

УДК: 691.33
DOI: 10.52409/20731523_2022_4_51
EDN: LGZNAO



К определению напряженно-деформированного состояния бетонного блока в составе усиленного узла фермы из гнутосварных профилей

Л.Р. Гимранов¹, А. Пажвак¹

¹Казанский государственный архитектурно-строительный университет
г.Казань, Российская Федерация

Аннотация. *Постановка задачи.* На сегодняшний день фермы из гнутосварных профилей занимают подавляющую долю рынка среди несущих стропильных конструкций покрытия. К их достоинствам относится экономичность и отсутствие фасонки. Однако при этом проверочные расчеты таких ферм требуют особого внимания к узлам и зачастую сечение элемента определяется исходя из прочности узла, а не элемента фермы. Повышение несущей способности узлов таких ферм позволит повысить их экономическую эффективность. В работе рассматриваются аналитические и численные исследования по определению напряженно-деформированного состояния бетонного или фибробетонного блока в узле фермы из гнутосварных профилей. При этом отличительной особенностью является то, что усиление узлов производится локально. Актуальность исследования заключается в том, что методика расчета фибробетонного блока в составе усиленного узла ферм позволит повысить их технико-экономические показатели либо решить проблему сильно нагруженных узлов таких ферм.

Цель работы: разработка на основе идеализированных расчетных схем фибробетонного блока аналитических зависимостей для определения его напряженно-деформированного состояния при сосредоточенной нагрузке, с достаточной степенью достоверности отражающей напряженно-деформированного состояния блока внутри нагруженного узла из гнутосварных профилей. Для достижения поставленной цели были сформулированы следующие задачи: определить независимую расчетную схему фибробетонного блока, наиболее близко отражающую его напряженно-деформированное состояние в составе расчетной модели узла, включающего раскосы и пояса фермы; установить применимость балочной аналогии к расчетной схеме блока и предложить методику расчета фибробетонного блока с учетом балочной аналогии.

Результаты. Основными результатами работы является методика оценки напряженно-деформированного состояния фибробетонного блока в составе усиленных узлов ферм из гнутосварных профилей.

Выводы. Значимость полученных результатов для строительной отрасли состоит в том, что рассмотренные возможные подходы к определению напряженно-деформированного состояния фибробетонного блока в составе усиленного узла ферм из гнутосварных профилей позволяют использовать данный способ усиления на практике, что позволит снизить металлоемкость и деформативность рассматриваемых ферм из гнутосварных профилей.

Ключевые слова: усиление, узлы, гнутосварные профили, нормальное напряжение, фибробетонный блок, нагрузка, несущая способность, прочность и жесткость.

Для цитирования: Гимранов Л.Р., Пажвак А. К определению напряженно-деформированного состояния бетонного блока в составе усиленного узла фермы из гнутосварных профилей // Известия КГАСУ 2022 №4(62), с.51-60, DOI: 10.52409/20731523_2022_4_51 EDN: LGZNAO

Determination of the stress-strain state of a concrete block as part of a reinforced node truss from square hollow sections

L.R. Gimranov¹, A. Pazhwak¹

¹Kazan State University of Architecture and Engineering
Kazan, Russian Federation

Abstract. *Problem statement.* Today, trusses made of square hollow sections occupy the vast majority of the market among the load-bearing truss structures of the roof. Their advantages include cost-effectiveness and the absence of gussets. However, at the same time, verification calculations of such trusses require special attention to the nodes, and often the section of the element is determined based on the strength of the node, and not the truss element. Increasing the bearing capacity of the nodes of such farms will improve their economic efficiency. The paper deals with analytical and numerical studies to determine the stress-strain state of a concrete or fiber concrete block in a truss node made of square hollow sections. At the same time, a distinctive feature is that the nodes are strengthened locally. The relevance of the study lies in the fact that the method of calculating a fiber concrete block as part of a reinforced truss node will improve their technical and economic performance or solve the problem of heavily loaded nodes of such trusses.

Purpose of the work: the development of analytical dependencies based on idealized design schemes of a fiber concrete block to determine its stress-strain state under a concentrated load, reflecting with a sufficient degree of reliability the stress-strain state of a block inside a loaded assembly of square hollow sections. To achieve this goal, the following tasks were formulated: to determine an independent design scheme of a fiber concrete block that most closely reflects its stress-strain state as part of the design model of the node, including braces and truss chords; to establish the applicability of the beam analogy to the design scheme of the block and propose a method for calculating the fiber concrete block, taking into account the beam analogy.

Results. The main results of the work consist in the developed method for assessing the stress-strain state of a fiber concrete block as part of reinforced truss units from square hollow sections.

Conclusions. The significance of the obtained results for the construction industry lies in the fact that the considered possible approaches to determining the stress-strain state of a fiber concrete block as part of a reinforced truss assembly made of square hollow sections make it possible to use this reinforcement method in practice, which will reduce the metal consumption and deformability of the considered trusses from square hollow sections.

Keywords: reinforcement nodes, square hollow sections, normal stress, fiber concrete block, load, bearing capacity, strength and rigidity.

For citation: Gimranov L.R., Pazhwak A. Determination of the stress-strain state of a concrete block as part of a reinforced truss nodes from square hollow sections // News KSUAE 2022 №4 (62), p51-60, DOI: 10.52409/20731523_2022_4_51, EDN: LGZNAO

1. Введение

В настоящее время стальные фермы из гнутосварных профилей (ГСП) очень широко используются в разных отраслях строительства, особенно в промышленных и гражданских зданиях [1]. Этот факт можно объяснить экономической конкурентоспособностью и архитектурной выразительностью конструктивных форм элементов, состоящих из прямоугольных, квадратных или круглых полых сечений.

Основными элементами ферм из ГСП являются пояса, образующие контур фермы, и решетка, состоящая из раскосов и стоек.

Решетка ферм воспринимает в основном поперечную силу, выполняя функцию стенки сплошной балки. Пояса ферм работают в основном на продольные усилия и изгибающие моменты [2]. Соединение элементов в узлах осуществляют путем непосредственного примыкания одних элементов к другим или с помощью узловых фасонок.

При расчете узлов ферм из ГСП считается, что углы примыкания раскосов к поясу не менее 30° , в этом случае обеспечивается плотность примыкания раскосов к поясу. Сварные швы, соединяющие раскосы с поясом, выполняются с полным проплавлением стенки профиля.

Основными преимуществами применения узлов ферм из гнутосварных профилей, являются:

- более рациональное распределение металла по сечению, связанное с характерным для гнутосварных профилей наибольшим коэффициентом рациональности формы сечения и наименьшей удельной толщиной стенки;
- более рационально, чем в открытых профилях, использование высокопрочных сталей;
- возможность встраивать конструкции из гнутосварных профилей в качестве элементов современного интерьера благодаря их привлекательному внешнему виду;
- возможность изготовления профилей нестандартной конфигурации;
- по сравнению с трубами круглого сечения, ГСП проще в обработке, и при компоновке узлов конструкций их жесткость на кручение выше.

Усиление узлов ферм из ГСП широко используется тогда, когда они не отвечают требованиям прочности или не обладают достаточной несущей способностью, а толщина профиля поясов не может быть увеличена вследствие экономической целесообразности. Обычно используемый метод усиления узлов ферм из ГСП соединений заключается в приваривании пластины усиления к внешней стороне элемента пояса [3]. Недостатком такого способа усиления является то, что полученная конструкция узла, как правило, имеет усиленную либо только полку, либо стенку пояса фермы, что приводит к повышенным зонам концентраций напряжений от сварки, а также провоцирует снижение долговечности вследствие образования карманов и очагов коррозии.

Альтернативным способом усиления узлов, для определенных К-образных типов соединений, является заполнение узлов ферм из ГСП фибробетоном или цементным раствором через заранее подготовленное отверстие, в которое вставляется трубная заглушка, а затем приваривается к нижнему поясу фермы. Для предотвращения растекания бетонной смеси внутрь пояса через отверстие перед заливкой помещают тканевый мешок. Бетонная смесь под давлением заставляет мешок разворачиваться и заполнять пространство внутри пояса, при этом усиливает одновременно и полку, и стенку пояса при минимальном количестве зон концентраций напряжений от сварки [4].

Проведенные эксперименты в работе [5], а также других авторов [6-9], показывают значительное увеличение несущей способности соединений К-образного типа с поясом, заполненным фибробетоном. В исследовании [10] утверждается, что элементы раскоса при растяжении и сжатии должны рассчитываться отдельно, и что определяющим предельным состоянием для растянутого элемента раскоса будет являться преждевременная местная текучесть пояса в месте примыкания раскоса от действия растягивающих и касательных напряжений.

Проведенные в работах [10-12] результаты исследований представлены для малых пролетов ферм (до 12м). В этом случае элементы пояса из ГСП соединений К-образного типа для ферм могут быть заполнены бетоном по всей длине пояса для улучшения несущей способности элемента, а также огнестойкости. Недостаток такого соединения фермы - увеличенный вес конструкций и трудоёмкость производства.

Для ферм пролетом более 12м только некоторые части элементов пояса, особенно вблизи критических соединений, необходимо заполнить бетоном для увеличения прочности соединений.

Численные исследования и расчеты, основанные на характеристиках свойств фибробетонного блока, позволяют более экономично проектировать и применять для расчета конструкции на всех этапах работ узлов ферм, усиленных фибробетоном. Поэтому исследования по совершенствованию методики расчета локально усиленных узлов ферм из ГСП фибробетоном являются актуальной научной задачей.

Объектом исследования являются стальные фермы из ГСП, локальное усиление узлов которых выполняется монолитным фибробетоном.

Предметом исследования являются усиленные фибробетоном узлы ферм из ГСП.

Поскольку расчет несущей способности стальных элементов в узле отражен в [13], а напряженно-деформированное состояние (НДС) и прочность бетонного заполнения не рассматривались, целью данной работы является разработка на основе идеализированных расчетных схем фибробетонного блока аналитических зависимостей для определения его НДС при сосредоточенной нагрузке, с достаточной степенью достоверности отражающей НДС блока внутри нагруженного узла из ГСП профилей. Для достижения поставленной цели были сформулированы следующие задачи:

- определить независимую расчетную схему фибробетонного блока, наиболее близко отражающую его НДС в составе расчетной модели узла, включающего раскосы и пояса фермы.
- установить применимость балочной аналогии к расчетной схеме блока;
- предложить методику расчета фибробетонного блока с учетом балочной аналогии.

2. Материалы и методы

Предметом исследования является локальное усиление узлов К-образного типа фибробетонным блоком, выполненное согласно [4], и расчет НДС фибробетонного блока на действие сосредоточенных нагрузок от раскосов. Применяется метод исследования, основанный на численном моделировании локального усиления узла фибробетоном [12] (рис. 1).

Материалы для узлов: пояс и раскосы узла - сталь марки С255 по ГОСТ 27772-2015 с расчетным сопротивлением 370 МПа, локальное заполнение - фибробетон с модулем упругости не ниже 27000 МПа.

Численные исследования рассматривают усиление локального узла фермы из ГСП фибробетонным блоком с размерами поперечного сечения 140x140 мм, длиной 700 мм, который выполнен из бетона с модулем упругости $E = 27500$ МПа и расчетным сопротивлением сжатию $R_b = 11.5$ МПа.

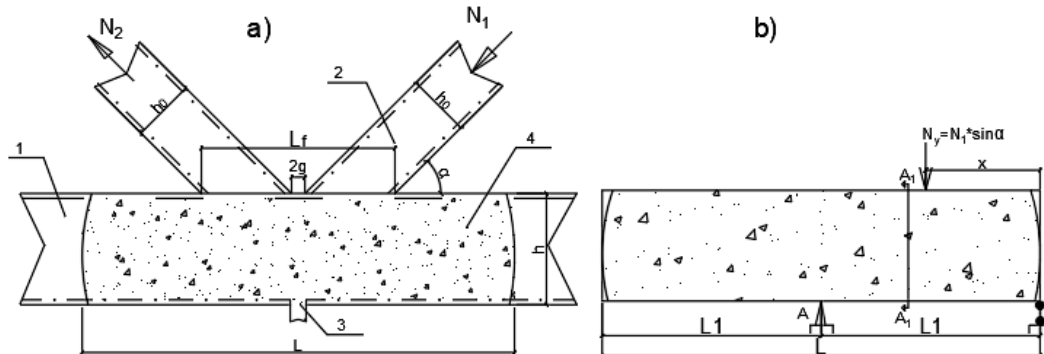


Рис. 1. а) узел фермы, б) фибробетонный блок (иллюстрация авторов)

Fig.1.a) truss node, b) fiber concrete block (illustration by the authors)

В данной работе представлен новый способ [4] локального усиления узлов фибробетонным элементом (рис.1), где:

- 1- пояса фермы (нижний пояс),
- 2- раскосы фермы,
- 3- отверстие для бетонирования узлов, в которое вставляется мешок для заполнения и трубная заглушка, а затем приваривается к поясам фермы,
- 4- фибробетонный блок после процесса твердения,

Моделирование узлов из ГСП соединения локального К-образного типа, усиленного фибробетонным элементом.

По формуле (1) определяется длина фибробетонного блока:

$$L = L_f + 2h \quad (1)$$

$$L_f = \frac{h_0}{\cos \alpha} + \frac{h_0}{\cos \alpha} + 2g \quad (2)$$

где h - высота поперечного сечения пояса;
 h_0 - высота поперечного сечения раскоса;
 $2g$ - расстояние между носками раскосов;
 α - угол примыкания раскоса.

По формуле (3) определяется значение изгибающего момента в произвольном сечении, а-а (рис. 1) фибробетонного блока:

$$M = \frac{N_1 \sin \alpha \cdot x^2}{L} \quad (3)$$

где N_1 - сосредоточенная нагрузка;
 L - пролетный блок;

Для определения НДС в фибробетонном блоке, находящемся в равновесии под действием системы внешних сил. Пусть требуется определить внутренние усилия в произвольном сечении, а-а этого блока (рис. 1). Мысленно рассечем его по сечению, а-а на две части, обычно оставляется та часть, при рассмотрении получится более простое решение.

Условия равновесия:

1. Сумма проекций всех сил на вертикальную ось равна нулю: $\sum F_y = 0$;
2. Сумма проекций всех сил на горизонтальную ось равна нулю: $\sum F_x = 0$;
3. Сумма проекций всех сил на вертикальную ось равна нулю: $\sum M_y = 0$;

Фибробетонный блок нагружен сосредоточенными нагрузками, точки приложения которых расположены на расстоянии 175 см от опоры фибробетонного блока. Нагрузка применялась поэтапно, значения принимались равными 127 кН [14].

Использование современных программных комплексов позволяет проводить многочисленные вариативные исследования, сочетающие различные нагрузки и вариативность прочностных и деформационных характеристик материалов (конструкционный бетон, высокопрочный бетон для железобетонных балок), а также сравнить результаты, полученные с помощью ANSYS Workbench, с аналитическими результатами расчета [15]. В данном исследовании использовался один из самых современных универсальных программных комплексов ANSYS Workbench [15].

3. Результаты и обсуждение

Аналитические расчеты проводились в соответствии с [17]. Для анализируемого фибробетонного блока варьировались размеры сечения и длина блока [18]. В следующей таблице приведены значения нормальных напряжений в фибробетонном блоке с учетом изгибающего момента и сосредоточенной нагрузки для шести различных поперечных сечений блоков [19].

Таблица

Результаты аналитических расчетов фибробетонного блока

№	Нагрузка, кН	Изгибающей момент, кН*м	Напряжение, МПа
1	127	11.2	50.488
2	127	11.2	38.888
3	127	11.2	30.578
4	127	11.2	24.489
5	127	11.2	19.911
6	127	11.2	16.406

На рис.2 представлены результаты численного моделирования ПК «AnsysWorkbench», при котором исследование конструкции проводилось с учетом реальной работы в расчетном сечении фибробетонного блока 110x110 мм [16], с использованием диаграммы работы «сжатие-растяжение».

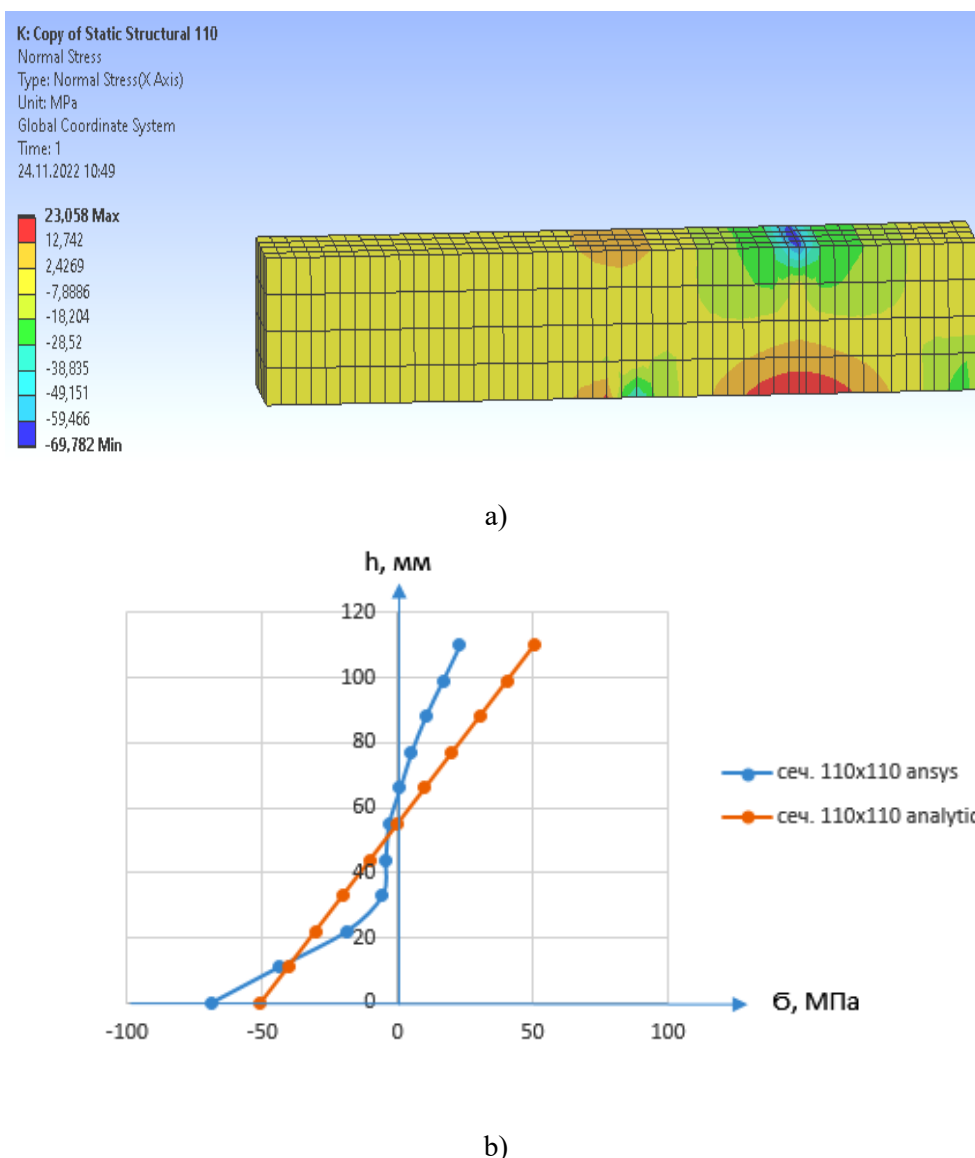


Рис. 2. а) мозаика напряжения фибробетонного блока, б) эпюры нормальных напряжений в сечении фибробетонного блока:
(иллюстрация авторов)

Fig.2.a) stress mosaic of a fiber concrete block, b) diagrams of normal stresses in the cross section of a fiber concrete block:
(illustration by the authors)

Численные расчеты усиленного узла, как упомянуто [19], проводились с помощью ПК «Ansys Workbench». В качестве усиления узлов ферм из ГСП применен фибробетонный блок. Результаты расчетов – мозаика напряжений вдоль произвольной оси блока, представлены на рис. 3. Также на рис. 3 представлены нормальные напряжения в отдельной расчетной модели фибробетонного блока, нагруженной сосредоточенной силой.

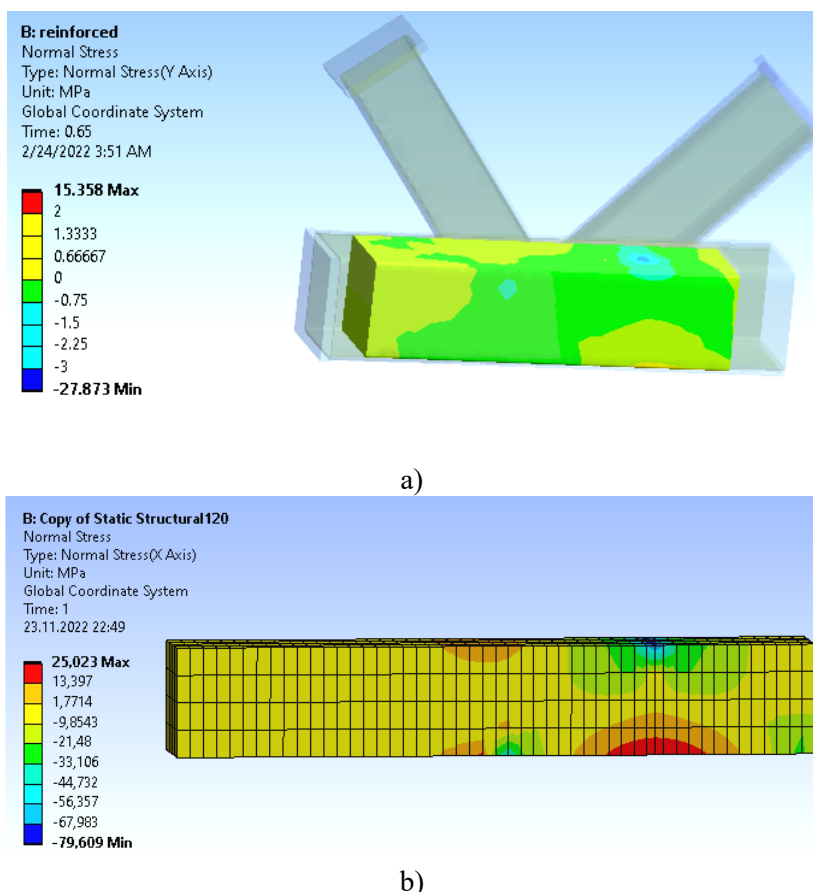


Рис. 3. а) нормальное напряжение в узле, б) нормальное напряжение в фибробетонном блоке (иллюстрация авторов).

Fig.3. a) normal stress in the node, b) normal stress in the fiber concrete block (illustration by the authors)

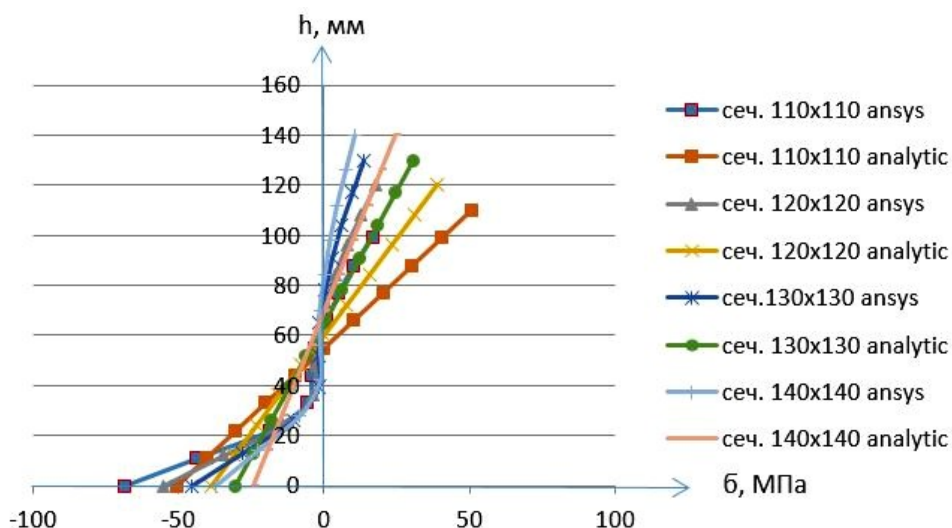


Рис. 4. эпюры распределения нормальных напряжений по сечению фибробетонного блока (иллюстрация авторов)

Fig.4. diagrams of distribution of normal stresses over the cross section of a fiber-reinforced concrete block (illustration by the authors)

На рис.4 представлен анализ нормальных напряжений с учетом изгибающего момента в расчетных сечениях фибробетонных блоков различных габаритов и длины. Статическая схема работы фибробетонного блока соответствует промежуточному случаю между балкой и «балкой-стенкой». Вследствие чего предложено ввести в расчет бетонного блока по балочной схеме с учетом поправочного коэффициента – коэффициент действительных напряжений.

Следующее уравнение используется для получения коэффициентов действительного напряжения при сжатии и растяжении:

$$\xi = ax^2 - bx + c \quad (4)$$

где a , b , c - коэффициенты (фиксированы);

$x=L/h$ - отношение длины фибробетонного блока к высоте его поперечного сечения;

По формуле (5) рассчитаем напряжения в фибробетонных блоках с учетом изгибающего момента, момента сопротивления и коэффициента действительных напряжений (рис. 4):

$$\sigma_{сж} = \frac{M * \xi_{сж}}{W} \quad (5)$$

Если площадь поперечного сечения квадратная, то момент сопротивления оси x равен моменту сопротивления оси y ;

$$W_x = W_y = \frac{b * h^2}{6} \quad (6)$$

где M - изгибающей момент;

W - момент сопротивления;

b - ширина поперечного сечения;

h - высота поперечного сечения;

ξ_c - коэффициент действительного напряжения при сжатии ($\xi_c = 1.367$);

Данный коэффициент действительных напряжений для соединений К-образных типов узлов ферм из ГСП, заполненных бетоном, выше для сжатых, чем для растянутых фибр. Сравнение с результатами аналитического моделирования продемонстрировало, что вышесказанное имеет разумную точность в прогнозировании прочности на изгиб при продавливании заполненных бетоном соединений узлов К-образного типа.

Локальное бетонное заполнение узлов К-образного типа как альтернатива ребрам жесткости, привариваемым снаружи к поясам ферм из ГСП, является достаточно хорошим конструктивным решением, увеличивающим прочность, жесткость и усталостную выносливость конструкций.

Численная модель анализируемого соединения более точно отражает его поведение при передаче нагрузки. Аналитическая модель содержит некоторые упрощения и обобщения, целью которых является оценка НДС фибробетонного блока, так как рассмотрено НДС пояса и расколов в работе [14].

Основные результаты исследования:

1. Выполненные аналитические исследования позволили определить напряженно-деформированные состояния в фибробетонном блоке [23]. При этом блок разрезается по рассматриваемому сечению, и создаются условия равновесия отсеченной части блока. Для определения изгибающих моментов, поперечных и продольных сил в фибробетонном блоке эти условия сводятся к равенству нулю суммы проекций всех сил на оси блоков.

$$\sum F_x = 0, \sum F_y = 0, \sum M = 0,$$

2. Разработаны уравнения, на основе которых можно анализировать напряжения в различных сечениях фибробетонного блока.

3. Разработаны уравнения, на основе которых можно анализировать коэффициенты, приведены действительные напряжения при сжатии и растяжении $\xi = ax^2 + bx + c$ с коэффициентами $a=0.399$, $b=2.567$, $c=5.494$.

4. Анализ полученных результатов численного моделирования показывает, что напряжения в сжатой части сечения больше, чем в растянутой.

5. Нормальные напряжения можно учитывать с учетом изгибающего момента и момента инерции или момента сопротивления в элементах конструкции из-за отсутствия осевых сил.

6. Анализ результатов численных исследований узлов позволил выявить места концентрации напряжений (рис. 3) в поясе, которые располагаются в сечении под пятками расколов и непосредственно в месте примыкания расколов к поясу.

4. Заключение

По результатам работы можно сделать следующие выводы:

1. Определена независимая расчетная схема фибробетонного блока, наиболее близко отражающую его НДС в составе расчетной модели узла, включающего раскосы и пояса фермы.
2. Установлена применимость балочной аналогии к расчетной схеме фибробетонного блока.
3. Предложена методика расчета фибробетонного блока с учетом балочной аналогии.

Список литературы / References

1. Кикин А. И, Туль В. А, Санжаровский Р. С, конструкции из стальных труб, заполненных бетоном. М.: Москва Стройиздат, – 1974. –74с.[Kikin A.I., Tull V.A., Sanzharovsky R.S., Structures made of square hollow sections filled with concrete // Moscow Stroyizdat M.; - 1974. - p.74].
2. Лихтарников Я. М. Исследование узлов рамного типа из гнутых профилей / Я. М. Лихтарников, Г. Я. Эстрин // Промышленное строительство. 2016. – № 10. – С. 32–34.[Likharnikov Ya. M. Research of frame-type units from square hollow sections// Industrial construction M.; - 1971. - №10. - S. 32–34].
3. Перминов Д.А. исследование напряженного состояния узлов из гнутых профилей замкнутого сечения // строительство и техногенная безопасность М.; 2017. №7.с.47-53. [Perminov D.A. study of the stress state of nodes from square hollow sections of a closed section // Construction and technogenic safety M.; - 2017. - No. 7. – с.47 – 53].
4. Пат. 2 756 260 Российская Федерация. Способ усиления поясов в узле трубчатой фермы/ Кузнецов И.Л, ГимрановЛ.Р.; патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Казанский государственный архитектурно-строительный университет»- № 2021105350, заяв. 01.03.2021; опубли. 28.09.2021, Бюл. № 28-С.5.[Pat. 2,756,260 Russian Federation. The method of reinforcing SHS in the node of a tubular truss / Kuznetsov I.L., Gimranov L.R.; patent holder Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Professional Education «Kazan State University of Architecture and Engineering»–№. 2021105350, application. 03/01/2021; publ. 09/28/2021, Bull. No. 28-C.5.]
5. GianlucaR., GrazianoL., RiccardoZ. State of the art on the time-dependent behaviour of composite steel–concrete structures// Journal of Constructional Steel Research. 2013. Vol. 80. P. 252– 263. Dio:10.1016/j.jcsr.2012.08.005.
6. Chao H., Lin-Hai H., TingM., ShanH.Analytical behavior of CFST chord to CHS brace truss under flexural loading// Journal of Constructional Steel Research. –2017. Vol. 134. P.66 – 79.Dio:10.1016/j.jcsr.2017.03.008.
7. Silin Ch,ChaoH, HaoZh.Reliability-based evaluation for concrete-filled steel tubular (CFST) truss under flexural loading// Journal of Constructional Steel Research. 2020.Vol. 169. P. – p.110 –121.Dio:10.1016/j.jcsr.2020.106018.
8. Wenjin H., Zhichao L.Experimental behavior and analysis of prestressed concrete-filled steel tube (CFT) truss girders// Engineering Structures. 2017.vol. 152. p.607– 618.Dio:10.1016/j.engstruct.2017.09.035.
9. Yiyan Ch., Jucan D.Flexural behavior of composite box girders with corrugated steel webs and trusses// Engineering Structures. 2020. Vol. 209. p.73 – 82.Dio:10.1016/j.engstruct.2020.110275.
- 10.Fong M., Chan L. Advanced design for trusses of steel and concrete-filled tubular sections // Engineering Structures. 2011.vol. 33. p.3162 – 3171.Dio:10.1016/j.engstruct.2011.08.002.
- 11.Silin Ch., Chao H.Structural behavior and reliability of CFST trusses with random initial imperfections// Thin-Walled Structures. 2019. Vol. 143. p.41– 52.Dio:10.1016/j.tws.2019.106192.
- 12.Daihai Ch., Wenze W., Zheng Li. Comparative analysis of seismic performance of 122-meter long concrete-filled steel tube arched chord truss bridge before and after reinforcement // Journal ofasian architecture and building engineering. 2020. Vol. 19. P. 90 – 102. Dio; 10. 1080/13467581 .2020.1716772.

13. Bakirof Z. H., Vatin N. Stress-strain state of bending reinforced beams with cracks// Magazine of Civil Engineering. 2020. №9701. – p.58 – 71. Doi. 18720/MCE.97.1.
14. Josef M., Martin C. Composite steel and concrete bridge trusses// Engineering Structures. 2011. Vol. 33. p.3136 – 3142. Dio:10.1016/j.engstruct.2011.08.017.
15. Jacek N. An analytical and numerical assessment of the load capacity of the K-joint of flat steel trusses// Engineering Structures. 2019. №25. p.168 –173. DOI: 10.17512/znb.2019.1.26.
16. Gimranov L. R. Locally concrete filled reinforced joints of RHS and SHS trusses. Proceedings of STCCE. 2021. Vol. 169. – p.58 – 71.
17. Chao H., Lin-Hai H, Xiao-Ling Zh. Concrete-filled circular steel tubes subjected to local bearing force// Journal of Constructional Steel Research. 2020. Vol. 23. p.665 – 676. Dio:10.1016/j.istruc.2019.12.008.
18. Ran F., Ben Y. Tests of concrete-filled stainless steel tubular T-joints// Journal of Constructional Steel Research. 2019. Vol. 64. p.1283–1293. Dio:10.1016/j.jcsr.2008.04.011.
19. Chao H., Lin-Hai H., Lin-Hai H., Xiao-Ling ZH. Concrete-filled circular steel tubes subjected to local bearing force: Experiments// Journal of Constructional Steel Research. 2013. Vol. 83. p. 90–104. Dio:10.1016/j.jcsr.2013.01.008.
20. Wenjin H., Luigi F., Baochun Ch., Bruno B. Experimental study on K-joints of concrete-filled steel tubular truss structures// Journal of Constructional Steel Research. 2015. Vol. 107. p. 182–193. Dio:10.1016/j.jcsr.2015.01.023.
21. Lin-Hai H., Wu Xu., Shan-Hu He., Zhong T. Flexural behaviour of concrete filled steel tubular (CFST) chord to hollow tubular brace truss// Journal of Constructional Steel Research. 2015. vol. 109. p.137 – 151. Dio:10.1016/j.jcsr.2015.03.002.
22. Yu Ch., Ran Fe., Shengwei G. Experimental study of concrete-filled multiplanar circular hollow section tubular trusses// Thin-Walled Structures. 2015. Vol. 94. p. 199–213. DIO:10.1016/j.tws.2015.04.013.
23. Ю.В.Евстигнеева, Р.А.Ибрагимов, Технология бетонирования самоуплотняющегося сталефибробетона в зимних условиях, статья / Материалы XIII Международной научно-технической конференции молодых ученых, посвященной памяти профессора В.И.Калашникова, // Пенза: Пензенский государственный университет архитектуры и строительства, 2018. – С. 35-39. – EDN NVHDKR [Yu. V. Evstigneeva, R. A. Ibragimov, Technology of concreting self-compacting steel fiber concrete in winter conditions/ Penza: Penza State University of Architecture and Construction, 2018. - P. 35-39. – EDN NVHDKR]

Информация об авторах

Гимранов Линур Рафаилович, кандидат технических наук, доцент, Казанский государственный архитектурно-строительный университет, г. Казань, Российская Федерация.

Email: leenuur@gmail.com

Пажвак Абдурахман, аспирант, Казанский государственный архитектурно-строительный университет, г. Казань, Российская

Email: pazhwak_2008@yahoo.com

Information about the authors

Linur R. Gimranov, Candidate of Technical Sciences, Kazan State University of Architecture and Engineering, Kazan, Russian Federation.

Email: leenuur@gmail.com

Abdurahman Pazhwak, post-graduate student, Kazan State University of Architecture and Engineering, Kazan, Russian Federation.

Email: pazhwak_2008@yahoo.com