту в величину касательных напряжений. Связано это с тем, что помимо касательных напряжений в поперечных сечениях балки действуют еще и нормальные напряжения.

Перейдем к исследованию уровня касательных напряжений $\tau_{cp}^{перф}$ в перемычках перфорированной балки в зависимости от высоты вырезом. Для этого рассмотрим усилия, действующие на фрагмент балки, выделенный двумя поперечными сечениями на расстоянии шага s (рис.3).

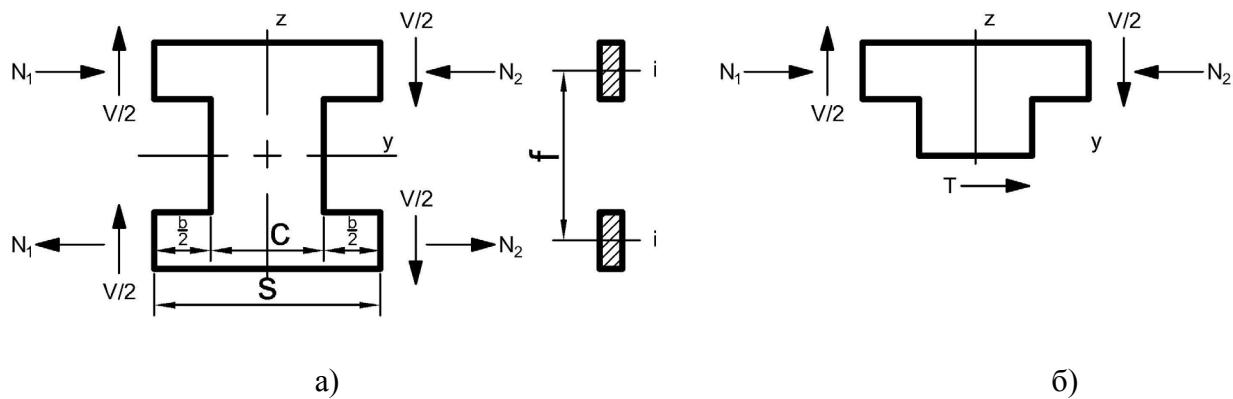


Рисунок 3 – Усилия, возникающие в сечениях перфорированной балки-стенки с прямоугольными вырезами

Из представленной на рис.3а картины видно, что в вертикальных сечениях действует поперечная сила V , распределенная пропорционально между верхним и нижним поясами балки, и горизонтальные усилия N – равнодействующие нормальных напряжений от изгибающего момента M . H -образный фрагмент балки будет находиться в равновесии, если сумма моментов всех сил равна нулю. Это приводит к соотношению

$$Vs = (N_2 - N_1)f. \quad (5)$$

Здесь через f обозначено расстояние между равнодействующими продольных сил N .

В уравнении (5) неизвестны пока компоненты правой части. Разность усилий ($N_2 - N_1$) можно определить, если учесть, что напряжения σ_x распределяются по высоте сечения по линейному закону пропорционально отстоянию волокна от нейтральной оси. Величины напряжений $\sigma_{x,1}$ и $\sigma_{x,2}$ в левом и правом сечениях можно представить в виде

$$\begin{aligned}\sigma_{x,1} &= Vxz / (H^3 t_w (1 - \beta^3) / 12); \\ \sigma_{x,2} &= V(x+s)z / (H^3 t_w (1 - \beta^3) / 12).\end{aligned}\quad (6)$$

Тогда усилия N_2 и N_1 определятся путем интегрирования соотношений (6) по переменной z в пределах от $0.5\beta H$ до $0.5H$. Разность этих усилий будет равна

$$N_2 - N_1 = t_w V s / (H^3 t_w (1 - \beta^3) / 12) \int_{0.5\beta H}^{0.5H} z dz = 1.5 V s (1 - \beta^2) / (H (1 - \beta^3)). \quad (7)$$

Подставив (7) в (5), найдем плечо f в виде

$$f = H (1 - \beta^3) / (1.5 (1 - \beta^2)). \quad (8)$$

Для балки-стенки произвольной высоты H при постоянной поперечной силе V зависимость f от β представлена на рис.4, из которого видно, что она носит параболический характер. Однако для практически значимых высот вырезов в диапазоне $0.5 \leq \beta \leq 0.8$ ее вполне можно считать линейной.

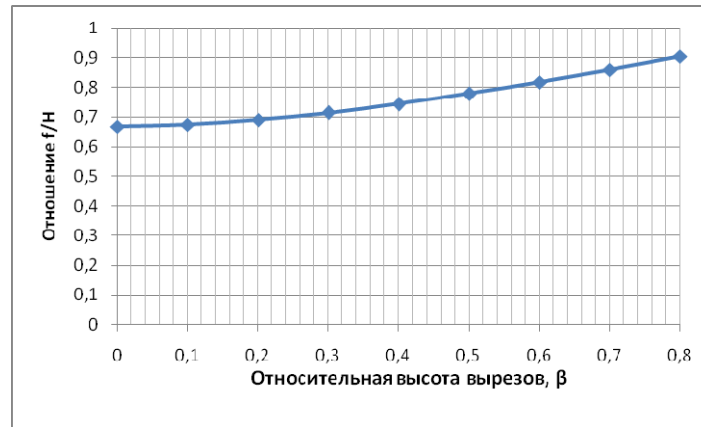


Рисунок 4 – Зависимость относительного плеча сил f/H от относительной высоты вырезов β

Если рассечь H -образный фрагмент балки-стенки горизонтальным сечением по оси симметрии (рис.3б), заменив действие отброшенной части усилием сдвига T , то становится ясным, что оно определяется разностью продольных сил N_2 и N_1 . Тогда из (7) следует

$$T = 1.5 V s (1 - \beta^2) / (H (1 - \beta^3)). \quad (9)$$

Таким образом, зная параметры перфорации β и s , а также величину поперечной силы V , действующей в сечении, можно по (9) определить усилие сдвига в перемычке. Вводя полученное выше обозначение для плеча f (8), зависимость (9) можно переписать в известной классической форме

$$T = V s / f. \quad (10)$$

Заметим, что усилие сдвига T не зависит от относительной ширины вырезов η , а определяется только величиной шага s и относительной высотой вырезов β . При $\beta = 0$, т. е. при отсутствии вырезов, плечо f согласно (8) будет равно $f = 2H/3$, что в точности равно расстоянию между равнодействующими нормальных напряжений при линейном характер их распределения по высоте H .

Если в (9) подставить $s = (1 + \eta)c$, то получим соотношение между усилием сдвига T в перемычке и поперечной силой V в виде

$$T = 1.5 (1 + \eta) c (1 - \beta^2) V / (1 - \beta^3) H. \quad (11)$$

Таким образом, зная параметры перфорации и поперечную силу в сечении, можно определить усилие сдвига T в перемычке балки-стенки. Из характера зависимости (11) можно заключить, что усилие сдвига T при фиксированной относительной ширине перемычек η почти линейно зависит от относительной высоты вырезов в диапазоне $0.6 \leq \beta \leq 0.8$.

Располагая усилием сдвига T в перемычке, можно определить среднюю величину касательных напряжений в ней как

$$\tau_{cp}^{перф} = T / ct_w. \quad (12)$$

Подставив (11) в (12) и приняв во внимание зависимость (2), получим в окончательном виде

$$\tau_{cp}^{перф} = \tau_{max}^{cнл} (1 + \eta)(1 - \beta^2)/(1 - \beta^3). \quad (13)$$

Таким образом, формула (13) позволяет определить средний уровень касательных напряжений в перемычках при известных напряжениях в сплошной балке-стенке и параметрах ее перфорации. Корректность (13) обусловлена тем, что при выводе ее использовались только допущения, принятые в сопротивлении материалов. Проверить ее приемлемость можно с помощью расчетов МКЭ.

Следует отметить, что при выводе зависимости (13) нигде не было привязки к форме вырезов: фигурировали только такие их параметры как высота и ширина. Это дает основания утверждать, что полученная формула справедлива для перфорированной балки-стенки с любой формой вырезов, в чем можно будет убедиться ниже на примере расчета МКЭ балки с шестиугольными вырезами.

Определение касательных напряжений МКЭ

Расчет МКЭ касательных напряжений в балке-стенке без вырезов размерами 300-20-0.1см (рис.5) при величине поперечной силы $V=5.42\text{кН}$ показывает, что полученное на большей части длины значение $\tau_{max}^{МКЭ} = 40.61\text{МПа}$ приводит к расхождению с вычисленным значением $\tau_{max}^{cнл} = 40.65\text{МПа}$ по (2) в 0.1%, что подтверждает высокую точность моделирования реальной конструкции методом конечных элементов.

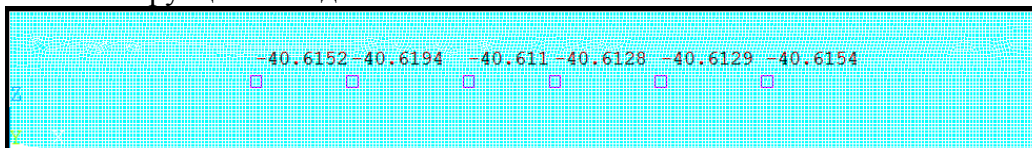


Рисунок 5 – Распределение касательных напряжений в сплошной балке-стенке

На рис. 6 представлен вариант распределения напряжений в балке-стенке при наличии вырезов квадратной формы высотой $b=40\text{мм}$ при ширине перемычек $c = 20\text{мм}$. При $\eta = 2$ согласно (13) напряжения должны возрасти примерно в 3 раза. Правда, указанные на рис.6 величины $\tau_{max}^{перф}$ значительно выше предполагаемых 120МПа, поскольку в пределах ширины перемычек напряжения τ распределяются по параболическому закону. Ведь в силу закона парности касательных напряжений на концах перемычек они должны быть равны нулю.

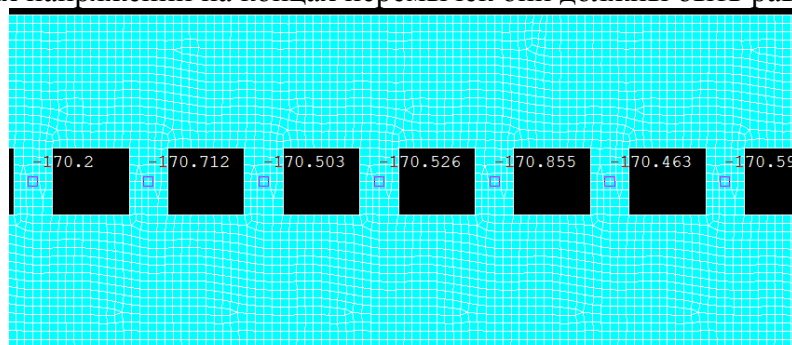


Рисунок 6 – Касательные напряжения в перфорированной балке-стенке

Распределение касательных напряжений по ширине перемычки, представленное на рис. 7 для того же варианта перфорации, что и на рис.6, указывает на нелинейный характер их распределения.

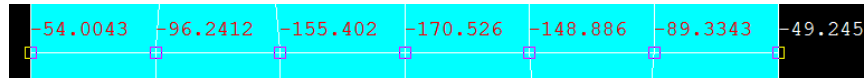


Рисунок 7 – Распределение касательных напряжений по ширине перемычки перфорированной балки-стенки

В соответствии с формулой (13) средний уровень $\tau_{cp}^{перф}$ будет равен

$$\tau_{cp}^{перф} = 40.65(1+2)(1-0.667^2)/(1-0.667^3) = 118 \text{ МПа} . \quad (14)$$

Среднее значение напряжений в перемычке $\tau_{cp}^{МКЭ}$ по расчету МКЭ (рис.7) определим, воспользовавшись интегрированием по способу трапеций, что приведет к величине $\tau_{cp}^{МКЭ} = 118.7 \text{ МПа}$. Расхождение с результатом (14) составит 0.6%, что свидетельствует о высокой точности формулы (13). Судя по полученным результатам, максимальные напряжения в перемычке в данном случае превышают среднее их значение в 1.4 раза.

Рассмотрим теперь характер распределения напряжений в балке-стенке 300-20-0.1см-0.667-2 с шестиугольными вырезами правильной формы с перфорацией $\beta = 0.667$, $\eta = 2$ при той же поперечной силе $V=5.42 \text{ кН}$. Общий вид распределения напряжений в идентичных точках перемычек показан на рис.8.

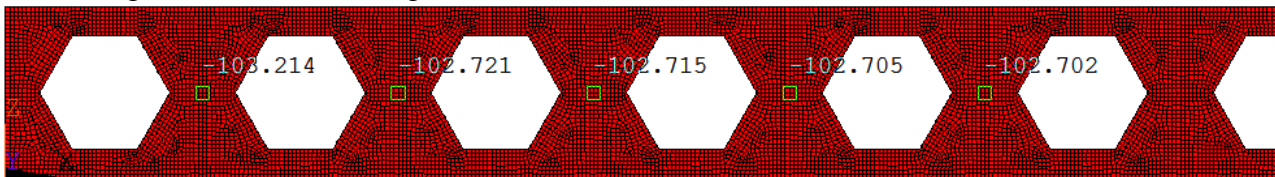


Рисунок 8 – Касательные напряжения посередине перемычек ш. о. балки-стенки

Как видно из рис. 8, распределение касательных напряжений по длине балки (показана только половина ее) носит равномерный характер в силу постоянства поперечной силы. Аналогичное распределение наблюдалось и при наличии прямоугольных вырезов (рис. 6).

Распределение касательных напряжений по ширине перемычки, представленное на рис.9, позволяет вычислить среднюю величину напряжений $\tau_{cp}^{перф}$, которая в соответствии с формулой (13) будет равна

$$\tau_{cp}^{перф} = 40.65(1+2)(1-0.667^2)/(1-0.667^3) = 96.3 \text{ МПа} . \quad (15)$$

Значение этих же напряжений в перемычке по расчету МКЭ согласно рис.9 дает величину $\tau_{cp}^{МКЭ} = 95.7 \text{ МПа}$. Расхождение с результатом (15) составляет 0.6%.

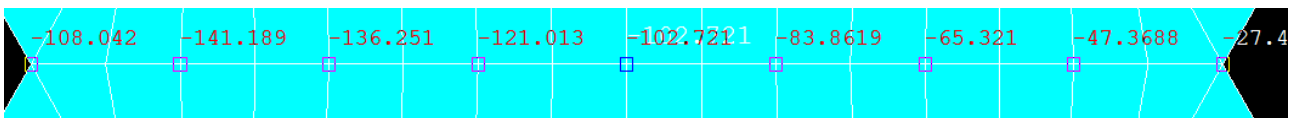


Рисунок 9 – Распределение касательных напряжений по ширине перемычки в балке-стенке с шестиугольными вырезами

Для балки с прямоугольными вырезами с такими же параметрами перфорации $\beta = 0.667$ и $\eta = 2$, как у шестиугольных (рис. 8), при той же поперечной силе $V=5.42 \text{ кН}$ распределение напряжений показано на рис. 10.



Рисунок 10 – Касательные напряжения в перемычке балки-стенки с прямоугольными вырезами

В соответствии с данными рис. 10 напряжения в балке-стенке с прямоугольными вырезами получаются равными $\tau_{cp}^{МКЭ} = 96.8 \text{ МПа}$, что приводит к расхождению со значением по (15) в 0.5%.

Заключение

Зная параметры перфорации балки-стенки и величину поперечной силы, можно по формуле (13) определить средний уровень касательных напряжений в ее перемычках на уровне нейтральной оси, где эти напряжения достигают наибольшей величины. При этом максимальный уровень напряжений в перемычке будет выше примерно в 1.3-1.5 раза.

Полученные результаты применимы к балкам-стенкам не только с прямоугольными, но и с шестиугольными и с круглыми вырезами, поскольку форма вырезов при выводе формулы (13) нигде не фигурирует.

При постоянном шаге вырезов уменьшение ширины перемычки не влияет на величину усилия сдвига в ней.

Применение формул (11) и (13) может быть полезным при получении зависимости для критических нагрузок перфорированных балок при потере устойчивости от сдвига и при оценке прочности перфорированных балок.

ЛИТЕРАТУРА

1. AISC 360-10. Specification for structural steel building / American institute of steel construction. Chicago, Illinois, 2010. 552 p.
2. Cheng W.K., Hosain M.U., Neis V.V. Analysis of castellated steel beams by the finite elements method // Proceedings of the Specialty Conference on Finite Element Method in Civil Engineering (1 – 2. June), Moutrede, Canada. 1972, pp.58-64.
3. EN 1993-1-5:2006. Eurocode 3. Design of steel structures. Part 1-5: Plated structural elements. European Committee for Standardization. Brussels, 2006. 53 p.
4. Mandel J.A. Stress distribution in castellated beams with rectangular web holes. Proceeding of the ASCE. 1971. Vol. 94. No 2, pp.45-49.
5. Shoukry Z. Elastic flexural stress distribution in webs of castellated steel beams. Welding journal. 1965. No 5, pp.54-61.
6. Vesraghavachary K. Stress distribution in castellated beam. Proceeding of the ASCE, Structural Division. 1972. No 2, pp. 78-82.
7. Добрачев В.М., Литвинов Е.В. Распределение напряжений в стенке-перемычке перфорированного сжато-изогнутого стержня // Известия вузов. Строительство. 2003. №2. С.120-123.
8. Притыкин А.И. Концентрация напряжений в балках с одним рядом шестиугольных вырезов // Вестник МГСУ. 2009. № 1. С. 118–121.
9. Добрачев В.М., Литвинов Е.В. Аналитическое определение напряженно-деформированного состояния стенки-перемычки перфорированной балки // Известия вузов. Строительство. 2003. №5. С.128-133.
10. Притыкин А.И. Концентрация напряжений во флорах с круглыми и овальными вырезами // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология. 2009. № 1. С. 76-81.

11. Копытов М.М., Яшин С.Г. Особенности работы перфорированных балок с повышенной степенью развития сечения // Известия вузов. Строительство. 2003. №3. С.4-8.
12. Притыкин А.И. Прогибы перфорированных балок-стенок с прямоугольными вырезами // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2009. № 10. С. 110-116.
13. Проектирование металлических конструкций: Спец. курс / В.В. Бирюлев, И.И. Кошин, И.И. Крылов и др. Ленинград: Стройиздат, 1990. 432 с.
14. Притыкин А.И. Влияние сдвига на деформации перфорированных балок с шестиугольными вырезами // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2012. №3. С.111-118.
15. СП 16.13330.2011. Стальные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-23-81*. М., 2011. 172 с.
16. Притыкин А.И. Прогибы перфорированных балок с шестиугольными вырезами: две формы решения // Промышленное и гражданское строительство. 2015. №5. С.111-118.
17. Sharkov O.V., Zolotov I.A. Influence of the geometric properties of an external housing on its stress-strain state // Russian engineering research. 2011. V. 31. No 4. pp. 335 – 337.
18. Золотов И.А., Шарков О.В. Анализ напряженно-деформированного состояния внешней обоймы роликовых механизмов свободного хода // Известия вузов. Машиностроение. 2013. № 10. С. 42-47.

REFERENCES

1. AISC 360-10. Specification for structural steel building. American institute of steel construction. Chicago, Illinois, 2010. 552 p.
2. Cheng W.K., Hosain M.U., Neis V.V. Analysis of castellated steel beams by the finite elements method. Proceedings of the Specialty Conference on Finite Element Method in Civil Engineering (1 – 2. June), Moutrede, Canada. 1972, pp.58-64.
3. EN 1993-1-5:2006. Eurocode 3. Design of steel structures. Part 1-5: Plated structural elements. European Committee for Standardization. Brussels, 2006. 53 p.
4. Mandel J.A. Stress distribution in castellated beams with rectangular web holes. Proceeding of the ASCE. 1971. Vol. 94. No 2, pp.45-49.
5. Shoukry Z. Elastic flexural stress distribution in webs of castellated steel beams // Welding journal. 1965. No 5, pp.54-61.
6. Vesraghavachary K. Stress distribution in castellated beam // Proceeding of the ASCE, Structural Division. 1972. No 2, pp. 78-82.
7. Dobrachev V.M., Litvinov E.V. *Raspredelenie napryazhenij v stenke-peremychke perforirovannogo szhato-izognutogo sterzhnja* [Stress distribution in web-post of perforated compressed-bended bar]. *Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo*. 2003. No 2, pp.120-123.
8. Pritykin A.I. *Konzentracija napryazhenij v balkah s odnim rjedom shestiugol'nyh vyrezov* [Stress concentration in beams with one row of hexagonal openings]. *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo stroitel'nogo universiteta*. 2009. No 1, pp. 118–121.
9. Dobrachev V.M., Litvinov E.V. *Analiticheskoe opredelenie napryazhenno-deformirovannogo sostojanija stenki-peremychki perforirovannoj balki* [Analytical determination of the stress-state of web-post of perforated beam]. *Izvestija vuzov. Stroitel'stvo*. 2003. No 5, pp.128-133
10. Pritykin A.I. *Konzentracija napryazhenij vo florah s kruglymi I oval'nymi vyrezami* [Stress concentration in floors with circular and oval openings]. *Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tehničeskogo universiteta*. Serija: *Morskaja tehnika i tehnologija*. 2009. No 1, pp. 76-81.
11. Kopytov M.M., Yashin S.G. *Osobennosti raboty perforirovannyh balok s povyshennoj stepen'ju razvitija sechenija* [Peculiarities of work of perforated beams with arisen degree of development of cross section] *Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo*. 2003. No 3, pp.4-8.



12. Pritykin A.I. *Progiby perforirovannyh balok-stenok s prjamougol'nymi vyrezami* [Deflections of perforated beam-walls with rectangular openings]. *Izvestija vuzov. Stroitel'stvo*. 2009. No 10, pp. 110-116.
13. Biryulev V.V., Koshin I.I., Krylov I.I. *Projektirovanie metallicheskih konstrukcij: Spez. Kurs* [Design of metallic structures. Special cours]. *Leningrad: Strojizdat Publ.*, 1990. 432 p.
14. Pritykin A.I. *Vlijanie sdviga na deformazii perforirovannyh balok s shestiuhol'nymi vyrezami* [Influence of shear on deformations of perforated beams with hexagonal openings] *Izvestija vuzov. Stroitel'stvo*. 2012. No 3, pp.111-118.
15. SP 16.13330.2011. *Stal'nye konstrukzii. Aktualizirovannaja redakcija* [Steel structures. Contemporary reduction of SNiP II-23-81*]. Moskva. 2011. 172 p.
16. Pritykin A.I. *Progiby perforirovannyh balok s shestiuhol'nymi vyrezami:dve formy reshenija* [Deflections of perforated beams with hexagonal openings: two forms of solution]. *Pro-myshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*. 2015. No 5, pp.111-118.
17. Sharkov O.V., Zolotov I.A. Influence of the geometric properties of an external housing on its stress-strain state. *Russian engineering research*. 2011. V. 31. No 4, pp. 335–337.
18. Zolotov I.A., Sharkov O.V. *Analiz napryazhenno-deformirovannogo sostojanija vneshnej obojmy rolkovyh mehanizmov svobodnogo khoda* [Analysis of stress-state of external housing of rolled mechanism of free motion]. *Izvestija vuzov. Mashinostroenie*. 2013. No 10, pp. 42–47.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Емельянов Константин Анатольевич

ООО «ЛИТАНА», г. Калининград, Россия, ведущий инженер.

E-mail: k.emel@ako-group.ru

Emelianov Konstantin Anatolievich

LITANA Construction company, Kaliningrad, Russia, Senior Engineer.

E-mail: k.emel@ako-group.ru

Притыкин Алексей Игоревич

Калининградский государственный технический университет, г. Калининград, Россия, декан факультета Судостроения и энергетики, профессор кафедры кораблестроения, член-корреспондент Российской академии естественных наук.

Балтийский федеральный университет им. Иммануила Канта, профессор кафедры градостроительства, землеустройства и дизайна

E-mail: prit_alex@mail.ru

Pritykin Alexej Igorevich

Kaliningrad State Technical University, Kaliningrad, Russia, Dean of Faculty of Shipbuilding and Energy, professor of the Shipbuilding Department, Corresponding Fellow of Russian Academy of Natural Sciences.

Immanuel Kant Baltic Federal University, Kaliningrad, Russia, Professor of department of city building, land management and design

E-mail: prit_alex@mail.ru

Корреспондентский почтовый адрес и телефон для контактов с авторами статьи:

236022, Россия, Калининград, Советский пр., 1, КГТУ,

Деканат факультета судостроения и энергетики, каб. 205. Притыкин А.И. 8(4012)56-48-04