

как раньше основой обороны. Ведь вместе с планами обороны крепостей всегда разрабатывались методики их взятия. Исход Первой мировой войны решили вовсе не крепости, но это не умаляет ценности изучения материалов обороны крепостей и составление исторически верной картины их участия в Первой мировой войне.

#### **Список цитированных источников**

1. Великая европейская война на Беларуси: сборник докладов I Международной научно-практической конференции; Скоки, 15-16 декабря 2012 г. – Брест: Издательство БрГТУ, 2013. – 84 с.
2. Оборона Ковенской крепости // Войны и сражения [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://war1960.narod.ru/pmv/kovno.html>. – Дата доступа: 31.03.2014.
3. Какошкин, В. Оборона Ковенской крепости – забытые страницы истории / В. Какошкин // портал «Русский акцент в Каунасе». [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.ruskaunas.lt/index.php?option=com\\_content&view=article&id=144:2011-02-07-15-06-16&catid=54:2009-11-13-10-26-11&Itemid=77](http://www.ruskaunas.lt/index.php?option=com_content&view=article&id=144:2011-02-07-15-06-16&catid=54:2009-11-13-10-26-11&Itemid=77). – Дата доступа: 2.04.2014.
4. Воронов, В. Русские не сдаются. Защита крепости Осовец / История государства. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://statehistory.ru/1259/Zashchita-kreposti-Osovets--Ataka-mertvetsov/>. – Дата доступа: 31.03.2014.
5. Брест. На перекрестке дорог и эпох: [1019 – 2009] / А.М. Суворов; [фото А.М. Суворова и др.]. – Брест: Полиграфика, 2009. – 240 с.: с ил.
6. Лазовская, Л.М. Ущерб, причиненный г. Бресту в годы Первой мировой войны / Моладзь Берасцейшчыны: зборнік артыкулаў. – БрДУ імя А.С. Пушкіна, гістарычны факультэт. – Брэст, 1995. – 114 с.

УДК 624.012

*Пиваш Д.А.*

*Научный руководитель: Воскобойников И.С.*

### **РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ БАЛОК СОСТАВНОГО СЕЧЕНИЯ ПРИ ЦИКЛИЧЕСКОЙ НАГРУЗКЕ**

В настоящее время проведены значительные исследования напряженно-деформированного состояния бетонных и железобетонных конструкций при различных силовых воздействиях. Особенно большое количество исследований проведено при воздействии кратковременных и длительных нагрузок. В последние годы особую актуальность приобрела проблема изучения напряженно-деформированного состояния при многократных воздействиях, особенно в области, близкой к разрушению.

Целью данной работы было изучение вопроса сопротивления наклонного сечения сборно-монолитной балки с монолитным слоем из напрягающего бетона низкочастотным циклическим нагрузкам.

#### **Методика проведения исследования**

Исследования проводились на шести сборно-монолитных балках прямоугольного сечения размером 100x200 мм длиной 2400 мм. Сборные элементы – балки размером 100x140x2400 мм и 100x60x2400 мм. Сборные балки имели одинаковую шероховатость контактной поверхности верхней грани, по которой впоследствии укладывали монолитный бетон. Шероховатость поверхности контакта характеризовалась следующими показателями:

- поверхность бетона по верхней грани после укладки дополнительно не обрабатывалась;
- использовались арматурные выпуски в виде вертикальных арматурных стержней Ø4 S500.
- шаг поперечных стержней принят равным 100 мм.

Сборные балки армировали пространственными каркасами. После твердения бетона сборного элемента в пропарочной камере, а затем в нормально-влажностных условиях не ранее, чем на сутки после бетонирования была произведена укладка дополнительного монолитного слоя размером 60x100мм и 140x100мм из напрягающего бетона.

Таблица 1 – Маркировка и характеристики опытных балок

Маркировка балок	Класс бетона		Диаметр, класс и процент поперечного армирования	Высота монолитной набетонки (варьируемый параметр), мм
	Сборной части	Монолитной части		
Б-I-1...3	C <sup>20</sup> / <sub>25</sub> (тип P)	C16/20 (тип S)	Ø4 S500 $\rho_w = 0,27\%$	60
Б-II-1...3	C <sup>20</sup> / <sub>25</sub> (тип P)	C16/20 (тип S)	Ø4 S500 $\rho_w = 0,27\%$	120

**Примечание:** Тип P – бетон на портландцементе, тип S – бетон на напрягающем цементе.

### Испытания при статической нагрузке

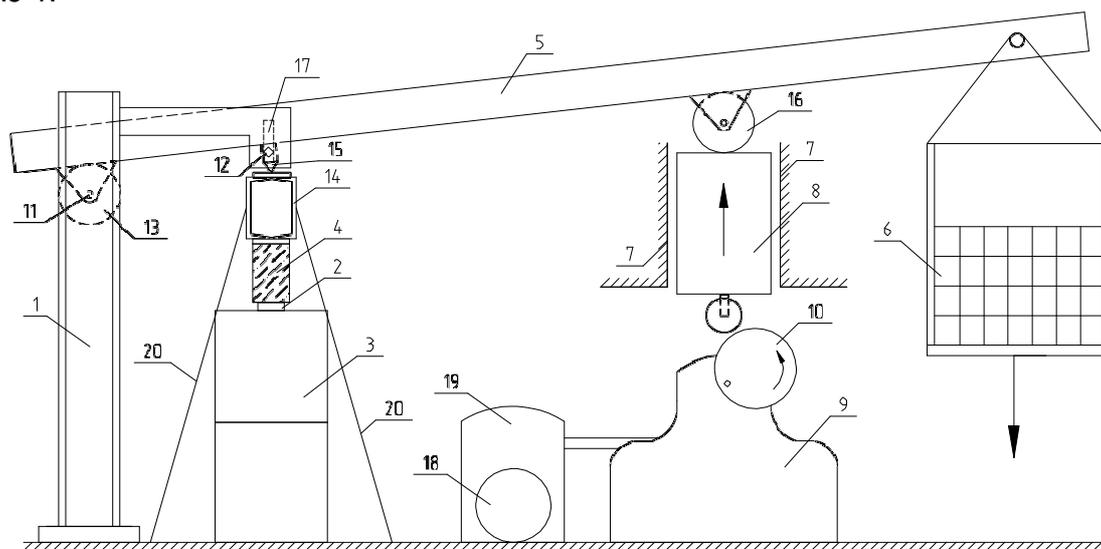
Испытаниям при действии кратковременной поэтапно возрастающей нагрузки подвергали по одному образцу от каждой серии балок. Такие испытания были необходимы для определения разрушающей нагрузки, на основании данных о которой устанавливали уровень эксплуатационной нагрузки для испытания балок-близнецов при циклическом нагружении.

Испытания балок при действии статической поэтапно возрастающей нагрузки выполняли на рычажной установке.

### Испытания при циклическом нагружении

В проведенном экспериментальном исследовании моделировались низкочастотные малоцикловые нагрузки с частотой 1 цикл в минуту и характеристикой цикла  $\rho = 0$ . Время приложения и снятия максимальной нагрузки цикла в зависимости от жесткости балки составляло несколько секунд, оставшееся время распределялось на постепенное возрастание-убывание нагрузки и релаксацию балки

Испытания балок при действии многократно повторяющейся нагрузки с низкой частотой приложения выполняли на специальной редукторной установке, изображенной на рисунке 1.



1 – рама; 2, 3 – опоры; 4 – опытная балка; 5 – рычаг; 6 – груз; 7 – направляющие; 8 – толкатель; 9 – привод; 10 – эксцентрик; 11 – шарнир; 12 – фиксатор; 13 – центрирующий цилиндр; 14 – траверса; 15, 16 – опоры; 17 – полз; 18 – электродвигатель; 19 – червячный редуктор; 20 – распорные тросы.

**Рисунок 1 – Редукторная установка для испытания сборно-монолитных балок при циклических нагрузках**

Схема приложения нагрузки на балку полностью соответствовала испытаниям при статической нагрузке, последняя передавалась от рычага на балку через распределительную траверсу двумя симметричными относительно центра балки сосредоточенными силами на расстоянии 500 мм от опор.

Первый цикл нагружения производили ступенчато вручную. По достижении требуемого уровня загрузки балки снимались данные по всем измерительным приборам. Далее включалась редукторная установка и происходило автоматическое нагружение-разгружение с частотой 1 цикл/мин. После достижения в испытании количества циклов, равных 10, 100, 500, 1000, 2000, 3000 и т.д., установка останавливалась при нагруженной балке. Измерялись суммарные деформации после действия повторной нагрузки, прогибы, ширина раскрытия трещин. Испытание каждой балки производилось до её разрушения. За разрушающее принималось то количество циклов нагружения, после достижения которого в образце наблюдалось одно из явлений: происходил разрыв арматуры, проскальзывание арматуры в бетоне или раздробление бетона сжатой зоны.

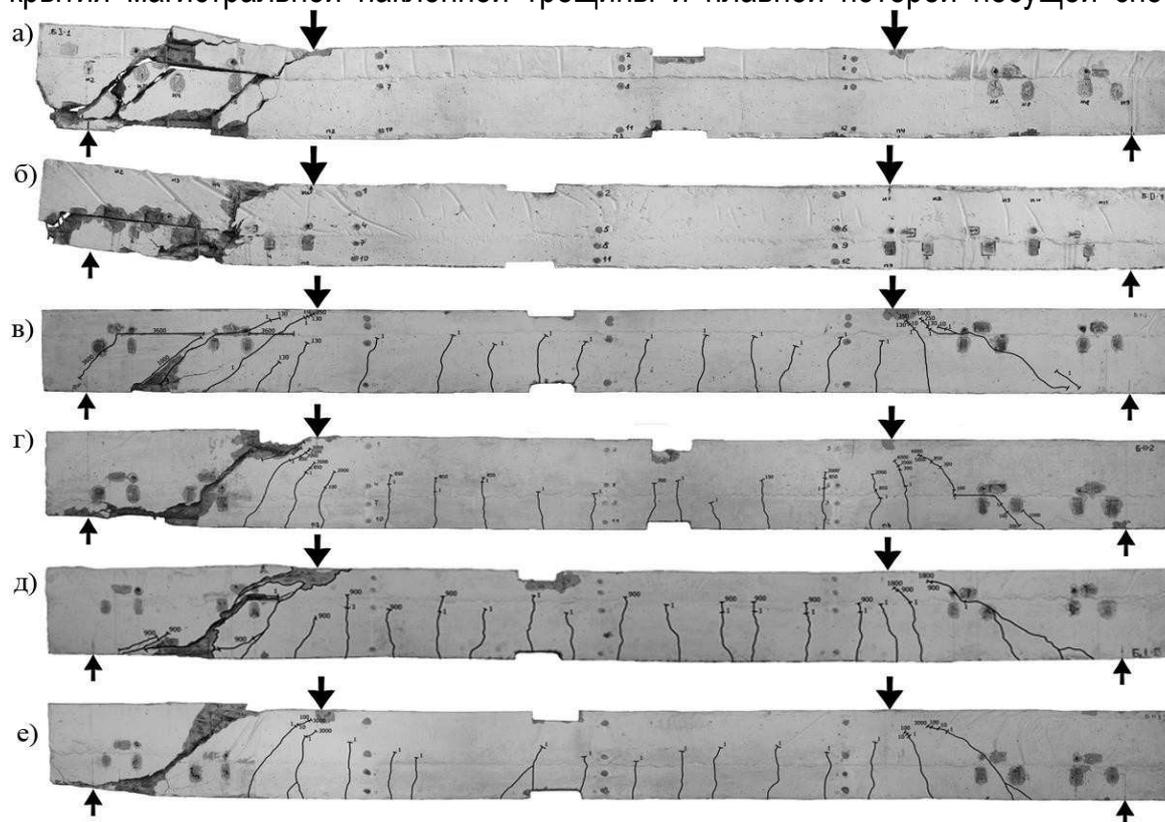
### Результаты испытаний

При статическом нагружении обе испытанные балки (Б-I-1 и Б-II-1) разрушились от достижения поперечной арматурой напряжений равных пределу текучести при разделении магистральной наклонной трещиной бетона балки на несколько частей.

По результатам испытаний были получены разрушающие нагрузки  $F_u$ , равные для балки серии Б-I-1 – 115,8 кН, для Б-II-1 – 108,7кН.

Разрушение образцов происходило от достижения поперечной арматурой напряжений равных пределу текучести.

Балки разрушались не хрупко, с постепенным увеличением прогибов, ширины раскрытия магистральной наклонной трещины и плавной потерей несущей способности.



а) Б-I-1; б) Б-II-1; в) Б-I-2; г) Б-II-2; д) Б-I-3; е) Б-II-3;

**Рисунок 2 – Картина трещинообразования и разрушения опытных балок**

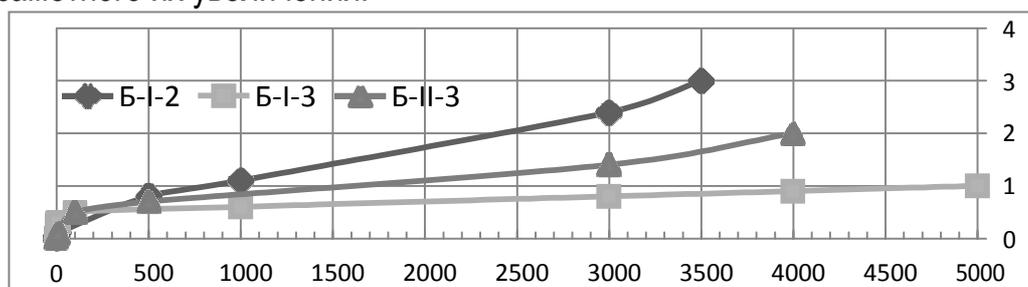
В процессе испытаний балки серии Б-I характеризовались следующей картиной трещинообразования. В первый цикл нагружения появлялся ряд нормальных и наклонных трещин по всей длине конструкции. Все образовавшиеся трещины пересекали нижнюю грань балки. Ширина раскрытия нормальных не превышала 0,05 мм, наклонных – 0,15 мм. Диагональные трещины, образовавшиеся в сборной части балки соединялись в контактном шве в одну магистральную, которая и продолжала с увеличением количества циклов нагружения свой рост к месту приложения нагрузки до разрушения конструкции.

В серии Б-II наклонные трещины вели себя как в сплошной конструкции (не составного сечения), не производя расслоения контактного шва.

### Выводы

При действии многократно повторных нагрузок во всех испытанных балках происходило увеличение деформаций бетона. Деформации с различной интенсивностью развивались на всем протяжении испытаний. Необходимо отметить, что наиболее интенсивное развитие деформаций происходило в начальный период (1-10 цикл нагружения).

Степень увеличения деформаций зависит от уровня нагрузки. При высоких уровнях максимальной нагрузки цикла в результате того, что уже при первом загрузении достигаются значительные деформации бетона, последующие повторные нагружения не вызывают заметного их увеличения.



**Рисунок 3 – Ширина раскрытия магистральной наклонной трещины в балках при увеличении количества циклов нагружения**

Как отмечено многими исследователями, многократно повторное нагружение вызывает остаточные напряжения в растянутой арматуре. Возникновение остаточных деформаций в арматуре происходит вследствие накопления неупругих остаточных деформаций в бетоне сжатой зоны, вызванных виброползучестью бетона, развитием усталостных микротрещин в сжатом и выключением из работы растянутого бетона, а в нашем случае дополнительно и самонапряжением монолитного слоя из напрягающего бетона.

В проведенных испытаниях коэффициент асимметрии нагрузки цикла принимался равным нулю, что в конечном итоге не соответствовало коэффициенту асимметрии напряжений в арматуре. Об этом можно утверждать вследствие не возвращения напряжений-деформаций арматуры балки в исходное положение после снятия нагрузки в процессе испытаний

По результатам проведенного эксперимента можно судить о том, что сопротивление контактного шва сборно-монолитной балки зависит от того, в какой области деформирования он находится. При работе контакта в растянутой области сечения, балка сопротивляется внешним воздействиям аналогично балкам сплошного (не составного) сечения. При попадании контакта в нейтральную и сжатую область сечения на работу стыка оказывают активное влияние переменные касательные напряжения.

Для стыковых соединений, исследованного типа, горизонтальные смещения приводят к развитию нормальных перемещений, (явление дилатансии). Сопротивление сдвига армированных стыков подробно рассмотрено в работах [1, 2].

Таким образом, условием, определяющим появление горизонтальной трещины в стыке и дальнейшее смещение монолитной части относительно сборного элемента, следует считать:

- нахождение контактного шва в нейтральной или сжатой области сечения;
- образование как минимум двух наклонных трещин в одном пролёте среза.

На стадии расширения напрягающего бетона в сечениях конструкции возникают внутренние усилия, приводящие к предварительному напряжению монолитной набетонки, что соответствует представлениям [3]. Зафиксированные самонапряжения в размере 1,5 Н/мм<sup>2</sup> оказывают влияние на трещиностойкость наклонных сечений [3].

Многokrатно повторные нагружения вызывали увеличение прогибов всех испытанных балок.

Таблица 2 – Значение максимальных прогибов в точке приложения нагрузки

Маркировка балки	Значение максимальных прогибов, мм при количестве циклов N											
	1	10	100	500	1000	2000	3000	3500	4000	5000	6000	10000
Б-I-2	22	26	30	34,5	35	36		44	56			
Б-I-3	27,8	30,2	33,1	35	35,7	37,3	38		39,5	40,9		
Б-II-2	59	63	67	70	72		73,8			74,5	86,3	90
Б-II-3		64,6		66	67,5				71,9			

#### Список цитированных источников

1. Тур, В.В. Применение деформационной модели для расчета изгибаемых сборно-монолитных конструкций с учетом нелинейной работы связей сдвига / В.В. Тур, Т.П. Шалобыта // Вестник БГТУ. – 2001. – №1 (7): Строительство и архитектура. – С. 88-90.

2. Тур, В.В. Прочностные и деформативные параметры контактных соединений сборно-монолитных конструкций / В.В. Тур, Т.П. Шалобыта, Н.Н. Шалобыта // Вестник БПИ. – 2000. – №1: Строительство и архитектура. – С. 60-65.

3. Щербач, А.В. Экспериментальное определение прочности наклонных сечений самонапряженных сборно-монолитных балок со знакопеременной эпюрой изгибающих моментов // Вестник БГТУ. – 2003. – №1: Строительство и архитектура. – С. 160-164.

УДК 725.945 | 1914/1918 | (476.7)

**Янученя А.Н., Довженюк В.С.**

**Научный руководитель: старший преподаватель Кароза А.И.**

### МЕМОРИАЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС, ПОСВЯЩЁННЫЙ ЖЕРТВАМ ПЕРВОЙ МИРОВОЙ ВОЙНЫ. ФОРТ IV

Целью работы является создание мемориального парка, для этого мы проанализировали мировое наследие мемориальных комплексов Первой мировой войны, анализ современного состояния территории, на которой расположен форт, и предложения проектного решения. В 2014 г. народы многих стран будут отмечать 100-летие Первой мировой войны. Инициатором создания мемориала, посвящённого жертвам Первой мировой войны, на территории форта IV Брестской крепости является Республиканское общественное объединение «Белая Русь». Для создания привлекательного для жителей го-