

**На правах рукописи**



**Аль-Хаснави Яссер Сами Гариб**

**ПРОЧНОСТЬ И ТРЕЩИНОСТОЙКОСТЬ НОРМАЛЬНЫХ СЕЧЕНИЙ  
ИЗГИБАЕМЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ИЗ ЯЧЕИСТОГО БЕТОНА,  
АРМИРОВАННОГО ЛЕГКИМИ СТАЛЬНЫМИ  
ТОНКОСТЕННЫМИ КОНСТРУКЦИЯМИ**

**2.1.1. Строительные конструкции, здания и сооружения**

**АВТОРЕФЕРАТ**

**диссертации на соискание учёной степени**

**кандидата технических наук**

**Пенза – 2022**

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Пензенский государственный университет архитектуры и строительства»

Научный руководитель: – доктор технических наук, доцент  
**Ласьков Николай Николаевич**

Официальные оппоненты: – **Белый Григорий Иванович**,  
доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО  
«Санкт-Петербургский государственный  
архитектурно-строительный университет»  
(СПбГАСУ), профессор-консультант кафедры  
«Железобетонные и каменные конструкции»

– **Ерышев Валерий Алексеевич**,  
доктор технических наук, доцент, ФГБОУ ВО  
«Тольяттинский государственный университет»,  
(ТГУ), профессор Центра архитектурных,  
конструктивных решений и организации  
строительства

Ведущая организация – Акционерное общество «Научно-исследовательский центр «Строительство», г. Москва

Защита состоится 8 декабря 2022 г. в 13:00 на заседании диссертационного совета 24.2.356.01, созданного на базе ФГБОУ ВО «Пензенский государственный университет архитектуры и строительства», по адресу: 440028, г. Пенза, ул. Германа Титова, дом 28, корпус 1, конференц-зал.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Пензенского государственного университета архитектуры и строительства и на сайте <http://dissovet.pguas.ru/index.php/contact-us/24-2-356-01/118-122-al-hasnavi-yasser-sami-garib>.

Автореферат разослан 8 октября 2022 года.

Учёный секретарь  
диссертационного совета



Снежкина  
Ольга Викторовна

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

### **Актуальность темы диссертационного исследования**

В настоящее время в строительной отрасли большими темпами развиваются новые технологии строительства, конструктивные решения различных зданий и сооружений, к которым предъявляются требования по применению легких и теплоустойчивых конструкций и материалов.

Наиболее массовыми несущими конструкциями зданий и сооружений являются конструкции покрытия и перекрытия. В повседневном строительстве для их возведения используется тяжелый железобетон. В то же время имеются возможности уменьшения веса плит покрытия и перекрытия за счёт применения легких ячеистых бетонов, армированных жёсткой арматурой из легких стальных тонкостенных холодногнутых оцинкованных конструкций (ЛСТК). При этом ячеистые бетоны имеют достаточную прочность, долговечность, экологическую чистоту и негорючесть, а также являются хорошим утеплителем.

Несмотря на столь положительные качества, на сегодняшний день в нормативно-технических документах нет рекомендаций и методов расчета новой конструктивной формы – изгибаемого элемента из ячеистого бетона, армированного жёсткой арматурой из легких стальных тонкостенных холодногнутых оцинкованных конструкций (ЛСТК).

Проведенный анализ существующих методов расчета балок из ячеистого бетона позволяет сделать вывод о том, что эти методы или отсутствуют, или являются приближенными. Одной из основных причин несовершенства методов расчета является то, что экспериментальное изучение поведения изгибаемых элементов из ячеистого бетона, армированных жёсткой арматурой, по объему работ в значительной степени уступает исследованиям изгибаемых элементов из тяжелого бетона. В связи с этим, тема диссертации является актуальной.

В настоящее время в России активно проводятся экспериментальные исследования балок из ячеистого бетона с различными вариантами жёсткого армирования. И, кроме того, Россия имеет потенциал как в технологическом плане и энергоресурсах, так и в материальном для существенного наращивания доли использования эффективных сталежелезобетонных конструкций перекрытий и покрытий с наружным и внутренним жёстким армированием.

Представляемая работа является продолжением этих исследований и направлена на решение следующих задач:

- экспериментально исследовать сцепление горячеоцинкованных стальных элементов с пенобетоном;
- выполнить исследования изгибаемых элементов при совместной работе пенобетона с жёсткой арматурой из тонкостенных стальных холодно

деформированных оцинкованных конструкций для изучения характерных особенностей их совместного деформирования и разрушения;

– определить оптимальные области применения исследуемой балочной конструкции с учетом свойств, обеспеченных современным уровнем технологии ее производства.

### **Степень разработанности темы исследования**

Вопросами возможности применения и исследования работы жёсткой арматуры из холодногнутых штампованных тонкостенных конструкций в бетонных конструкциях занимались как отечественные, так и зарубежные ученые. Значимый вклад внесли Э.Л. Айрумян, А.Б. Акопян, И.В. Астахов, Ф.И. Багатурия, Г.И. Белый, Д.В. Бычков, А.П. Васильев, В.З. Власов, А.С. Вольмир, Р.В. Воронков, В.П. Вылегжанин, G. Winter, В.Н. Голосов, М.И. Додонов, В.А. Ерышев, А.И. Звездов, Е.Н. Жмарин, Н.И. Каменщиков, В.Г. Колбасин, В.Г. Куражова, В.В. Лалин, А.П. Лещенко, Ю.С. Мартынов, К.В. Михайлов, Т.В. Назмеева, В.А. Пинскер, M. Porter, H. Profanter, И.А. Румянцева, В.А. Рыбаков, И.В. Санников, А.С. Семенов, В.И. Травуш, И.С. Тришевский, О.А. Хабилевская, А.А. Шухардин. Основное внимание уделялось изучению работы сжатых элементов и тонких стальных настилов. Следует отметить, что проведенные экспериментальные исследования работы сталебетонных конструкций, изготовленных с применением холодногнутых тонкостенных конструкций, иногда противоречивы, характер разрушения опытных образцов не всегда соответствует предполагаемой расчетной модели. Нет данных о совместной работе тонкостенных конструкций и ячеистого бетона. Многие авторы, используя однотипные материалы, получили результаты, которые не поддавались сопоставлению.

### **Цель и задачи исследования**

Целью диссертационного исследования является экспериментально-теоретическое изучение закономерностей деформирования и разрушения изгибаемых элементов из ячеистого бетона, армированных жёсткой арматурой из тонкостенных стальных холодногнутых оцинкованных конструкций и создание основ их проектирования.

В соответствии с этой целью были сформулированы и решены следующие **основные задачи:**

– анализ результатов отечественных и зарубежных исследований изгибаемых элементов из ячеистого бетона с жёсткой арматурой из холодногнутых тонкостенных конструкций;

– разработка программы и проведение экспериментально-теоретических исследований изгибаемых элементов из ячеистого бетона класса В2,5 и В7,5 с

жѐсткой арматурой из холодногнутых тонкостенных конструкций на основе натуральных и численных экспериментов;

– определение физико-механических свойства стали для ЛСТК и прочности ячеистого бетона, используемых для изготовления опытных образцов;

– исследование сцепления ячеистого бетона со сплошной и перфорированной полосой стального элемента, имитирующей ЛСТК путем испытаний на выдѐргивание этой полосы из куба ячеистого бетона;

– изучение закономерностей образования и развития трещин и схем разрушения изгибаемых элементов из ячеистого бетона, армированных лѐгкими стальными тонкостенными конструкциями на основе анализа результатов натуральных и численных экспериментов;

– разработка алгоритмов линейного и нелинейного расчѐтов прочности и рекомендаций по проектированию изгибаемых элементов из ячеистого бетона, армированных лѐгкими стальными тонкостенными конструкциями.

#### **Научная новизна исследования:**

– разработаны методы натуральных и численных экспериментальных исследований сопротивления изгибаемых элементов из ячеистого бетона с жѐсткой арматурой. Получены результаты факторного анализа, включающие в себя отдельные закономерности явлений и схем разрушения, условий образования трещин;

– получено решение научной задачи, имеющее значение для развития строительной отрасли знаний, заключающееся в установлении теоретической зависимости распределения сил сцепления тонкостенных конструкций и ячеистого бетона по длине изгибаемого элемента. Установленная теоретическая зависимость использована при разработке методики нелинейного расчета прочности и трещиностойкости изгибаемых элементов из ячеистого бетона с жѐсткой арматурой с учетом особенностей их работы;

– разработана новая инженерная методика линейного расчѐта прочности изгибаемых элементов из ячеистого бетона с жѐсткой арматурой, основанная на условии, что относительная деформация сжатия бетона в верхней зоне балок не превышает предельной величины;

– получены закономерности изменения усилий сцепления стальной полосы с ячеистым бетоном при изменении основных факторов: при отсутствии и наличии перфорации стенок ЛСТК, и при различных вариантах установки поперечной стержневой арматуры;

– получены новые данные об изменении характера развития трещин и схем разрушения нормальных сечений балок при изменении конструкции жесткой арматуры. Эти данные описывают закономерности перехода разрушения при

образовании нормальных трещин, к образованию горизонтальных трещин в результате отслоения ячеистого бетона от балок армирования.

### **Теоретическая и практическая значимость работы**

Разработан нелинейный метод расчета прочности и трещиностойкости нормальных сечений изгибаемых элементов из ячеистого бетона с жёсткой арматурой и рекомендации по его практическому использованию.

Решены дифференциальные уравнения теории составных стержней А.Р. Ржаницына, описывающие зависимости изменения сил сцепления по длине изгибаемого элемента в приложении к балкам из ячеистого бетона с жёсткой арматурой, что положено в основу метода нелинейного расчета прочности и трещиностойкости этих балок.

Разработана прикладная инженерная методика линейного расчёта при проектировании железобетонных балок из ячеистого бетона с жёсткой арматурой.

### **Методология и методы диссертационного исследования**

При выполнении данной работы использована совокупность общенаучных и специальных методов исследований. Для выполнения натурных испытаний использованы общенаучные экспериментальные методы, такие как тензометрия и метод прямых измерений (трещин, прогибов и т.п.). Для выполнения численных испытаний использован метод математического моделирования с использованием прикладной программы «ANSYS». При решении дифференциальных уравнений использован общенаучный метод решения – метод начальных параметров.

### **Положения, выносимые на защиту:**

– результаты натурных испытаний сцепления ячеистого бетона со стальными полосами, значения «усреднённого модуля сцепления» стальной полосы с ячеистым бетоном при отсутствии и наличии перфорации, при разных вариантах установки поперечной стержневой арматуры;

– экспериментальные данные о работе, несущей способности и характере разрушения балок из ячеистого бетона, армированных легкими стальными тонкостенными конструкциями с различными конструктивными решениями;

– методика линейного расчёта для проектирования железобетонных балок из ячеистого бетона с жёсткой арматурой, использующая гипотезу Бернулли и предельную относительную деформацию сжатия ячеистого бетона;

– полученная теоретическая зависимость распределения сил сцепления тонкостенных конструкций и ячеистого бетона по длине изгибаемого элемента;

– методика нелинейного пошагового расчета прочности, деформативности и трещиностойкости изгибаемых элементов из ячеистого бетона, армированных жёсткой арматурой, с учетом особенностей работы тонкостенных конструкций и условий их сцепления с ячеистым бетоном.

**Степень достоверности** основных результатов диссертационной работы обеспечивается проведением исследований в соответствии с действующими нормативно-техническими документами РФ; использованием сертифицированных поверенных установок и измерительных приборов; качественным анализом полученных данных и сравнением результатов разработанной методики нелинейного расчёта с данными, полученными в ходе натурных испытаний.

#### **Внедрение результатов исследования**

Теоретические выводы диссертационной работы рекомендованы и включены в рабочие программы магистратуры по направлению подготовки 08.04.01, при выполнении курсовых и дипломных проектов студентами строительного факультета в Пензенском государственном университете архитектуры и строительства, и на производстве при проектировании жилых зданий в Архитектурно-инженерной организации ООО «ОБЛКОММУНЖИЛПРОЕКТ».

**Объектом исследования** являются армобетонные балки из ячеистого бетона класса В2,5, D800, В7,5, D1200 прямоугольного сечения с размерами 2000×200×160 мм и 1700×150×100 мм, армированные легкими стальными тонкостенными конструкциями, а также образцы кубов ячеистого бетона со сплошной и перфорированной полосой стального элемента, имитирующей ЛСТК, для испытания на выдёргивание с целью определения сцепление ячеистого бетона и ЛСТК.

#### **Апробация работы**

Результаты исследования были представлены на International Multi- Conference on Industrial Engineering and Modern technologies (FarEastCon2019), Vladivostok, Russia, on 1-4 October, 2019; II Международной научно-технической конференции «Строительство и архитектура»: 01-05 октября 2019 года, г. Кисловодск; 7-ой Международной молодежной научной конференции «ПОКОЛЕНИЕ БУДУЩЕГО – 2018: взгляд молодых ученых», 13-14 ноября 2018 года, Юго-Западный государственный университет г. Курск, Россия.

#### **Публикации**

По теме диссертации опубликовано 14 работ, в том числе 4 научные работы – в рецензируемых научных изданиях, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание учёной степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук; 2 научные работы – в рецензируемых научных изданиях, входящих в международную базу данных и систему цитирования Scopus.

#### **Структура и объём работы**

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы из 59 наименований и приложения. Полный объем

диссертации 137 страниц, включая 18 таблиц и 86 рисунков.

Физический эксперимент выполнялся на базе ФГБОУ ВО «Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова» (БГТУ им. В.Г. Шухова). Автор выражает благодарность за помощь в проведении экспериментальных исследований коллективу кафедры «Строительство и городское хозяйство» (зав. кафедрой д-р техн. наук, проф. Сулейманова Л.А.) и лично канд. техн. наук, доц. А.В. Шевченко.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** обоснована актуальность темы, сформулированы цель и задачи исследования, научная новизна работы и её теоретическая и практическая значимость.

**В первой главе** приведён обзор и анализ научной литературы по нескольким направлениям, затрагиваемым настоящими исследованиями.

Особое внимание уделено обзору и анализу отечественной и зарубежной литературы в направлении использования ячеистого бетона.

Детально рассмотрен опыт применения железобетонных плит с жёстким наружным армированием в виде профилированного настила. Отмечено, что большинством авторов прочность плит предложено оценивать по прочности контакта «бетон – гофрированный профиль», а прогибы – по кривизне, определяя её по средней жесткости с учетом трещинообразования, или в соответствии с гипотезой о пропорциональности деформаций расстоянию от нейтральной оси с учетом деформаций сдвига по контакту «бетон – гофрированный профиль».

Основная проблема объединения железобетонной плиты со стальной балкой для обеспечения их совместной работы состоит в увеличении площади контакта и сил сцепления между бетоном и ЛСТК. В связи с этим сделан вывод о целесообразности применения перфорированных ЛСТК.

Кроме того, отмечается, что часть тонкостенных конструкций попадает в зону сжатия, и поэтому необходимо обеспечивать местную устойчивость элементов сечения тонкостенных конструкций.

Таким образом, с учётом вышеизложенного сформулированы цель и задачи исследования, приведённые во введении.

**Во второй главе** диссертационной работы приведены данные о подготовке к натурным испытаниям и результаты натурных и численных испытаний изгибаемых элементов из ячеистого бетона, армированного легкими стальными тонкостенными конструкциями (ЛСТК).

Путём натурных испытаний установлены физико-механические свойства ячеистого бетона, используемого для изготовления испытываемых в последующем изгибаемых балок. В частности, установлены показатели

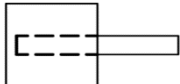
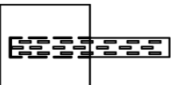
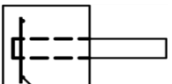
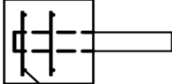
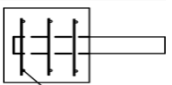


кубиковой прочности для используемых ячеистых бетонов классов прочности В2,5 и В7,5 – 1,0415 МПа и 13,79 МПа соответственно. В результате испытаний призм установлены модули упругости ячеистых бетонов В2,5 и В7,5 – 3200 МПа и 6280 МПа соответственно.

Для установления физико-механических характеристик стали жёсткой арматуры (ЛСТК), из её плоских листов отобраны семь образцов с сечением 18×1,5 мм и длиной «ослабленной» части около 210 мм. Образцы доводились до полного разрушения разрывной машиной, обеспечивающей автоматическое пошаговое приращение нагрузки в 0,5 кН с фиксацией величины нагрузки и деформации на каждом шаге. В конечном итоге, в результате обработки данных диаграммы с наименьшими значениями предела текучести  $\sigma_T$  и временного сопротивления  $\sigma_{ep}$  установлено: расчётное сопротивление  $R_y=265$  МПа при величине остаточных относительных деформаций  $\varepsilon_{ост}=0,001$ ;  $\sigma_{ep}=393,86$  МПа; пластичность –  $\varepsilon_{пл}=0,0811$ .

Путём натуральных испытаний на «выдёргивание» полосы из куба ячеистого бетона определялось сцепление ячеистого бетона со сплошной и перфорированной полосой стального элемента, имитирующей ЛСТК. Программа испытаний включала 20 образцов, разбитых на пять серий, отличающихся армированием, как это показано в таблице 1.

Таблица 1 – Серии образцов

Номер серии	Марка серии	Эскиз образца	Класс прочности ячеистого бетона по данным его контрольных испытаний	Сечение пластины (мм)	Кол-во образцов в серии
1	I-B7,5-С		В 7,5	50х1,5	4
2	II-B7,5-П		В 7,5	Просечная 50х2,0 (перфорированный участок канала CFS)	4
3	I-B7,5-С1		В 7,5	50х1,5	4
4	I-B7,5-С2		В 7,5	50х1,5	4
5	I-B7,5-С3		В 7,5	50х1,5	4

Испытания образцов первой серии установили «усреднённый модуль сцепления» на каждой из сторон полосы шириной 5 см при длине стороны куба

20 см:  $E_{сцеп.} = \sigma_{сцеп} / \varepsilon = [111,7 / (2 \cdot 5 \cdot 20)] / (1/200) = 11,17 \text{ кг/см}^2 = 1,117 \text{ МПа}$ .

Аналогично, при испытаниях образцов второй серии «усреднённый модуль сцепления» на каждой из сторон перфорированной полосы шириной 5 см при длине стороны куба 20 см составляет:  $E_{сцеп.} = 31,86 \text{ кг/см}^2 = 3,186 \text{ МПа}$ . Для третьей серии «усреднённый модуль сцепления» составил:  $E_{сцеп.} = 21,22 \text{ кг/см}^2 = 2,122 \text{ МПа}$ . Для четвертой серии:  $E_{сцеп.} = 23,82 \text{ кг/см}^2 = 2,382 \text{ МПа}$ . И для пятой серии:  $E_{сцеп.} = 40,81 \text{ кг/см}^2 = 4,081 \text{ МПа}$ .

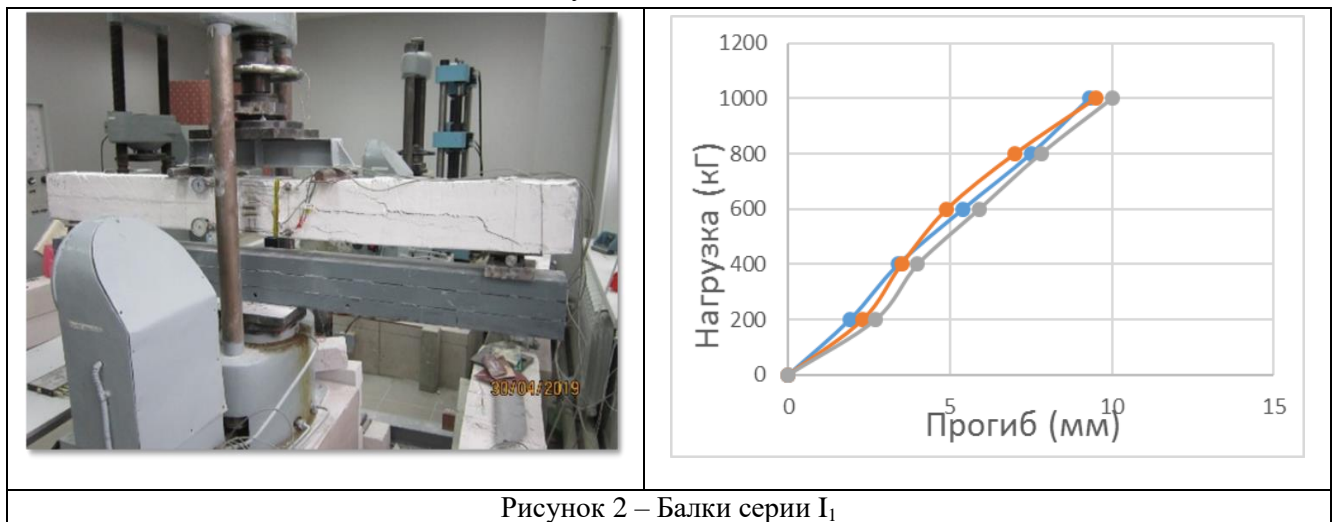
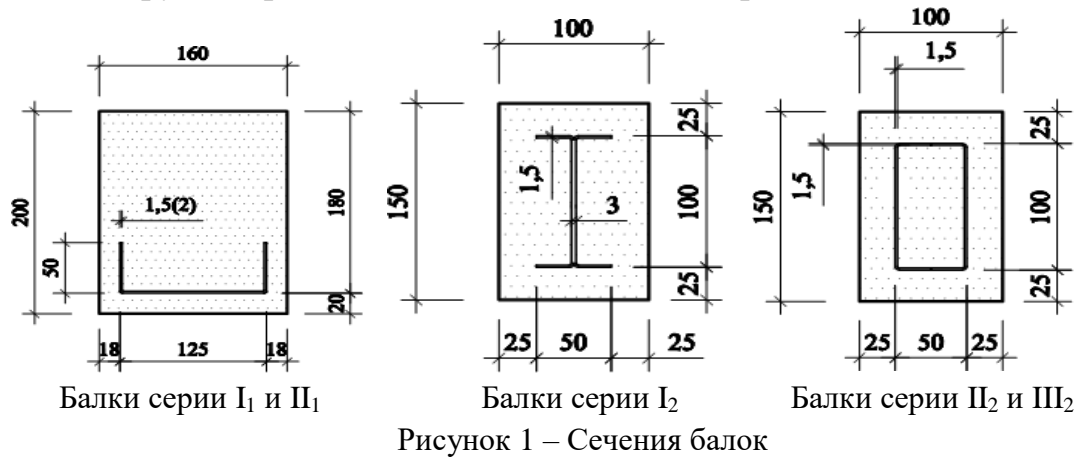
Для натуральных испытаний подготовлены пять серий железобетонных балок по три образца в каждой серии. В таблице 2 и на рисунке 1 представлены размеры и краткие характеристики испытываемых балок.

Таблица 2 – Краткая характеристика балок каждой серии

Краткое описание балки серии	Условный номер серии	Количество в серии	Размеры балки (мм)	Класс прочности бетона. Плотность	Толщина элементов армирования
Балка, армированная в нижней части гнутым швеллером сплошного сечения	II <sub>1</sub>	3	2000×200×160	B2,5, D800	t=1,5мм
Балка, армированная в нижней части перфорированным гнутым швеллером	I <sub>1</sub>	3	2000×200×160	B2,5, D800	t=2мм
Балка армированная составленными в двутавр гнутыми швеллерами сплошного сечения	I <sub>2</sub>	3	1700×150×100	B7,5, D1200	t=1,5мм
Балка, армированная составленными в коробку гнутыми швеллерами сплошного сечения	III <sub>2</sub>	3	1700×150×100	B7,5, D1200	t=1,5мм
Балка, армированная составленными в коробку гнутыми перфорированными швеллерами	II <sub>2</sub>	3	1700×150×100	B7,5, D1200	t=1,5мм

Нагрузка прикладывалась двумя силами на расстоянии одной третьей длины от каждой опоры.

На рисунке 2 представлены общий вид балки серии  $I_1$  после испытаний и диаграммы «нагрузки-прогиб» для всех балок этой серии.



Анализ внешнего вида балок серии  $I_1$  после испытаний показывает, что разрушение балок связано с проявлением сдвига между нижним слоем балки, содержащим жёсткую арматуру, и верхним без неё. Значение расчётной нагрузки для балок серии  $I_1$  по первой группе предельных состояний составляло в интервале  $3 \div 4$  кН, что соответствует изгибающему моменту  $1,8 \div 2,4$  кНм.

На рисунке 3 представлены общий вид балки серии  $II_1$  после испытаний и диаграммы «нагрузки-прогиб» для всех балок этой серии.

Численный эксперимент для балок этой серии выполнен с использованием нелинейного расчёта ПК «ANSYS». За «условное разрушение» принят момент, когда процесс нелинейного расчёта перестал быть сходящимся, т.е. система переродилась. На рисунках 4-6 представлены изополя напряжений в момент «условного разрушения».

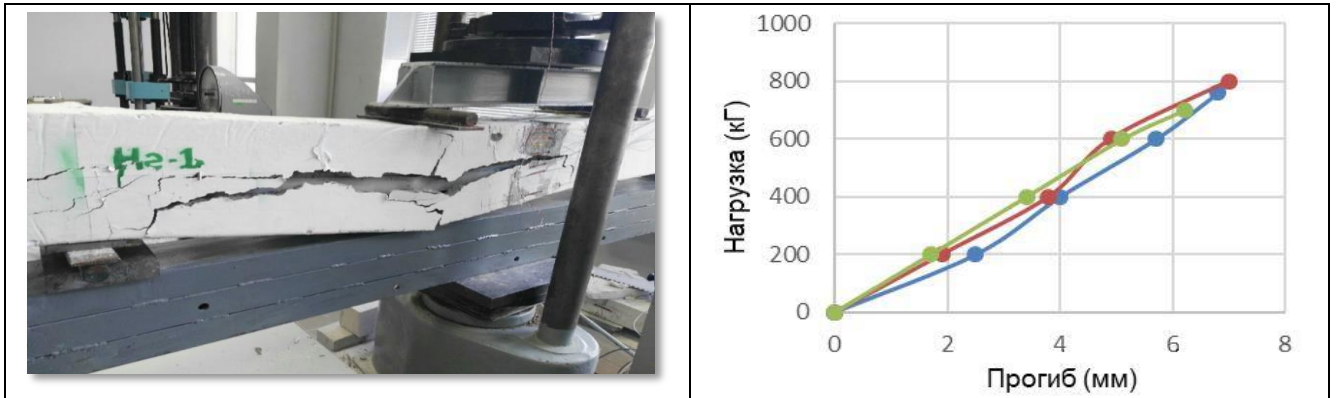
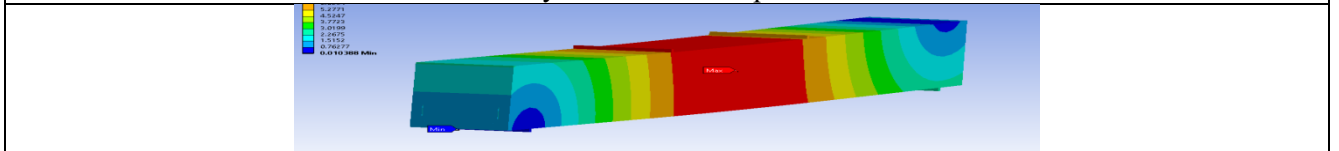
Рисунок 3– Балки серии II<sub>1</sub>

Рисунок 4 – Изополя вертикальных перемещений балки в момент «условного разрушения»

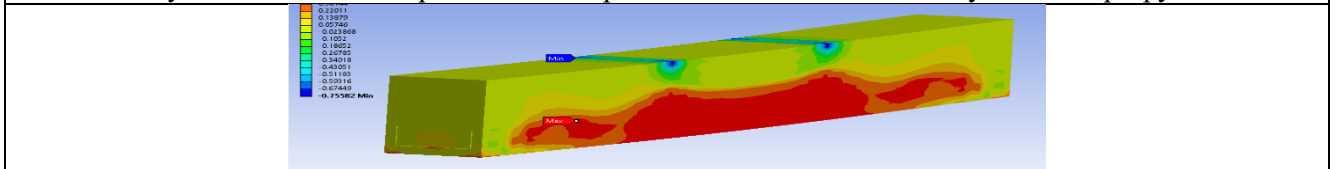


Рисунок 5 – Изополя напряжений в бетоне балки в момент «условного разрушения»

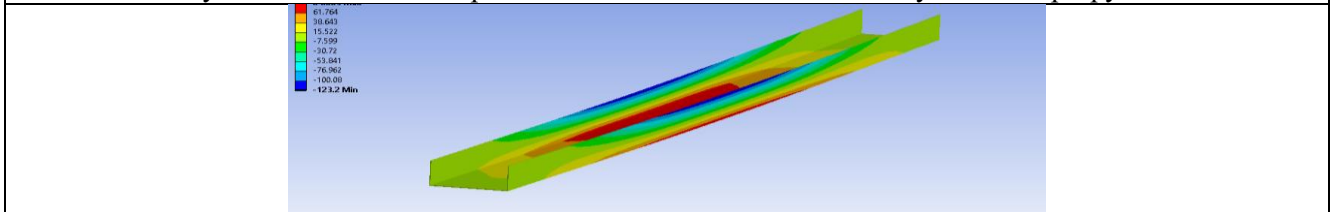


Рисунок 6 – Изополя напряжений в жёсткой арматуре балки в момент «условного разрушения»

Анализ диаграмм, результатов нелинейного расчёта и внешнего вида балок показывает, что разрушение балок связано с проявлением сдвига между нижним слоем балки, содержащим жёсткую арматуру, и верхним без неё. Значение расчётной нагрузки для балок серии II<sub>1</sub> по первой группе предельных состояний было в интервале 3÷4 кН, что соответствует изгибающему моменту 1,8÷2,4 кНм. Значение расчётной нагрузки для балок серий I<sub>1</sub> и II<sub>1</sub> по первой группе предельных состояний практически одинаковы, что означает отсутствие влияния сцепления жёсткой арматуры и ячеистого бетона. Потеря местной устойчивости верхних кромок полок швеллеров не отмечено.

На рисунке 7 представлены общий вид балки серии I<sub>2</sub> после испытаний и диаграммы «нагрузка–прогиб» и «нагрузка–кривизна» для всех балок этой серии.

Численный эксперимент и для балок этой серии выполнен с использованием нелинейного расчёта ПК «ANSYS». За «условное разрушение» принят момент, когда процесс нелинейного расчёта перестаёт быть сходящимся. На рисунках 8÷10 представлены изополя напряжений в момент «условного разрушения».

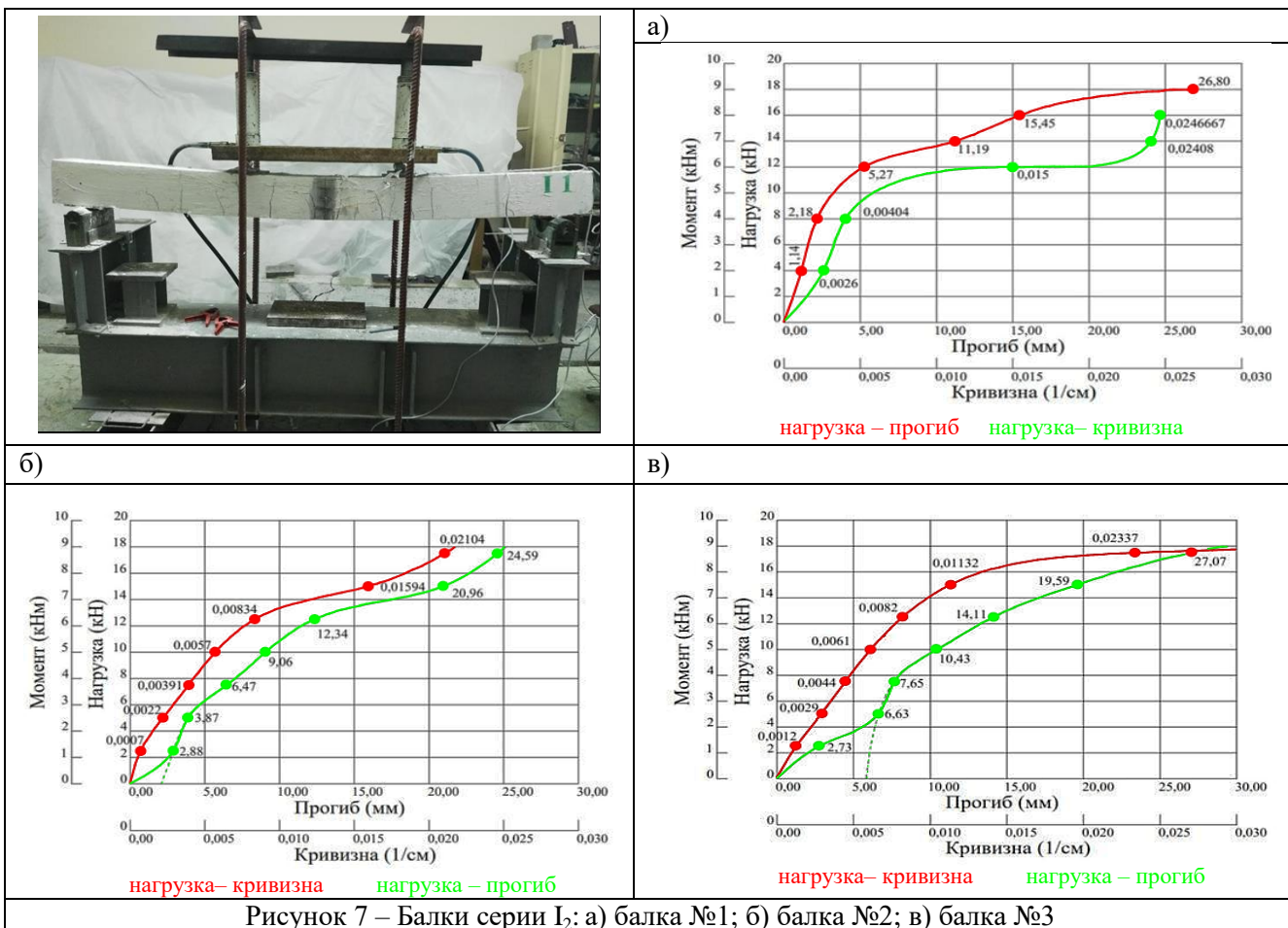


Рисунок 7 – Балки серии I<sub>2</sub>: а) балка №1; б) балка №2; в) балка №3

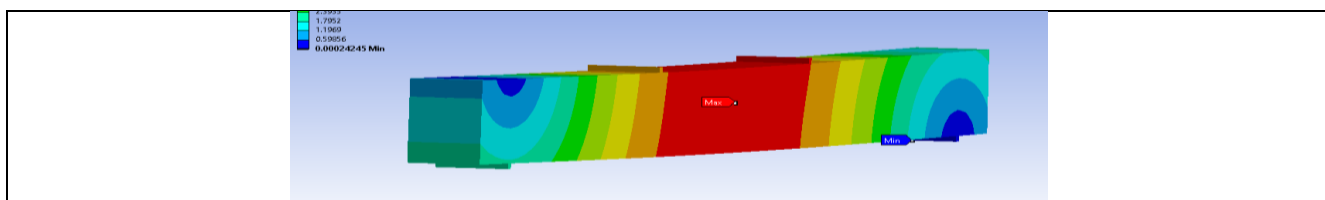


Рисунок 8 – Изополя вертикальных перемещений балки в момент «условного разрушения»

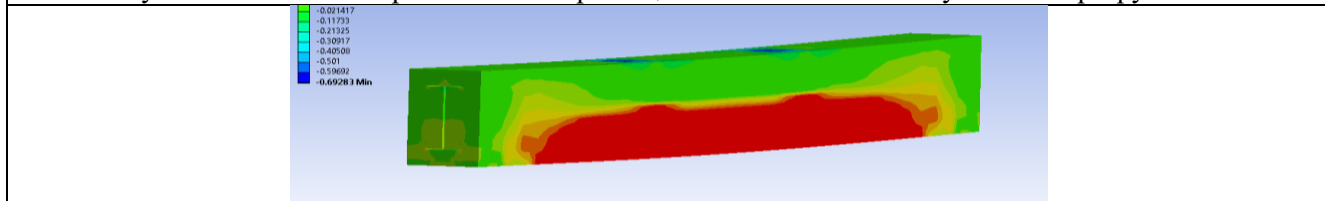


Рисунок 9 – Изополя напряжений в бетоне балки в момент «условного разрушения»

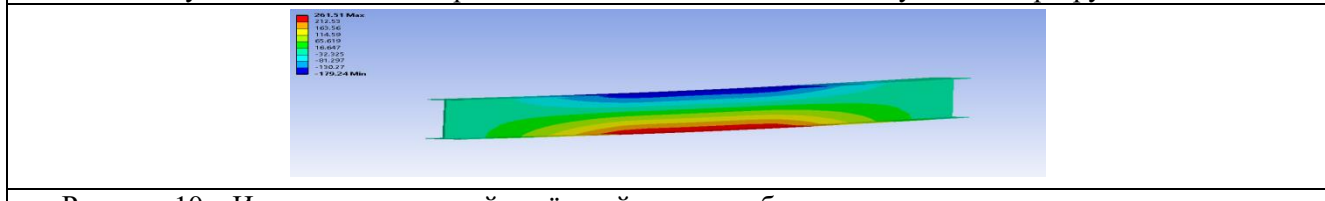


Рисунок 10 – Изополя напряжений в жёсткой арматуре балки в момент «условного разрушения»

Анализ диаграмм нелинейного расчёта показывает, что расчётной нагрузкой по первой группе предельных состояний является пара сосредоточенных грузов в интервале 7,95÷9,0 кН каждый, что соответствует изгибающему моменту 3,98÷4,5 кНм. Результаты данных по трещинообразованию свидетельствуют о

том, что по второй группе предельных состояний расчётной нагрузкой является пара сосредоточенных грузов  $\sim 10$  кН каждый. Потеря местной устойчивости верхних полок швеллеров не отмечается.

На рисунке 11 представлены общий вид балки серии  $\Pi_2$  после испытаний и диаграммы «нагрузки-прогиб» и «нагрузка-кривизна» для всех балок этой серии.

Анализ диаграмм балок серии  $\Pi_2$  показывает, что расчётной нагрузкой по первой группе предельных состояний является пара сосредоточенных грузов в интервале  $7,0 \div 9,0$  кН каждый, что соответствует изгибающему моменту  $3,5 \div 4,5$  кНм. Результаты данных трещинообразования свидетельствуют о том, что по второй группе предельных состояний расчётной длительно действующей нагрузкой может быть пара сосредоточенных грузов  $\sim 10$  кН каждый. Потеря местной устойчивости верхних полок швеллеров не отмечается.

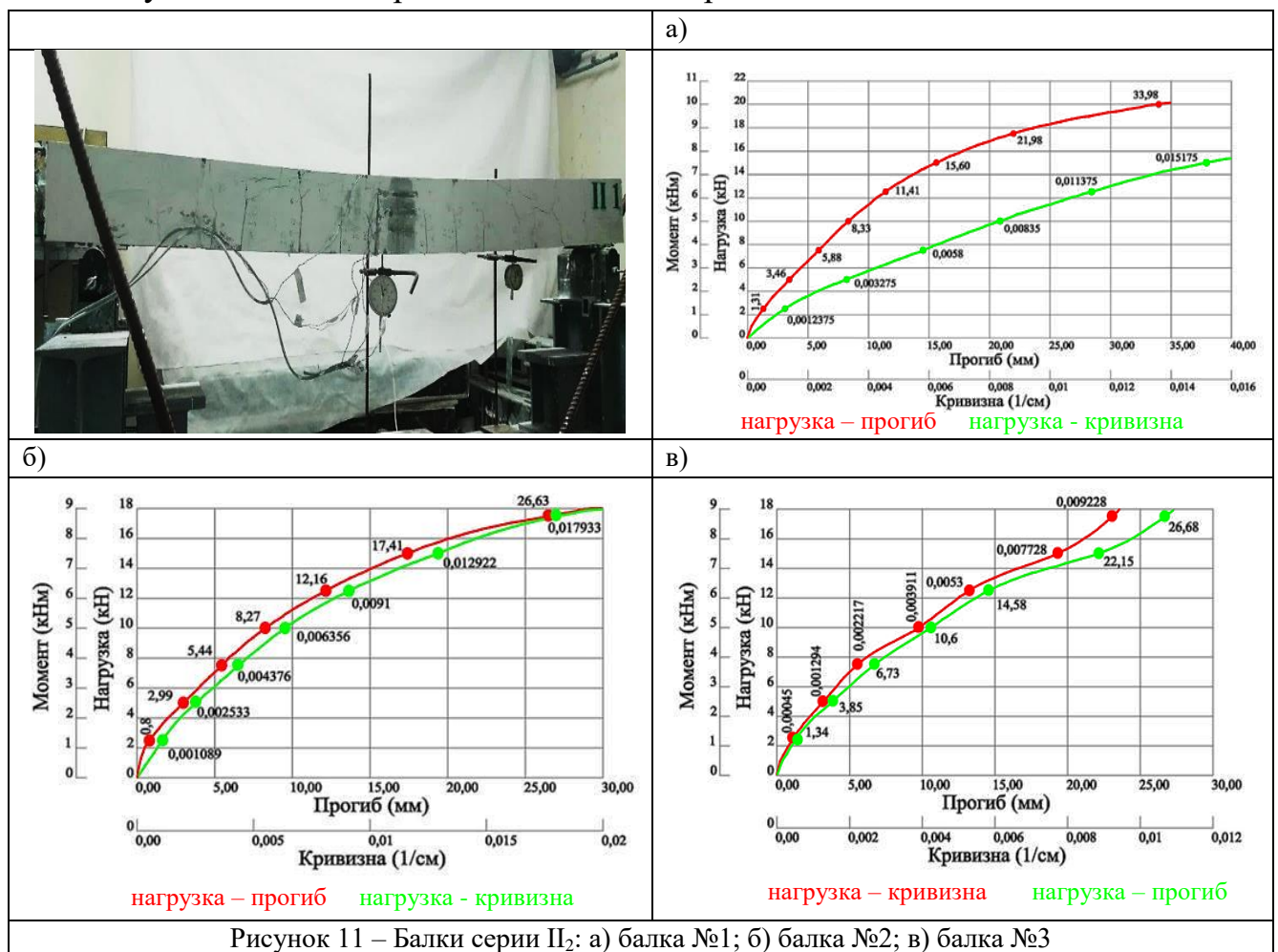


Рисунок 11 – Балки серии  $\Pi_2$ : а) балка №1; б) балка №2; в) балка №3

На рисунке 12 представлены общий вид балки серии  $\Pi_3$  после испытаний и диаграммы «нагрузка-прогиб» и «нагрузка-кривизна» для всех балок этой серии.

Анализ диаграмм балок серии  $\Pi_3$  показывает, что расчётной нагрузкой по первой группе предельных состояний может быть пара сосредоточенных грузов в интервале  $9,0 \div 10,5$  кН каждый, что соответствует изгибающему моменту  $4,5 \div 5,25$  кНм. Результаты данных трещинообразования свидетельствуют о том, что по второй группе предельных состояний расчётной нагрузкой является пара

сосредоточенных грузов ~12,5 кН каждый. Потеря местной устойчивости верхних полок швеллеров не отмечается.

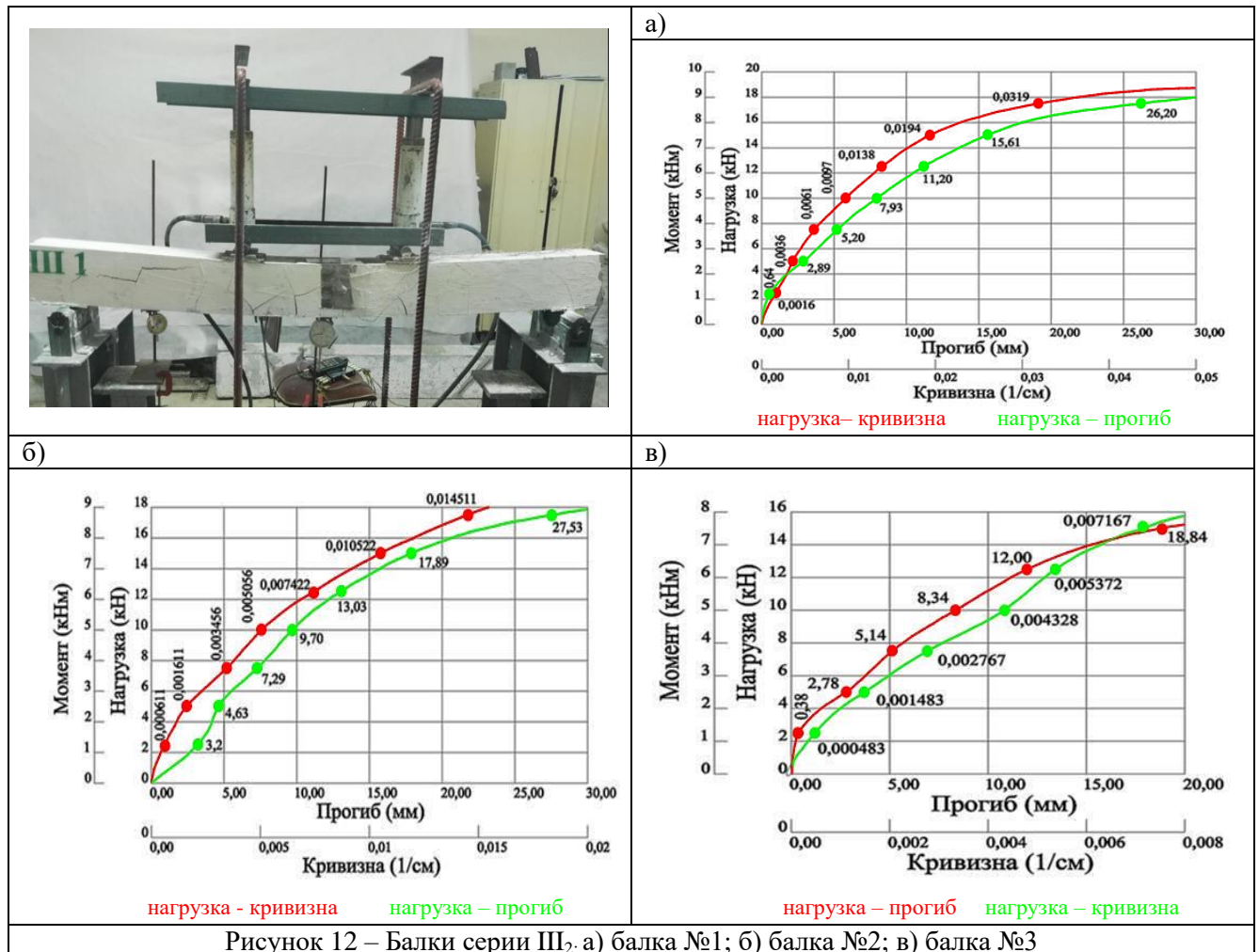


Рисунок 12 – Балки серии III<sub>2</sub>: а) балка №1; б) балка №2; в) балка №3

По результатам натурных и численных испытаний балок сделаны следующие выводы:

1. При анализе результатов испытаний пяти серий образцов из ячеистого бетона класса прочности В7,5 со стальными полосами установлено, что значения «усреднённого модуля сцепления» полосы с бетоном  $E_{сцеп}$  меньше модуля сдвига ячеистого бетона при продолжительном действии нагрузки.

2. Сцепление полосы с ячеистым бетоном значительно увеличивается при использовании перфорации полосы и при использовании поперечной стержневой арматуры даже в зоне «чистого изгиба».

4. Сцепление полосы с ячеистым бетоном повышается при использовании поперечной стержневой арматуры в зоне действия максимальных напряжений сцепления, т.е. на «выходе» полосы из бетонного массива.

5. Разрушение балок из ячеистого бетона с жёсткой арматурой в виде гнутого швеллера, расположенного в нижней части сечения происходит в результате сдвига между нижним слоем балки, содержащим жёсткую арматуру и верхним без неё. При этом перфорация жёсткой арматуры не влияет на работу таких балок.

6. Для повышения прочности нормального сечения балок из ячеистого бетона с жёсткой арматурой в виде гнущего швеллера, расположенного в нижней части сечения, следует использовать поперечное армирование.

7. Потеря местной устойчивости элементов сечения ЛСТК может быть предотвращена путем назначения рациональных соотношений между их габаритами и рациональным размещением ЛСТК в сечении балки.

**Третья глава** посвящена вопросам проектирования изгибаемых элементов из ячеистого бетона, армируемых лёгкими стальными профилями и созданию надёжных методик расчёта линейного инженерного и более точного нелинейного.

Методика проектирования железобетонных балок из ячеистого бетона с жёсткой арматурой с применением линейного расчёта основывается на предельной относительной деформации сжатия ячеистого бетона. При решении задачи приняты следующие допущения: выполняется гипотеза плоских сечений Бернулли; сопротивление бетона растяжению равно нулю; двухлинейная диаграмма состояния сжатой зоны бетона; диаграмма Прандтля работы стали; относительная деформация начала текучести бетона в сжатой зоне  $\varepsilon_{b2} = R_b / E_b$ ; относительная деформация сжатия в верхней кромке балки не превышает предельную –  $\varepsilon_{b2}$ ; сталь жёсткой арматуры – малоуглеродистая с выраженной площадкой текучести; относительная деформация начала площадки текучести стали жёсткой арматуры –  $\varepsilon_{HT} = 0,002 + R_y / E$ . При условии, что в результате изгиба плоское сечение проходит через точку  $\varepsilon_{b2}$ , возможны два случая отыскания границы сжатой зоны бетона «х» и развития напряжений в сечениях жёсткой арматуры и бетоне (рисунки 13 и 14).

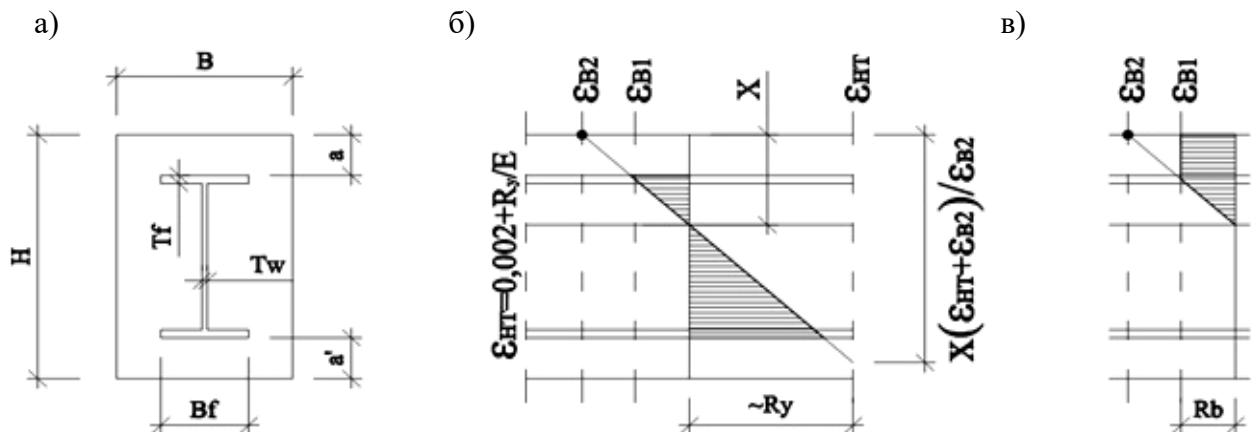


Рисунок 13 – Случай 1: а) сечение изгибаемого элемента; б) эпюра нормальных напряжений в сечении жёсткой арматуры; в) эпюра нормальных напряжений в бетоне



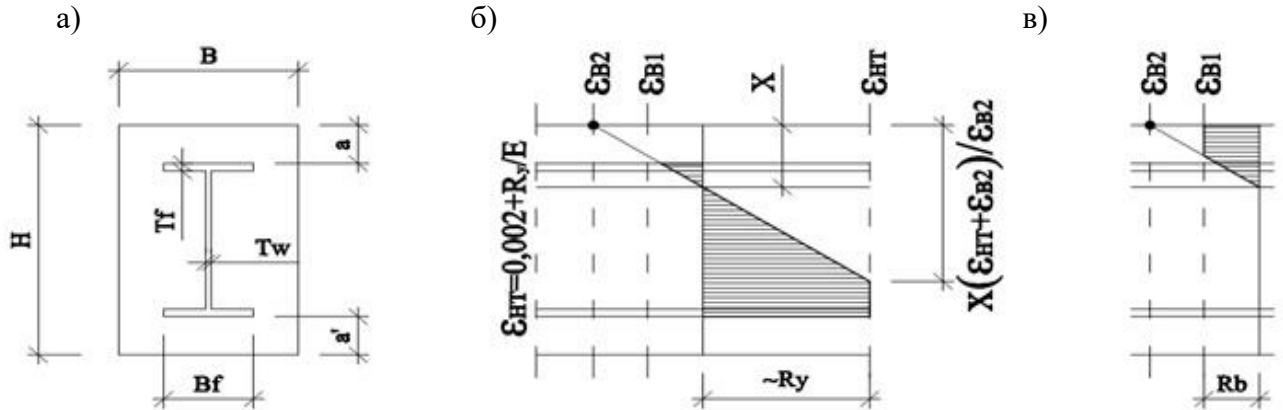


Рисунок 14 – Случай 2: а) сечение изгибаемого элемента; б) эпюра нормальных напряжений в сечении жёсткой арматуры; в) эпюра нормальных напряжений в бетоне

Для малоуглеродистых сталей с выраженной площадкой текучести характерно следующее: расчётное сопротивление  $R_y$  соответствует точке диаграммы работы стали, для которой остаточные относительные деформации при разгрузке 0,001; начало текучести соответствует точке диаграммы работы стали, для которой остаточные относительные деформации при разгрузке 0,002; с очень малой погрешностью можно считать, что предел текучести равен  $R_y$ ; полная относительная деформация начала текучести, опять же с очень малой погрешностью,  $\varepsilon_{HT} = 0,002 + R_y/E$ .

Учитывая это, пользование последующими формулами следует производить с подстановкой в них не обычного модуля упругости  $E$ , а секущего модуля  $E_c$ , определяемого формулой:

$$\varepsilon_{HT} \approx 0,002 + \frac{R_y}{E} \approx \frac{R_y}{E_c}, \quad \text{откуда} \quad E_c = \frac{E R_y}{0,002E + R_y}.$$

Положение границы сжатой зоны бетона для случая 1 – решение уравнения

$$\begin{aligned} & (x - a - t_f)^2 \frac{E_c t_w}{2x} \varepsilon_{b2} + \frac{x R_b b}{2 \varepsilon_{b2}} (2 \varepsilon_{b2} - \varepsilon_{b1}) + \left( x - a - \frac{t_f}{2} \right) \frac{E_c t_f b_f}{x} \varepsilon_{b2} = \\ & = \left( H - a - x - \frac{t_f}{2} \right) \frac{E_c t_f b_f}{x} \varepsilon_{b2} + \frac{\left( H - a - x - t_f \right)^2}{2x} E_c t_w \varepsilon_{b2}. \end{aligned} \quad (1)$$

Если сечение жёсткой арматуры двоякосимметричное, то:

$$\frac{\varepsilon_{b2}}{x} \left( H - a - 2x + a \right) E_c A = \frac{x R_b b}{\varepsilon_{b2}} (2 \varepsilon_{b2} - \varepsilon_{b1}), \quad (2)$$

где  $A$  – площадь сечения жёсткой арматуры ( $\text{см}^2$ ).

Значение изгибающего момента при этом:

$$\begin{aligned}
M_i = & \frac{\varepsilon_{b2} E_c t_f b_f}{x} (x - a - t_f) \left( x - a - \frac{t_f}{2} \right) + \frac{\varepsilon_{b2} E_c t_f^2 b_f}{2x} \left( x - a - \frac{t_f}{3} \right) \\
& + \frac{\varepsilon_{b2} E_c t_w}{3x} \left[ (x - a - t_f)^3 + (H - x - a - t_f)^3 \right] + \frac{R_b b x^2}{6} \left( 3 - \left( \frac{\varepsilon_{b1}}{\varepsilon_{b2}} \right)^2 \right) + \\
& + \frac{\varepsilon_{b2} E_c t_f b_f}{x} (H - x - a - t_f) \left( H - x - a - \frac{t_f}{2} \right) + \\
& + \frac{\varepsilon_{b2} E_c t_f^2 b_w}{3x} \left( H - x - a - \frac{t_f}{3} \right).
\end{aligned} \tag{3}$$

Если сечение жёсткой арматуры двоякосимметричное, то:

$$\begin{aligned}
M_i = & \frac{R_b b x^2}{6} \left( 3 - \left( \frac{\varepsilon_{b1}}{\varepsilon_{b2}} \right)^2 \right) + \frac{\varepsilon_{b2}}{2x} (H - a - a') E_c W_x + \\
& + \frac{\varepsilon_{b2}}{2x} (H - 2x - a' + a) \left( \frac{H}{2} - x \right) E_c A.
\end{aligned} \tag{4}$$

Положение границы сжатой зоны бетона для случая 2 – решение уравнения:

$$\begin{aligned}
& (x - a - t_f)^2 \frac{E_c t_w}{2x} \varepsilon_{b2} + \frac{x R_b b}{2 \varepsilon_{b2}} (2 \varepsilon_{b2} - \varepsilon_{b1}) + \left( x - a - \frac{t_f}{2} \right) \frac{E_c t_f b_f}{x} \varepsilon_{b2} = \\
& = R_y T_f b_f + \left[ H - a' - t_f - x \left( 1 + \frac{\varepsilon_{HT}}{2 \varepsilon_{b2}} \right) \right] t_w R_y.
\end{aligned} \tag{5}$$

Значение изгибающего момента при этом:

$$\begin{aligned}
M_i = & \frac{\varepsilon_{b2} E_c t_f b_f}{x} (x - a - t_f) \left( x - a - \frac{t_f}{2} \right) + \\
& + \frac{\varepsilon_{b2} E_c t_f^2 b_f}{2x} \left( x - a - \frac{t_f}{3} \right) + \frac{\varepsilon_{b2} E_c t_w}{3x} (x - a - t_f)^3 + \\
& + \frac{R_b b x^2}{6} \left( 3 - \left( \frac{\varepsilon_{b1}}{\varepsilon_{b2}} \right)^2 \right) + \frac{t_w R_y}{x} \left( H - x - a' - t_f - \frac{x}{\varepsilon_{b2}} \varepsilon_{HT} \right) + \\
& + \left( H - x - a' - t_f - \frac{x}{\varepsilon_{b2}} \varepsilon_{HT} \right) + \frac{R_y t_w}{3} \left( \frac{x}{\varepsilon_{b2}} \varepsilon_{HT} \right)^2 + R_y t_f b_f \left( H - x - a' - \frac{t_f}{2} \right).
\end{aligned} \tag{6}$$

В нормативных документах значение предельной относительной деформации сжатия  $\varepsilon_{b2}$  для ячеистых бетонов не установлено. По ненормативным источникам эта величина равна от 0,0025 до 0,0035. Поэтому можно считать, что при использовании жёсткой арматуры из малоуглеродистой стали с

$\varepsilon_{HT} = 0,002 + R_y/E$  и при рациональном конструировании сечения изгибаемого элемента с жёсткой арматурой из ЛСТК, составленных в двутавр, текучесть в её верхних слоях никогда не возникает. Предлагаемая методика показывает хорошее соответствие данным натуральных испытаний. Так для балок серии I<sub>2</sub> при  $\varepsilon_{b2}=0,0025$  несоответствие – 8,6 %, а при  $\varepsilon_{b2}=0,0035$  несоответствие – 15,8 %.

Более точным расчётом является нелинейный расчёт, учитывающий: нелинейное поведение материалов; нелинейное проявление сил сцепления между бетоном и ЛСТК; меняющиеся расчётные схемы сечений вследствие появления и развития трещин. Поведение изгибаемого элемента из ячеистого бетона, армированного ЛСТК, устанавливается при следующих условиях и предпосылках:

- для распределения деформаций по высоте нормального сечения изгибаемого элемента, ячеистого бетона и жёсткой арматуры считается справедливой гипотеза Бернулли (гипотеза плоских сечений);
- физическая нелинейность работы ячеистого бетона и жёсткой арматуры соответствуют известным диаграммам;
- деформации ячеистого бетона и жёсткой арматуры до образования трещин совместны при обеспечении прочности сцепления стального профиля с окружающим ячеистым бетоном;
- момент трещинообразования в ячеистом бетоне наступает при достижении в его растянутых зонах предельных деформаций растяжения;
- напряжения в сжатом тонкостенном элементе могут быть ограничены либо напряжениями начала текучести, что соответствует  $\varepsilon_{HT} = 0,002 + R_y/E$ , либо условиями потери местной устойчивости;
- характер сцепление ячеистого бетона и жёсткой арматуры принимается в расчетах линейным вплоть до разрушения контакта.

Данная задача сводится к известной задаче Ржаницына А.Р. о передаче продольной силы с одного составляющего стержня на два других в системе «составной стержень». При использовании метода начальных параметров получены решения дифференциальных уравнений для сил сцепления (представлены в тексте диссертации), положенные в основу методики нелинейного расчёта прочности нормальных сечений, трещиностойкости и деформативности изгибаемых элементов из ячеистого бетона, армируемых ЛСТК. Нелинейный расчет планируется осуществлять методом последовательных нагружений в сочетании с методом начальных параметров:

1. Предварительно задаётся начальная нагрузка  $M_0(P_0)$ . Изгибаемый элемент разбивается на отдельные участки по сечениям. Начало координат перемещается в середину пролёта.

2. Устанавливается распределение касательных напряжений и сдвигающих сил в каждом сечении с координатой  $x$  по формулам:

$$\tau_1(x) = \frac{1}{2} \left( T_{a,0} \lambda_a \operatorname{sh}(\lambda_a x) - \frac{\xi \cdot P a c^2 \operatorname{sh}(\lambda_a x)}{\lambda_a \sum E_{red} J_{red}} \right), \quad (7)$$

$$\tau_2(x) = -\frac{1}{2} \left( T_{a,0} \lambda_a \operatorname{sh}(\lambda_a x) - \frac{\xi P a c^2 \operatorname{sh}(\lambda_a x)}{\lambda_a \sum E_{red} J_{red}} \right), \quad (8)$$

$$T_1(x) = \frac{1}{2} \left( T_{a,0} \operatorname{ch}(\lambda_a x) - \frac{\xi P a c^2 (\operatorname{ch}(\lambda_a x) - 1)}{\lambda_a^2 \sum E_{red} J_{red}} \right), \quad (9)$$

$$T_2(x) = -\frac{1}{2} \left( T_{a,0} \operatorname{ch}(\lambda_a x) - \frac{\xi P a c^2 (\operatorname{ch}(\lambda_a x) - 1)}{\lambda_a^2 \sum E_{red} J_{red}} \right). \quad (10)$$

3. В каждом сечении проверяется условие сцепления

$$\tau_i(x) \leq \tau_{ult}, \quad (11)$$

где  $\tau_{ult}$  – предельные усилия сцепления ЛСТП с ячеистым бетоном.

4. Производится анализ НДС путём решения системы уравнений для каждого элемента сечения методом итераций

$$\begin{cases} \left( \frac{1}{\rho_x} \right)^k = \frac{M_x}{D_{11}} - \left( \frac{D_{13}}{D_{11}} \right)^{k-1} (\varepsilon_0)^{k-1} \\ (\varepsilon_0)^k = \frac{N}{D_{33}} - \left( \frac{D_{31}}{D_{33}} \right)^{k-1} \left( \frac{1}{\rho_x} \right)^{k-1} \end{cases}, \quad (12)$$

где  $k$  – номер итерации;  $\varepsilon_0$  – осевая деформация в нормальном сечении;  $1/\rho_x$  – кривизна;  $M_x, N$  – внутренние усилия в сечении, причем, если присутствуют усилия на контакте арматуры с бетоном, то  $M_x = M_0 \pm T_i(x)c_i$ ,  $N = \pm T_i(x)$ ;  $c_i$  – расстояние между центрами тяжести брусьев составного стержня.  $D_{11}, D_{13}, D_{31}, D_{33}$  – коэффициенты системы (12) вычисляются по формулам:

$$D_{11} = \sum_{i=0}^n (A_{b,i} E_{b,red,i} + A_{s,i} E_{s,red,i}) z_i^2, \quad (13)$$

$$D_{13} = D_{31} = \sum_{i=0}^n (A_{b,i} E_{b,red,i} + A_{s,i} E_{s,red,i}) z_i, \quad (14)$$

$$D_{33} = \sum_{i=0}^n (A_{b,i} E_{b,red,i} + A_{s,i} E_{s,red,i}), \quad (15)$$

где  $A_{b,i}, A_{s,i}$  – площади участков бетона и арматуры;  $z_i$  – координаты центра тяжести относительно нейтрального слоя элементарных участков;  $E_{b,red,i}, E_{s,red,i}$  – секущие модули бетона и стали, которые вычисляются из условий:

$$E_{b,red,i} = \frac{\sigma_{b,i}(\varepsilon_i^{k-1})}{\varepsilon_i^{k-1}}, \quad (16)$$

$$E_{s,red,i} = \frac{\sigma_{s,i}(\varepsilon_i^{k-1})}{\varepsilon_i^{k-1}}. \quad (17)$$

Процесс итераций продолжается до расхождения по кривизне смежных этапов не более 5 %.

5. Уточняются величины

$$\sum E_{red} J_{red} = D_{11},$$

$$\lambda_a = \sqrt{\xi \gamma_a} = \sqrt{\xi \left( \frac{1}{E_k A_k} + \frac{c^2}{2 \sum EJ} \right)} = \sqrt{\xi \left( \frac{1}{D_{33}} + \frac{c^2}{2D_{11}} \right)}.$$

6. Производится перерасчёт, при этом процесс итераций продолжается до расхождения по значениям сдвигающих усилий смежных этапов не более 5 %.

7. Проверяется условие образования трещин

$$\varepsilon_{max}(x) \leq \varepsilon_{b,ult}, \quad (18)$$

где  $\varepsilon_{max}(x)$  – максимальная величина относительных деформаций растянутого бетона в нормальном сечении;  $\varepsilon_{b,ult}$  – величина предельных относительных деформаций растянутого бетона.

8. При выполнении условий (11) и (18) нагрузка увеличивается на величину  $\Delta P$  и расчёт по формулам (7)÷(18) повторяется.

9. При появлении трещины распределение касательных сил меняется. В растянутой зоне  $T_2(x_i) = 0$ . Поэтому здесь  $\tau_{a,0}$  находятся через рекуррентные отношения:

$$T_2(x_{i-1}) = -\frac{1}{2} \left( \frac{\tau_{a,0}}{\lambda_a} sh(\lambda_a x_{i-1}) - \frac{\xi \cdot Pa \cdot c^2 (ch(\lambda_a x_{i-1}) - 1)}{\lambda_a^2 \sum E_{red} J_{red}} \right),$$

$$\tau_2(x_{i-1}) = -\frac{1}{2} \left( \tau_{a,0} ch(\lambda_a x_{i-1}) - \frac{\xi Pa \cdot c^2 sh(\lambda_a x_{i-1})}{\lambda_a \sum E_{red} J_{red}} \right), \quad (19)$$

$$T_2(x_{i-2}) = -\frac{1}{2} \left( \begin{array}{l} T_2(x_{i-1}) \operatorname{ch}(\lambda_a x_{i-2}) + \frac{\tau_2(x_{i-1})}{\lambda_a} \operatorname{sh}(\lambda_a x_{i-2}) - \\ - \frac{\xi P a c^2 (\operatorname{ch}(\lambda_a x_{i-1}) - 1)}{\lambda_a^2 \sum E_{red} J_{red}} \end{array} \right), \quad (20)$$

$$\tau_2(x_{i-2}) = -\frac{1}{2} \left( \begin{array}{l} T_2(x_{i-1}) \lambda_a \operatorname{sh}(\lambda_a x_{i-2}) + \tau_2(x_{i-1}) \operatorname{ch}(\lambda_a x_{i-1}) - \\ - \frac{\xi P a c^2 \operatorname{sh}(\lambda_a x_{i-2})}{\lambda_a \sum E_{red} J_{red}} \end{array} \right).$$

10. И так далее по всей цепочке итераций.

Предельное состояние первой группы может наступить и в результате потери местной устойчивости элементов сечения ЛСТК. Величина критических напряжений в процессе итераций оценивается по известным формулам.

**В четвёртой главе** подтверждается достоверность разработанной методики нелинейного расчёта балок из ячеистого бетона, армированных лёгкими стальными тонкостенными конструкциями на примере расчета балок серии I<sub>2</sub> и серии III<sub>2</sub>. Сравнительный анализ позволил сформулировать следующие выводы:

1. Сравнение результатов нелинейных расчётов, выполненных с использованием разработанной методики, для рассмотренных балок с данными их натуральных испытаний показывает их полное качественное совпадение.

2. Сравнение результатов нелинейных расчётов, выполненных с использованием разработанной методики, для балки с параметрами по серии I<sub>2</sub> с данными натуральных испытаний этой серии показывает, что величины выявленных расчётных нагрузок по первой группе предельных состояний отличаются не более чем на  $(8,94-7,95)100/7,95=12,4\%$ .

3. Сравнение результатов нелинейных расчётов, выполненных с использованием разработанной методики, для балки с параметрами по серии III<sub>2</sub> с данными натуральных испытаний этой серии показывает, что величины выявленных расчётных нагрузок по первой группе предельных состояний отличаются не более чем на  $(10,50-9,37)100/10,50=10,8\%$ .

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

### Итоги выполненного исследования

1. Выявлена целесообразность применения эффективных сталежелезобетонных конструкций перекрытий и покрытий из ячеистого бетона с различными видами жёсткого армирования. Установлено, что более широкому внедрению указанных конструкций препятствует несовершенство нормативных

методов расчета, не учитывающих характерные особенности прочностных и деформативных свойств ячеистых бетонов и их совместную работу с элементами жесткого армирования.

2. Установлено, что широко применяемый для проектирования изгибаемых элементов из тяжёлого бетона с жёстким армированием из прокатных конструкций «метод предельных усилий» не обеспечивает надежное проектирование железобетонных балок из ячеистого бетона с жёсткой арматурой в виде (ЛСТК).

3. В данной работе путём натурных и численных испытаний выявлены особенности, зависимости и закономерности характера и параметров сил сцепления ячеистого бетона и стальных тонкостенных конструкций в реальном поведении изгибаемых элементов из ячеистого бетона, армированных лёгкими стальными тонкостенными конструкциями.

4. На основе результатов натурных и численных испытаний разработаны и проверены методики линейного инженерного расчёта изгибаемых элементов из ячеистого бетона, армированных лёгкими стальными тонкостенными конструкциями, так и более точного – нелинейного. Полученные методики могут быть рекомендованы для использования в проектных организациях при проектировании изгибаемых элементов из ячеистого бетона, армированных лёгкими стальными тонкостенными конструкциями.

5. В результате проведённых исследований определены пути для практического применения новой конструктивной формы – изгибаемого элемента из ячеистого бетона с жёсткой арматурой из холодногнутых тонкостенных конструкций. Область применения – конструкции перекрытия или покрытия как самостоятельные балки небольших пролётов до 6 м, перемычки и монолитные балочные перекрытия и покрытия пролётом до 6 м.

### **Рекомендации и перспективы дальнейшей разработки темы**

Для дальнейшей разработки темы имеются следующие актуальные направления исследований:

– создание нормативной базы значений предельных относительных деформаций сжатия и растяжения для ячеистых бетонов, что позволит существенно расширить возможности простых линейных расчётов изгибаемых элементов из этого бетона;

– создание новых пенообразователей для ячеистого бетона, снижающих его ползучесть;

– определение формы, размеров и рационального размещения высечки в отходах штамповочных производств с точки зрения: увеличения сил сцепления

между ячеистым бетоном и жёсткой тонкостенной арматурой; снижение ползучести;

- исследование конструкций из ячеистого бетона на ползучесть.

**Основные положения и результаты диссертационной работы опубликованы в следующих научных изданиях:**

*в рецензируемых научных изданиях, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание учёной степени кандидата наук, на соискание учёной степени доктора наук:*

1. Ефимов О.И. К оценке прочности изгибаемых сталебетонных элементов из ячеистого бетона, армированных холодногнутым профилем / О.И. Ефимов, Ф.С. Замалиев, Н.Н. Ласьков, Я.С.Г. Аль-Хаснави // Строительная механика и расчет сооружений. 2021. – № 6 (299). – С. 7-12. (ИФ РИНЦ – 0,372; 0,53/0,18 печ.л.).

2. Аль-Хаснави Я.С.Г. К вопросу о проектировании балки из ячеистого бетона с жёсткой арматурой / Я.С.Г. Аль-Хаснави, Н.Н. Ласьков, О.И. Ефимов, Ф.С. Замалиев // Региональная архитектура и строительство. 2021. – № 3 (48). – С. 137-143. (ИФ РИНЦ – 0,300; 0,81/0,27 печ.л.).

3. Аль-Хаснави Я.С.Г. Сцепление жёсткой арматуры и ячеистого бетона / Я.С.Г. Аль-Хаснави, Н.Н. Ласьков, О.И. Ефимов, Ф.С. Замалиев // Региональная архитектура и строительство. 2021. – № 4 (49). – С. 79-87. DOI: [10.54734/20722958\\_2021\\_4\\_88](https://doi.org/10.54734/20722958_2021_4_88) (ИФ РИНЦ – 0,300; 1,05/0,38 печ.л.).

4. Аль-Хаснави Я.С.Г. Предпосылки и ограничения к нелинейному расчёту сталебетонных балок из ячеистого бетона с жёсткой арматурой из тонкостенных стальных гнутых профилей / Я.С.Г. Аль-Хаснави, Н.Н. Ласьков, О.И. Ефимов, Ф.С. Замалиев // Региональная архитектура и строительство. 2021. – № 4 (49). – С. 88-95. DOI: [10.54734/20722958\\_2021\\_4\\_88](https://doi.org/10.54734/20722958_2021_4_88) (ИФ РИНЦ – 0,300; 0,93/0,28 печ.л.).

*в рецензируемых научных изданиях, входящих в международную реферативную базу данных и систему цитирования Scopus:*

5. AL-Hasnawi Yasser Sami Ghareb. Experimental Investigation On Flexural Behavior Of Cold Formed Beams With Lightweight concrete / Alhashimi Omar Ismael, Shevchenko A.V., Nowruzi Mohammad Shoja // International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern technologies-FarEastCon2019, ISSN: 1662-9752, Vol. 992, Pp. 149-155. 1-4 October, 2019 Vladivostok, Russia. DOI: [10.4028/www.scientific.net/MSF.992.149](https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.992.149).

6. AL-Hasnawi Yasser Sami Ghareb. Light Steel Thin -Walled Structures Composite Beam of Cellular Concrete / Shevchenko A.V., Alhashimi Omar Ismael // II Международная научно-техническая конференция «Строительство и архитектура: (САТРИД 2019) ISSN: 1662-9752, Vol. 974, Pp. 596-600. 01-05 октября 2019 года, Кисловодск. DOI: [10.4028/www.scientific.net/msf.974.596](https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/msf.974.596).

*в других изданиях:*

7. Аль-Хаснави Я.С.Г. Исследование работы балок из ячеистого бетона, армированных легкими стальными тонкостенными конструкциями / Я.С.Г. Аль-Хаснави // В сборнике: Инновационные методы проектирования строительных конструкций зданий и сооружений. Сборник научных трудов Всероссийской научно-практической конференции. Юго-Западный государственный университет. Курск, 21 ноября 2019 года. – 2019. – С. 11-14.



8. Ноурузи М.Ш. Армирование перекрытия из легких стальных тонкостенных конструкций с заполнением ячеистым бетоном / М.Ш. Ноурузи, Я.С.Г. Аль-Хаснави // В сборнике: Наука и инновации в строительстве (к 45-летию кафедры строительства и городского хозяйства): сборник докладов международной научно-практической конференции: в 2 т. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Белгород, 21 апреля 2017 года. – 2017. – С. 89-94.

9. Аль-Хаснави Я.С.Г. Расчет перекрытия, армированного легкими стальными тонкостенными конструкциями (ЛСТК), по программе «Лира» / Я.С.Г. Аль-Хаснави // В сборнике: Наука и инновации в строительстве. Сборник докладов Международной научно-практической конференции (к 165-летию со дня рождения В.Г. Шухова). Белгород, 17 апреля 2018 года. – 2018. – С. 13-18.

10. Аль-Хаснави Я.С.Г. Легкие стальные тонкостенные конструкции, как альтернатива классических сталей / Я.С.Г. Аль-Хаснави // В сборнике: Поколение будущего: Взгляд молодых ученых – 2018. Сборник научных статей 7-й Международной молодежной научной конференции: в 4 томах. Курск, 13–14 ноября 2018 года. – 2018. – С. 127-130.

11. Аль-Хаснави Я.С.Г. Легкая стальная тонкостенная конструкция (ЛСТК) / Я.С.Г. Аль-Хаснави // В сборнике: Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова. Посвящена 165-летию В.Г. Шухова. Белгород, 01–20 мая 2018 года. – 2018. – С. 1331-1333.

12. Аль-Хаснави Я.С.Г. Расчет конструкций, армированных ЛСТК методом конечных элементов / Я.С.Г. Аль-Хаснави // В сборнике: Образование. Наука. Производство. Материалы X Международного молодежного форума с международным участием. Белгород, 01–15 октября 2018 года. – 2018. – С. 653-657.

13. Аль-Хаснави Я.С.Г. Легкие стальные тонкостенные конструкции в композитных балках из ячеистого бетона / Я.С.Г. Аль-Хаснави // Инновации и инвестиции. 2020. – № 5. – С. 277-279.

14. Аль-Хашими О.И. Эффективные материалы для армированных элементов из автоклавного ячеистого бетона / О.И. Аль-Хашими, Я.С.Г. Аль-Хаснави // Инновации и инвестиции. 2019. – № 6. – С. 241-245.

**Аль-Хаснави Яссер Сами Гариб**

**ПРОЧНОСТЬ И ТРЕЩИНОСТОЙКОСТЬ НОРМАЛЬНЫХ СЕЧЕНИЙ  
ИЗГИБАЕМЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ИЗ ЯЧЕИСТОГО БЕТОНА,  
АРМИРОВАННОГО ЛЕГКИМИ СТАЛЬНЫМИ  
ТОНКОСТЕННЫМИ КОНСТРУКЦИЯМИ**

**2.1.1. Строительные конструкции, здания и сооружения**

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание учёной степени кандидата технических наук

Подписано в печать 29.09.2022. Объем 1,2 п.л.

Тираж 100 экз. Заказ № 328.

Печатный дом «Инженер»

г. Пенза, ул. Пушкина, 7