

#### 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 гипсостружковые 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.

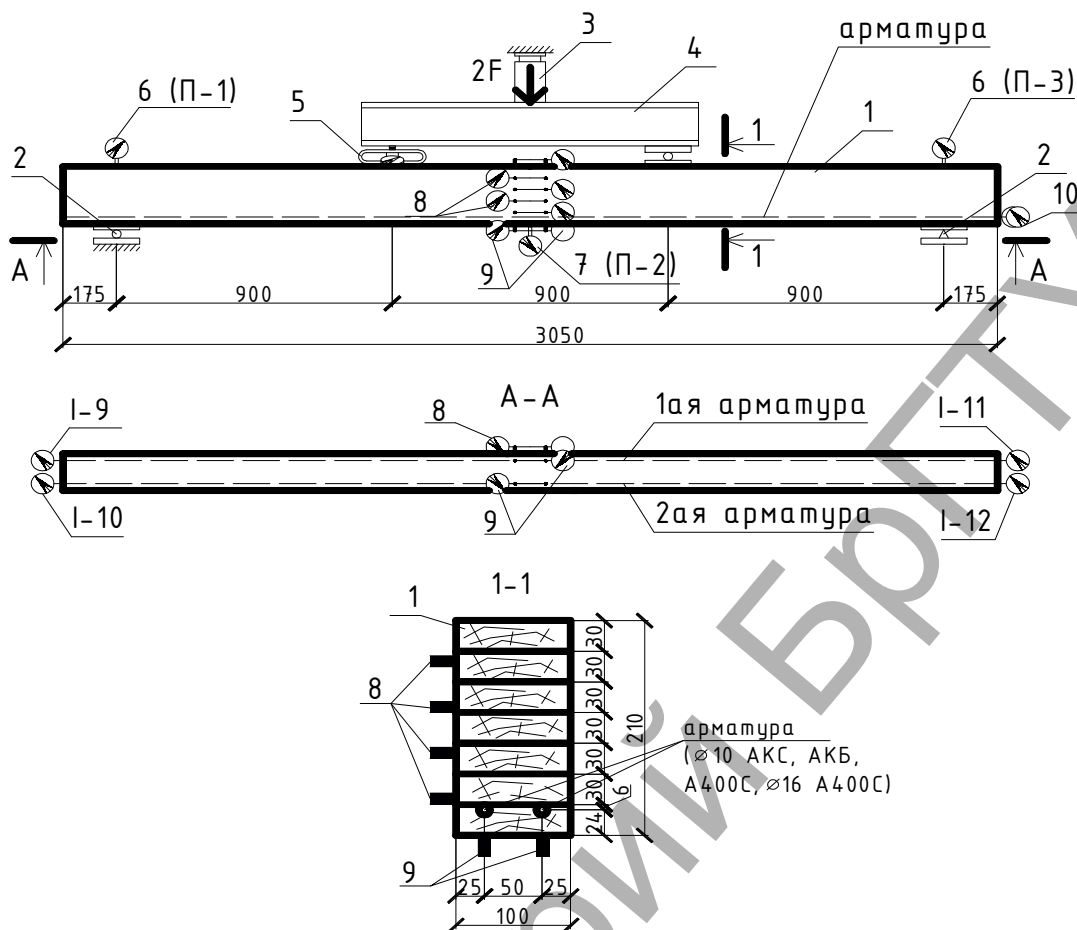
**1. Объект исследований.** Объектом исследований были балки, работающие на изгиб, из клееной древесины поперечным сечением 210x100 мм армированные композитной арматурой. Для сравнения результатов исследовались такие же балки без арматуры и со стальной арматурой.

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.



1 – исследовательская балка; 2 – опорные шарниры (подвижной и неподвижный); 3 – гидравлический домкрат; 4 – распределительная траверса; 5 – пружинный динамометр (Д-1); 6 – индикаторы на опорах (П-1, П-3); 7 – прогибомер индикатор по середине пролета (П-2); 8, 9 – микроиндикаторы по высоте сечения балки (И-1 ... 8); 10 – микроиндикаторы на торцах балки (I-9 ... 12)

Рис. 1. Схема опытной установки и размещения приборов

Таблица 1. Характеристики опытных образцов балок

Серия	Марка	К-во, шт	Геометрические		Арматура			Влажность древесины W, %
			Длина, мм	Сечение, мм	Марка	Ø, мм	μ, %	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
I	БД-1	2	3050	210x100	-	-	-	10,8
	БД-2							11,0
II	БС-1	2	3050	210x100	АКС	10	0,75	10,5
	БС-2							10,9
III	ББ-1	2	3050	210x100	АКБ	10	0,75	11,2
	ББ-2							10,8
IV	БМ-1	2	3050	210x100	А400С	10	0,75	11,6
	БМ-2							10,6
V	БМ-3	2	3050	210x100	А400С	16	1,91	10,3
	БМ-4							11,0

конструкций на прочность и приборов для измерения деформаций. Нагрузка на образец 1 создавалась гидравлическим домкратом 3, с помощью распределительной траверсы 4 передавалась на балку в третях пролета и контролировалась динамометром 5.

Прогиб балки определялся тремя индикаторами часового типа с ценой деления 0,01 мм, два из которых 6 измеряли проседание опор, а третий 7 прогиб по середине балки. Деформации древесины в сечении по середине пролета образца фиксировались с одной стороны шестью микро-индикаторами 8 типа МИГ с ценой деления 0,001 мм на базе B = 100 мм. Деформации арматурных стержней измерялись двумя микро-индикаторами типа МИГ на базе B = 100

мм, которые крепились к арматуре снизу балки после обнажения ее от защитного слоя из древесины, по середине балки. В торцах балки измерялось проскальзывания арматуры с помощью микроиндикаторов 9 типа МИГ с ценой деления 0,001 мм.

Нагрузка на образцы прикладывалась ступенями по 2F = 5 кН, а показы приборов снимали после выдержки на каждой степени по 10 мин. После достижения внешней нагрузки 20,0 кН или при появлении первых признаков разрушения балок, все приборы снимались.

Программой экспериментального исследования было предусмотрено испытание балок пяти серий (табл. 1).

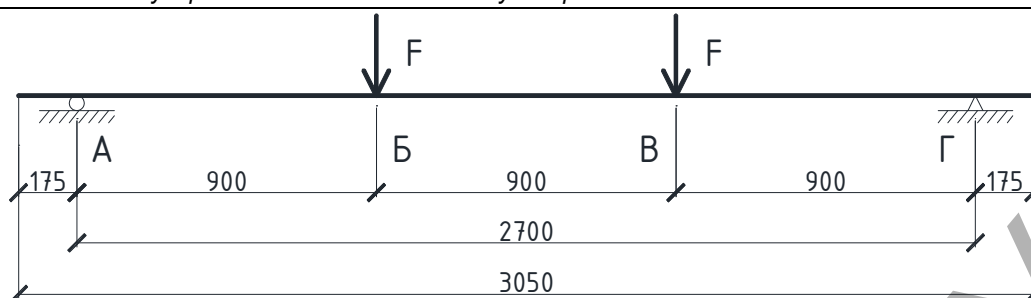


Рис. 2. Расчетная схема балки

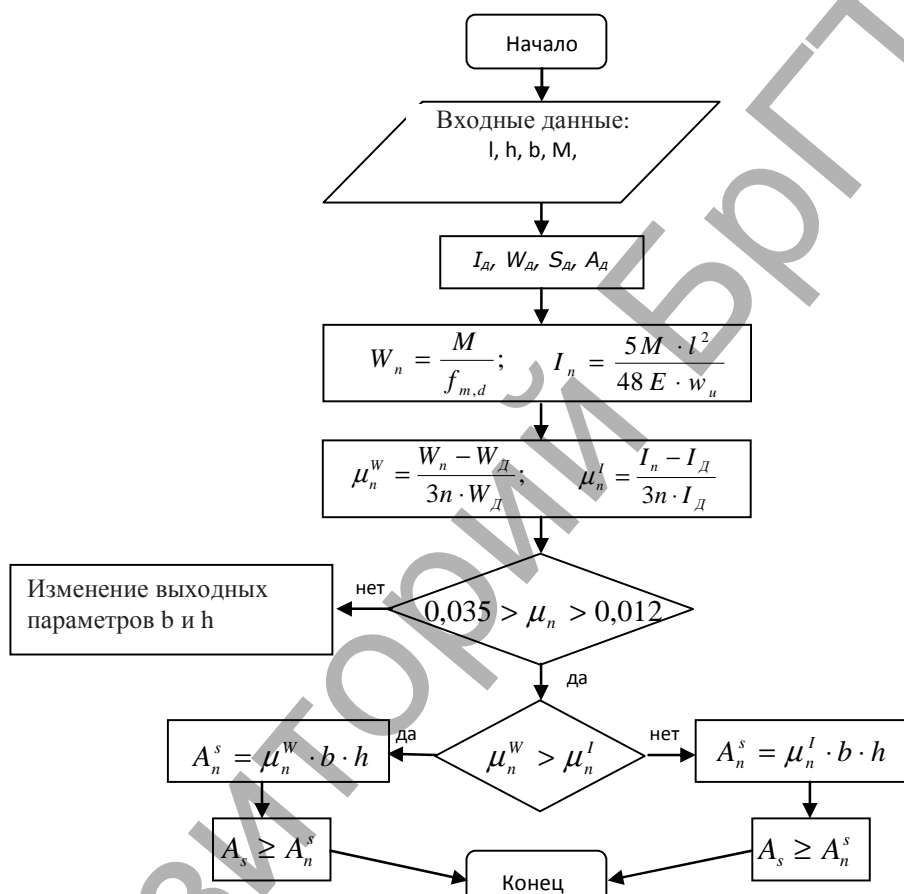


Рис. 3. Обобщенная блок-схема расчета армирования изгибаемых деревянных элементов

Расчет неармированных балок как изгибаемых элементов проводился согласно ДБН В.2.6-161: 2010 [4] и EN 1995-1-1: 2004 [5] по расчетной схеме, показанной на рис. 2.

**3. Расчет армированных дощатоклееных балок.** Расчет балок армированных стеклопластиковой и базальтопластиковой арматурой проводился по существующей методике расчета балок со стальной арматурой представленной в виде блок-схемы на рис. 3 [6, 7, 8].

Модуль упругости древесины определялся по относительным деформациям древесины по середине пролета балки по формуле:

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} = \frac{M}{W_d \cdot \varepsilon}, \quad (1)$$

где  $\sigma$  – напряжение в сечении балки кН/см<sup>2</sup>;  $\varepsilon$  – значение относительной деформации древесины на боковых сторонах балки.

Относительные деформации древесины определялись по формуле:

$$\varepsilon = \frac{\Delta a}{1000 \cdot B} = \frac{a_0 - a}{1000 \cdot B}, \quad (2)$$

где  $a_0$  – начальные показания приборов;  $a$  – показания приборов на этапах загрузки;  $B$  – база определения деформаций,  $B=100$ мм.

**4. Результаты исследований.** Средние значения разрушающих усилий для каждой серии балок, которые определялись в момент падения давления в домкрате  $F_u$ , а также критические расчетные значения усилий  $F_{cr}$  и  $F_{cr,w}$  приведены на рис. 4.

По результатам экспериментальных исследований построены графики прогибов балок (рис. 5) и выполнено их сравнение с расчетными прогибами полученными по формуле

$$w = \frac{23 \cdot P \cdot L^3}{648 \cdot E \cdot I}. \quad (3)$$

Как видно из рис. 5 экспериментальные и расчетные значения прогибов имеют различия в пределах до 8%.

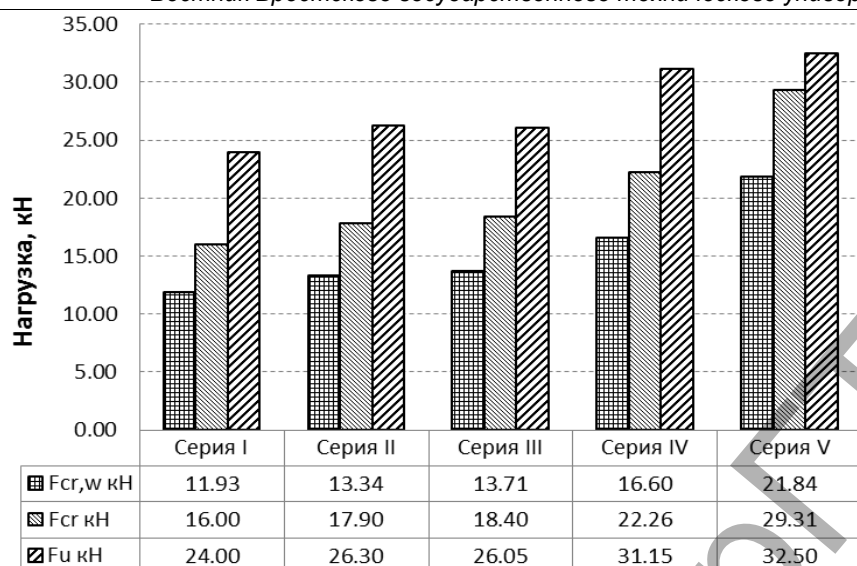


Рис. 4. Сравнение расчетных и экспериментальных несущих способностей для балок серий I-V

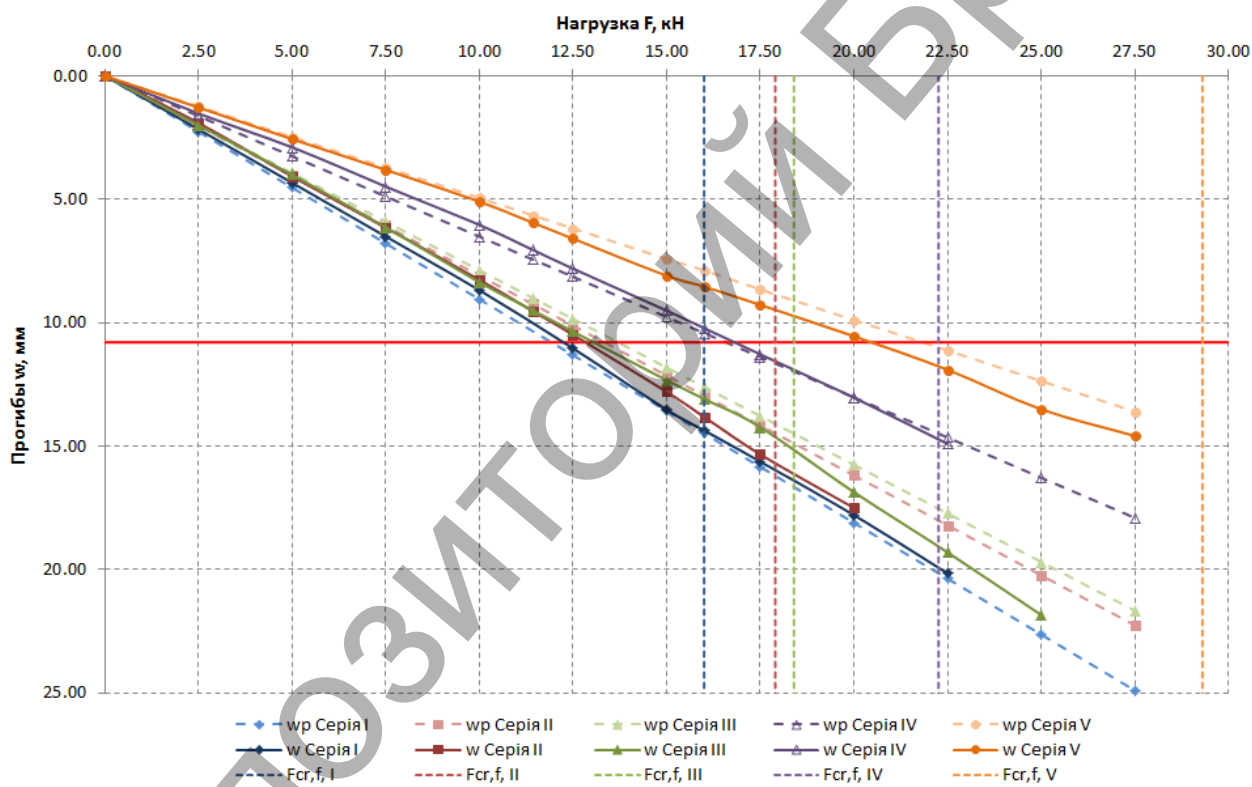


Рис. 5. Зависимость прогиба балок w от нагрузки F

**Заключение.** По результатам экспериментов можно сделать следующие выводы:

1. Разрушение балок I и IV серий происходило внезапно и имело хрупкий характер.
2. Балки II, III и V серий разрушались более плавно с видимым процессом появления трещин и участков смятия древесины, кроме этого после снятия нагрузки с них прогибы балок уменьшались.
3. Характер разрушения балок II, III и V серий указывает на более полное и равномерное использование древесины и арматуры по сравнению с балками I и IV серий, где разрушение произошло по древесине. Это указывает на недостаточное армирование балок IV серии.
4. Существующую методику расчета несущей способности балок армированных стальной арматурой можно применять для расчета изгибаемых элементов со стеклопластиковой и базальтопластиковой арматурой.

Проведенные экспериментальные исследования поставили ряд новых задач для дальнейших исследований, а именно:

- исследования совместной работы арматуры с древесиной, воздействия на нее различных типов клеев и анкеров;
- обоснование геометрических параметров из условий эффективности деревянных балок с композитной арматурой;
- применение других видов композитной арматуры.

#### СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Dagher, H.J. Effect of FRP Reinforcement on Low Grade Eastern Hemlock Glulams / H.J. Dagher, T.E. Kimball, S.M. Shaler, B. Abdel-Magid // National conference on wood transportation structures. – October 1996. – P. 207–213.
2. Технические требования и показатели арматуры от производителей.

3. Демчина, Б.Г. Досвід виготовлення дощатоклеєних балок, армованих неметалевою арматурою / Б.Г. Демчина, М.І. Сурмай, А.Р. Кравз, Т.І. Бляхар // Вісник ДонНАБА. – 2010. – № 5(85). – Том II. – С. 193–197.
4. Конструкції будинків і споруд. Дерев'яні конструкції. Основні положення: ДБН В.2.6-161:2010. – К.: Мінрегіонбуд України, 2011.
5. Eurocode 5: Design of timber structures: EN 1995-1-1:2004. – Part 1-1: General – Common rules and rules for buildings. European committee for standardization, 2008.
6. Клееные армированные деревянные конструкции: учебное пособие / В.Ю. Щуко, С.И. Рощина – СПб.: ГИОРД, 2009. – 128 с.
7. Фурсов, В.В. К вопросу о национальных нормативных документах Украины в деревянном строительстве / В.В. Фурсов, Н.Н. Ковлев // Зб. наукових праць Українського науково-дослідного та проектного інституту сталевих конструкцій імені В.М. Шимановського. – Київ: Вип. 3, 2009. – С. 6–12.
8. Пурызданх М. Исследование несимметрично армированной балки из клееной древесины натуральных размеров / М. Пурызданх // Комунальне господарство міст: наук.-техн. зб. – Харків: ХНУГХ, 2013. – Вип. 110. – С. 39–44.

Матеріал поступив в редакцію 05.01.15

#### DEMCHYNA B.G., SURMAY M. I., PELEKH A.B. Esearch of work of the reinforced doshchatokleeny beams

The paper presents the methodology and results of research of reinforced plankglued beams. A generalized block diagram for calculating the reinforcement of bended wooden elements with steel and as with composite reinforcement. The use of composite fittings as reinforcement in cross-section of plankglued beams allowed not only to reduce its weight roofing or overlapping, but the use of these beams in buildings with special technological conditions or with aggressive environment.

УДК 624.014.27

**Драган В.И., Глушко К.К.**

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛООВОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ СТЕРЖНЯ И УЗЛА СТРУКТУРНОЙ КОНСТРУКЦИИ СИСТЕМЫ БРГТУ В УСЛОВИЯХ ПОЖАРА

**Введение.** В данной статье рассмотрены результаты расчёта исследований огнестойкости структурной конструкции системы «БРГТУ».

При расчёте повышения температуры элементов структурной конструкции во время пожара необходимо учитывать теплообмен элементов структуры не только с окружающей средой, но и между собой. Вне зависимости от принятой модели расчёта пожара, предложенной в [1], принимаются следующие допущения для определения температуры стержней: стержни нагреваются равномерно по всей длине и по поперечному сечению, поэтому температурными градиентами вдоль стержня и по поперечному сечению можно пренебречь [2]. Принятые допущения значительно упрощают теплотехнический расчёт элементов структурной конструкции, однако не отображают реальную картину перемещения теплоты в конструкции.

Важность знания границ учёта теплового взаимодействия элементов структурной конструкции заключается в получении достоверных результатов теплотехнического расчёта. Тепловое взаимодействие элементов структуры выражается корректировкой температуры стержней из-за влияния на них менее нагретого узла. Стержень имеет меньшую толщину стенки, большую площадь поверхности нагрева, чем узел. По этой причине скорость изменения температуры стержней выше, чем у узлов.

При нагреве структурной конструкции в условиях локального пожара температура отдельных стержней, объединённых в один узел, различна. Также скорому выравниванию температуры в стержнях структурной конструкции до некоторого среднего значения препятствует узел. При значительном тепловом влиянии элементов структурной конструкции, не предусмотренном в [2, 3], необходимо корректировать полученную температуру, учитывая перераспределение теплоты внутри самой конструкции.

**Характеристика объекта исследований.** Для исследования способности передачи тепла от более нагретого стержня к другим, менее нагретым элементам структуры, был проведён эксперимент. Испытано два вида узлов: 160x10 мм и 212x16 мм. При испытании скорости теплопередачи через узел 212x16 мм в существующем фрагменте структурной конструкции один из стержней вблизи узла нагревался нихромовой проволокой. На участок стержня 22 см было помещено её 45 витков [4]. Тепловая мощность греющей спирали из

нихромовой проволоки составила 315 Вт. Нагрев производился при прохождении электрического тока напряжением 60В по нихромовой проволоке. Время испытаний составило 165 минут. В ходе эксперимента моделировался процесс теплообмена между элементами структурной плиты в покрытии спортивного зала в ДЮСШ №2 в г. Калинковичи, для которой ранее были получены результаты расчёта изменения температуры во время пожара. По данным теплотехнического расчёта, разность температур стержней, объединённых в один узел составила 80 °С. Температура в ходе эксперимента регистрировалась тепловизором Testo 1.20 раз в 15 минут. На рисунке 1 показан вид испытываемого фрагмента структурной конструкции.



Рис. 1. Вид испытываемого фрагмента

При нагреве узла регистрировались следующие значения температур: температура болта, максимальная температура узла, средняя температура узла. На рисунке 2 эти величины изображены на графике после обработки эксперимента и построения графиков функциональных зависимостей температуры от времени.

**Драган Вячеслав Игнатьевич**, кандидат технических наук, доцент, профессор кафедры строительных конструкций Брестского государственного технического университета.

**Глушко Константин Константинович**, аспирант кафедры строительных конструкций Брестского государственного технического университета.

Беларусь, БрГТУ, 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.