

оказывает положительное действие на прочностные характеристики бетонного композита. Образцы, армированные базальтовым волокном, имеют значения прочности на растяжение, в среднем на 25% превышающие значения прочности у контрольных образцов без армирования. При этом эффект повышения прочности максимален в раннем возрасте (прирост прочности составил от 32% до 45%).

3. Наиболее оптимальным способом введения базальтового волокна в бетонную смесь, позволяющим достичь максимально равномерного распределения последнего во всем объеме смеси, а также обладающим целым рядом преимуществ перед другими известными способами, является введение волокон в цементную суспензию с последующим введением всех остальных составляющих.

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Рабинович, Ф. Н. Композиты на основе дисперсно-армированных бетонов. Вопросы теории и проектирования, технология, конструкции: монография – М. : Издательство АСВ, 2004. – 560 с.
2. Беломесова, К. Ю. Применение базальтовой фибры в качестве армирующего компонента в цементно-песчаных композитах // Традиции, современные проблемы и перспективы развития

строительства : сб. науч. ст. / ГрГУ им. Я. Купалы ; редкол.: В. Г. Барсуков (гл. ред.) [и др.]. – Гродно : ГрГУ, 2016. – С. 74–77.

3. Павлова, И. П. Исследование влияния расширяющихся сульфатерритных и сульфоалюминатных добавок на прочностные показатели и собственные деформации цементных систем / И. П. Павлова, Т. В. Каленюк, К. Ю. Беломесова // Весн. БрГТУ. – Серия : Строительство и архитектура. – 2016. – № 1. – С. 123–127.
4. Боровских, И. В. Высокопрочный тонкозернистый базальтофибробетон: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.05 / И. В. Боровских – Казань, 2009. – 168 с. – Библиогр.: С. 146–163.
5. Деревянко, В. Н. Стойкость базальтового волокна в различных средах // До 80 річка Придніпр. держ. акад. будівн. та архіт. // Вісник ПДАБА. – 2010. – № 2. – С. 1–6.
6. Бучкин, А. В. Мелкозернистый бетон высокой коррозионной стойкости, армированный базальтовым волокном // Технологии бетонов. – 2011. – № 9–10. – С. 38–40.
7. Цемент напрягающий. Технические условия : СТБ 1335. – Минск : Минстройархитектуры, 2002 – 11 с.

Материал поступил в редакцию 15.04.2019

BELOMESOVA K. Yu., PAVLOVA I. P. Influence of the way of introduction of basalt fibrovolokn to tse-mentnuyu the system on concrete durability

In present paper probabilities of basalt fiber and expansive sulfo-aluminate type additive combined application in order to receive high-performance composite are considered. Use of basalt fiber, introduction of which in minimal amount due to disintegration on monofilament with great specific surface on this case lead to concrete composite tensile strength increase course of 3-D structure reinforcement effect and changing fracture toughness. Amount of expansive additive assign proceeding from shrinkage compensating or achievement of necessary self-stress level. Maximum amount of basalt fiber limit to 4% cause to prevent percolation effect, but to provide formation of filament spatial framework. In study results of experimental research of basalt fiber introduction method on strength properties of expansive sulfo-aluminate type cement systems are bringing. Must optimal basalt fiber introduction method in concrete mix are proposed, preferences and influence degree on strength properties are determined

УДК 624.016

Шалобьта Н. Н., Шалобьта Т. П., Магомадов И. Ш., Деркач Е. А.

НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ ИЗГИБАЕМОГО ЭЛЕМЕНТА С КОМПОЗИТНОЙ НЕСЪЕМНОЙ ОПАЛУБКой

Введение. В настоящее время не только в нашей стране, но и во всем мире все более острым становится вопрос о снижении материалоемкости и трудозатрат на возведение строительных конструкций в частности из железобетона. В области строительных конструкций, одним из способов решения данной проблемы является разработка, исследование и внедрение в практику строительства различных инновационных конструктивных решений. При возведении монолитных конструктивных систем в Беларуси практически повсеместно применяется съёмная, или передвижная, опалубка, которую устанавливают на месте строительства и демонтируют после того, как монолитный бетон набирает необходимую прочность. Современные технологии предполагают применение несъёмной или оставляемой опалубки, которая после бетонирования сохраняется как элемент конструкции.

В современном отечественном производстве крайне редко встречаются монолитные конструкции эффективных конструктивных форм, внедрение которых, несомненно, снизило бы себестоимость вновь возводимых и реконструируемых строительных объектов. Одна из причин такого положения дел связана с недостаточно развитой теорией расчета и конструирования подобных конструкций в отечественной строительной индустрии. Внедрение новых типов конструкций требует

экспериментального подтверждения их надежности.

Одним из перспективных вариантов несъёмной (оставляемой) опалубки является достаточно известная в Европе система «VST-systems» австрийской фирмы VST BUILDING TECHNOLOGIES AG [1], в основе которой лежит применение в качестве элементов опалубки листов цементно-стружечных плит. Цементно-стружечные плиты (ЦСП) – конструктивный листовый материал, обладающий рядом свойств основных его компонентов (цемента и древесины) : высокой прочностью, влажностойкостью, трудносгораемостью, биостойкостью, отсутствием токсичности, легкостью обработки. Они не воспламеняются, атмосфероустойчивы, не подвержены воздействию насекомых и грибов, хорошо склеиваются с древесиной, полимерами и металлами, сравнительно легко поддаются пилению, фрезерованию и сверлению [2]. Для Республики Беларусь ЦСП-технология является относительно новой, несмотря на то, что она дает возможность снизить себестоимость строительства, сократить его сроки и повысить качество зданий.

Запатентованная система [1] – это система несъёмной опалубки, состоящая из цементно-стружечных плит толщиной 24 мм, соединенных в заводских или построечных условиях в готовые армированные элементы (рисунок 1). Для соединения элементов опалубки

Шалобьта Николай Николаевич, к. т. н., проректор по научной работе Брестского государственного технического университета.

Шалобьта Татьяна Петровна, к. т. н., доцент кафедры технологии бетона и строительных материалов Брестского государственного технического университета.

Магомадов Ислам Шараниевич, магистрант кафедры строительных конструкций Брестского государственного технического университета.

Деркач Евгений Александрович, старший преподаватель кафедры геотехники и транспортных коммуникаций Брестского государственного технического университета.

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

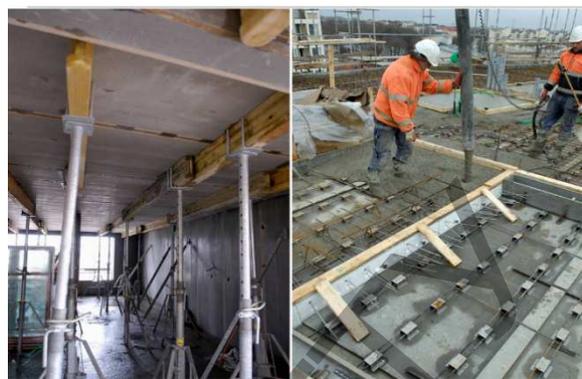
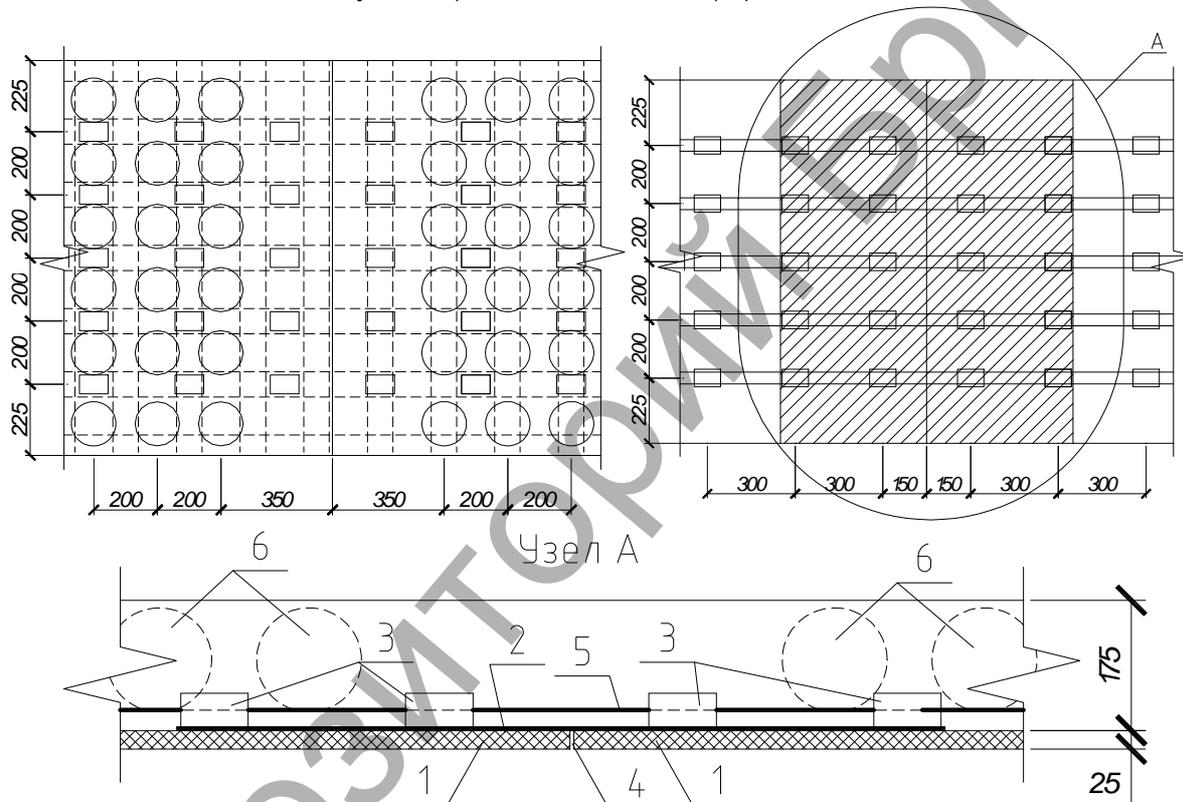


Рисунок 1 – Применение VST-системы перекрытий в зданиях



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

применяются запатентованные арматурные блоки, состоящие из стальных П-образных профилей, расположенных с определенным шагом и приваренных к ним арматурным стержням диаметром не менее 10 мм. Впоследствии арматурные блоки закрепляются на листы несъемной опалубки из ЦСП стальными шурупами. В дальнейшем из отдельных элементов возводятся стены и перекрытия с соединением в узлы обычно на строительной площадке, армируются и затем заливаются бетонной смесью, при этом цементно-стружечная плита является несъемной опалубкой [3]. Несмотря на имеющиеся преимущества системы, она имеет и ряд недостатков, как технологических – касающихся трудоемкости процессов возведения, так и конструктивных – обеспечение целостности работы конструкции перекрытий зданий (требования по пригодности к нормальной эксплуатации – Serviceability Limit State (SLS)).

Согласно разработанной VST BUILDING TECHNOLOGIES AG технологии, соединение отдельных листов ЦСП-опалубки, как по длине, так и по ширине перекрытий, выполняется с применением дополнительных металлических элементов (уголков) на механических связях [4], не предусматривающих передачу усилий между листами опалубки. В связи с вышеуказанным, при проектировании перекрытий совместную работу ЦСП и монолитного бетона рекомендуется не учитывать [4]. Однако, как показывают собственные экспериментальные исследования [5-6], одним из значимых установленных эффектов, явилась именно совместная работа двух материалов, поэтому целостность в работе непосредственно несъемной опалубки является одним из важных условий при проектировании данных перекрытий. Для качественной передачи усилий при работе листов несъемной опалубки из ЦСП предлагается решение с использованием в зоне их стыка ламелей из углеволокна (рисунок 2).

Таблица 1 – Краткая программа испытаний

Серия	Обозначение обычного образца	Размеры поперечного сечения	Прочность бетона при сжатии $f_{cm, cube}$	Прочность бетона при сжатии f_{cm}	Армирование			Процент армирования $\rho_l, \%$
					Количество	A_{st}, CM^2	A_{FRP}, CM^2	
I	БП I-1	100 x 200	54,9	41,9	2Ø10 S500	1,57	-	0,79
	БП I-2				2Ø12 S500	2,26	-	1,13
II	БП II-1(p)	100 x 200	58,9	44,1	2Ø10 S500	1,57	0,62	0,79
	БП II-2(p)				2Ø12 S500	2,26	0,62	1,13

Индекс (p) означает, что балки имеют разрезную несъемную опалубку со стыков в середине пролета

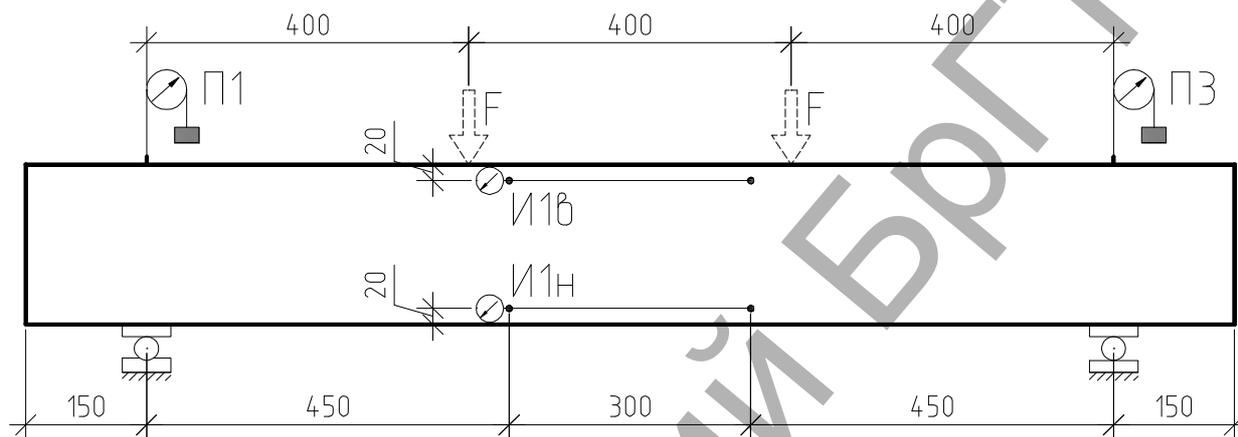


Рисунок 3 – Схема испытаний балок

Волокнисто-армированные полимеры (Fiber reinforced polymer – FRP) представляет собой композит, состоящий из высокопрочных волокон и матрицы, предназначенный для связывания этих волокон при изготовлении структурных форм. Общие типы волокон включают арамид, углерод, стекло и высокопрочную сталь, а их матрицы – эпоксидные и сложные эфиры или неорганические матрицы для использования в огнестойких композитах. Системы FRP обладают значительными преимуществами по сравнению с классическими конструкционными материалами, такими как сталь, 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.

Как правило, в строительстве используются не отдельные нити углеволокна, а ткани на их основе. Ткань определяется как изготовленная сборка из длинных волокон из углерода, арамида, стекла или других волокон или их комбинация 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, чтобы связать эти волокна вместе и удерживать их в определенном фиксированном положении, предоставляя сборке достаточную целостность для обработки. 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 в обучении и широко используются в течение многих лет. Во-вторых, этот метод очень экономичен, поскольку дорогостоящее оборудование не требуется. Наконец, широкий ассортимент волокон и смол подходит для этого метода и может быть приобретен у большого количества поставщиков.

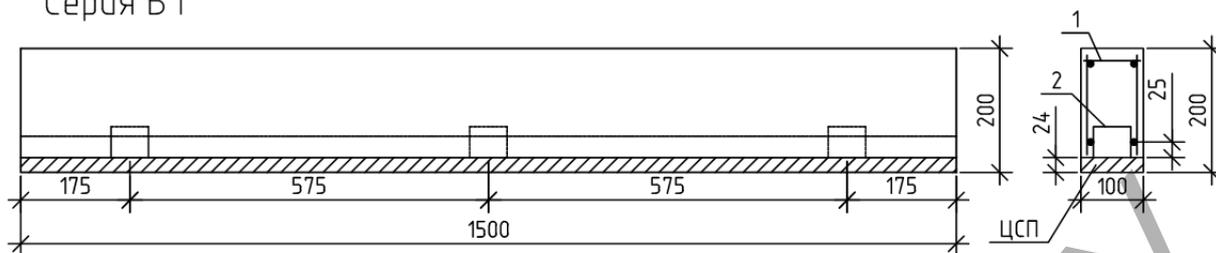
Для исследования работы элементов с несъемной опалубкой из ЦСП с использованием в зоне их стыка ламелей из углеволокна выполнялись их экспериментальные исследования на изгибаемых балочных элементах с размерами прямоугольного поперечного се-

чения (bхh) равными 100 x 200 мм, длиной 1500 мм. Несъемная опалубка из ЦСП принималась толщиной 24 мм и располагалась в растянутой зоне элемента. Переменными параметрами при испытаниях являлись: процент армирования, целостность и вид опалубки (отсутствие и наличие ламелей из углеволокна общей толщиной 0,5 мм). Испытаны 2 серии образцов балок: серия I – балки с цельной опалубкой из ЦСП и различным процентом армирования и серия II – балка с составной опалубкой из ЦСП, соединенных ламелями из углеволокна по всей длине балки и расположением стыка в середине зоны чистого изгиба (таблица 1). Балки обеих серий изготавливались из обычного бетона и армировались стальной арматурой.

Образцы испытывались по классической схеме – нагрузка прикладывалась ступенями в виде сосредоточенных сил, приложенных в 1/3 пролета, что позволило оценить НДС нормальных сечений в зоне чистого изгиба. При проведении экспериментальных исследований определялись основные параметры, связанные с прочностью сечений, деформативностью, образованием и раскрытием трещин в балках при изгибе. Схема испытаний и конструкция балок представлена на рисунках 3 и 4 соответственно.

Анализируя графики «момент-прогиб» для изгибаемых элементов с цельной ЦСП-опалубкой БП-I и со стыком композитной (ЦСП+FRP)-опалубки («искусственной» трещиной) – БП-II, установлены основные различия в их работе под нагрузкой вплоть до разрушения. Для всех исследованных балок экспериментально установлена совместная работа несъемной опалубки с бетоном, при этом характер их разрушения зависел от процента армирования и механических характеристик опалубки. Для балок первой серии, очевидно, что имели место два характера разрушения: по нормальным сечениям – для балок БП I-1 при проценте армирования $\rho_l = 0,79 \%$ и по наклонным – БП I-2 ($\rho_l = 1,13 \%$) (рисунок 5). Все балки второй серии с композитной (ЦСП+FRP)-опалубкой (БП II(p)) при процентах армирования аналогичных балкам первой серии разрушились по наклонным сечениям, что подтверждает вклад в восприятие усилий опалубкой, которая работает как внешний элемент армирования конструкций (рисунок 6).

Серия Б I



Серия Б II

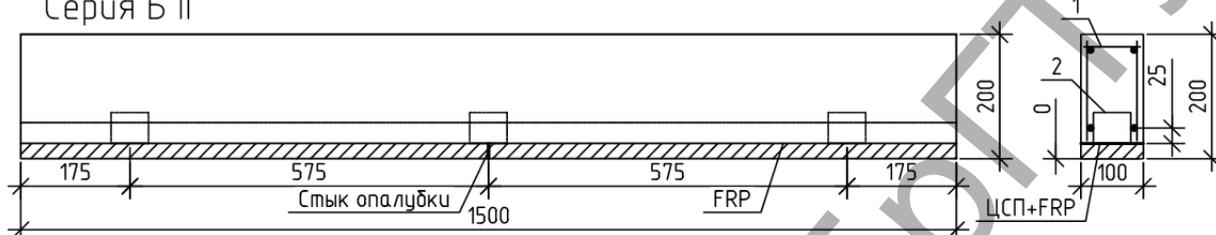


Рисунок 4 – Конструкция балок

а)



б)



Рисунок 5 – Картина разрушения балок серии БП-I

а)



б)



Рисунок 6 – Картина разрушения балок серии БП-II (p)

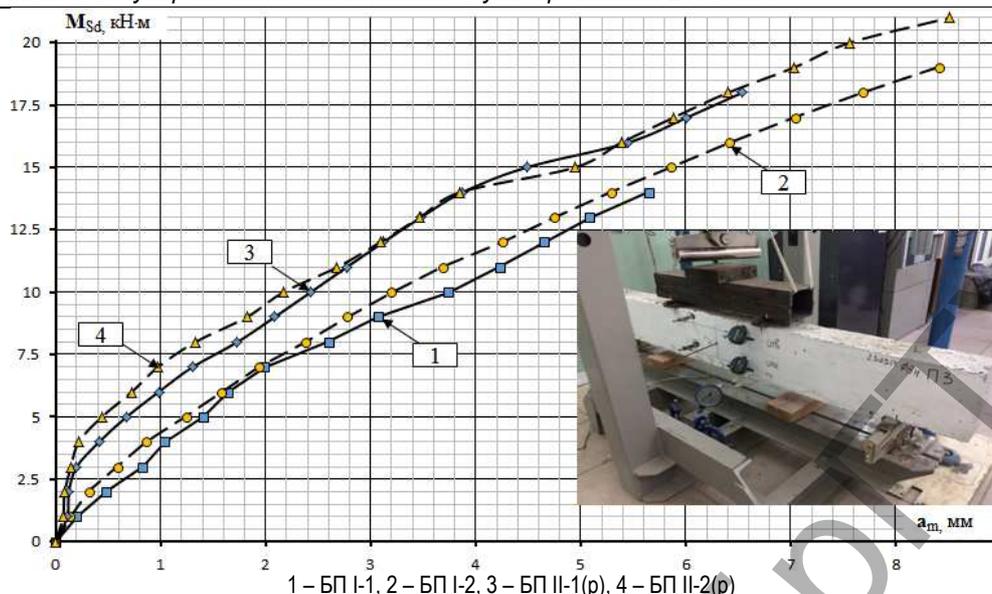


Рисунок 7 – Зависимость «момент-прогиб»

Анализ графиков зависимостей «момент-прогиб» (рисунок 7) устанавливает действительный характер работы балок вплоть до разрушения. На начальной стадии нагружения (до появления первых трещин нормального отрыва в бетоне), балки деформируются одинаково, однако при дальнейшем увеличении нагрузки изгибная жесткость балок первой и второй серии существенно отличается. Графики деформаций прогибов для балок первой серии, как до появления первой трещины в ЦСП-опалубке, так и после, имеют плавный характер изменения угла наклона к оси абсцисс с характерными участками после очередного появления трещин в несъемной опалубке.

Для балок второй серии после появления первых трещин в бетоне растянутой зоны чистого изгиба все растягивающее усилие воспринимается FRP-ламелью, расположенной, в том числе, по длине стыка ЦСП-опалубки, о чем свидетельствует практически вертикальный участок деформирования на графике «момент-прогиб» (рисунок 7). При этом в эксперименте не наблюдалось раскрытие трещины в зоне стыка ЦСП-опалубки. При дальнейшем увеличении нагрузки деформирование балок второй серии практически повторяет деформирование балок первой серии только при более высоких уровнях нагрузки, что объясняется увеличением механических свойств ЦСП за счет усиления ее FRP-ламелью, при этом изгибная жесткость оставалась практически постоянной вплоть до разрушения, что характерно для элементов с полимерными композитами.

Несмотря на наличие стыка в композитной (ЦСП+FRP)-опалубке (БП II(р)), расположенного в зоне максимального изгибающего момента, разрушающая нагрузка для них превышает соответствующую нагрузку первой серии балок с цельной ЦСП-опалубкой

$$\left(\frac{M_{Sd,u}^{БП II}}{M_{Sd,u}^{БП I}} \approx (1.15 \div 1.27) \right).$$

Следует отметить, что на графиках зависимости « $M_{sd}-a_m$ » отсутствуют участки пластического деформирования, разрушение всех серий балок происходит хрупко в результате раздавливания бетона сжатой зоны или среза в приопорной зоне. Для всех испытанных балок установлено, что разрушение балок происходило только после нарушения контакта «бетон-несъемная опалубка», при этом полного сдвига по контакту по длине балок не наблюдалось.

Заключение. Проведенные экспериментальные исследования позволяют сделать следующие выводы:

1. Выполненные экспериментальные исследования показали, что применение ЦСП в качестве несъемной опалубки для железобетонных конструкций эффективно, но требует дальнейшего изучения, т. к. в практике проектирования систем с несъемной опалубкой обычно не учитываются в совместной работе с железобетоном. В первую очередь это связано с наличием стыков опалубки, что не позволяет учитывать ее как целостный элемент, являющийся до-

полнительной связью, воспринимающей растягивающие усилия. Применение для изгибаемых элементов в качестве несъемной опалубки, в том числе состоящей и из отдельных листов, ее композита (ЦСП+FRP) изменяет картину напряженно-деформированного состояния железобетонных элементов, при этом увеличивается как их трещиностойкость, так и несущая способность.

2. Одним из выявленных недостатков изгибаемых элементов с опалубкой из ЦСП является то, что сразу после появления трещины в несъемной опалубке происходит значительный прирост в деформациях за счет развития трещины в теле железобетонного элемента, что приводит к нарушению требований эксплуатационной пригодности, несмотря на выполнение требований по несущей способности. Совсем иначе ведут себя элементы с композитной несъемной опалубкой, для которых появление трещин в ней не приводит к мгновенному приросту трещин в железобетонном элементе за счет работы в трещине углеволокна, имеющего значительное сопротивление на растяжение.

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Национальный Интернет-портал Республики Беларусь [Электронный ресурс]. – Брест, 2012. – Режим доступа : www.vst-austria.at. – Дата доступа : 21.08.2012.
2. Наназашвили, И. Х. Строительные материалы и изделия: справ. пособие / И. Х. Наназашвили, И. Ф. Бунькин, В. И. Наназашвили – М. : Адлент, 2006. – 479 с.
3. 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.
4. VST SYSTEM MANUAL. VST Verbundschalungstechnik GmbH Wildgansgasse 1b/2 A 2332 Hengersdorf – Vienna, 223 p.
5. Шалобыта, Н. Н. Экспериментальное исследование деформированного состояния плоского многопустотного железобетонного перекрытия с применением элементов системы VST / Н. Н. Шалобыта, Е. А. Деркач // Вестник Брестского государственного технического университета. – 2014. – № 1(85): Строительство и архитектура. – С. 97–102.
6. Шалобыта, Н. Н. Исследование прочностных и деформативных параметров контактных соединений монолитных конструкций с несъемной опалубкой из ЦСП / Н. Н. Шалобыта, Т. П. Шалобыта, Е. А. Деркач, Ю. Н. Науменко // Вестник БрГТУ. – 2016. – № 1(97) : Строительство и архитектура. – С. 81–86.
7. Шалобыта, Н. Н. Экспериментальное определение параметров контакта в монолитных конструкциях с включением в работу несъемной опалубки из цементно-стружечной плиты / Н. Н. Шалобыта, Т. П. Шалобыта, Е. А. Деркач, Ю. Н. Науменко // Вестник Гродзенскага дзяржаўнага ўніверсітэта імя Янкі Купалы. – 2016. – Т. 6. – № 1: Тэхніка. – С. 58–66.