

The developed expert system of the indistinct conclusion, allowing to define a class of technical condition of a design on the basis of 6 available factors, on the basis of a Fuzzy Logic Toolbox package within the MatLab environment is presented.

УДК 624.014.2

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

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ПЛОСКОГО МНОГОПУСТОТНОГО ЖЕЛЕЗОБЕТОННОГО ПЕРЕКРЫТИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ ЭЛЕМЕНТОВ СИСТЕМЫ VST

Ведение. Применение в строительстве съёмной опалубки для возведения монолитных конструктивных систем предполагает, что опалубку устанавливают на месте строительства, устанавливают армирование, выполняют бетонирование и демонтируют элементы опалубки после того, как монолитный бетон набирает необходимую прочность. Современные технологии производства монолитных работ предполагают применение в том числе и различных систем несъёмной опалубки, которая после бетонирования функционирует как элемент конструкции. VTS-системы композитной несъёмной опалубки в Европе используются в строительстве более 15 лет. Но для строительства и индустрии стран СНГ VST-технология является относительно новой, несмотря на то, что она дает возможность снизить себестоимость строительства, сократить его сроки, повысить качество выполняемых отделочных работ.

Цементно-стружечные плиты являются основой систем несъёмной опалубки (VTS-system). Система состоит из зафиксированных в проектное положение цементно-стружечных плит (ЦСП), толщина которых составляет 24 мм, специальных соединительных элементов, (запатентованные стальные элементы («замки»)), специальных направляющих «сар-профилей» и конструктивной арматуры (рисунк 1). После соединения перекрытий и стен в узлы, происходит укладка монолитного самоуплотняющегося бетона.

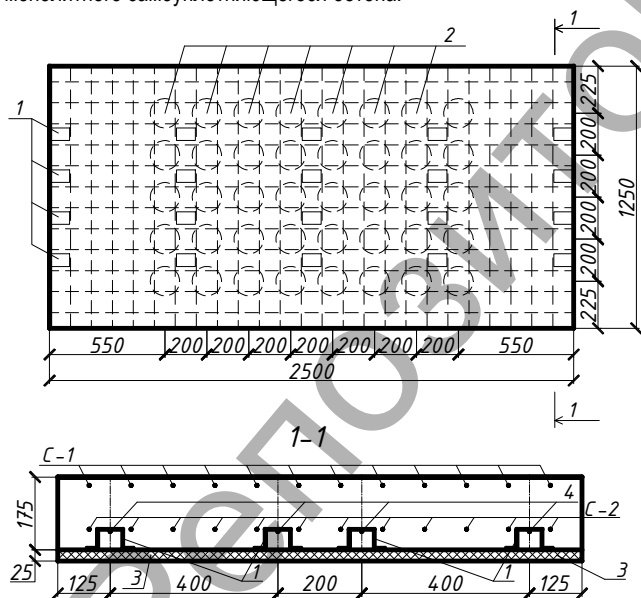
площадке остается лишь бетонировать элементы и монтировать их.

Применение в перекрытиях VST-элементов позволяет значительно, по сравнению с традиционными сборными и монолитными системами, расширить геометрию конструкций, при этом сама система несъёмной опалубки имеет небольшой вес и экономична в транспортировке.

Конструктивное решение плиты с эффективными пустотообразователями. Следует отметить, что в монолитных зданиях каркасной системы основная масса монолитного железобетона сосредоточена в перекрытиях, как правило, проектируемых по безбалочной конструктивной схеме. Поэтому наиболее рациональной областью материало- и ресурсосбережения является применение эффективных типов перекрытий.

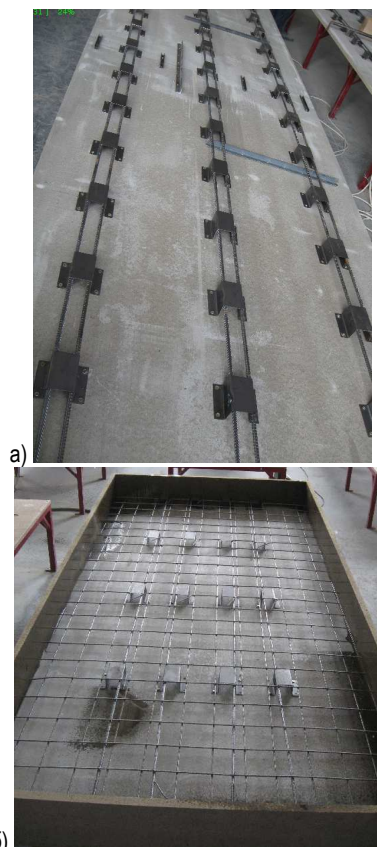
В Июле 2011 года ОАО "Строительный трест №8" (РБ г. Брест) освоил новую технологию производства и применения системы композитной опалубки (VST). Для этой цели была проведена значительная модернизация предприятия – построен новый цех для производства элементов VST системы, произведено переоборудование действующих площадей, специалисты прошли обучение в Европе.

В настоящее время специалистами Брестского государственного технического университета предложено эффективное решение монолитных перекрытий с использованием VST-технологий (рисунок 2).



1 – шляпный профиль; 2 – сферические пустотообразователи; 3 – лист несъёмной опалубки из ЦСП; 4 – продольная арматура Ø 8 мм
Рис. 1. Принципиальная схема плиты с несъёмной опалубкой

Отличительной особенностью VST-технологии является то, что элементы перекрытий и стен соединяются в узлы непосредственно на строительной площадке. Промышленный метод производства и перевод большей части строительных действий на заводскую линию делают строительный процесс независимым от погодных условий. На строй-



Деркач Е.А., аспирант кафедры строительных конструкций Брестского государственного технического университета. Беларусь, БрГТУ, 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.



в)

а) рабочая арматура соединенная с сар – профилем; б) короб плиты из ЦСП с рабочей арматурой и сар-профилями; в) плита с уложенным блоком пустотообразователя и арматурными сетками

Рис. 2. Общий вид экспериментальной многопустотной плиты с использованием композитной опалубки

Разработка собственных патентных решений пустотообразователей для безбалочных монолитных железобетонных перекрытий [1, 2, 3] позволила внедрить их в конструкцию перекрытий VTS-системы, главное предназначение которых заключается в снижении материалоемкости конструкции. Пустотообразователи представляют собой специальной конструктивной формы пластмассовые полые герметичные тела вращения (шары) с фиксаторами, расположенными снаружи сферы в ортогональных плоскостях перпендикулярных оси вращения и проходящей через центр плоскости (рисунок 3).



Рис. 3. Эффективные пустотообразователи для VST – систем перекрытия

Фиксаторы пустотообразователя выполняют таким образом, чтобы они были расположены снаружи под углом 90° друг к другу в перпендикулярной оси вращения и проходящей через центр плоскости (рисунок 4). Диаметально расположенные пары фиксаторов выполнены в виде штыря и втулки таким образом, что диаметр штыря позволяет осуществить его постановку внутрь втулки рядом расположенного пустотообразователя. Фиксаторы выполнены длиной не менее минимальной толщины ребер плиты, что обеспечивает требуемое сопротивление срезу при проверках предельных состояний несущей способности конструкции от действия поперечной силы. Следует также отметить, что наличие фиксаторов дает возможность дополнительного снижения расхода бетона при возведении плиты перекрытия.

Преимуществом предлагаемого решения является то, что нет необходимости поштучной установки и фиксации пустотообразователей относительно арматуры, которая возникает в случае с пустотообразователями в виде труб или в виде легкобетонных вкладышей в форме прямоугольной призмы, что очень осложняет процесс установки. В представленном решении в специальных мастерских или на объекте пустотообразователи соединяются в блоки, что существенно облегчает их монтаж, снижает трудозатраты на установку и фиксацию. Блоки при этом формируются таких размеров, которые смогут обеспечить возможность их постановки на опалубку.

Армирование плиты перекрытия с применением VST-систем выполняется в соответствии с расчетом, при этом арматура в растянутой зоне подбирается таким образом, чтобы часть арматуры входила в состав конструктивного элемента ЦСП (где рабочая арматура соединяется с «сар – профилем» рисунок 1а), а дополнительное рабочее армирование создается плоской арматурной нижней сеткой, которая включается в арматурный блок. Арматурный блок собран таким образом, что он состоит из нижней (рабочей) и верхней (конструктивной) арматурной сетки, между которыми укладывается блок пустотообразователей. Данные арматурные сетки скрепляются между собой при помощи хомутов. Затем готовые блоки укладываются в каркас из ЦСП.

При укладке блоков пустотообразователя в ячейки сетки появляется возможность изготовить их максимально допустимого диаметра, т.е. обеспечивается более эффективное снижение расхода бетона, к тому же укладываемый блок легко самофиксируется в ячейках нижней арматурной сетки (рисунок 2 в) [5].

Проведенное технико-экономическое сравнение обычного и многопустотного перекрытия (таблица 1), что применение данного решения позволит сократить объем бетона более чем на 30 %, а следовательно, и снизить собственную массу покрытий, что позволит уменьшить армирование при принятых пролетах плиты [5].

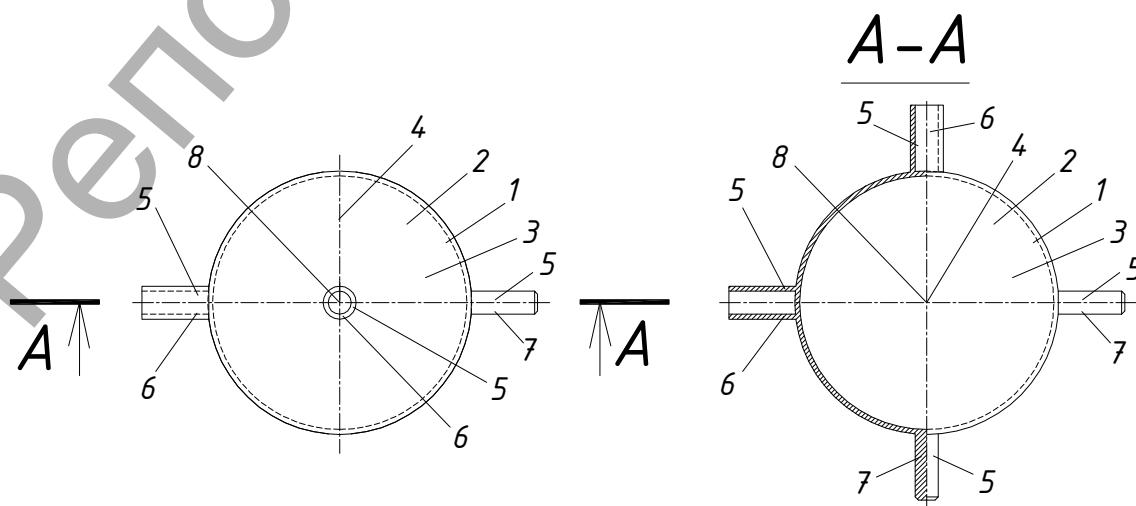


Рис. 4. Конструктивное решение пустотообразователя

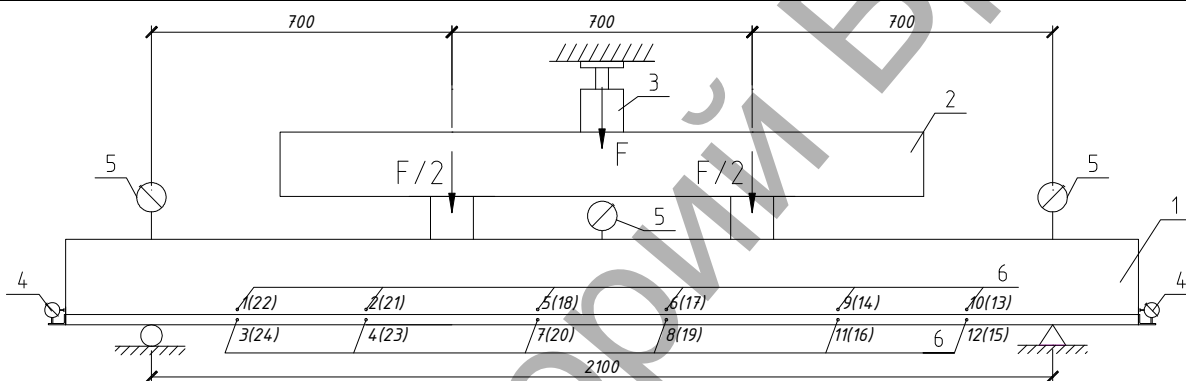
Таблица 1. Техничко-экономическое сравнение вариантов обычного и многопустотного перекрытий

Толщина плиты перекрытия, мм	Площадь сплошного монолитного перекрытия, м ² /м ³	Диаметр пустотообразователя, мм	Расход бетона, необходимого для возведения аналогичного по площади эффективного перекрытия, м ³	Экономия бетона, %
180	5,556	140	0,688	31,2
200	5,000	160	0,719	28,1
220	4,545	160	0,745	25,5
175+25 ЦСП	5,714	140	0,690	31,0

Таблица 2. Номенклатура опытных образцов

№ образца	Характеристики арматуры		Процент армирования			
	стальной	стеклопластиковой	стальной $\rho_I = A_{sI} / b \cdot d$, %	стеклопластиковой $\rho_{II} = A_{sII} / b \cdot d$, %	$\Sigma \rho$	ρ_w
№ 1	4Ø8 S500 Ø5 S500 шаг 100	–	0,31	–	0,31	6,27
№ 2	4Ø8 S500	Ø6 FRP	0,14	0,24	0,38	12,7
№ 3	8Ø10 S500	Ø6 FRP	0,44	0,24	0,68	14,6

Примечание: $\rho_w = \frac{(f_{yk} \cdot \rho_I + f_{yk} \cdot \rho_{II})}{f_{cm}}$ – механический индекс армирования



1 – опытная плита; 2 – траверса; 3 – гидравлический домкрат; 4 – индикаторы сдвига; 5 – прогибомеры; 6 – репера под миссуру для определения относительных деформаций

Рис. 5. Схема испытательной установки

Экспериментальные исследования фрагментов перекрытий с VST несъемной опалубкой. Для применения в строительстве предложенной конструкции перекрытия в настоящее время выполнены и выполняются исследования напряженно-деформированного состояния многопустотных плит с применением системы VST – опалубки, работающих по балочной схеме на изгиб в одной плоскости (рисунок 1,2). Экспериментальные исследования проводились в испытательном центре Брестского государственного технического университета. Были выполнены предварительные исследования трех опытных образцов плит (рисунок 1) с техническими характеристиками, представленными в таблице 2.

Анализ экспериментальных исследований. В результате проведенных экспериментальных исследований опытных образцов установлено, что все испытанные плиты разрушились вследствие исчерпания несущей способности по нормальным сечениям.

В образце № 1 разрушение плиты произошло мгновенно и хрупко, в результате разрыва ЦСП, быстрого раскрытия трещины по высоте сечения и раздробления бетона сжатой зоны. Анализ графика 1 (рисунок 7) подтверждает хрупкий характер разрушения плиты. Очевидно, что при нагрузке, соответствующей моменту появления трещины в ЦСП, напряжения в стальной арматуре достигли предела текучести в комплексной конструкции плиты, для которой характерно более высокое сопротивление на растяжение одного из материалов. В данном случае лист ЦСП, находящийся в нижней растянутой зоне плиты, имеющей величину среднего сопротивления на растяжение при изгибе $f_{Vst,t} = 14,64$ МПа [5], превышающего в несколько раз



Рис. 6. Общий вид испытания плит на изгиб

сопротивление на растяжение бетона $f_{ctm} = 1,9$ МПа, очевидно воспринял все действующие растягивающие усилия до момента появления в нем трещин, несмотря на то, что в примыкающих к нему волокнах бетона уже появились трещины. Поэтому к моменту образования трещины в ЦСП совместно работающая с листом ЦСП и бетоном арматура имела напряжения, соответствующие физическому пределу текучести. Экспериментально это было подтверждено величиной средней ширины раскрытия трещин в

бетоне растянутой зоны на уровне стыка бетона и ЦСП листа, равной $w_m = 0,4-0,5$ мм.

Данные экспериментов подтверждаются расчетом, согласно которому $M_{cr}^{VST} / M_{Rdu} \approx 0,875$. В ходе выполненного эксперимента установлено, что принятый согласно нормам проектирования [6] процент армирования стальной арматуры по бетону комплексной конструкции, равной 0,31 %, не удовлетворяет не только требованиям несущей способности, но и требованиям эксплуатационной пригодности.

Из описанного выше характера разрушения плиты следует, что плита имела процент армирования ниже минимального, то есть разрушилась как бетонный элемент. В плитах № 2 и № 3 поведение арматуры под нагрузкой до появления трещины в ЦСП было аналогично тому, как и в плите П-1. Однако, в отличие от плиты П-1, только со стальным армированием мгновенного разрушения плит не произошло.

Как показывает анализ графика 2 (рисунок 4), разрушение образца № 2 произошло в результате достижения напряжений в стальной арматуре, равных пределу текучести с последующим раздроблением бетона сжатой зоны. При этом следует обратить внимание, что несмотря на уменьшение почти в 2 раза процента армирования стальной арматурой по сравнению с первой плитой, разрушение данных плит произошло при достаточно близких значениях предельных изгибающих моментов. В то время, как величина ветви пластического деформирования для плиты № 2 была большей. Это можно объяснить наличием в конструкции стеклопластиковой арматуры, которая имеет более высокие прочностные и деформативные характеристики. В то же время из графика 2 видно, что отношение $M_{cr}^{VST} / M_{Rdu} \approx 0,95$, что указывает на то, что стеклопластиковая арматура повлияла лишь на общую деформацию конструкции, но не оказала влияния на ее несущую способность. Данное утверждение подтверждается графиком № 3, в котором при неизменном проценте стеклопластикового армирования $\rho_f = 0,24$ %, был увеличен процент армирования стальной арматуры. В результате существенно повысилась несущая способность конструкции, где $M_{cr}^{VST} / M_{Rdu} \approx 0,55$.

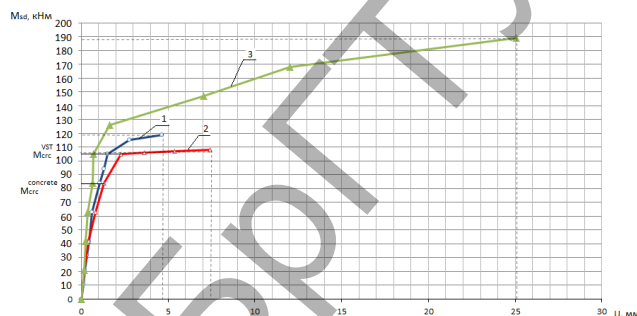
Очевидно, как показывает анализ графиков «момент-прогиб» для плит П-2 и П-3 (2 и 3, рисунок 7), в момент появления трещин усилия и деформации на участке в трещине и между трещинами перераспределились между стальной и стеклопластиковой арматурой. При этом, вследствие значительных деформационных и прочностных свойств стеклопластиковой арматуры увеличилась и общая деформативность плиты. Как следует из анализа графика № 3, основную долю растягивающих усилий после появления трещины восприняло стеклопластиковое армирование (более пологая ветвь деформирования).

Анализ графиков 2 и 3 (рисунок 7) показал, что стержни стеклопластиковой арматуры начинают воспринимать растягивающие усилия, в тот момент когда стальная арматура достигает предела текучести. При дальнейшем увеличении нагрузки усилия в стеклопластиковой арматуре возрастают практически в линейной зависимости.

Анализ графика средних относительных деформаций в бетоне растянутой зоны и в листе ЦСП, также находящегося в растянутой зоне, показывает влияние процента и вида армирования на напряженно-деформированное состояние плиты. Очевидно, что до появления первых трещин в бетоне растянутой зоны, при уровнях нагрузки около $0,25 \cdot M_{cr}^{VST}$ материалы деформировались линейно, при равном суммарном проценте армирования для плиты П-1 и П-2. Средние относительные деформации, как в бетоне растянутой зоны, так и в ЦСП, имели практически линейный характер распределения.

Из анализа графика 1 (рисунок 8) установлено, что после появления трещины в бетоне средние относительные деформации в нем на участке между трещинами сдерживались деформативностью ЦСП, что отражается изменением угла наклона диаграммы после приложения усилия свыше 20 кН·м. Аналогичная картина также проявилась для экспериментального образца плиты П-2 (график 2 рисунок 8), при этом, установлено, что вследствие более низкого процента армирования стальной арматурой произошло скачкообразное из-

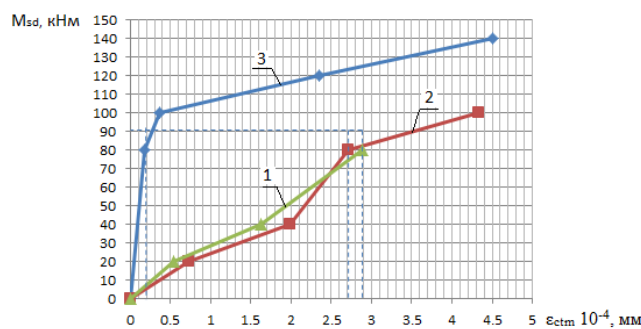
менение средних относительных деформаций бетона растянутой зоны при нагрузках, составляющих $0,5 \cdot M_{cr}^{VST}$. Очевидно на изменение угла наклона диаграммы деформирования повлияло включение в работу стеклопластиковой арматуры вплоть до появления трещины в ЦСП. Однако после появления трещины в листе ЦСП для первого образца произошло резкое разрушение при величине средних относительных деформаций в бетоне растянутой зоны $\epsilon_{ctm} = 2,8$ ‰. Это доказывает утверждение, описанное выше по диаграмме «момент-прогиб», что к моменту появления трещины в ЦСП, при $\rho_f = 0,31$ % деформации в стальной арматуре достигли значений, соответствующих пределу текучести стали.



1 – плита П-1; 1 – плита П-2; 1 – плита П-3
 Рис. 7. Диаграмма «момент-прогиб»

В отличие от первой плиты, в плите П-2 после появления трещины в ЦСП происходит изменение угла наклона диаграммы «момент-средние относительные деформации» только лишь за счет включения в работу и восприятия действующих усилий стеклопластиковой арматурой (при $\rho_f = 0,14$ %, $\rho_f = 0,24$ %).

Увеличение суммарного процента армирования в плите П-3 (при $\rho_f = 0,44$ %, $\rho_f = 0,24$ %) практически в 2 раза по сравнению с плитами П-1 и П-2 за счет процента армирования ρ_f (стальной арматуры) резко изменило картину распределения средних относительных деформаций на участке между трещинами, подняв угол ветви наклона диаграммы 3 (рисунок 8). Вплоть до появления трещины в ЦСП четко выражена упругая работа обоих материалов, работающих совместно. Однако после появления трещины в листе ЦСП происходит изменение угла наклона диаграммы за счет того, что деформации в стальной арматуре достигли величины, соответствующей пределу текучести, и включения в сопротивление действующего усилия стеклопластикового армирования.



1 – плита П-1; 1 – плита П-2; 1 – плита П-3

Рис. 8. Средние деформации в бетоне на участке между трещинами в зоне чистого изгиба

Исходя из графиков средних относительных деформаций в ЦСП, установлена аналогичная картина деформирования, при этом очевидно, что при достижении средних относительных деформаций величины 9–13 ‰ происходит разрушение листа ЦСП, что подтверждается экспериментальными исследованиями при испытании ЦСП на изгиб [5]. При этом постановка стеклопластиковой арматуры по-

влияла лишь на проявление неупругих деформаций в листе ЦСП. Из анализа графиков следует, что на появление трещин в плите повлияли более высокие прочностные характеристики листа ЦСП и процент армирования стальной арматуры, а на общую деформативность – суммарный процент армирования конструкции.

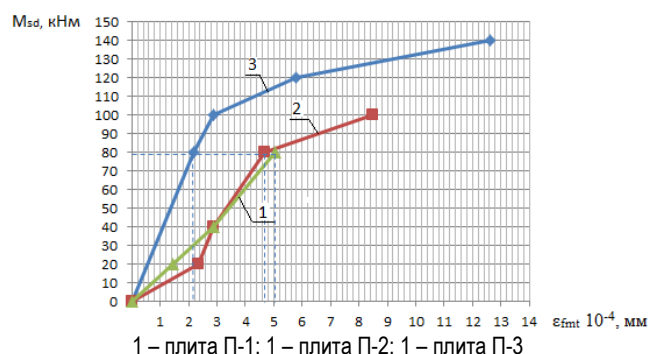


Рис. 9. Средние деформации в ЦСП на участке между трещинами в зоне чистого изгиба



а – плита П-1; б – плиты П-2 и П-3
Рис. 10. Вид плит после разрушения

Заключение. Проведенные экспериментальные исследования позволяют сделать следующие выводы:

1. Внедрение новой конструктивной системы многоярусного перекрытия в сочетании с VST опалубкой позволит не только значительно сократить расход материалов, снизить собственную массу конструкций перекрытий, но и значительно, по сравнению с традиционными решениями, расширить области применения VST – систем.
2. Экспериментально установлено, что использование листа ЦСП в качестве конструктивного элемента (несъемная опалубка) для железобетонных конструкций в растянутой зоне позволяет значительно увеличить их трещиностойкость. Данный эффект связан с тем, что лист ЦСП обладает более высокими значениями сопротивления на растяжение по отношению к бетону. Однако установлено, что при армировании элементов, согласно требованиям норм [6] по минимальному проценту армирования (ρ_{min}) или незначительно выше его, к моменту появления трещины в ЦСП, напряжения в стальной арматуре достигают уровней, близких пределу текучести, что может привести к мгновенному (хрупкому) разрушению конструкций.
3. Применение композитного армирования в сочетании с минимальным количеством стальной арматуры в конструкциях перекрытий с использованием несъемной VST опалубки из листа ЦСП, в качестве элемента комплексной железобетонной конструкции, позволяет получить пластическую форму их разрушения, значительно увеличив их деформативность. При этом наблюдается перераспределение усилий между стальным и стеклопластиковым армированием после появления трещины в листе ЦСП.

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Пустотообразователь безбалочной плиты перекрытия: пат. 8418 Респ. Беларусь / Н.Н. Шалобыта, В.В. Тур, П.С. Пойта, Т.П. Шалобыта, Н.С. Целаева, В.Н. Пчелин: заявитель Брест. гос. техн. ун-т. U 20120036: заявл. 16.01.2012, опубл. 16.04.2012 // Афіцыйны бюл. / Нац. Цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2012. – С. 5.
2. Безбалочная монолитная плиты перекрытия: пат. 8475 Респ. Беларусь / Н.Н. Шалобыта, В.В. Тур, П.С. Пойта, Т.В. Пчелина, Н.С. Целаева, В.Н. Пчелин: заявитель Брест. гос. техн. ун-т. U 20120106: заявл. 06.02.2012, опубл. 15.05.2012 // Афіцыйны бюл. / Нац. Цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2012. – С. 5.
3. Безбалочная монолитная плиты перекрытия: пат. 8475 Респ. Беларусь / Н.Н. Шалобыта, В.В. Тур, П.С. Пойта, Т.В. Пчелина, Н.С. Целаева, В.Н. Пчелин: заявитель Брест. гос. техн. ун-т. U 20120107: заявл. 06.02.2012, опубл. 15.05.2012 // Афіцыйны бюл. / Нац. Цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2012. – С. 5.
4. Шалобыта, Н.Н. Эффективное решение плиты плоского безбалочного железобетонного перекрытия / Н.Н. Шалобыта, Т.П. Шалобыта, Н.С. Целаева // Дефекты зданий и сооружений. Усиление строительных конструкций: материалы XVI научно-методической конф. ВИТУ, Санкт-Петербург, 22 марта 2012 г. / СПбФВАТТ (ВИТУ); под. ред. Д.В. Курлапова [и др.]. – СПб., 2012. – 225 с.
5. Деркач, Е.А. Напряженно-деформированное состояние нового конструктивного решения безбалочного монолитного многоярусного перекрытия: дис. маг.: 05.23.01 / Е.А. Деркач. – Брест, 2013. – 121 с.
6. Бетонные и железобетонные конструкции: СНБ 5.03.01–03. – Мн.: Стройтехнорм – 2002. – 274 с.

Материал поступил в редакцию 26.06.14

SHALOBYTA N.N., DERKACH E.A., SHALOBYTA T.P. Experimental research of distorted condition of flat hollow-core reinforced concrete floor with application of elements of VST-system

In the article demonstrates experimental research the new constructive decision of flat hollow-core monolithic reinforced concrete floor with application of elements of VST-system.