

DOI: 10.34031/2071-7318-2023-8-6-26-34

**Кладиева П.В.**

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

E-mail: davidenkopolly@mail.ru

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РАСЧЕТНОЙ ПРОЧНОСТИ СТАЛЬНЫХ ЗУБЧАТЫХ ЛЕНТ В СОСТАВЕ АРМИРОВАННЫХ ЯЧЕИСТОБЕТОННЫХ БАЛОК

**Аннотация.** Основной проблемой армированных изгибаемых конструкций, выполненных из ячеистого бетона, является достаточно низкое удельное сцепление на границе арматуры с бетоном, негативно влияющее на выдергивание арматуры из пористого массива и приводящее к преждевременной потере несущей способности конструкции в целом конструкций. Недооцененность существенного потенциала неиспользованной несущей способности конструкции при применении традиционного армирования, предусматривает необходимость совершенствования подходов к армированию изгибаемых ячеистобетонных конструкций. Эффективное армирование ячеистобетонных конструкций предлагается осуществлять арматурными элементами с развитой боковой поверхностью – стальными зубчатыми лентами (СЗЛ), существенно повышающими площадь контакта и качественно улучшающими контактные условия. На этапе расчетного обоснования проанализированы результаты экспериментального исследования прочности и деформативности образцов инновационных арматурных элементов стальных зубчатых лент, обладающих различными конфигурациями продольной перфорации, способствующих снижению металлоемкости ячеистобетонных конструкций, работающих на изгиб, и напрямую улучшающих их функциональные характеристики – термическое сопротивление и волнопроводимость. Выявленные вариации физико-механических свойств арматуры в связи с изменяющейся схемой ее продольной перфорации и усредненные характеристики арматуры, используемые при расчетном анализе армированных ячеистобетонных конструкций, использованы для предложения практических подходов к нормированию величин характеристик и технологий расчета, армированных ячеистобетонных конструкций.

**Ключевые слова:** армированный ячеистый бетон, ячеистобетонные изгибаемые конструкции, ленточная арматура, стальная зубчатая лента, прочность и деформативность стальной зубчатой ленты, двухлинейная диаграмма стали.

**Введение.** Проблема недостаточно полного включения поверхности арматуры в работу конструкции наиболее часто встречается при проведении экспериментальных исследований, изгибаемых ячеистобетонных конструкций [1]. Изгибаемые ячеистобетонные элементы принято армировать либо дисперсно, путем распределения по объему большого количества стержней малого диаметра, либо дискретно – отдельными арматурными элементами. Дискретное армирование ячеистобетонных конструкций однозначно имеет преимущества перед дисперсным за счет более технологичного локализованного распределения армирующих элементов в объеме пористой конструкции, а также их большего включения в совместную работу бетона и арматуры [2]. Но при этом, основной проблемой изгибаемых ячеистобетонных конструкций со стержневым армированием является достаточно низкое удельное сцепление на границе арматуры с бетоном, негативно влияющее на выдергивание арматуры из пористого массива и приводящее к преждевременной потере несущей способности конструкции в целом. Недооцененность существенного потенциала неиспользованной несущей способности кон-

струкции при применении традиционного армирования, предусматривает необходимость совершенствования подходов к армированию изгибаемых ячеистобетонных конструкций [3].

Эффективное армирование ячеистобетонных конструкций предлагается осуществлять арматурными элементами с развитой боковой поверхностью – стальными зубчатыми лентами СЗЛ [4]. Армирование стальными зубчатыми лентами позволяет существенно повысить площадь контакта и качественно улучшить контактные условия на границе бетон-сталь, обеспечивающие:

- лучшее сцепление армирующего элемента с ячеистым бетоном конструкции [5];
- лучшее использование прочности армирующего элемента в работе конструкции;
- большую дисперсию армирования, влекущую большую жесткость конструкции;
- большую долговечность, надежность и безопасность ячеистобетонного армированного изгибаемого элемента [6].

Будучи инновационным и, в этой связи, малопредставленным в нормах, армирующим элементом, СЗЛ нуждаются в экспериментальном исследовании физико-механических свойств,

факторов действительной работы в составе армированной конструкции и нормировании параметров, влияющих на прочность и деформативность армируемой конструкции, полагаемых в основу планируемой инженерной методики рационального проектирования арможестобетонных изгибаемых конструкций [7].

**Методика.** Для обоснования достоверности выдвинутых научных гипотез и проверки результатов численных исследований [8] эксперимента выполнена часть планируемой программы экспериментальных исследований, в части испытания арматурного элемента СЗЛ на разрыв согласно ГОСТ 1497-84 «Металлы. Методы испытания на растяжение». Работа выполнена с использованием оборудования центра коллективного пользования БГТУ им. В.Г. Шухова в составе проекта Пр-18/22 программы Приоритет 2030.

**Основная часть.** Проектирование элементов обязательно включает этап расчетного обоснования, в связи с чем необходимо установить фактические физико-механические характеристики предлагаемых арматурных элементов в широкой номенклатуре варьируемого поперечного сечения, определяющего разнообразия арматуры под различные проектные задачи [9]. В настоящей работе обобщаются и анализируются результаты экспериментального исследования прочности и деформативности образцов СЗЛ, об-

ладающих различными конфигурациями продольной перфорации, определены усредненные характеристики арматуры, используемые при расчетном анализе армированных жестобетонных конструкций, предложены практические подходы к нормированию величин характеристик и технологий расчета совершенствованием нормативной нелинейной методики, выявлены вариации физико-механических свойств арматуры в связи с изменяющейся схемой ее продольной перфорации.

Перед проведением испытаний образцов были определены методические подходы к классификации нового предлагаемого класса арматурных элементов – СЗЛ [10]. Экспериментальное определение физико-механических характеристик проводилось на шести вариантах образцов варьирующейся продольной перфорации (рис. 1), маркированных следующим образом:

ШС.ШО.ШС.ШО.ШС.ШО.ШС-О(З)-ДлО.ДлП,

где ШС, ШО... – ширины (мм) чередующихся стальных фрагментов и отверстий слева-направо вдоль поперечного сечения образца;

О(З) – отверстие без зуба (О) или с зубом (З) – отогнутой вокруг короткой стороны стальной пластины в отверстии;

ДлО, ДлП – длина отверстия (мм), длина стальной перемычки между отверстиями, соответственно, вдоль продольного сечения образца.

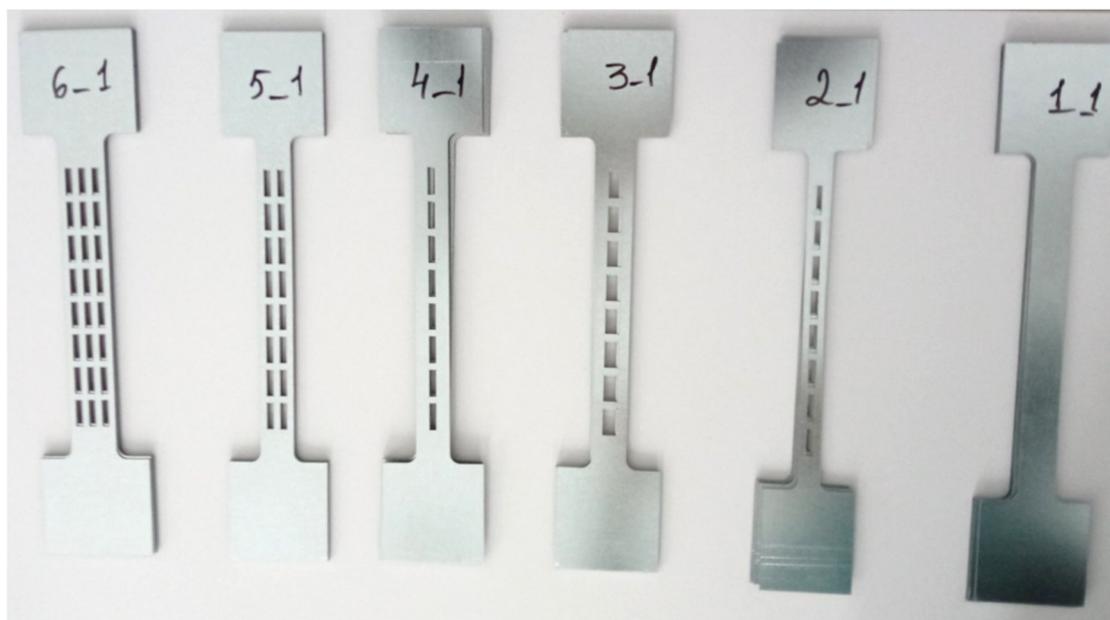


Рис. 1. Образцы СЗЛ изменяемой продольной перфорации (слева-направо: серия 6 (5.5.5.5.5.5.5.5-О-20.5), серия 5 (5.5.5.5.5-О-20.5), серия 4 (10.5.10-О-20.5), серия 3 (7,5.10.7,5-О-20.5), серия 2 (5.5.5-О-20.5), серия 1 (без перфорации, ширина 25 мм)

Стальные ленты для испытаний выполнены в виде типовых пропорциональных плоских образцов длиной 500 мм различной ширины в зависимости от конфигурации одиночной, двойной и

тройной перфорации и ее размеров. Материал образцов лент – оцинкованная сталь 1 сорта марки 08пс класс цинкового покрытия 100 толщина металла 1 мм по ГОСТ 14918-2020 «Прокат листовой горячеоцинкованный». Ленты изготовлены

немеханическим способом обработки металла, для их производства использовалась технология лазерной резки металла, позволяющая достигать высочайшей точности разреза, что подтверждается натурными замерами полученных образцов – погрешность геометрических размеров минимальна и не превышает предельно допустимую [11].

Испытания выполнялись на универсальной разрывной испытательной машине серии WEW-600D для установления фактических характеристик механических свойств образцов: модуля упругости, физического и условного предела текучести, временного сопротивления, относительного равномерного удлинения [12].

Внешний вид испытанных образцов СЗЛ изменяемой продольной перфорации серии 6

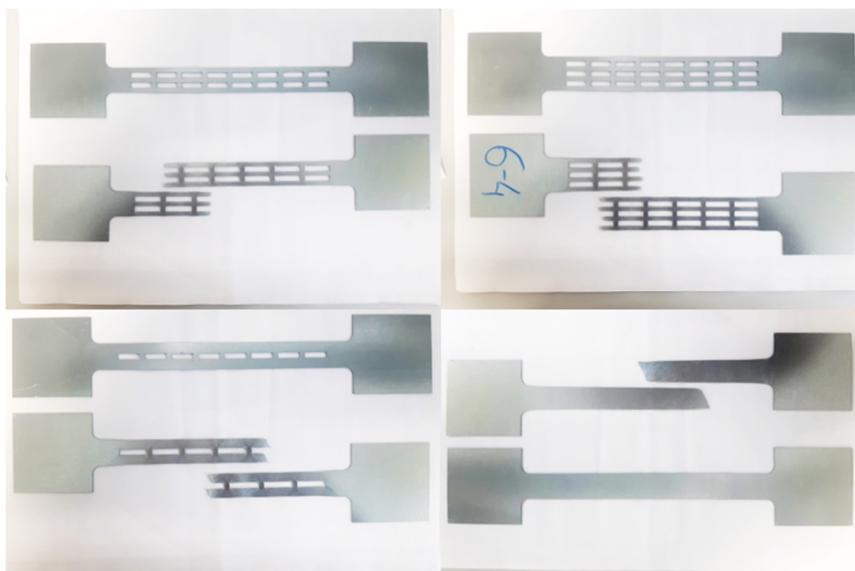


Рис. 2. Внешний вид образцов лент изменяемой продольной перфорации до и после разрыва

Физико-механические свойства образцов серии 2 (5.5.5-О-20.5) по результатам испытаний представлены на рисунке 3 в форме диаграммы  $\sigma - \epsilon$ . Полученная экспериментальная диаграмма  $\sigma - \epsilon$  является характерной для пластичных материалов, что позволяет ее привести к упрощенной двухлинейной диаграмме поведения стали – диаграмме Прандтля. А также выделить на ней основные ключевые точки (нижний рис. 3). Крайняя верхняя точка начального прямолинейного участка диаграммы определяет предел пропорциональности стали порядка 290 МПа, до нее зависимость напряжений от относительных деформаций линейна: напряжения прямо пропорциональны деформациям, что характерно для большинства материалов и описывается законом Гука. Максимальное напряжение, до которого в материале не возникает пластических деформаций определяет предел упругости стали – 340

(5.5.5.5.5-О-20.5), серии 5 (5.5.5.5.5-О-20.5), серии 2 (5.5.5-О-20.5), серии 1 (без перфорации, ширина 25 мм) представлены на рисунке 2. Величина относительного удлинения является основным показателем пластичности исследуемой стали при испытании на растяжение. Относительное удлинение, зарегистрированное при разрушении образцов, составляет порядка 20 % от начальной расчетной длины образца.

Физико-механические свойства образцов серии 2 (5.5.5-О-20.5) по результатам испытаний представлены на рисунке 3 в форме диаграммы  $\sigma - \epsilon$ . Также приведены параметры усредненной по образцам двухлинейной диаграммы по п. 6.2 СП 63.13330.2018, усредненные прочности  $R_y$  и  $R_s$  и начальный модуль деформации  $E$ .

МПа. После прохождения предела пропорциональности, зависимость между напряжениями и деформациями меняется, и закон Гука становится неактуальным и материал начинает вести себя пластично. Линия, движущаяся параллельно оси деформаций  $\epsilon$ , и образующая горизонтальный участок диаграммы представляет площадку текучести и определяет предел текучести стали равный 327 МПа. Максимальное напряжение, которое возникает в образце перед началом разрушения, определяет предел прочности стали или временное сопротивление разрыву составляет 361 МПа (верхний рис. 3). В результате обработки данных, установлено расчетное сопротивление металла  $R_y = 327$  МПа, начальный модуль деформации  $E = 155714$  МПа. Также на рисунке 3 приведены параметры усредненной по образцам двухлинейной диаграммы по п. 6.2 СП 63.13330.2018, усредненные прочности  $R_y$  и  $R_s$  и начальный модуль деформации  $E$ .

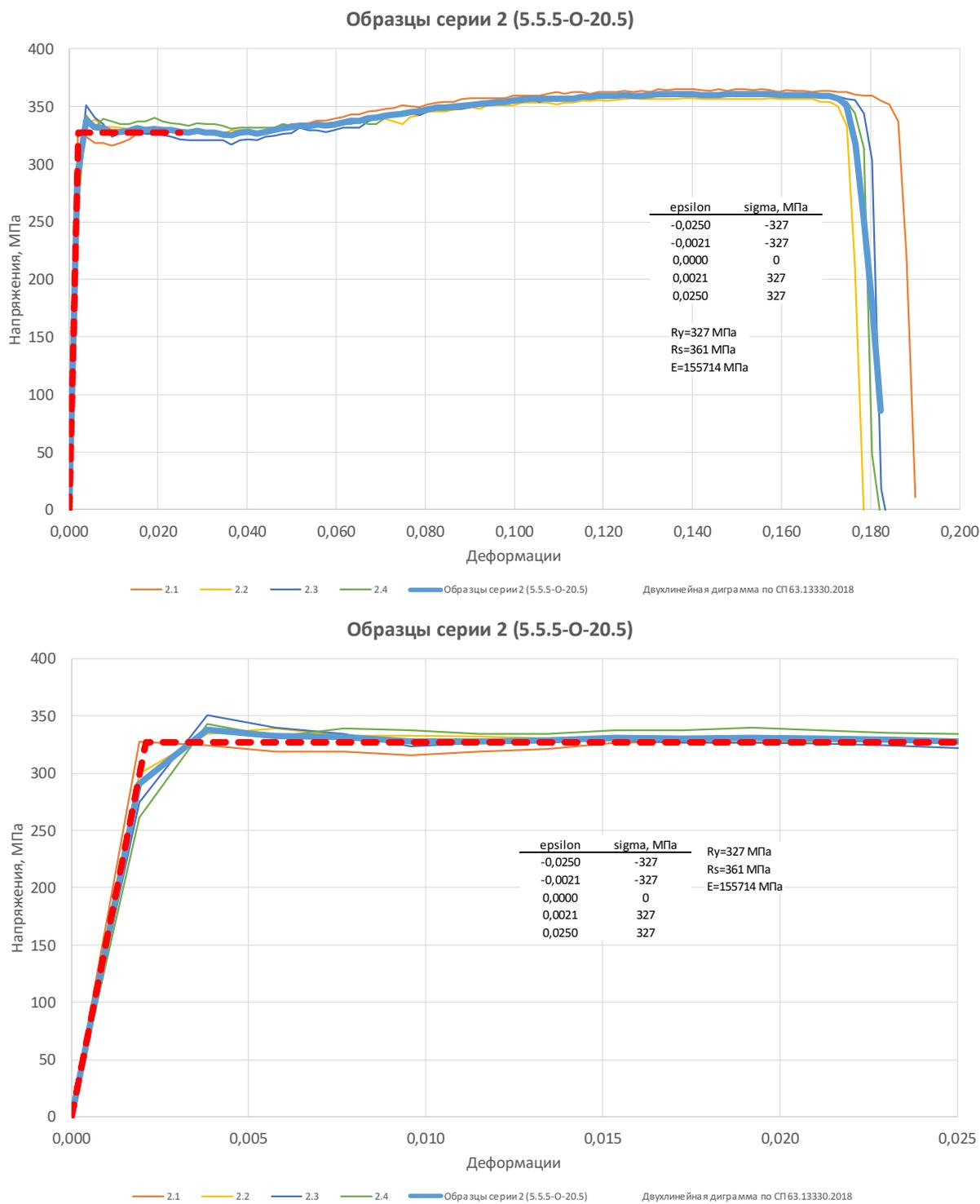


Рис. 3. Физико-механические свойства образцов серии 2 (5.5.5-O-20.5): сверху — диаграмма стали образца в диапазоне деформаций от 0 до разрушения, внизу — то же в диапазоне деформаций от 0 до  $\epsilon_{s2}$ ; параметры усредненной по образцам двухлинейной диаграммы по п. 6.2 СП 63.13330.2018, усредненные прочносты  $R_y$  и  $R_s$  и начальный модуль деформации  $E$

Разработка инженерной методики рационального проектирования СЗЛ требует экспериментального определения и математического моделирования краевых процессов, происходящих у отверстий – ослаблений сечения СЗЛ, получаемых при их производстве. Приступив к формулировке научно-теоретических положений инженерной методики после обработки результатов

численных исследований арматурных элементов, автором были выявлены некоторые необходимые для инженерной методики регрессионные зависимости параметров двухлинейных диаграмм состояния стального элемента от приведенной площади его поперечного сечения (рис. 4), в которой неравнозначно учитывались вырезы по ширине ленты с учетом количества вырезов и их расположения. Предполагаемая зависимость

между количеством и размерами отверстий, общей площадью поперечного сечения, количеством краевых и центральных зон сохранения элементом поперечного сечения и действующими

в элементе усилиями при общем центральном растяжении, как армирующем элементе изгибаемой балки, была сформулирована в виде коэффициента концентрации напряжений, изменяемого по ширине элемента [13].

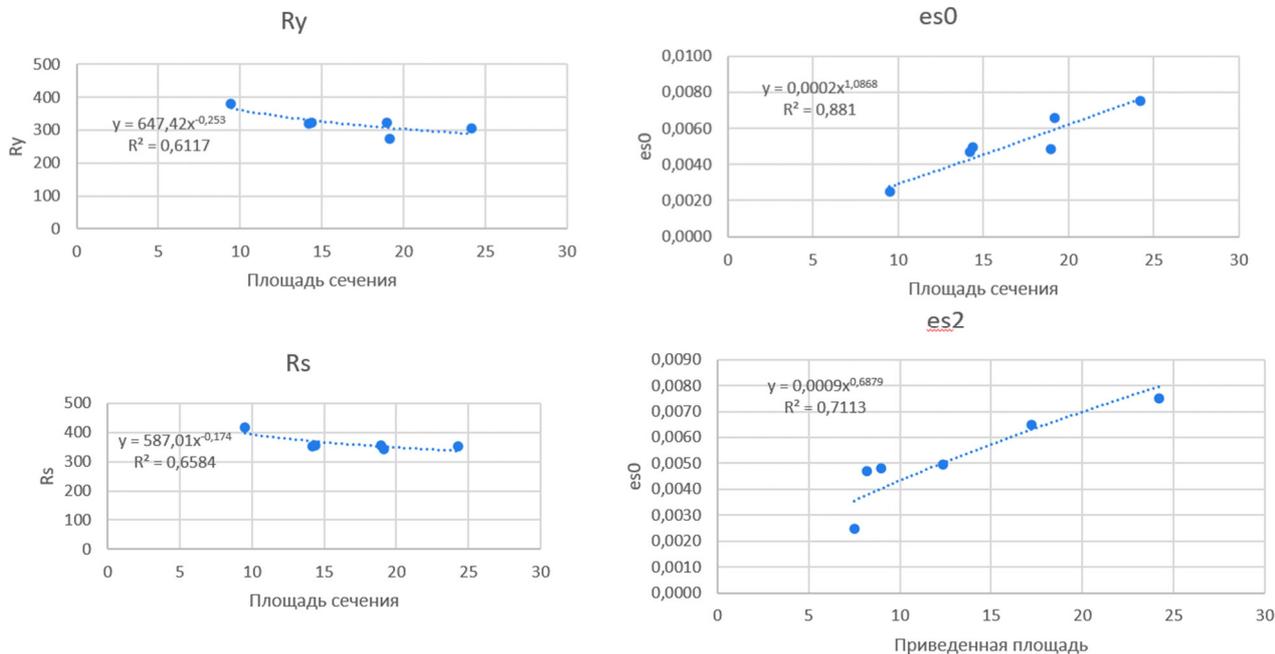


Рис. 4. Графики зависимости параметров ( $R_y$  – левый верхний,  $R_s$  – левый нижний,  $E_{s0}$  – правый верхний,  $E_{s2}$  – правый нижний) двухлинейных диаграмм состояния СЗЛ от приведенной площади поперечного сечения с учетом коэффициента напряжения

Выявленные зависимости параметров представлены графиками элементарных степенных функций. Зависимость расчетного сопротивления  $R_y$  от приведенной площади поперечного сечения (левый верхний график рис. 4) описывается убывающим графиком степенной функции с действительным показателем степени: при увеличении площади поперечного сечения образца отмечается снижение расчетного сопротивления стали. Зависимость временного сопротивления  $R_s$  от приведенной площади поперечного сечения (левый нижний график рис. 4) также представляет аналогичную степенную функцию, описанную убывающим графиком, по которому при увеличении площади поперечного сечения образца отмечается снижение временного сопротивления стали разрыву. Зависимость параметра остаточных деформаций  $E_{s0}$  от приведенной площади поперечного сечения (правый верхний график рис. 4) представлена возрастающим графиком степенной функции с иррациональным показателем, где при увеличении площади поперечного сечения образца отмечается рост остаточных деформаций. Зависимость относительных деформаций  $E_{s2}$  от приведенной площади поперечного сечения (правый нижний график рис. 4) описана возрастающим графиком степенной функции с иррациональным показателем, по

которому видно, что с увеличением площади поперечного сечения также отмечается возрастающие относительные деформации стального образца. Коэффициент детерминации ( $R^2$ ) всех графиков находится в диапазоне до 1: от 0,6117 до 0,881, что отражает допустимое качество регрессионной модели, описывающей связь между зависимой и независимыми переменными модели.

Отклонения изменений от линейного как раз и определяют разнообразие размера и расположения отверстий, формирующих индивидуальный для каждого элемента набор концентраторов напряжения, способствующих перераспределению усилий и требующих учета при построении модели. Вырезы, примыкающие к краю сечения, оценивались как концентратор напряжения в 2 раза менее значимый, чем вырезы, расположенные в центре [14].

Что также подтверждается выполнением нелинейного физического расчета в специализированном софте ПК ЛИРА-САПР 2022 (рис. 4): в точках контура отверстий напряжения разнятся порядка 2 раз, что и послужило первым приближением к оценке влияния концентраторов через приведенную площадь. Для определения уточненного коэффициента влияния концентратора напряжений при учете положения и размеров выреза отверстий по длине лент планируется прове-

дение ряда оптимизационных расчетов [15]. Конечной целью эксперимента является определение параметров физико-механических характе-

ристик армирующего элемента в нелинейно-деформированной постановке прямой задачи, определяемой двухлинейной диаграммой материала в соответствии с п. 6.2 СП 63.13330.2018.

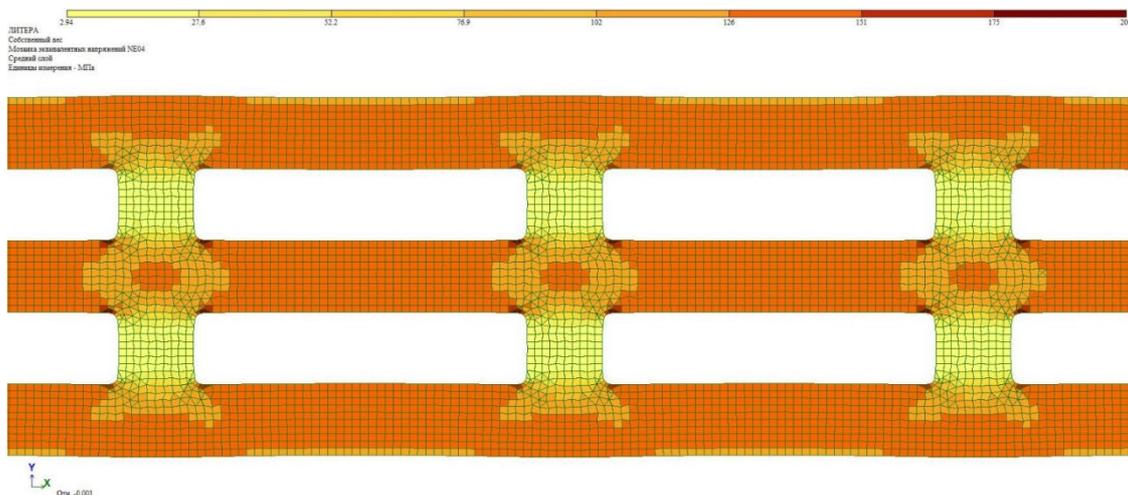


Рис. 4. Оценка влияния концентраторов напряжений в арматурных элементах через приведенную площадь лент, МПа

**Выводы.** Элементы СЗЛ могут быть аппроксимированы двухлинейной диаграммой стали, используемой при расчете армированных ячеистобетонных изгибаемых элементов по прогрессивной нелинейно-деформируемой модели как с использованием положений СП 63.13330.2018, так и в специализированном ПО, методом конечных элементов.

Результаты испытаний образцов варьируемых параметров перфорации в продольном направлении продемонстрировали небольшую значимость геометрических характеристик перфорации на прочность СЗЛ. Характеристикой, определяющей прочность элемента в составе ячеистобетонной конструкции является чистая площадь сечения, а геометрические характеристики перфорации, предположительно, имеют существенное влияние на прочность сцепления элемента с ячеистым бетоном в массиве конструкции, что оказывает влияние на величину усилий продергивания арматуры и коэффициент ее конструктивного использования в элементе.

Получаемые перфорацией элемента отверстия приводят к повышению ресурсоемкости элемента за счет некоторого количества неиспользуемого удаляемого материала. Рациональным направлением совершенствования СЗЛ является недорез отверстия с оставлением одной из граней отверстия нетронутой, выгибом стального фрагмента в зуб, и предполагаемым повышением прочности сцепления с бетоном за счет усложнения напряженно-деформированного состояния элемента и снижения абсолютных значений касательных напряжений на поверхности арматуры.

Использование алгоритмов и методик, результатов численных и экспериментальных исследований позволят верифицировать область рационального использования инновационных армирующих элементов и в конечном итоге сделать предложение к совершенствованию строительных норм в части СП 63.13330.2018 «Бетонные и железобетонные конструкции» и СП 20.13330.2016 «Нагрузки и воздействия» для рационального проектирования ячеистобетонных изгибаемых элементов прямоугольного поперечного сечения произвольных размеров и армирования, раскрывающих перспективы практического использования при проектировании конструкций домокомплектов малоэтажных зданий, обеспечивающих полный переход на использование ячеистого бетона в ограждающих и несущих конструкциях и возведение энергоэффективных зданий с замкнутым тепловым контуром экономически конкурентоспособного ценового уровня.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Макаричев В.В., Милейковская К.М. Исследование армированных конструкций из ячеистых бетонов. М.: Гостройиздат, 1963. 99 с.
2. Ефимов О.И., Замалиев Ф.С., Ласьков Н.Н., Аль-хаснави Я.С.Г. К оценке прочности изгибаемых сталебетонных элементов из ячеистого бетона, армированных холодногнутым профилем // Строительная механика и расчет сооружений. 2021. № 6 (299). С. 7–12. DOI: 10.37538/0039-2383.2021.6.7.12
3. Karaburc S.N., Yildizel S.A., Calis G.C. Evaluation of the basalt fiber reinforced pumice

lightweight concrete // Magazine of Civil Engineering. 2020. № 2 (94). С. 81–92. DOI: 10.18720/MCE.94.7

4. Наумов А.Е., Юдин Д.А., Долженко А.В., Прахова А.А., Кучеренко А.С. Интеллектуализация технологических процессов строительной технической экспертизы // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2022. № 12. С. 28–38. DOI: 10.34031/2071-7318-2022-7-12-28-38

5. Аль-Хаснави Я.С.Г., Ласьков Н.Н., Ефимов О.И., Замалиев Ф.С. К вопросу о проектировании балки из ячеистого бетона с жёсткой арматурой // Региональная архитектура и строительство. 2021. № 3 (48). С. 137–143.

6. Efimov O., Salimov A. Stress-strain state prediction for statically indeterminate system with accounting for malfunctioning of rod elements production // В сборнике: IOP CONFERENCE SERIES. Materials Science and Engineering. Kazan, Russia, 2020. 012067. DOI: 10.1088/1757-899X/890/1/012067

7. Fedyuk R.S., Baranov A.V., Mughahed Amran Y.H. // Effect of porous structure on sound absorption of cellular concrete. Construction Materials and Products. 2020. 3 (2). Pp. 5–18. DOI: 10.34031/2618-7183-2020-3-2-5-18

8. Кладиева П.В., Мозговой В.М., Моисеев М.В. Теоретическое обоснование повышения эффективности армирования изгибаемых ячеистобетонных конструкций // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2021. № 6. С. 27–35. DOI: 10.34031/2071-7318-2021-6-6-27-35

9. Аль-Хаснави Я.С.Г. Исследование работы балок из ячеистого бетона, армированных легкимистальными тонкостенными конструкциями // В сборнике: Инновационные методы проектирования строительных конструкций зданий

и сооружений. Сборник научных трудов Всероссийской научно-практической конференции. Юго-Западный государственный университет. 2019. С. 11.

10. Кладиева П.В. Стальные ленты армирования изгибаемых ячеистобетонных конструкций // В сборнике: VII Международный студенческий строительный форум - 2022. Сборник докладов VII Международного студенческого строительного форума. Белгород, 2022. С. 43–46.

11. Otsokov K.A. Innovative technologies in construction and their use in organizational and technological events // Construction Materials and Products. 2020. 3 (1). Pp. 7–13. DOI: 10.34031/2618-7183-2020-3-1-7-13

12. Kladieva P.V., Koshlich Yu.A. Improvement directions of technical regulations in the field of reinforced cellular concrete structures // Materials Science and Engineering. 2020. Vol. 945 012059 DOI: 10.1088/1757-899X/945/1/012059

13. Аль-Хаснави Я.С.Г., Ласьков Н.Н., Ефимов О.И., Замалиев Ф.С. Сцепление жёсткой арматуры и ячеистого бетона // Региональная архитектура и строительство. 2021. № 4 (49). С. 79–87.

14. Efimov O., Gimranov L., Fattakhova A. Calculations of the rigidity and the strength of concrete filled steel deck diaphragms // E3S Web of Conferences. 2021. Vol. 274. 3014. DOI: 10.1051/e3sconf/202127403014

15. Varlamov A.A., Gavrilov B.V., Davydova A.M. Destruction model of idealized concrete structure by sawing // Construction Materials and Products. 2020. 3 (2). Pp. 46–54. DOI: 10.34031/2618-7183-2020-3-2-46-54

#### *Информация об авторах*

**Кладиева Полина Викторовна**, аспирант кафедры строительства и городского хозяйства. E-mail: davidenkopolly@mail.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

*Поступила 28.02.2023 г.*

© Кладиева П.В., 2023

***Kladieva P.V.***

*Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov*

*\*E-mail: davidenkopolly@mail.ru*

## **EXPERIMENTAL INVESTIGATIONS OF THE DESIGN STRENGTH OF STEEL TOOTHED BELTS IN THE COMPOSITION OF REINFORCED CELLULAR CONCRETE BEAMS**

**Abstract.** *The main problem of reinforced flexible structures made of cellular concrete is a rather low specific adhesion at the border of the reinforcement with concrete. This negatively affects the pulling out of*

*the reinforcement from the porous mass and leads to premature loss of the bearing capacity of the structure as a whole. The underestimation of the significant potential of the unused bearing capacity of the structure when using traditional reinforcement provides for the need to improve approaches to the reinforcement of flexible cellular concrete structures. Efficient reinforcement of cellular concrete structures is proposed to be carried out with reinforcing elements with a developed lateral surface - steel toothed belts, which significantly increase the contact area and qualitatively improve contact conditions. At the stage of computational justification, the results of an experimental study of the strength and deformability of samples of innovative reinforcing elements of steel toothed belts with various configurations of longitudinal perforation, which help to reduce the metal consumption of cellular concrete structures operating in bending, and directly improve their functional characteristics - thermal resistance and wave conductivity, are analyzed. The revealed variations in the physical and mechanical properties of reinforcement due to the changing pattern of its longitudinal perforation and the average characteristics of reinforcement used in the design analysis of reinforced cellular concrete structures are used to propose practical approaches to normalizing the values of characteristics and technologies for calculating reinforced cellular concrete structures.*

**Keywords:** reinforced cellular concrete, cellular concrete bending structures, band reinforcement, steel toothed belt, strength and deformability of steel gear band, two-line diagram of steel.

## REFERENCES

1. Makarichev V.V., Mileikovskaya K.M. Research of reinforced structures made of cellular concrete. [Issledovanie armirovannykh konstrukcij iz yacheistykh betonov]. M.: Gostroizdat, 1963. 99 p. (rus).
2. Efimov O.I., Zamaliev F.S., Laskov N.N., Al-hasnavi Ya.S.G. To assess the strength of bent steel-concrete elements made of cellular concrete reinforced with a cold-bent profile. [K ocenke prochnosti izgibaemykh stalebetonnykh elementov iz yacheistogo betona, armirovannykh holodnognutym profilem]. Construction mechanics and calculation of structures. 2021. No. 6 (299). Pp. 7–12. DOI: 10.37538/0039-2383.2021.6.7.12 (rus)
3. Karaburc S.N., Yildizel S.A., Calis G.C. Evaluation of the basalt fiber reinforced pumice lightweight concrete. Magazine of Civil Engineering. 2020. № 2 (94). Pp. 81–92. DOI: 10.18720/MCE.94.7
4. Naumov A.E., Yudin D.A., Dolzhenko A.V., Prakhova A.A., Kucherenko A.S. Intellectualization of technological processes of construction and technical expertise [Intellektualizaciya tekhnologicheskikh processov stroitel'no-tekhnicheskoy ekspertizy]. Bulletin of the Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. 2022. No. 12. Pp. 28–38. DOI: 10.34031/2071-7318-2022-7-12-28-38 (rus)
5. Al-Hasnavi Ya.S.G., Laskov N.N., Efimov O.I., Zamaliev F.S. On the issue of designing a beam made of cellular concrete with rigid reinforcement. [K voprosu o proektirovanii balki iz yacheistogo betona s zhyostkoj armaturoj]. Regional architecture and construction. 2021. No. 3 (48). Pp. 137–143. (rus).
6. Efimov O., Salimov A. Stress-strain state prediction for statically indeterminate system with accounting for malfunctioning of rod elements production. IOP Conference series. Materials Science and Engineering. Kazan, Russia, 2020. 012067. DOI:10.1088/1757-899X/890/1/012067
7. Fedjuk R.S., Baranov A.V., Mughahed Amran Y.H. Effect of porous structure on sound absorption of cellular concrete. Construction Materials and Products. 2020. 3 (2). Pp. 5–18. DOI: 10.34031/2618-7183-2020-3-2-5-18
8. Kladieva P.V., Mozgovoy V.M., Moiseev M.V. Theoretical substantiation of increasing the efficiency of reinforcement of bent cellular concrete structures. [Teoreticheskoe obosnovanie povysheniya effektivnosti armirovaniya izgibaemykh yacheistobetonykh konstrukcij]. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2021. No. 6. Pp. 27–35. DOI:10.34031/2071-7318-2021-6-6-27-35 (rus).
9. Al-hasnavi Ya.S.G. Investigation of the work of beams made of cellular concrete reinforced with light-steel thin-walled structures [Issledovanie raboty balok iz yacheistogo betona, armirovannykh legkimistal'nymi tonkostennymi konstrukciyami]. In the collection: Innovative methods of designing building structures of buildings and structures. collection of scientific papers of the All-Russian Scientific and Practical Conference. Southwestern State University. 2019. 11 p. (rus).
10. Kladieva P.V. Steel reinforcement bands of bent cellular concrete structures. [Stal'nye lenty armirovaniya izgibaemykh yacheistobetonykh konstrukcij]. In the collection: VII International Student Construction Forum - 2022. Collection of reports of the VII International Student Construction Forum. Belgorod, 2022. Pp. 43–46. (rus).
11. Otsokov K.A. Innovative technologies in construction and their use in organizational and technological events. Construction Materials and Products. 2020. 3 (1). Pp. 7–13. DOI: 10.34031/2618-7183-2020-3-1-7-13
12. Kladieva P.V., Koshlich Yu.A. Improvement directions of technical regulations in the field

of reinforced cellular concrete structures. *Materials Science and Engineering*. 2020. Vol. 945 012059. DOI: 10.1088/1757-899X/945/1/012059

13. Al-Hasnavi Ya.S.G., Laskov N.N., Efimov O.I., Zamaliev F.S. Coupling of rigid reinforcement and cellular concrete. [Сцепление зhyostkoj armatury i yacheistogo betona]. *Regional architecture and construction*. 2021. No. 4 (49). Pp. 79–87. (rus)

14. Efimov O., Gimranov L., Fattakhova A. Calculations of the rigidity and the strength of concrete filled steel deck diaphragms. *E3S Web of Conferences*. 2021. Vol. 274. 3014. DOI:10.1051/e3sconf/202127403014

15. Varlamov A.A., Gavrilov B.V., Davydova A.M. Destruction model of idealized concrete structure by sawing. *Construction Materials and Products*. 2020. 3 (2). Pp. 46–54. DOI: 10.34031/2618-7183-2020-3-2-46-54

*Information about the authors*

**Kladieva Polina V.**, Postgraduate student. E-mail: [davidenkopolly@mail.ru](mailto:davidenkopolly@mail.ru). Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

---

*Received 28.02.2023*

**Для цитирования:**

Кладиева П.В. Экспериментальные исследования расчетной прочности стальных зубчатых лент в составе армированных ячеистобетонных балок // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2023. № 6. С. 26–34. DOI: 10.34031/2071-7318-2023-8-6-26-34

**For citation:**

Kladieva P.V. Experimental investigations of the design strength of steel toothed belts in the composition of reinforced cellular concrete beams. *Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov*. 2023. No. 6. Pp. 26–34. DOI: 10.34031/2071-7318-2023-8-6-26-34