

ОЦЕНКА СЦЕПЛЕНИЯ УГЛЕПЛАСТИКОВОГО КОМПОЗИТА С ЦЕМЕНТНО-СТРУЖЕЧНОЙ ПЛИТОЙ

Шалобыта Н.Н., Шалобыта Т.П., Каштелян М.Э., Деркач Е.А.

В последние десятилетия в строительной отрасли, в том числе и на территории Республики Беларусь, все чаще находят применение новые энергосберегающие технологии с применением различных систем несъемной опалубки (VST). Наибольшее распространение получила несъемная опалубка на основе пенополистирола – более 15 систем в Беларуси и России, самыми популярными из которых являются «Изодом», «Теплый ПластБау», «Полимер-с» и т.д. Подобные технологии применяются достаточно давно в странах Западной Европы, Австралии, Канаде, США и др. Однако основным недостатком данных систем остается недостаточное обеспечение безопасности при пожарах и в процессе их эксплуатации, так как в процессе окисления кислородом могут выделяться вредные вещества, отрицательно влияющие на здоровье людей [1, 2].

В гражданском строительстве очень важно использовать строительные материалы и изделия с подтвержденной многолетними исследованиями и практикой применения экологической, биологической, санитарно-гигиенической и пожарной безопасностью [1, 2]. Несъемная опалубка из древесных композиционных материалов в наибольшей степени отвечает поставленным выше требованиям среди аналогичных технологий и, кроме того, в отличие от съемной или передвижной опалубки, при возведении монолитных конструктивных систем, после бетонирования сохраняется в качестве элемента конструкции.

В настоящее время наиболее часто на рынке Республики Беларусь и Российской Федерации, а также ряда стран Западной Европы применяется несъемная объемно-щитовая опалубка, выполненная из цементностружечных (ЦСП) [3] плит толщиной 24 мм, применяемых как в вертикальных (стенах) так и горизонтальных (перекрытиях) элементах монолитных зданий (рисунок 1).

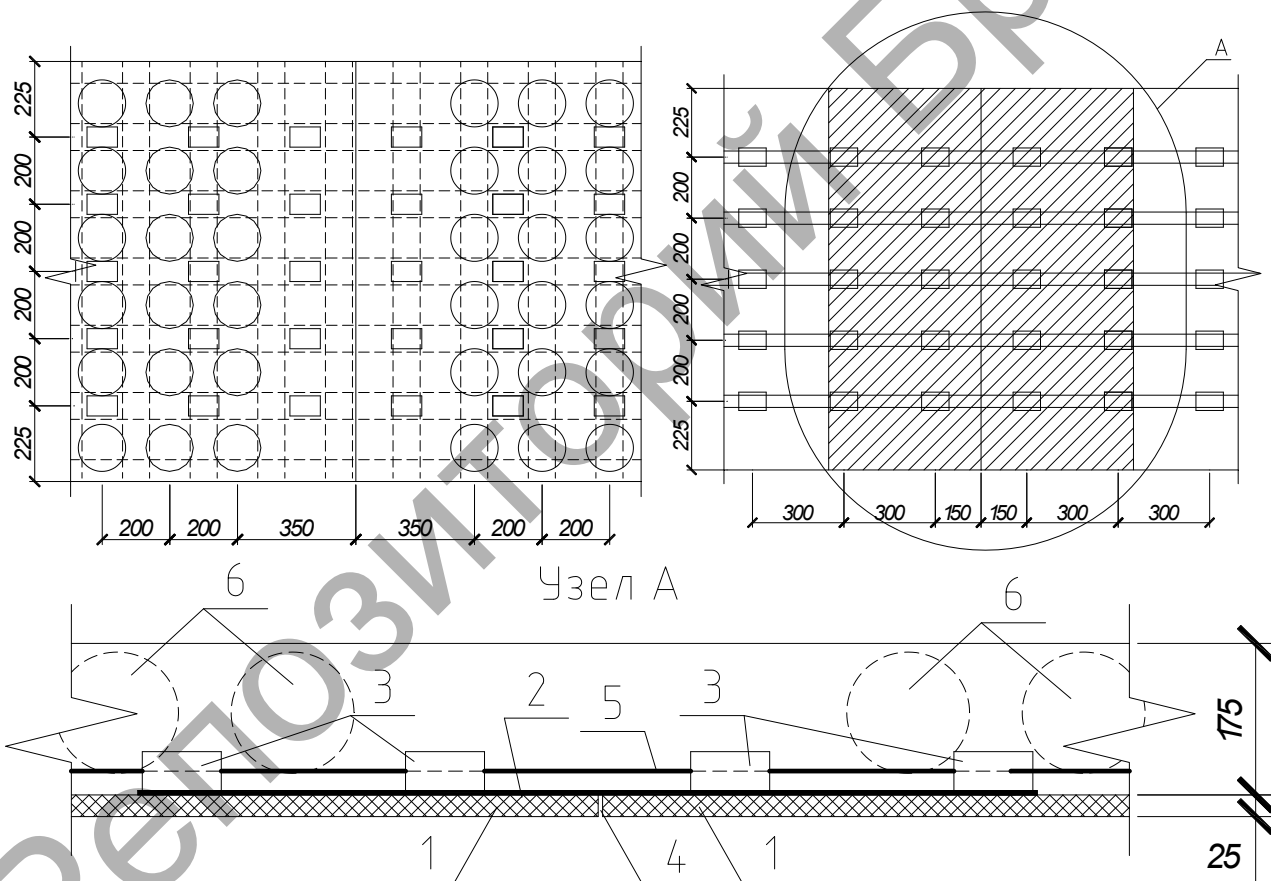


Рисунок 1 – Применение систем несъемной опалубки

Для соединения элементов опалубки используются запатентованные арматурные блоки, состоящие из стальных П-образных профилей, расположенных с определенным шагом, и приваренных к ним арматурных стержней диаметром не менее 10 мм. Впоследствии арматурные блоки закрепляются на листы несъемной опалубки из ЦСП стальными шурупами. Все составляющие и комплектующие к несъемной опалубке выполняют в заводских условиях. В дальнейшем из отдельных элементов возводятся стены и перекрытия с соединением в узлы обычно на строительной площадке, которые затем армируются и заливаются бетонной смесью на плотных или пористых заполнителях, при этом цементностружечная плита явля-

ется несъемной опалубкой [3-6]. Несмотря на имеющиеся преимущества системы, она имеет и ряд недостатков как технологических – касающихся трудоемкости процессов возведения, так и конструктивных – обеспечения целостности работы конструкции перекрытий зданий (требования по пригодности к нормальной эксплуатации – SLS).

Согласно разработанной VST BUILDING TECHNOLOGIES AG [5] технологии соединение отдельных листов ЦСП-опалубки как по длине, так и по ширине перекрытий, выполняется с применением дополнительных металлических элементов (уголков) на механических связях [5], и не предусматривает передачу усилий между листами опалубки. В связи с этим, при проектировании перекрытий совместную работу ЦСП и монолитного бетона рекомендуется не учитывать [5]. Однако, как показывают собственные экспериментальные исследования [6-8], одним из важных установленных эффектов, является именно совместная работа двух материалов, поэтому целостность в работе несъемной опалубки и материала является одним из важных условий при проектировании перекрытий. Для качественной передачи усилий при работе листов несъемной опалубки из ЦСП, авторами предлагается собственное конструктивное решение, с использованием в зоне их стыка ламелей из углеволокна (рисунок 2).



1 – лист ЦСП; 2 - ламель из углеволокна; 3 – шляпный профиль; 4 – стык листов ЦСП;
5 – рабочая арматура; 6 – пластиковые пустообразователи

Рисунок 2 – Фрагмент стыковки двух листов ЦСП в единую плиту с использованием в зоне их стыка ламелей из углеволокна

Как правило, в строительстве используются не отдельные нити углеволокна, а ткани на их основе. Ткань изготавливается сборкой длинных волокон из углерода, арамида, стекла или других волокон или их комбинаций для получения плоского листа из одного или нескольких слоев волокон. Эти слои удерживаются вместе либо путем механической взаимоблокировки

самих волокон, либо с помощью вторичного материала. Так получают волокнисто-армированные полимеры (Fiber reinforced polymer - FRP), представляющие собой композит, состоящий из высокопрочных волокон и матрицы - эпоксидных и сложных эфиров или неорганической матрицы для использования в огнестойких композитах. Системы FRP обладают значительными преимуществами по сравнению с классическими конструкционными материалами, обладая малым весом, коррозионной стойкостью и т.д. К основным конструкционным преимуществам углеродных волокон относятся их исключительно высокие отношения сопротивления на растяжение к весу, а также высокие отношения модуля упругости к весу. Во многих случаях тканевые композиты FRP укладываются на конструкцию вручную с использованием техники ручной пропитки, также называемой ручной укладкой. Этот метод стал обычным явлением во всей индустрии композитов по ряду причин. Во-первых, принципы этой методики просты, что облегчает технологию и позволяет широко использовать ее в течение многих лет. Во-вторых, этот метод достаточно экономичен, поскольку дорогостоящее оборудование не требуется. Наконец, ассортимент волокон и смол, подходящих для этого метода, достаточно широк и может быть приобретен у большого количества поставщиков.

Учитывая весь комплекс свойств композитов FRP целесообразно расширять и практику применения их в строительной отрасли, в т.ч. и для усиления систем VST. В данной статье приводятся результаты экспериментальных исследований по оценке несущей способности зоны стыка листов ЦСП, соединенных с применением приклеенных углеволоконных ламелей, т.е. зоны сцепления ЦСП с углеволокном в условиях осевого растяжения. Основной целью явилось определение эффективной величины нахлеста углеволоконных ламелей в зоне стыка несъемной опалубки.

Для испытаний в условиях осевого растяжения были приняты образцы цементностружечных плит длиной 450 мм, шириной 75 мм, толщиной 24 мм (рисунок 3). Образцы распилены на две равные части и соединены в цельный элемент путем наклейки с двух сторон на всю ширину элементов одного слоя углеволоконных ламелей, в которых все углеродные волокна ориентированы в одном направлении. Образцы изготавливались с различной величиной нахлеста (таблица 1). Испытание образцов осуществлялось в универсальной испытательной машине QUASAR 25. Образец помещался в специальные захваты (рисунок 3), где крепился к ним через предварительно просверленное отверстие болтом диаметром 10 мм. Затем образец вместе с захватами фиксировался в испытательной машине.

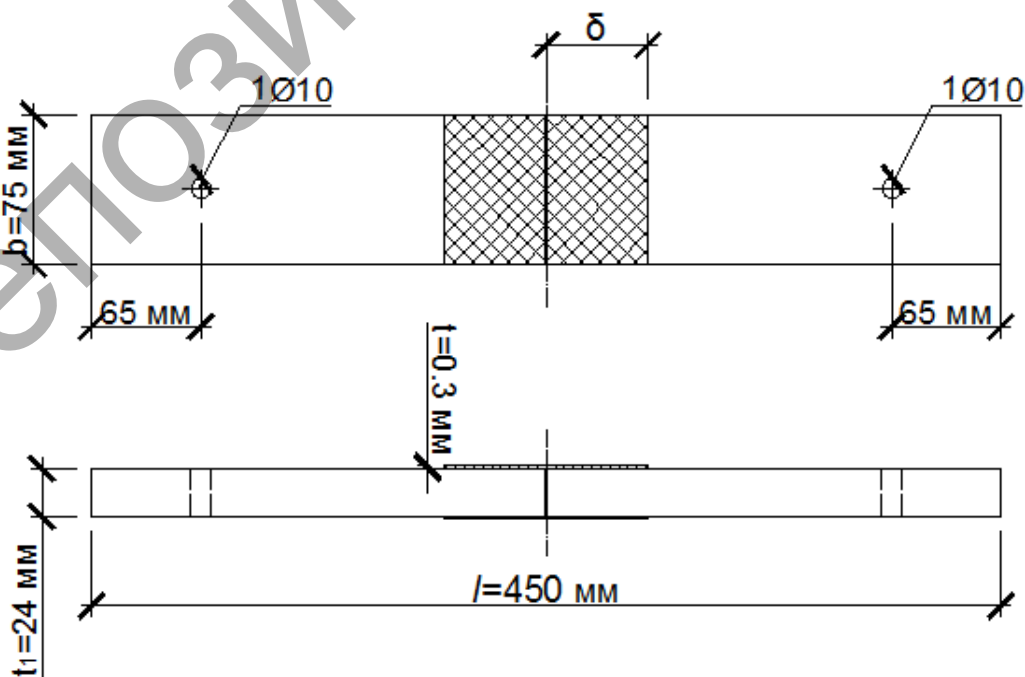
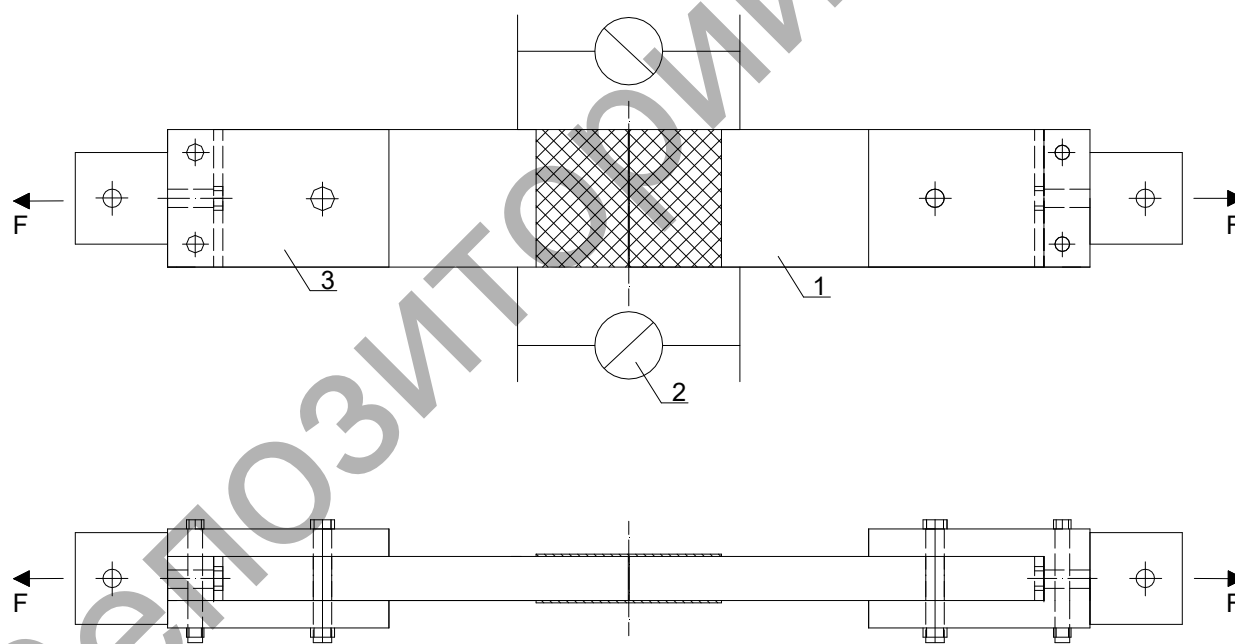


Рисунок 3 – Образец для испытаний

Таблица 1 – Программа испытаний

Серия	№ образца	Геометрические размеры образца		Длина нахлеста
		b , мм	t , мм	δ , мм
I	I.1	75	24	10
	I.2			
II	II.1	75	24	20
	II.2			
III	III.1	75	24	25
	III.2			
IV	IV.1	75	24	30
	IV.2			
V	V.1	75	24	35
	V.2			
VI	VI.1	75	24	50
	VI.2			

Испытываемый образец вместе с захватами закреплялся в захватах подвижной и неподвижной траверы. Нагрузка прикладывалась к испытываемым образцам ступенями, со скоростью 30 Н/сек. На образец были установлены индикаторы часового типа с ценой деления 0,01 мм. Схема испытания образца представлена на рисунке 4.



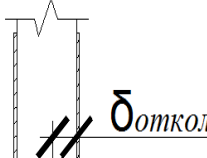


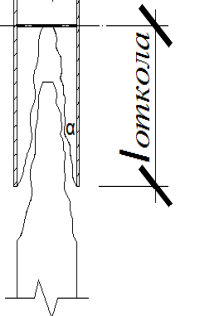


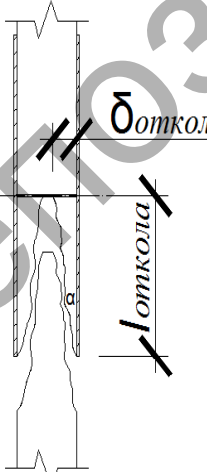


1 – испытуемый образец; 2 – индикатор часового типа; 3 – захват



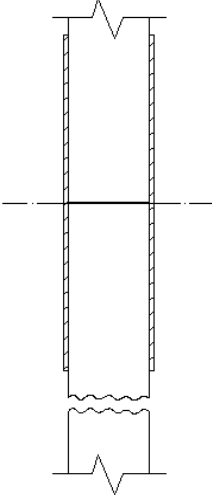


Рисунок 4 – Схема испытания образца

В результате проведения экспериментальных исследований установлено два характера разрушения образцов (таблица 2):

- разрушение в результате скола ЦСП на участке нахлеста углеволоконной ламели на основной материал (за счет действия касательных напряжений);
- разрушение ЦСП по пласти (за счет действия нормальных напряжений);

Таблица 2 – Характер разрушения опытных образцов

Серия образцов	Характер разрушения	Вид разрушения	
тип I			
тип II			
тип III			

тип IV			
тип V тип VI			

Для образцов типа I, имеющих величину нахлеста 10 мм в каждую сторону от стыка, при нагрузке $F_{\text{разр}}=4,54$ кН произошло разрушение в результате скола ЦСП на участке нахлеста углеволоконной ламели на основной материал. Общая картина разрушения представляет собой отрыв участка ЦСП на длину нахлеста ламели в виде треугольного элемента с катетом 5,8 мм и углом при основании $30,8^\circ$. Разрушение имеет практически симметричный характер с обеих сторон пласти (таблица 2).

Для образцов типа II, имеющих величину нахлеста 20 мм в каждую сторону от стыка, при нагрузке $F_{\text{разр}}=7,32$ кН произошло разрушение в результате скола ЦСП на участке нахлеста углеволоконной ламели на основной материал. Общая картина разрушения представляет собой отрыв участка ЦСП на длину нахлеста ламели в виде треугольного элемента с катетом 8,8 мм и углом при основании $24,16^\circ$. Разрушение имеет практически симметричный характер с обеих сторон пласти (таблица 2).

Для образцов типа III, имеющих величину нахлеста 25 мм в каждую сторону от стыка, при нагрузке $F_{\text{разр}}=9,65$ кН произошло разрушение в результате скола ЦСП на участке нахлеста углеволоконной ламели на основной материал. Общая картина разрушения представляет собой отрыв участка ЦСП на длину нахлеста ламели в виде треугольного элемента с катетом 10,6 мм и углом при основании $21,25^\circ$. Разрушение имеет практически симметричный характер с обеих сторон пласти (таблица 2).

Для образцов типа IV, имеющих величину нахлеста 30 мм в каждую сторону от стыка, при нагрузке $F_{\text{разр}}=10$ кН произошло разрушение в результате скола ЦСП на участке нахлеста углеволоконной ламели на основной материал. Общая картина разрушения представляет собой

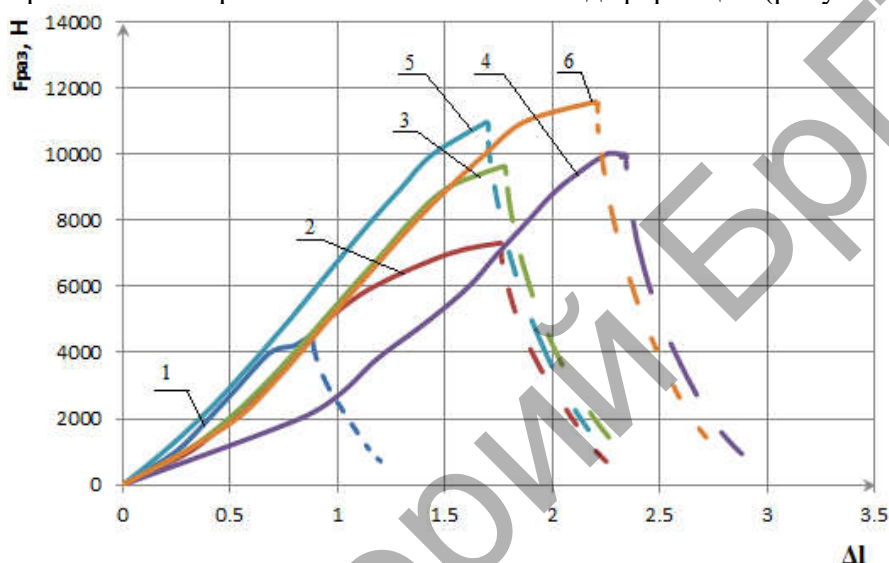
отрыв участка ЦСП на длину нахлеста ламели в виде треугольного элемента с катетом 24 мм и углом при основании $21,64^\circ$ (таблица 2).

Необходимо отметить отдельно разрушение образцов типа IV с длиной нахлеста 30 мм. В отличие от предыдущих образцов, где разрушение произошло симметрично противоположным граням одного из стыкуемых материалов, то для данного образца разрушение произошло одновременно для двух стыкуемых элементов. Следует отметить, что при данной длине нахлеста имеем наибольшую зону вовлечения в работу материала ЦСП.

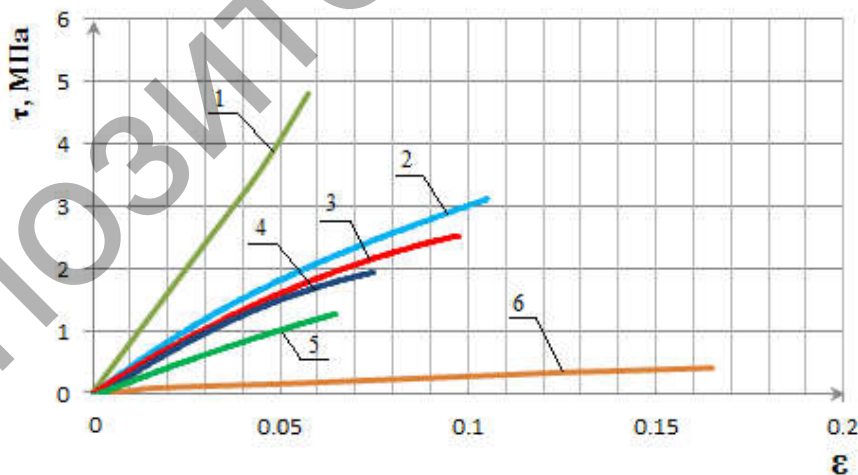
Для образцов типа V, имеющих величину нахлеста 35 мм в каждую сторону от стыка, при нагрузке $F_{\text{разр}}=10,98$ кН произошло разрушение ЦСП по пласти вне зоны нахлеста (таблица 2).

Для образцов типа VI, имеющих величину нахлеста 50 мм в каждую сторону от стыка, при нагрузке $F_{\text{разр}}=11,59$ кН также произошло разрушение ЦСП по пласти вне зоны нахлеста (таблица 2).

По результатам испытаний построены графики зависимостей разрушающей нагрузки, касательных и нормальных напряжений в зависимости от деформаций (рисунки 5-8).



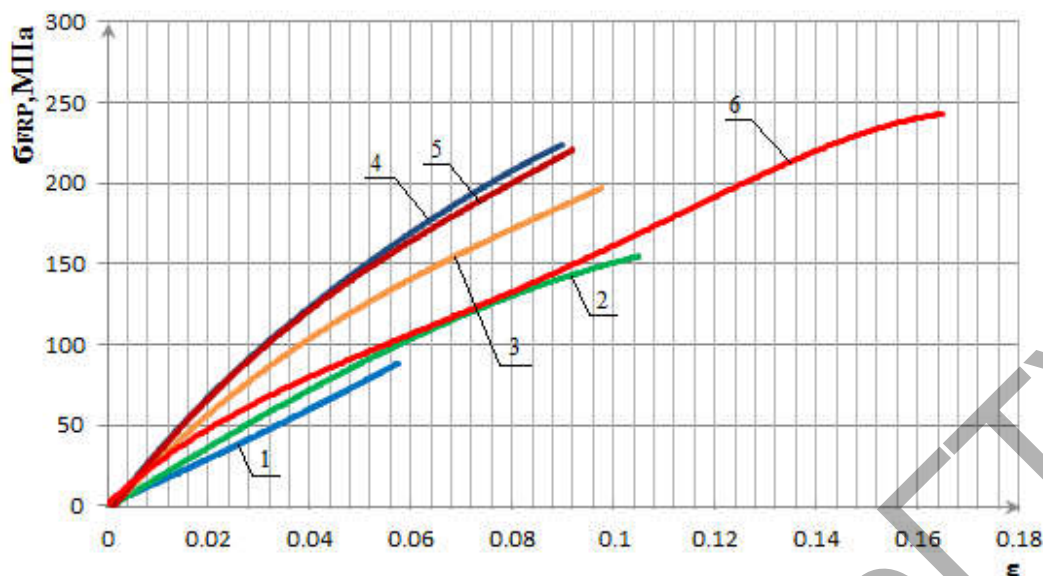
Вид образцов: 1 – тип I; 2 – тип II; 3 – тип III; 4 – тип IV; 5 – тип V; 6 – тип VI
Рисунок 5 – Диаграмма зависимости перемещений от разрушающей нагрузки



Вид образцов: 1 – тип I; 2 – тип II; 3 – тип III; 4 – тип IV; 5 – тип V; 6 – тип VI
Рисунок 6 – Диаграмма зависимости касательных напряжений от относительных деформаций

Исходя из анализа графика зависимости касательных напряжений от деформаций (рисунок 6), можно отметить, что для образцов типа VI напряжения сдвига практически отсутствуют, и разрушение происходит от действия нормальных напряжений. Для образцов типа I с малой величиной нахлеста наблюдаются наибольшие величины касательных напряжений.

Для всех исследуемых образцов установлено, что сопротивления углеволоконной ламели не достигли своих предельных значений и составили не более 10-12% от предельных значений.



Вид образцов: 1 – тип I; 2 – тип II; 3 – тип III; 4 – тип IV; 5 – тип V; 6 – тип VI

Рисунок 7 – Диаграмма зависимости нормальных напряжений в FRP от относительных деформаций

Для всех исследуемых образцов установлено, что напряжения в ЦСП для образцов I-IV не достигли своих предельных значений, так как образцы были разрушены в результате скола от действия касательных напряжений в зоне нахлеста. При этом напряжения в образцах V и VI достигли своих предельных значений и были разрушены по пласти ЦСП вне зоны контакта.



Вид образцов: 1 – тип I; 2 – тип II; 3 – тип III; 4 – тип IV; 5 – тип V; 6 – тип VI

Рисунок 8 – Диаграмма зависимости нормальных напряжений в ЦСП от относительных деформаций

Закключение.

Проведенные экспериментальные исследования позволяют сделать следующие выводы:

1. Соединение отдельных листов ЦСП путем наклеивания в зоне их контакта углеволоконной ламели обеспечивает целостность при их работе на растяжение и является эффективным методом передачи усилий.

2. В результате экспериментальных исследований установлены два основных характера разрушения для исследуемых образцов несъемной опалубки с соединениями в зоне их контакта наклеиванием ламели из углеволокна:

- первый – в результате скола материала ЦСП зоне нахлеста за счет действия касательных напряжений;
 - второй – в результате разрушения ЦСП по пласти за пределами нахлеста при действии нормальных напряжений.
3. Полученные в результате экспериментальных исследований зависимости «усилие-длина нахлеста» позволяет назначить конструктивное требование при проектировании перекрытий с элементами несъемной опалубки, в которых необходимо обеспечить целостность работы материала опалубки.

Список источников

1. Национальный Интернет-портал Республики Беларусь [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.vst-austria.at. – Дата доступа: 21.08.2012.
2. ЦСП, OSB, аквапанели. Листовые материалы в строительстве – обзор современных плитных стройматериалов. – 2013. – Режим доступа: <http://www.mservice.com.ru>. – Дата доступа: 14.04.2013.
3. Плиты цементностружечные. Технические условия: ГОСТ 26816-86. – Введ. 01.07.86. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1988. – 36 с.
4. Беларусь: завод по производству ЦСП будет введен в строй в 2013 году. – 2013. – Режим доступа: <http://www.fasad-rus.ru>. – Дата доступа: 13.04.2013.
5. VST SYSTEM MANUAL. VST Verbundschalungstechnik GmbH Wildgansgasse 1b/2 A 2332 Hennersdorf – Vienna, 223 p.
6. Н.Н. Шалобыта, Е.А. Деркач // Экспериментальное исследование деформированного состояния плоского многопустотного железобетонно перекрытия с применением элементов системы VST. Вестник Брестского государственного технического университета. – 2014. – № 1(85): Строительство и архитектура. – С. 97–102.
7. Н.Н. Шалобыта, Т.П. Шалобыта, Е.А. Деркач, Ю.Н. Науменко // Исследование прочностных и деформативных параметров контактных соединений монолитных конструкций с несъемной опалубкой из ЦСП. Вестник БрГТУ. – 2016. - №1(97): Строительство и архитектура. – С. 81-86.
8. Н.Н. Шалобыта, Т.П. Шалобыта, Е.А. Деркач, Ю.Н. Науменко // Экспериментальное определение параметров контакта в монолитных конструкциях с включением в работу несъемной опалубки из цементностружечной плиты. Веснік Гродзенскага дзяржаўнага ўніверсітэта імя Янкі Купалы. – 2016. – Т.6. №1: Тэхніка. – С. 58-66.