

НОВОЕ КОНСТРУКТИВНОЕ РЕШЕНИЕ КОМПОЗИТНОЙ НЕСЪЕМНОЙ ОПАЛУБКИ ДЛЯ ЭФФЕКТИВНЫХ МОНОЛИТНЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ДИСКОВ ПЕРЕКРЫТИЙ

Шалобыта Н.Н., Деркач Е.А., Шалобыта Т.П.

В последнее десятилетие в Республике Беларусь одним из путей повышения качественно-уровня строительства, архитектурного разнообразия и выразительности застройки стало расширение применения монолитного железобетона. Монолитные и сборные железобетонные конструкции не стоит сравнивать друг с другом, так как области применения данных конструкций принципиально отличаются. Сборные железобетонные конструкции в основном применяются в массовом строительстве жилых, общественных и промышленных зданий, где основной задачей является максимальное повышение индустриальности строительства, полное заводское производство изделий и их поточный монтаж на строительной площадке. Монолитные конструкции применяются гораздо реже, несмотря на то, что они имеют значительно больше преимуществ, как в конструктивном плане, так и технологическом (при изготовлении) и значительно лучшей эксплуатационной пригодности. Имеется широкая область гражданского и промышленного строительства, где рационально применение монолитного железобетона, например: цельномонолитные гражданские и производственные здания; сборно-монолитные конструкции многоэтажных зданий – каркасных или панельных с монолитными ядрами жесткости; монолитные плоские безбалочные перекрытия под тяжелые нагрузки; отдельные нестандартные элементы общественных и производственных зданий; большепролетные конструкции; элементы реконструкции существующих зданий – жилых, общественных и производственных.

При возведении монолитных конструктивных систем в Беларуси довольно широко применяется съёмная, или передвижная опалубка, которую устанавливают на месте строительства, заливают бетонной смесью и демонтируют после того, как монолитный бетон набирает необходимую прочность. Современные новые технологии предполагают применение несъемной или оставляемой опалубки, которая после бетонирования сохраняется как элемент конструкции. Одним из перспективных вариантов несъемной (оставляемой) опалубкой является набирающая известность в Европе «VST-systema» австрийской фирмы VST BUILDING TECHNOLOGIES AG [1], в основе технологии которой применение в качестве элементов опалубки листов цементно-стружечных плит. Для Республики Беларусь ЦСП-технология является относительно новой, не смотря на то, что она дает возможность снизить себестоимость строительства, сократить его сроки и повысить качество зданий.

Цементно-стружечные плиты (ЦСП) – конструктивный листовой материал, обладающий рядом свойств основных его компонентов – цемента и древесины: высокой прочностью, влагостойкостью, 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]. Несмотря на то, что рядом зарубежных фирм, таких как "Бизон" (ФРГ), "Фама" (Австрия), "Элтен" (Нидерланды), "Интендоф" (Япония), "Веркер" (Бельгия) и российских компаний ЗАО «ТАМАК», ООО «ЦСП-Свирь», Омский, Костромской заводы ЦСП, уже достаточно давно разработана технология производства цементно-стружечных плит, в Республике Беларусь такие плиты получили распространение относительно недавно. Только в 2013 году в Республике Беларусь было введено в эксплуатацию предприятие по изготовлению цементно-стружечных плит в Могилевской области (г. Кричев) [3]. За 2,5 года на территории бывшего мясокомбината создали инновационное производство. Предприятие оснащено современным импортным оборудованием (немецкой компании Binos) мощностью более 60 тыс. м³, что должно полностью обеспечить потребность Беларуси в этом материале. Сравнение основных физико-механических характеристик ЦСП и других материалов приведено в таблице 1.

Таблица 1 – Сравнительная характеристика плит на минеральном связующем

Основные характеристики	ДСП [2, 5]	Фибролит [2]	Арболит [2]	ЦСП [8]	
				ЦСП-1	ЦСП-2
1	2	3	4	5	6
Средняя плотность, кг/м ³	600-800	350-500	400-850	1100-1400	
Влажность, %	8±2	20	–	9±3	
Водопоглощение, %, не более	15	40-45	40-85	16	
Разбухание по толщине за 24 ч, %	20-30	–	–	2,0	
Прочность при изгибе, МПа	15-18	0,6-1,3	0,7-1,0	9-12	7-9
Модуль упругости при изгибе, МПа	1800-4000	300-500	250-2300	3500	3000
Модуль упругости при сжатии, МПа	–	–	–	–	–
Модуль упругости при растяжении, МПа	–	–	–	–	–
Прочность при сжатии параллельно слоистости, МПа	–	–	0,5-5	–	–
Предел прочности при растяжении перпендикулярно к пласти плиты, МПа	0,25-0,4	–	–	0,4	0,35
Горючесть	горючи	–	трудногораемы	трудногораемы	
Класс биостойкости	не биостойки	–	5	4	–
Коэффициент звукопоглощения	0,2-0,7	–	0,17-0,6	–	–
Ударная вязкость, Дж/м ²	–	–	–	не менее 1800	
Морозостойкость (потеря прочности при попеременном замораживании и оттаивании за 50 циклов), %	–	–	–	не более 10	

Цементно-стружечные плиты относятся к группе трудногораемых материалов повышенной биостойкости [8] и предназначены для применения в строительстве в качестве панелей перегородок, плит покрытий, элементов подвесных потолков, вентиляционных коробов, полов, отраженных ложжий, а также подоконных досок, обшивок, облицовочных деталей и других строительных изделий. Цементно-стружечные плиты могут быть использованы в жилых и общественных зданиях, а также зданиях промышленного и сельскохозяйственного назначения, временных постройках контейнерного типа и сборно-разборных. Как отмечалось ранее, одной из наиболее перспективных европейских строительных технологий является технология монолитного строительства в несъемной опалубке из цементно-стружечных плит. За достаточно короткий период (около 20–25 лет) были успешно реализованы несколько сотен проектов в области строительства жилых домов, гостиниц, ресторанов, фирм и объектов спорта и отдыха, а также социальных объектов строительства, в том числе домов престарелых.

Запатентованная VST-система – это система несъемной опалубки, состоящая из цементно-стружечных плит толщиной 24 мм, соединенных в заводских или построечных условиях в готовые армированные элементы. Для соединения элементов опалубки 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 [11].

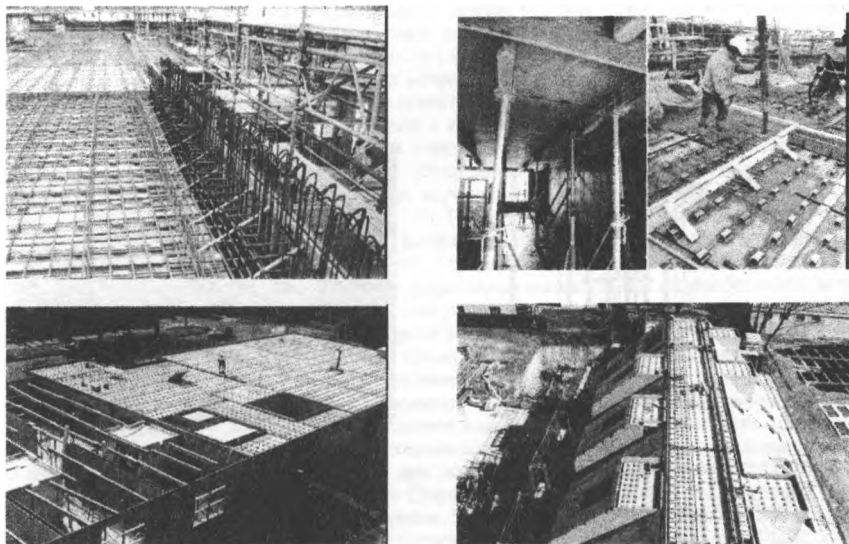


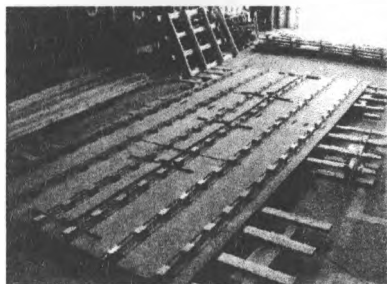
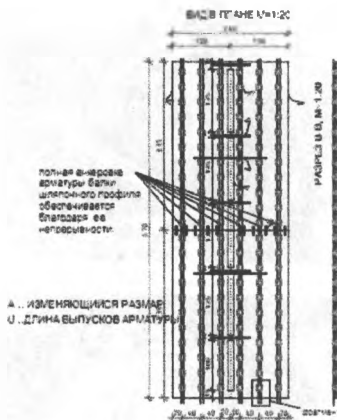
Рисунок 1 – Применение VST-системы

К преимуществам данной системы относятся:

- обеспечение полной монолитной конструкции;
- значительное повышение тепло- и звукоизоляционных качеств конструкции за счет несъемной опалубки;
- снижение себестоимости строительства объекта по сравнению с аналогичными зданиями с кирпичными стенами на 25%;
- высокая скорость строительства при простоте монтажа и отсутствии тяжелой механизации;
- полная свобода архитектурных и строительных решений;
- возможность строить дома любой этажности;
- легкость и гибкость конструкции.

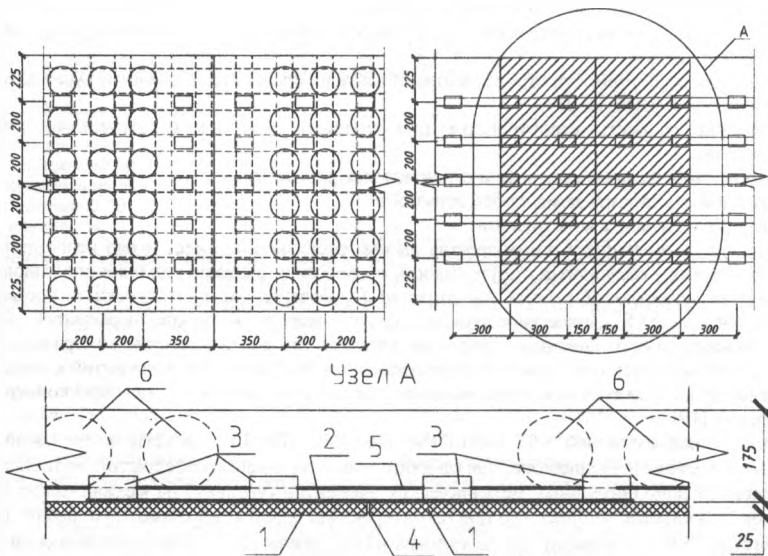
Несмотря на имеющиеся преимущества данной системы, она имеет и ряд недостатков как технологических – касающихся с трудоемкости процессов возведения, так и конструктивных – обеспечения целостности работы конструкции (требования по пригодности к нормальной эксплуатации – SLS), проявляющаяся в первую очередь в работе перекрытий зданий. Немаловажным конструктивным фактором является так же и снижение материалоемкости конструкций выполненных с применением несъемной опалубки. Для перекрытий с несъемной опалубкой из ЦСП актуальное значение имеет обеспечение целостности работы конструкции перекрытия [10].

Согласно разработанной VST BUILDING TECHNOLOGIES AG технологии соединения отдельных листов ЦСП-опалубки, как по длине, так и по ширине перекрытий, выполняется с применением дополнительных металлических элементов (уголков) на механических связях (рисунок 2). Учитывая тот факт, что при проектировании перекрытий совместную работу ЦСП и монолитного бетона рекомендуется не учитывать [11], данная технология сплачивания опалубки может быть приемлема. Однако, как показывают собственные экспериментальные исследования [10, 12, 13], учет совместной работы ЦСП-опалубки и монолитного железобетона может существенно уменьшить процент армирования данных перекрытий, при этом особенно важным является целостность в работе непосредственно несъемной опалубки. Для качественной передачи усилий при работе листов несъемной опалубки из ЦСП предлагается решение с использованием в зоне их стыка ламелей из углеволокна.



1. Плиты ЦСП в 200/200
2. Ламель из углеволокна 200/200
3. Шляпный профиль 200/200
4. Стык листов ЦСП
5. Рабочая арматура
6. Пластиковые пустотообразователи

Рисунок 2 – Технология соединения отдельных листов ЦСП-опалубки перекрытий по длине и ширине [11]



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

Рисунок 3 – Фрагмент нового конструктивного решения стыка двух листов ЦСП-опалубки с использованием ламелей из углеволокна

Волокнисто-армированные полимеры (Fiber reinforced polymer - FRP) представляют 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, обладающая малым весом, коррозионной стойкостью и т. д. Первоначально разработанные для самолетов, эти композиты успешно использовались в различных конструкционных применениях (фюзеляжи самолетов, корпуса судов, элементы скоростных поездов, грузовые контейнеры и лопасти турбин) [6, 7, 9]. Несмотря на то, что использование FRP для гражданских инженерных сооружений было начато только в 1980-х годах, к настоящему времени реализовано большое количество проектов, продемонстрировавших использование этих композитов в восстановлении обычных и предварительно напряженных железобетонных конструкций. Композиты успешно используются для усиления всех основных типов конструкций, таких как балки, колонны, плиты и стены. Кроме того, были разработаны схемы усиления для уникальных сооружений, это резервуары для хранения жидкостей и газов, дымовые трубы.

Углеродные волокна имеют важную особенность – они практически на 100% состоят только из атомов углерода. К настоящему времени углеродные волокна в основном получают из трех материалов – полиакрилонитрильного волокна, вязкого корда и пеков. Углеродные волокна обладают уникальными механическими свойствами, у них достаточно высокая прочность и модуль упругости. Причем при повышении температуры механические свойства не уменьшаются, а наоборот, возрастают. Среди всех материалов только углеродные волокна обладают такими специфическими свойствами. Углеродные волокна стойки к органическим растворителям, щелочам и кислотам, но недостаточно стойки к действию окислителей. При этом, как показывает практика изготовления, изменяя параметры технологического процесса, можно получать волокна с различными электрофизическими свойствами, благодаря чему они применяются для изготовления разнообразных по назначению электронагревательных элементов. Кроме того, углеродные волокна можно получать с очень высокой активной поверхностью, для применения их в качестве эффективных сорбентов [6, 7, 9].

К основным конструкционным преимуществам углеродных волокон относятся их исключительно высокие отношения сопротивления на растяжение к весу, а также высокие отношения модуля упругости к весу. Кроме того, углеродные волокна обладают высокой усталостной прочностью и очень низким коэффициентом линейного теплового расширения, а в некоторых случаях даже отрицательным тепловым расширением. Эта особенность обеспечивает стабильность размеров, что позволяет композиту достигать почти нулевого расширения до температур до 570°F (300°C) в специальных конструкциях. Углеродные волокна, защищенные от окисления, выдерживают температуры до 2000°C (3600°F), они химически инертны и нечувствительны к коррозии или окислению при температурах ниже 750°F (400°C).

В основном углеродные волокна получают из трех основных типов материалов: вискозы, полиакрилонитрила и нефтяного пека. В настоящее время в основном нашли применение второй и третий тип материалов. Полиакрилонитрильные волокна (PAN – волокна) являются основным видом сырья, применяемым для получения главным образом высокопрочных высокомодульных углеродных волокон. Среди различных видов карбоцепных волокон наиболее широкое применение получили волокна, вырабатываемые из сополимеров акрилонитрила. Сополимеры, содержащие до 15% второго компонента, по своим основным показателям (растворимости, термостойкости) практически не отличаются от чистого полиакрилонитрила. Молекулярная масса полимеров и сополимеров, используемых для получения волокон, составляет от 40 000 до 60 000. Углеродное волокно на основе PAN сырья имеет высокую прочность на разрыв. Это происходит из-за отсутствия поверхностных дефектов, которые действуют как концентраторы напряжений и, следовательно, уменьшают прочность на растяжение.

Первое волокно из пека, названное MP-волокном, было получено с использованием поливинилхлорида, который в виде порошка подвергался термодеструкции, в результате которой происходило дегидрохлорирование с глубокими превращениями, приводящее к образованию смолы (пека). Из пека формовалось волокно, которое подвергалось термообработке для получения углеродного волокна. Плавкий пек обладает хорошими волокнообразующими свойствами. Он имеет черный цвет и представляет собой смесь различных соединений. Элементарный состав пека $C_{62}H_{52}$. При обычной температуре хрупкий, при температуре выше

150°C – размягчается, а при температуре выше 200°C – переходит в вязкотекучее состояние. Поэтому волокна формируют при температуре 250...290°C продавливанием через фильеры в шахту, где они охлаждаются воздухом и принимаются на бобину. Расплава пека позволяет использовать большие фильерные вытяжки, и следовательно, получать волокно приемлемого диаметра (8...50 мкм). Для перевода в неплавкое состояние волокно окисляется в две стадии – сначала озонем, а затем кислородом воздуха. Предварительное окисление озонем способствует повышению прочности волокна и сокращению продолжительности окисления воздухом.

Из всех физико-механических свойств углеродных волокон особенное место занимает высокий модуль упругости и прочность, низкая плотность, низкий коэффициент трения, а также высокая стойкость к атмосферному влиянию и химическим реагентам. В таблице 2 и рисунках 4, 5, приведено сравнение углеродных волокон по физико-механическим свойствам с другими материалами.

Таблица 2 – Классификация углеродных волокон

Классификация	Прочность на разрыв, МПа	Модуль Юнга, ГПа
1	2	3
Высокопрочные	3000-7000	200-300
Высокомодульные	2000-3000	350-700
Низкомодульные	500-1000	30-50
Средней прочности	1000-2000	50-150

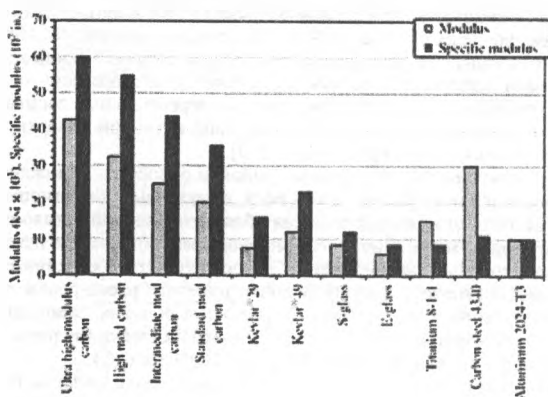
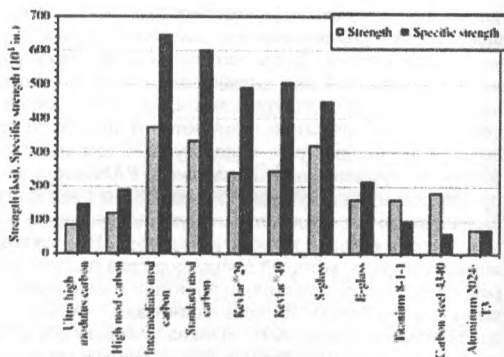


Рисунок 4 – Модуль упругости при растяжении (жесткость) типичных волокон и металлов [6, 7, 9].

Рисунок 5 – Прочность на растяжение типичных волокон и металлов [6, 7, 9]



Как правило, 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. Следовательно, ткани являются предпочтительным выбором армирования, поскольку волокна находятся в более удобном формате для инженера-конструктора и изготовителя. Типы ткани классифицируются по ориентации используемых волокон и по различным методам построения, используемым для удержания волокон вместе [7, 9].

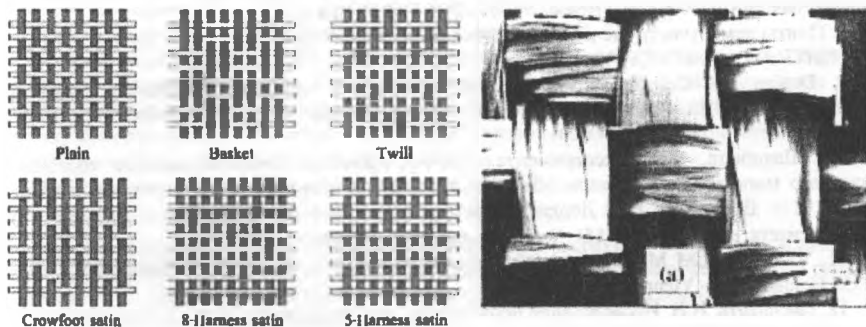


Рисунок 6 – Основные типы плетения

Во многих случаях тканевые композиты FRP укладываются на конструкцию вручную с использованием техники ручной пропитки, также называемой ручной укладкой. Этот процесс включает в себя размещение (и обработку) последовательных слоев пропитанного смолой FRP-материала. Скрепки, щетки и рифленные ролики используются для вдавливания смолы в ткань и для удаления большей части захваченного воздуха. 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 совместим с этим методом и может быть приобретен у большого количества поставщиков.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Углеродные волокна благодаря своим специфическим свойствам имеют широкую область применения. К сожалению, к недостаткам углеродных волокон относится высокая стоимость, что отчасти объясняется небольшими объемами их производства. При увеличении масштабов производства стоимость углеродных волокон значительно снизится, что позволит эффективно использовать их в строительстве.

Исходя из проведенного анализа, предлагаемое решение композитной несъемной опалубки для плоских железобетонных перекрытий из листов ЦСП, соединенных в зоне стыка FRP-композитами, несомненно является перспективным направлением для исследований и позволит получить качественно новые прочностные и деформационные характеристики конструкции перекрытий.

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 – Москва: 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. Национальный Интернет-портал Республики Беларусь [Электронный ресурс]. – Брест, 2012. – Режим доступа: www.asbosem.ru. – Дата доступа: 15.05.2013.
5. ЦСП, OSB, аквапанели. Листовые материалы в строительстве – обзор современных плитных стройматериалов. – 2013. – Режим доступа: <http://www.mservice.com.ru>. – Дата доступа: 14.04.2013.
6. ISIS Educational Module 9: Prestressing Concrete Structures with Fibre Reinforced Polymers / A Canadian Network of Centres of Excellence; N. Banthia [et al.]. – 2007.
7. Guide for the Design and Construction of Concrete Structures Reinforced with Fiber-Reinforced Polymer Bars / National Research Council; Advisory Committee on Technical Recommendations for Construction – Rome, 2007. – CNR-DT 203/2006.
8. Плиты цементностружечные. Технические условия: ГОСТ 26816-86. – Введ. 01.07.86. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1988. – 36 с.
9. Design and Construction of Building components with Fibre Reinforced Polymers: CAN/CSA-S806-02. – Introduced May 2004 – Ottawa, Ontario: Canadian Standards Association, 2004.
10. Шалобьга, Н.Н. Экспериментальное исследование деформированного состояния плоского многопустотного железобетонно перекрытия с применением элементов системы VST / Н.Н. Шалобьга, Е.А. Деркач // Вестник Брестского государственного технического университета. – 2014. – № 1(85): Строительство и архитектура. – С. 97–102.
11. VST SYSTEM MANUAL. VST Verbundschalungstechnik GmbH Wildgansgasse 1b/2 A 2332 Hennersdorf – Vienna, 223 p.
12. Шалобьга, Н.Н. Исследование прочностных и деформативных параметров контактных соединений монолитных конструкций с несъемной опалубкой из ЦСП / Н.Н. Шалобьга, Т.П. Шалобьга, Е.А. Деркач, Ю.Н. Науменко // Вестник БрГТУ. – 2016. – № 1(97): Строительство и архитектура. – С. 81–86.
13. Шалобьга, Н.Н. Экспериментальное определение параметров контакта в монолитных конструкциях с включением в работу несъемной опалубки из цементно-стружечной плиты / Н.Н. Шалобьга, Т.П. Шалобьга, Е.А. Деркач, Ю.Н. Науменко // Веснік Гродзенскага дзяржаўнага ўніверсітэта імя Янкі Купалы. – 2016. – Т. 6. – № 1: Тэхніка. – С. 58–66.