

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.



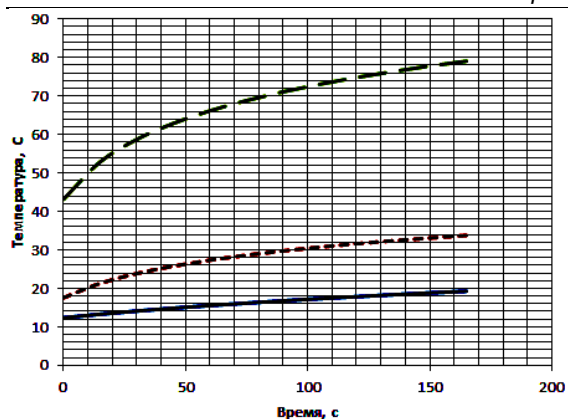
Рис. 1. Вид испытываемого фрагмента

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.

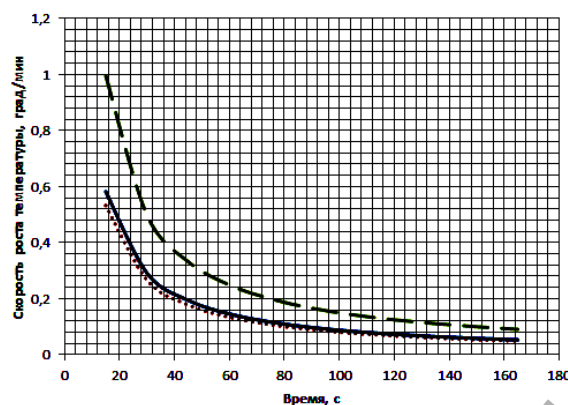
Беларусь, БрГТУ, 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.



1 – средняя температура узла, 2 – максимальная температура узла, 3 – температура болта

Рис. 2. Зависимость регистрируемых значений температур узла от времени узла 212x16 мм

Описанные зависимости температуры от времени дают возможность описать скорость нагрева узла и его элементов во времени. На рисунке 3 показано изменение скорости роста температуры во времени.



1 – средняя скорость нагрева узла; 2 – максимальная скорость нагрева узла; 3 – скорость нагрева болта

Рис. 3. Зависимость скорости нагрева от времени узла 212x16 мм

Из рисунков 2 и 3 следует, что уменьшение скорости нагрева узла и его элементов наступает, когда узел и нагреваемый болт прогрелись на всю толщину, т.е. градиент температур в поперечном сечении уменьшается.

Для численного моделирования процесса нагревания узла при нестационарном тепловом потоке была использована программа Comsol Multiphysics 4.3a. Температура резьбовой части болта М30 была описана линейной функциональной зависимостью температуры от времени  $\theta = 0.0032t + 28.2$  °С, найденной по методу наименьших квадратов по результатам эксперимента. Учтено влияние наружного воздуха на изменение температуры узлового элемента. Температура воздуха во время проведения эксперимента составляла 8 °С. При моделировании зазоры между шайбой болта и узлом не были учтены. Результаты моделирования этого процесса представлены на рисунке 4.

Наибольшая относительная разница результатов расчёта и результатов, полученных экспериментально составила 9,56% на 165-й минуте. Иллюстрации измеренных и вычисленных температурных полей узла представлены на 5 и 6.

Для определения теплового влияния более нагретого стержня на менее нагретые, объединённые в узел 160x10 мм, был собран фрагмент структуры. Также, как и в предыдущем случае нагрев производился на участке стержня помещённой на него нихромовой проволокой, которой было на участке 23 см намотано 45 витков. Тепловая мощность греющей спирали из нихромовой проволоки составила 315 Вт. На рисунке 7 показан испытываемый фрагмент структуры.

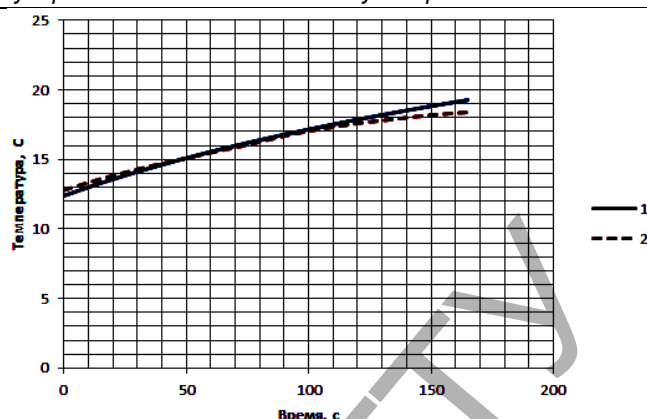


Рис. 4. Сравнение измеренной (1) и вычисленной (2) средней температуры узла 212x16 мм



1 – вид сбоку; 2 – вид со стороны нагретого болта

Рис. 5. Измеренное температурное поле узла 212x16 мм

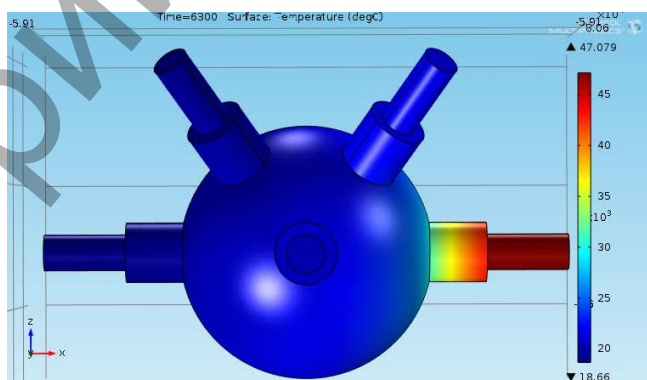
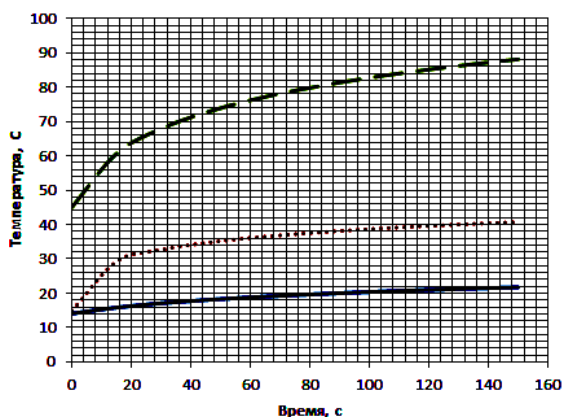


Рис. 6. Вычисленное температурное поле узла 212x16мм



Рис. 7. Испытываемый фрагмент структуры

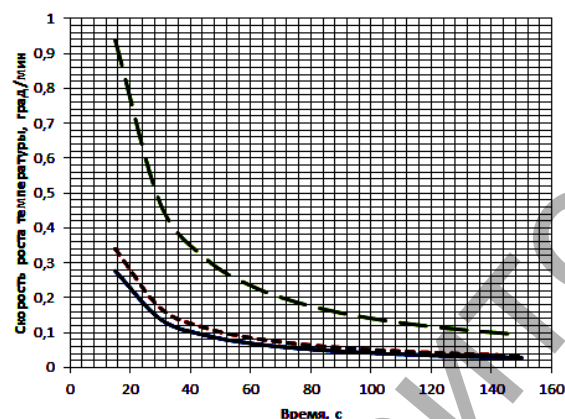
Максимальная разность температур более нагретого стержня и менее нагретых, объединённых в один узел, достигнута в 80 °С. На рисунке 8 показан график изменения значений температур полученных в результате эксперимента.



1 – средняя температура узла; 2 – максимальная температура узла; 3 – температура болта

Рис. 8. Зависимость регистрируемых значений температур узла от времени узла 160x10 мм

Исходя из графиков, изображённых на рисунке 8, можно показать изменение скорости роста температуры в испытываемом узле (рисунок 9).



1 – средняя скорость нагрева узла, 2 – максимальная скорость нагрева узла, 3 – скорость нагрева болта

Рис. 9. Зависимость скорости скорости нагрева от времени узла 160x10 мм

Как и для узла 212x16 мм, для узла 160x10 мм было произведено сравнительное решение представленной задачи в Comsol Multiphysics 4.3a. Температура резьбовой части болта M20 была линейной функциональной зависимостью температуры от времени  $\theta = 0.00036t + 41,5$  °С, которая описывает температуру болта во времени. На рисунке 10 представлено графическое сопоставление результатов эксперимента и расчёта.

Наибольшая относительная разница результатов эксперимента и расчёта составила 7,4% на 150-й минуте. Иллюстрации измеренных и вычисленных температурных полей узла представлены на 11 и 12.

**Заключение.** Из результатов экспериментов и расчётов можно сделать вывод, что температура менее нагретых стержней в узле, никогда не превысит температуру самого узла, при отсутствии внешнего нагрева стержней. Для обоих испытанных узлов разность температуры болта и средней температуры узла находится в пределах от 32°С до 63 °С при времени испытания 165 минут для узла 212x16 мм 150 минут для узла 160x10 мм.

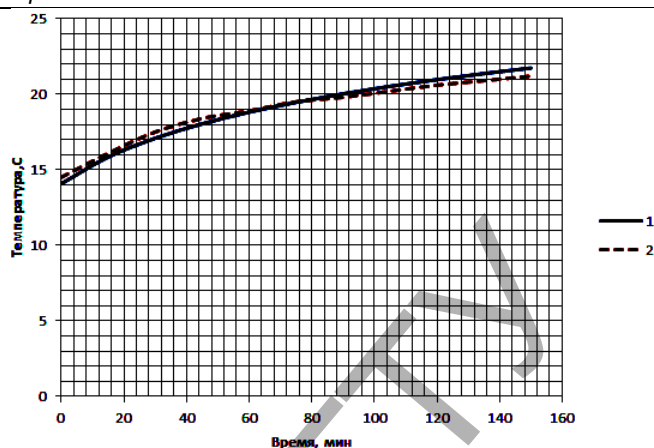


Рис. 10. Сравнение измеренной (1) и вычисленной (2) средней температуры узла 160x10 мм



Рис. 11. Измеренное температурное поле узла 160x10 мм

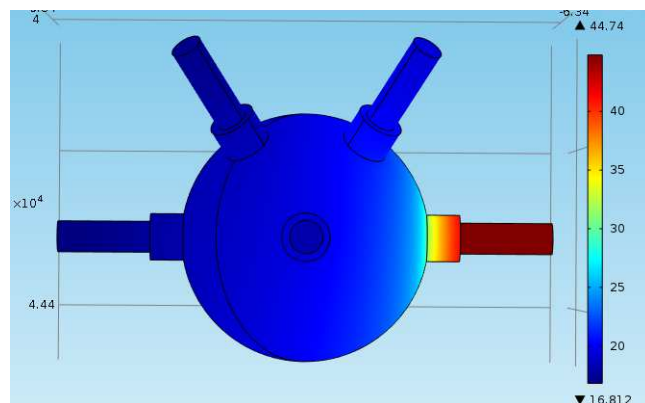


Рис. 12. Вычисленное температурное поле узла 160x10 мм

Выявлено, что взаимное тепловое влияние стержней и узлов незначительно. Результаты эксперимента, хорошо согласуются с результатами моделирования в Comsol Multiphysics 4.3a, разница между данными расчёта и эксперимента на конец испытаний составила от 7,4% для узла 160x10 мм и до 9,56% для узла 212x16 мм. Принято, что в случае применения узла 208x14 мм, экспериментальное исследование скорости теплопередачи через который не исследовалось, результаты взаимного теплового влияния этого узла и стержней также будут незначительны, как и для узлов 160x10 мм и 212x16 мм.

Вследствие малой площади передачи теплоты от стержня к узлу и от узла к стержню, значительной теплоёмкости узлового элемента, тепловое взаимодействие стержней (нагрев, выравнивание темпе-

ратуры), объединённых в один узел, значительно растянуто во времени. Время роста температуры менее нагретых стержней от более нагретых через узловой элемент структуры сравнимо с пределом огнестойкости по несущей способности структурных конструкций [5].

На основании полученных результатов теплообмен внутри структурной конструкции можно не учитывать при нахождении температур стержней. Нагрев стержней и узлов при локальном пожаре с достаточной для технических расчётов точностью можно рассматривать только от конвекции и излучения.

#### СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Воздействия на конструкции: еврокод 1: ТКП EN 1991-1-2-2009 (02250). – Часть 1–2: Общие воздействия. Воздействия для определения огнестойкости. – Изд. офиц.; введ. впервые. – Мн.: Минстройархитектуры, 2010. – 40 с. – (Технический кодекс установившейся практики).

2. Рекомендации по проектированию структурных конструкций / ЦНИИСК им. В. А. Кучеренко Госстроя СССР. – М.: Стройиздат, 1984. – 301 с.
3. Проектирование стальных конструкций: еврокод 3: ТКП EN 1993-1-2-2009 (02250). – Часть 1–2: Общие правила определения огнестойкости. – Изд. офиц.; введ. впервые. – Мн.: Минстройархитектуры, 2010. – 67 с. – (Технический кодекс установившейся практики).
4. Дьяков, В.И. Типовые расчёты по электрооборудованию: практическое пособие / В.И. Дьяков. – 7-е изд., перераб. и доп. – М.: Высшая школа, 1991. – 160 с.: ил.
5. Климушин, Н.Г. Противопожарная безопасность зданий из легких металлических конструкций / Н.Г. Климушин. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1990. – 112 с.

Материал поступил в редакцию 02.03.15

#### DRAGAN V.I., GLUSHKO K.K. Modeling thermal interactions a core and knot of a structural design of system of BSTU in the conditions of the fire

The thermal interaction thermal interaction and rod node, the rods, united in a single unit, having different temperatures. Comparison of experimental and calculated data. The evaluation of thermal interaction node and rod elements in the local fire.

УДК 666.97.545

Тур В.В., Левчук Н.В., Замировский А.В.

### ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОНИЦАЕМОСТИ ХЛОРИД-ИОНОВ В БЕТОНАХ РАЗЛИЧНЫХ СОСТАВОВ

Цементные материалы представляют собой капиллярно-пористое тело и при контакте его с жидкой фазой и растворенными в ней различными соединениями вследствие капиллярных сил и градиента концентраций происходят диффузионные процессы между внешней средой и внутренней структурой цементного материала. Фильтрация воды происходит по капиллярным порам цементного камня размером более 0,1 мкм, так как поры меньшего размера непроницаемы для воды даже при значительном градиенте давления. Известно, что содержание пор капиллярного размера в бетоне от общей пористости составляет около 60%, основная часть которых приходится на зону контакта цементного камня с поверхностью зерен заполнителя.

При введении в цементную систему поверхностно активных веществ (ПАВ) прежде всего гидрофильного характера вследствие их адсорбции на внутренней поверхности капилляров образуется слой, состоящий из двумерных структур, ориентированных к гидрофильной поверхности цементного камня. Модифицирующие бетон добавки и прежде всего ПАВ за счет хемосорбционного связывания ориентируются активными гидрофильными функциональными группами на поверхности цементного камня капилляров, а гидрофобные углеводородные радикалы обращаются в определенном порядке к воде. При этом коэффициент фильтрации, с одной стороны, со временем снижается вследствие набухания цементного камня, приводящего к уменьшению сечения капилляров. С другой стороны, вследствие образовавшегося мономолекулярного слоя ПАВ на поверхности капилляров снижают силу трения и молекулярного притяжения ионов в фильтрующей жидкости. Снижается и шероховатость внутренней поверхности капилляров цементного камня, что в свою очередь приведет к увеличению фильтрационной проницаемости. Кроме того, присутствие в жидкой фазе ионов агрессивных к цементному камню соединений со временем увеличивают его проницаемость. Таким образом, на скорость фильтрации и диффузионную проницаемость агрессивной среды влияет целый ряд факторов, что требует дальнейших экспериментальных исследований.

На сегодняшний день существует несколько методик исследова-

ния проницаемости цементных бетонов ионами хлора: методика EN 13396 [1], методика NT BUILD 443 (метод погружения) [2], методика NT BUILD 492 (ускоренный метод) [3,4], методика ГОСТ Р 52804-2007 [5]. При проведении собственных испытаний были позаимствованы положения методики ООО «Интел-Групп» и методики EN BUILD 492, с некоторыми изменениями и дополнениями.

Исследования диффузионной проницаемости цементного камня и бетона для ионов хлора при градиенте концентрации выполнялись на базе портландцемента Красносельского цементного завода марки ПЦ500-ДО (ГОСТ 10178-85, СЕМІ-42,5-N). Его химический состав приведен в табл. 1.

Таблица 1. Химический состав портландцемента

NO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SO <sub>3</sub>	CaO	CaO <sub>своб</sub>	MgO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	п.п.п.
21,77	4,77	2,38	64,98	0,2	1,1	4,02	1,47

Минералогический состав портландцемента: C3S – 56...57%; C2S – 20...22%; C3A – 5%; C4AF – 16%.

Для проведения испытания были изготовлены образцы-стаканы квадратного сечения размером по наружным граням 100×100×100 мм и внутренним размером стакана 60×60×80 мм. Стакан имеет стенки дна толщиной 20 мм. С целью исключения ионов хлора и других ионов в начальной структуре материала затворение цементного теста и бетона производилось на дистиллированной воде. Твердение образцов в течение 28 суток происходило в воздушной среде со 100% влажностью без контакта с водой при нормальной температуре.

После 28-суточного твердения образцы устанавливались на керамическую решетку эксикатора (рис. 1). В стакан образца заливался раствор хлористого натрия (концентрация раствора NaCl равнялась 95,6 г/л, а концентрация раствора по иону хлора составляла 58,4 г/л), а в эксикатор заливалась дистиллированная вода, верхний уровень которой не доходил до верхнего обреза стакана на 10 мм. Таким образом, создавался градиент концентрации ионов хлора между наружной средой в эксикаторе (в начале опыта нулевая концентрация) и средой в стакане.

Тур Виктор Владимирович, профессор, доктор технических наук, заведующий кафедрой технологий бетона и строительных материалов Брестского государственного технического университета.

Левчук Наталья Владимировна, к.т.н., доцент кафедры инженерной экологии и химии Брестского государственного технического университета.

Замировский А.В., студент строительного факультета Брестского государственного технического университета.

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

Строительство и архитектура