

7. Design of Concrete Structures – Part 1: EN 1992-1:2002 Eurocode 2. – Brussels, General Rules and Rules for Building, 2002, October. – 230 p.
8. Byiliding Code Requirements for Structural Concrete and Commentary: ACI 318R-02.
9. Structural use of concrete. Part 1: Code of practice for design and construction / BS8110. – London, British Standards institution, 1985. – 70 p.
10. Model Code 2010. First Complete Draft. – Volume 2 – fib Bulletin 56. – April, 2010. – Germany. – 200 p.
11. Muttoni, A. Behavior of Beams and Punching in Slabs without Shear Reinforcement / A. Muttoni, J. Schwartz // IABSE Colloquium. – Zurich, Switzerland, 1991. – V. 62. – P. 703–708.
12. Тур, В.В. Расчет железобетонных конструкций при действии перерезывающих сил / В.В. Тур, А.А. Кондратчик. – Брест: БГТУ, 2000. – 400 с.
13. Duthinh, D. Shear Design of High-Strength Concrete Beams / D. Duthinh, N.J. Carino // A. Review of the State-of-the-Art (NISTIR 5870). – Building and Fire Research Laboratory. – August, 1996. – 199 p.
14. Vecchio, F.J. The Modified Compression Field Theory for Reinforced Concrete Elements Subjected to Shear / F.J. Vecchio, M.P. Collins // ACU. – March-April, 1986. – V. 83. – P. 219.
15. Основы проектирования строительных конструкций = Основы проектирования будауничых канструкций: ТКП EN 1990-2011. – Введ. 15.11.2012. – Минск: СЕН/ТС 250 «Конструкционные Еврокоды»: Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь, 2011. – 70 с.

Материал поступил в редакцию 31.03.14

#### **MOLOSH V.V. Verification of computational models with punching shear resistance of flat concrete slabs without shear reinforcement**

The paper presents the main approaches and models bursting flat slabs imposed regulations in Western Europe, the United States, as well as norms of the Republic of Belarus. The basic principles and equations developed general deformation model bursting resistance, based on the provisions of Modified Compression Field Theory (MTFT) and the equations of mechanics of deformed body (the equilibrium equations, the equations of strain compatibility, physical equations of deformation of structural materials), and provides a complete and easy methods for the determination of the punching forces. The verification of computational models bursting imposed regulations, and the developed model and draw conclusions about the reliability of the models.

УДК 624.012.46

**Вознюк Л.И., Демчина Б.Г., Дубижанский Д.И.**

### **РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ТРЕХСЛОЙНЫХ ПЛИТ ПЕРЕКРЫТИЯ НА ИЗГИБ**

**Введение.** На современном этапе развития экономики на первый план выходит необходимость использования легких, энергоэффективных и звукоизоляционных конструкций. Многослойные железобетонные конструкции все чаще применяются в строительной практике. Использование строительных конструкций, которые включают в себя легкие бетоны на пористых заполнителях, позволяет получить элементы, которые удовлетворяют текущие потребности производства. При целесообразном выборе состава различных слоев могут быть созданы многослойные конструкции с отличными как конструктивными так и энергоэффективными свойствами.

Трехслойные железобетонные конструкции могут с успехом применяться при реконструкции промышленных и гражданских объектов. Использование сборных облегченных плит перекрытия позволяет значительно упростить устройство перекрытий в труднодоступных местах. При небольшом весе элементов монтаж можно выполнять вручную, что значительно ускорит выполнение строительно-монтажных работ и уменьшит сметную стоимость.

Исследованьем многослойных конструкций занималось много ученых [1, 4–10]. Это позволило внедрить конструкции в практику. Однако на сегодняшний день недостаточно освещены вопросы методики теоретического расчета таких конструкций. Также недостаточно изученным является напряженно-деформированное состояние многослойных железобетонных конструкций, работающих на изгиб, в зависимости от физико-механических свойств каждого слоя, их толщины, способа армирования и т.д. Отсутствуют указания для обеспечения совместной работы различных слоев с различными физико-механическими характеристиками.

**Цель работы** – разработать рекомендации для проектирования и изготовления многослойных конструкций плит перекрытий, в которых будет обеспечена совместная работа различных слоев на их контактах; провести экспериментальные исследования и исследовать прочность и деформативность нормальных сечений трехслойных плит под воздействием нагрузки; выполнить расчет и сравнить

экспериментальные данные с теоретическими.

Основная часть. Согласно программе и разработанной методике исследования было изготовлено две серии трехслойных железобетонных плит (по три в каждой) (табл. 1), 12 бетонных призм, 12 образцов кубов.

Опытные образцы плит квадратные в плане, размерами 2000x2000 мм, толщиной 100 мм (рис. 1). Продольная рабочая арматура в нижнем слое Ø5 ВР-I с шагом 200x200 мм. В первой серии плит – средний слой принят из керамзитобетона, во второй – из газобетона. Толщина внутреннего слоя принята равной 40 мм, верхнего и нижнего по 30 мм. Соединение рабочей арматуры в плоскую сетку выполнено в заводских условиях контактной сваркой.

Образцы изготавливались на заводе ЗСК № 2 во Львове по специально разработанной технологии [5].

Приняты следующие условные обозначения: П – плита; К – средний слой из керамзитобетона; Г – средний слой из газобетона, цифры указывают номер плиты в соответствующей серии. Так, например, маркировка "ПГ-2.1" указывает, что это первая плита второй серии, в которой средний слой из газобетона.

Испытания проводили на действие кратковременной нагрузки в лаборатории НИЛ-23 НУ «Львовская политехника», г. Львов. Прикладывание нагрузки проводили с помощью металлических грузов с фиксированной массой.

Стенд для испытаний показан на рис. 2.

На поверхностях исследуемых плит выполнялась разметка для наклеивания тензорезисторов (рис. 3).

Прогибы плит измеряли с помощью индикаторов часового типа с ценой деления 0,01 мм. Всего было установлено девять индикаторов, по четыре на опорах и посередине пролетов и один – по центру на нижней грани плиты. Для большей точности измерений между индикаторами и образцом приклеивали стеклянные пластины. Индикаторы были закреплены на металлических штативах.

**Вознюк Леонид Иванович**, аспирант кафедры «Строительные конструкции и мосты» Национального университета «Львовская политехника». Руководитель группы конструкторов ПрАТ «Львовский проектный институт», г. Львов, Украина.

**Демчина Богдан Григорьевич**, д.т.н., профессор кафедры «Строительные конструкции и мосты» Национального университета «Львовская политехника». Академик Академии строительства Украины, г. Львов, Украина.

**Дубижанский Дмитрий Игоревич**, к.т.н., доцент кафедры строительной механики Тернопольского национального университета имени Ивана Пулюя, г. Тернополь, Украина.

Таблица 1. Характеристики экспериментальных плит

Серия	№ пл/л плит	Шифр плит	Размеры плит ахбхг (м)	Толщина верхнего и нижнего слоев (м)	Толщина среднего слоя (м)	Бетон			Арматура
						Тяжелый бетон	Керамзитобетон	Газобетон	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	1	ПК-1.1	2x2x0,1	0,03	0,04	С25/30	D1200	-	Ø5 Вр-I
	2	ПК-1.2							
	3	ПК-1.3							
2	4	ПГ-2.1					-	D800	
	5	ПГ-2.2							
	6	ПГ-2.3							

Размещение плиты в плане

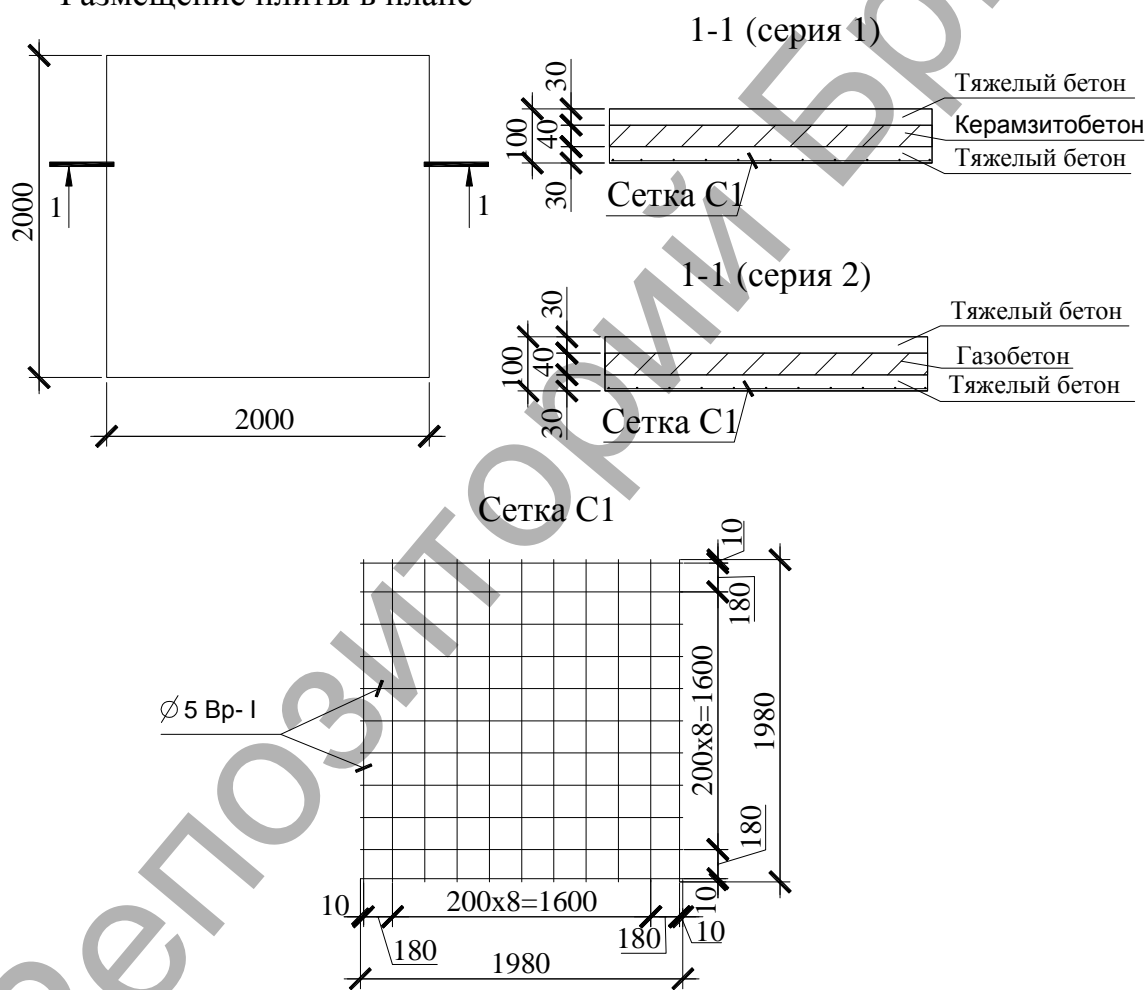


Рис. 1. Конструкция опытных образцов

Деформации бетона измеряли электрическими тензорезисторами с базой измерения 50 мм. Их наклеивали на боковой грани плиты по высоте сечения по два на каждый слой бетона, в уровне арматуры. Кроме этого два тензодатчика крепили в зоне сжатия на верхней грани плиты и на верхней и нижней поверхностях железобетонной плиты. Показания тензорезисторов снимались с помощью электрического измерителя деформаций АИД-4М.

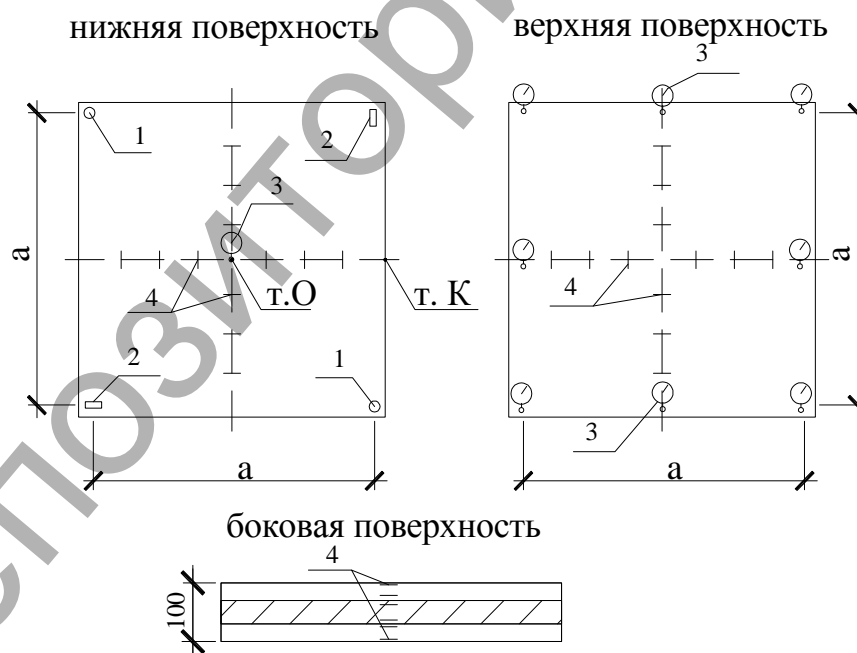
Во время экспериментальных исследований контролировали момент трещинообразования и развития трещин. Момент трещинообразования определяли с помощью микроскопа МПБ-2М. Дополни-

тельной информацией о появлении трещин служили прыжки в показаниях тензорезисторов в нижней зоне и на боковых гранях, через которые они прошли. С помощью микроскопа замеряли и ширины раскрытия трещин. Показания приборов, а также фиксацию развития трещин выполняли после каждой ступени нагрузки и заносили в журнал испытаний.

При испытании плит нагрузка прикладывалась ступенями с шагом 1 кН/м<sup>2</sup> до полного их разрушения. Выдержка между приложенными ступенями нагрузки составляла 10–15 мин.



Рис. 2. Общий вид испытательного стенда на 2-м этапе нагрузки



1 – шаровая опора; 2 – цилиндрическая опора; 3 – индикаторы; 4 – тензорезисторы

Рис. 3. Схема расположения опор, тензорезисторов и индикаторов

Плиты были запроектированы таким образом, чтобы их разрушения проходило по нормальному сечению от действия изгибающего момента.

Разрушение плит происходило вследствие достижения критических напряжений в растянутой арматуре. Исследуемые плиты, как правило, разрушались крестом на большие четыре куска (рис. 4).

Экспериментальные значения моментов  $M_{cr}^{exp}$  и прогибов  $f_{cr}^{exp}$  находили согласно по формулам Д.В. Вайнберг «Расчет пластин» [12]:

$$M_K^{exp} = 0,1604 \cdot g \cdot a^2; \quad (1)$$

$$M_O^{exp} = 0,1231 \cdot g \cdot a^2; \quad (2)$$



Рис. 4. Общий вид плиты ПГ-2.1 после разрушения

Таблица 2. Прочность и деформативность экспериментальных плит

Серия	№ п/п плит	Шифр плит	Максимальные усилия и деформации				$M_{cr}^{exp} / M_{cr}$
			Экспериментальные		Расчетные		
			$M_{cr}^{exp}, кН \cdot м$	$f_{cr}^{exp}, мм$	$M_{cr}, кН \cdot м$	$f_{cr}, мм$	
1	2	3	4	5	6	7	8
1	1	ПК-1.1	3,30	1,44	3,17	1,46	1,04
	2	ПК-1.2	3,49	1,36	3,17	1,46	1,10
	3	ПК-1.3	3,46	1,35	3,17	1,46	1,09
2	4	ПГ-2.1	3,55	1,36	3,17	1,50	1,12
	5	ПГ-2.2	3,30	1,41	3,17	1,50	1,04
	6	ПГ-2.3	3,39	1,37	3,17	1,50	1,07

$$f_K^{exp} = 0,0175 \cdot \frac{g \cdot a^2}{D}; \quad (3)$$

$$f_O^{exp} = 0,0282 \cdot \frac{g \cdot a^2}{D}; \quad (4)$$

где  $g$  – нагрузка в кН/м<sup>2</sup>;

$a$  – пролет плиты;

$D$  – цилиндрическая жесткость плиты.

Расчетные значения моментов  $M_{cr}$  определялись согласно ДБН В.2.6-1-98: 2009 по формулам:

$$\frac{bf_{ck}\epsilon_{c1}}{\chi} \sum_{k=1}^5 \frac{a_k}{k+1} \left( \frac{\epsilon_{c(1)}}{\epsilon_{c1}} \right)^{k+1} + \sum_{i=1}^n \sigma_{si} A_{si} = 0; \quad (5)$$

$$\frac{bf_{ck}(\epsilon_{c1})^2}{\chi^2} \sum_{k=1}^5 \frac{a_k}{k+2} \left( \frac{\epsilon_{c(1)}}{\epsilon_{c1}} \right)^{k+2} + \sum_{i=1}^n \sigma_{si} A_{si} (X_1 - Z_{si}) = M, \quad (6)$$

где  $\epsilon_{c(1)}$  – деформации бетона сжатой фибры сечения;

$\epsilon_{c1}$  – деформация при максимальных напряжениях в бетоне;

$f_{ck}$  – призмная прочность бетона на сжатие;

$a_k$  – коэффициенты полинома;

$\chi$  – кривизна изогнутой оси в сечении;

$X_1$  – высота сжатой зоны сечения;

$\sigma_{si}$  – напряжения в арматуре;

$A_{si}$  – площадь арматуры;

$Z_{si}$  – расстояние  $i$ -того стержня арматуры от наиболее сжатой грани сечения;

$M$  – значение изгибающего момента.

В таблице 2 указаны максимальные значения моментов и прогибов исследуемой плиты.

Поскольку разрушение плиты происходило от краев к центру (рис. 4), то в качестве критерия несущей способности принимаем момент в т. К (рис. 3).

Анализ выполненных экспериментально-теоретических исследований показывает, что методика расчета, согласно действующим нормам в Украине [1,2] позволяет с необходимой точностью определить прочность исследуемых плит. Различие между теоретическими и экспериментальными величинами разрушающих моментов составило от 4 до 12% в сторону превышения экспериментальных величин над теоретическими, что является удовлетворительным.

**Заключение.** На основании изложенного можно сделать следующие выводы:

1. Разработано и апробировано методику экспериментальных исследований трехслойных железобетонных плит при опирании на четыре угла.
2. Проведенные исследования позволили установить характер разрушения трехслойных плит при опирании их на четыре опоры, что позволило выбрать расчетную схему плиты.
3. Выполнено сравнение экспериментальных величин с теоретическими. Различие между теоретическими и экспериментальными величинами составило 4–12% в сторону запаса прочности конструкции.

#### СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Барашиков, А.Я. Экспериментальные исследования двухслойных плит / А.Я. Барашиков, О.Д. Журавский, Д.В. Сморгалов // Ресурсосберегающие материалы, конструкции, здания и сооружения: сборник науч. работ – Вып.12 – Ровно: НУВГП, 2004. – С. 109–114.
2. Конструкции зданий и сооружений. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения: ДБН В. 2.6-98: 2009 / Минрегионстрой Украины. – К.: Минрегионстрой Украины, 2011. – 71 с.
3. Конструкции зданий и сооружений. Бетонные и железобетонные конструкции из тяжелого бетона. Правила проектирования: ДСТУ Б В.2.6-156:2010 / Минрегионстрой Украины. – К.: Минрегионстрой Украины, 2011. – 119 с.
4. Штамм, К. Многослойные конструкции / К. Штамм, Х. Витте // Пер. с нем. Т.Н. Орешкиной. – М.: Стройиздат. 1983. – 300 с.
5. Рутковская, И.З. Изготовление и испытания трехслойных плоских панелей перекрытия размером 2x2 м / И.З. Рутковская, Л.И. Вознюк // Сб. науч. работ: Градостроительство и территориальное планирование – Киев: КНУСА, 2013. – Вып.48. – С. 384–389.
6. Майборода, В.Ф. Расчет прочности и деформативности приопорных участков изгибаемых трехслойных железобетонных конструкций / В.Ф. Майборода, В.М. Карлюк // Бетон и железобетон – ресурсо- и энергосберегающие конструкции и технологии: Материалы к X Всеоюз. конф. по бетону и железобетону, Казань окт.1988 г. – Киев: НИИСК Госстроя СССР, 1988. – С. 158–163.
7. Кобелев, В.Н. Расчет трехслойных конструкций / В.Н. Кобелев, П.М. Коварский, С.И. Тимофеев – М.: Машиностроение, 1984. – 304 с.
8. Жолдыбаев, Ш.С. Трехслойные плиты перекрытий с малопрочным средним слоем / Ш.С. Жолдыбаев, В.С. Зырянов // Жилищное строительство, 1993. – № 6. – С. 21–22.
9. Майборода, В.Ф. Трехслойные железобетонные конструкции / В.Ф. Майборода, В.М. Карлюк – К.: Будивельник, 1990. – 144 с.
10. Майоров, В.И. Экспериментальные исследования несущей способности трехслойных железобетонных элементов по наклонному сечению // Исследование в области железобетонных конструкций: сб. тр. Ленингр. ИСИ. – 1965. Вып. 48. – С. 82–99.
11. Бабич, Е.М. Конструкции из легких бетонов на пористых заполнителях. – К.: Вища школа, 1988. – 208 с.
12. Вайнберг, Д.В. Расчет пластин / Д.В. Вайнберг, Е.Д. Вайнберг – К.: Будивельник, 1970. – 434 с.

Материал поступил в редакцию 26.02.15

#### VOZNYUK L.I., DEMCHYNA B.G., DUBIZHANSKYI D.I. The results of the investigation of three-layer floor slabs under bending

The article highlights the testing method of three-layer floor slabs bending. The aim consists in - developing the recommendations for the fabrication of multilayer slabs which will be provided to collaborate on different layers of contact; - exploring the strength and deformability of normal cross section while loading the three-layer slabs. The investigation focuses its attention on two series of concrete slabs bearing the effect of short-term load. The results of the tests have been presented in the article. The comparison of the experimental and theoretical measures of the bearing capacity of slabs has been carried out according to the results.

УДК 624.011.17

Демчина Б.Г., Сурмай М.И., Пелех А.Б.

#### ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ АРМИРОВАННЫХ ДОЩАТОКЛЕЕННЫХ БАЛОК

**Введение и актуальность.** Украина обладает значительными лесными ресурсами, что позволяет широко применять их как строительный материал. Из древесины изготавливают различные клееные деревянные конструкции для жилых домов, мобильных (инвентарных) зданий, паркетные доски и щитовой паркет, столярные изделия и погонные детали, древесностружечные, древесноволокнистые, цементно и гипсостружечные плиты и другую продукцию. Быстрое развитие строительной отрасли требует поиска новых и эффективных конструкций. Одними из таких конструкций являются деревянные дощатоклееные балки армированные композитной арматурой.

На сегодня исследовано только использование стальной арматуры в деревянных дощатоклееных элементах, которая по сравнению с композитной менее прочная и одновременно дороже, а значит недостаточно эффективная для использования в современных сооружениях, особенно в которых предъявляются требования коррозионной стойкости, немагнитности или радиопрозрачности. Для применения композитного армирования в деревянных конструкциях необходимо провести комплекс экспериментальных исследований по сцеплению арматуры с древесиной, прочности и деформативности таких конструкций.

Клееная древесина уже более сотни лет широко применяется в строительстве. Она используется в конструкциях балок, арок, рам, куполах и мостах [1]. Стеклопластиковая и базальтопластиковая арматуры появились не так давно, но уже нашли широкий спектр применения как в строительной промышленности так и в машиностроительной или космической. Уникальная химическая стойкость, неподатливость коррозии и трудногорючесть увеличивают долговечность конструкций и значительно уменьшают потребность в дорогостоящих ремонтах.

Стеклопластиковая (АКС) и базальтопластиковая (АКБ) арматура обладает существенными преимуществами по сравнению со стальной

(А400С). Да, она имеет меньшие модули упругости (для стеклопластиковой  $E = 5,5 \cdot 10^4$  МПа, для базальтопластиковой  $E = 7 \cdot 10^4$  МПа [2]) при этом стальная арматура имеет  $E = 21 \cdot 10^4$  МПа, чем в 20 раз превышает модуль упругости древесины, который составляет  $E = 1 \cdot 10^4$  МПа и существенно ближе к композитной арматуре, способствует лучшей совместной работе с древесиной. Меньший вес и большее временное сопротивление композитной арматуры по сравнению со стальной могут обеспечить меньший вес конструкций и соответственно большую их эффективность. Коррозионная стойкость, немагнитность и радиопрозрачность расширяют спектр использования такой арматуры в элементах конструкций сооружений.

**1. Объект исследований.** Объектом исследований были балки, работающие на изгиб, из клееной древесины поперечным сечением 210x100 мм армированные композитной арматурой. Для сравнения результатов исследовались такие же балки без арматуры и со стальной арматурой.

Для склеивания образцов использовались сосновые доски толщиной 30 мм, влажность древесины которых составляла 9–12% и полиуретановый клей марки Jowarug 687-22. Сцепление арматуры с древесиной осуществлялось с помощью эпоксидного клея ЭД-1, заливался в предварительно изготовленные пазы. После этого образцы устанавливались под специальный пресс и выдерживались 12:00 под нагрузкой до полного высыхания клея [3].

**2. Методика экспериментальных исследований.** Испытания балок проводились в лаборатории кафедры строительных конструкций и мостов НУ «Львовская политехника». Установка для исследований (рис. 1) состояла из стенда для статических испытаний

Сурмай Михаил Игоревич, ассистент кафедры строительных конструкций и мостов Национальный университет «Львовская политехника», г. Львов, Украина.

Пелех Андрей Богданович, ассистент кафедры строительных конструкций и мостов Национальный университет «Львовская политехника», г. Львов, Украина.