

This article examines the issues of increasing the construction complex efficiency of the Republic of Belarus. The outcomes of researches on production of concrete works in the winter for want of erection of monolithic constructions in Republic of Belarus are represented. Need of introduction of the auto mated information technologies for the production organizations.

УДК 624.012

Тур А.В., Пецольд Т.М., Цымбаревич Т.А.

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЖИВУЧЕСТИ ПЛОСКИХ ДИСКОВ ПЕРЕКРЫТИЯ ИЗ СБОРНЫХ ПЛИТ БЕЗОПАЛУБОЧНОГО ФОРМОВАНИЯ ПРИ УДАЛЕНИИ НЕСУЩЕГО ЭЛЕМЕНТА

**Введение.** В настоящее время широкое распространение получили конструктивные решения зданий с плоскими дисками перекрытий,

выполненными из предварительно напряженных плит безопалубочного формования. В зависимости от класса по последствиям обрушения

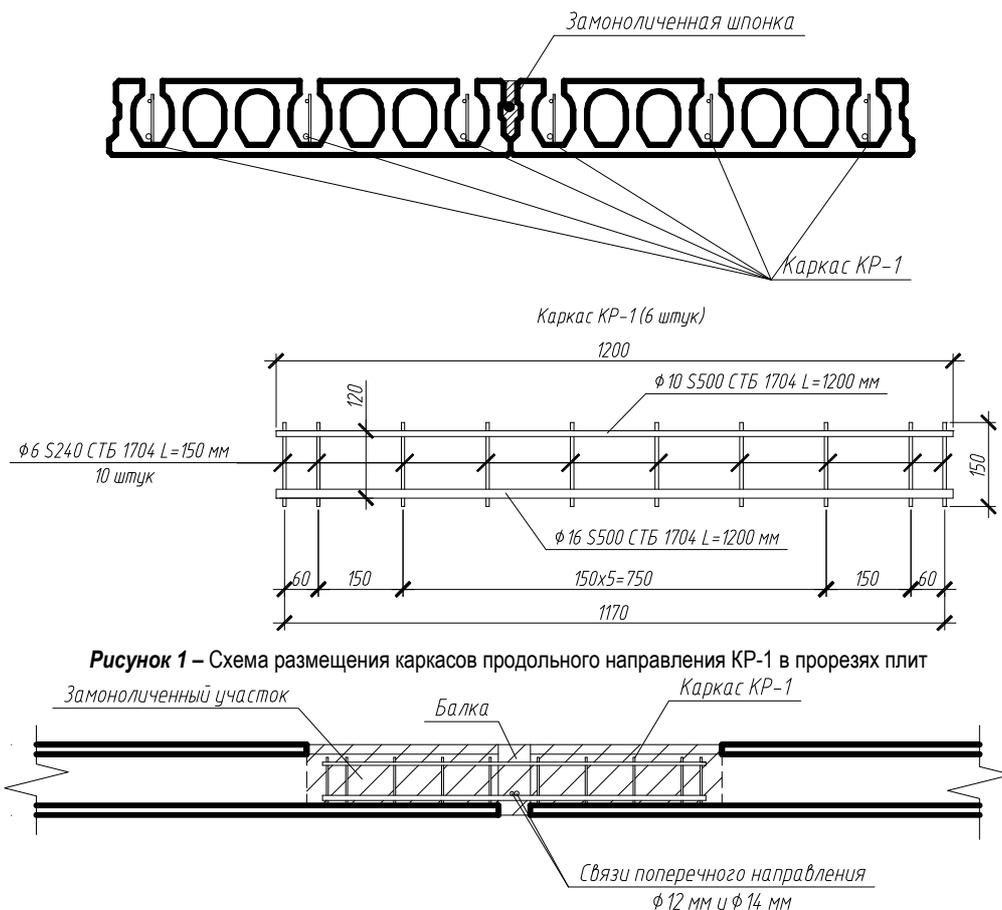


Рисунок 1 – Схема размещения каркасов продольного направления КР-1 в пролетах плит



Рисунок 2 – Размещения продольных связей в диске перекрытия и их закрепление на опорах

Пецольд Т.М., д.т.н., профессор, профессор кафедры железобетонных и каменных конструкций Белорусского национального технического университета.

220000, г. Минск, проспект Скорины, 65.

Цымбаревич Т.А., заместитель директора, начальник инженерно-конструкторской службы ООО «Современные бетонные конструкции».

223039, Минская обл., Минский р-н, район д. Табары, 29/1.



Рисунок 3 – Начальное состояние опытного фрагмента диска перекрытия

в соответствии с EN 1991-1-7 [2] оценка живучести конструктивных систем может выполняться с помощью метода связевых усилий (**СУ-метод**) либо метода альтернативных траекторий (**АТ-метод**) с соблюдением требований метода связевых усилий (данные методы подробно рассмотрены в собственных исследованиях, например [1]). Следует отметить, что в данных конструктивных решениях обеспечение живучести в особых расчетных ситуациях является особой задачей не только с точки зрения непосредственно расчёта самих связей, но и с точки зрения их расстановки в диске перекрытия.

Для проверки расчётных зависимостей, представленных в [2–4], для расчёта связей и определения оптимального их размещения были проведены исследования, представленные в данной статье.

**1. Экспериментальные исследования.** Испытания проводили на фрагменте плоского диска перекрытия, состоящего из четырех плит безопалубочного формования, соответствующих серии Б1.041.1-4.08 вып.2 1ПТМ 48.12.22-10S1400-1-W. По торцам плит были выполнены прорезы для установки соединительных каркасов КР-1 согласно чертежам (рис. 1), связывающих плиты в плоский диск перекрытия в продольном направлении. В качестве опор для плит были использованы фундаментные блоки. В качестве опор для средней части диска перекрытия (стыка плит) была собрана временная опора, которая при проведении эксперимента удалялась из-под плит. С целью повышения и обеспечения живучести фрагмента производилась установка арматурных стержней ( $\varnothing 12$  мм и  $\varnothing 14$  мм), моделирующих связи в поперечном направлении, зафиксированные на массивных вертикальных опорах (рис. 2). Связи были приняты в соответствии с предварительным расчётом, согласно [4].

С целью моделирования опорных связей (выпуски в колонну, стену) по торцам плит в прорезы, помимо каркасов, устанавливали дополнительные арматурные стержни, которые приваривали к металлическим балкам (рис. 3). Бетон заполнения стыка плит в поперечном направлении формирует сплошной монолитный балочный элемент. Шпонки между плитами замоноличивали бетоном того же класса, из которого выполнен балочный элемент. Общий вид опытного фрагмента диска перекрытия представлен на рис. 3.

**Методика проведения эксперимента.** Испытания опытного фрагмента проводили по следующей схеме:

- 1) поэтапное нагружение диска перекрытия штучными грузами;
- 2) демонтаж средней опоры диска перекрытия после передачи нагрузки от собственного веса плит и полезной нагрузки на стропы крана. Таким образом, стропы крана выполняют функцию средней опоры;
- 3) нагружение опытного фрагмента путём поэтапной передачи нагрузки на диск перекрытия в результате отпуска строп крана с контролируемой скоростью. Условные этапы передачи нагрузки и соответственно нагружения диска перекрытия контролировались по показаниям прогибомеров П1 и П2, расположенных в середине пролёта диска перекрытия.

По индикаторам И1-И9\* фиксировали значения относительных деформаций в сжатой и растянутой зонах плит и на арматуре связи.

**Результаты проведенных испытаний.** По результатам испытаний были установлены основные зависимости для описания работы диска перекрытия на характерных этапах нагружения:

- графики, показывающие изменение относительных деформаций связи поперечного направления в зависимости от величины вертикального перемещения (прогиба) (рис. 4);
- графики, показывающие изменение относительных деформаций в верхней и нижней зоне плит в зависимости от перемещения (рис. 5).

**2. Анализ работы диска перекрытия по результатам экспериментальных исследований.** Проанализировав зависимости, полученные по результатам испытаний, было принято решение разбить работу диска перекрытия на 3 характерные стадии.

#### Стадия 1

На данной стадии работы диск перекрытия, который состоит из сборных плит безопалубочного формования и балки замоноличивания, работает по схеме монолитного диска.

Индикаторы И1, И3, И5, И7, расположенные в верхней (сжатой) зоне диска перекрытия, показывали деформации сжатия. Индикаторы И2, И4, И6, И8, расположенные в нижней (растянутой) зоне диска перекрытия, показывали деформации растяжения (рис. 5, 6).

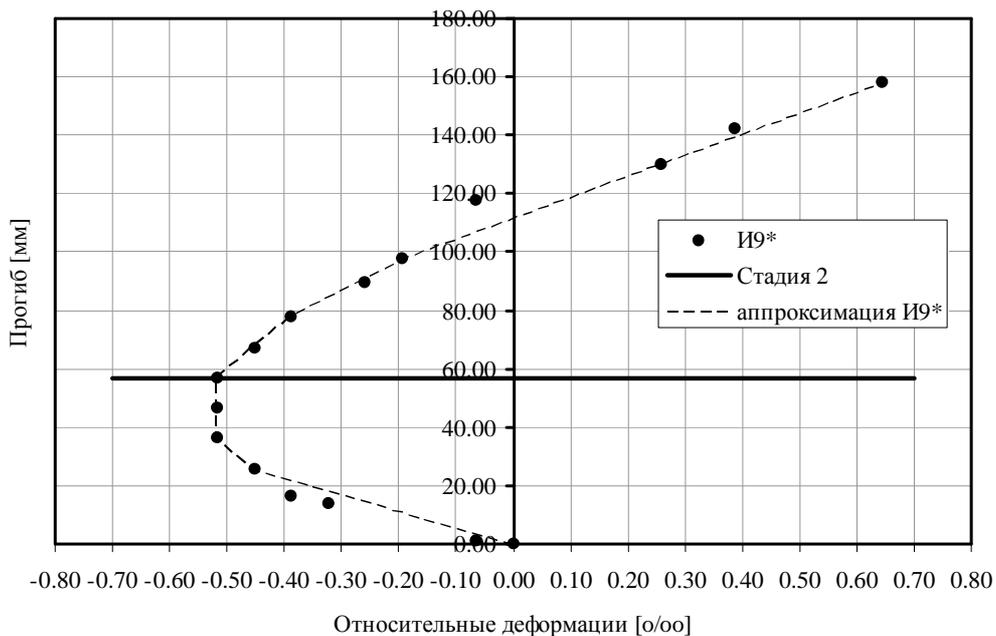


Рисунок 4 – Зависимость “относительная деформация - прогиб” для связи поперечного направления (индикатор I9\* закреплен на связи)

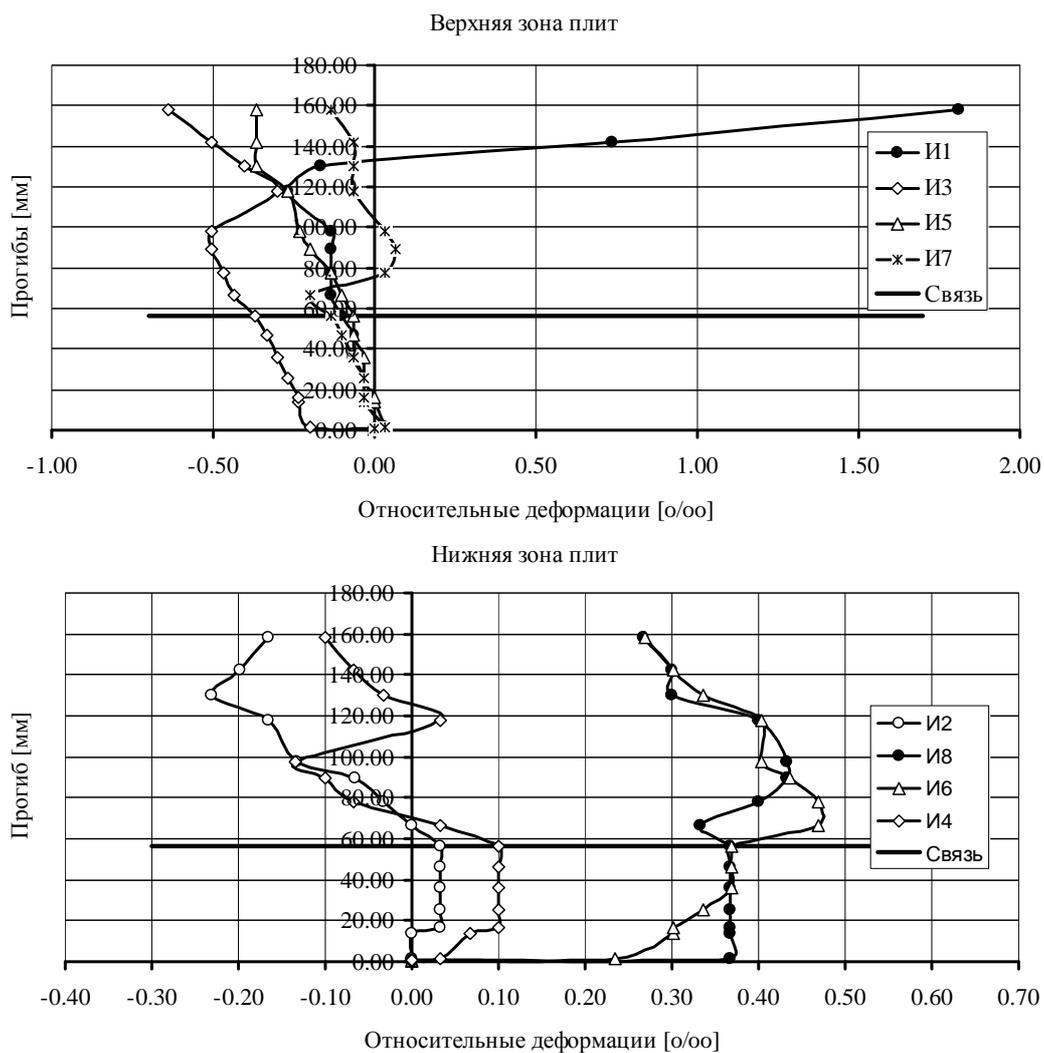


Рисунок 5 – Зависимости “относительная деформация - прогиб” для нижних и верхних зон плит (по индикаторам)

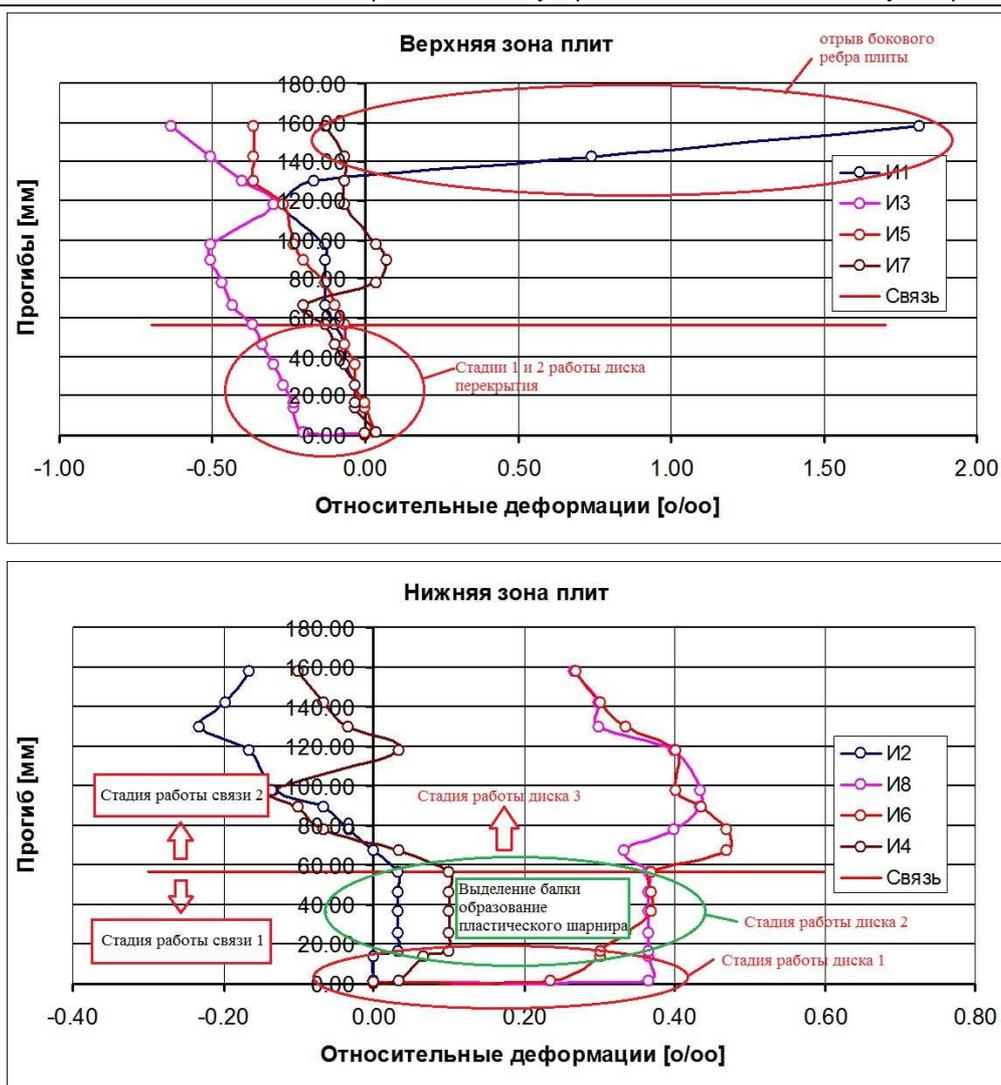


Рисунок 6 – К анализу работы диска перекрытия

Связь поперечного направления обладает собственной жёсткостью и работает по модели изгибаемого элемента. Значение граничного прогиба для данной стадии составляет 16,46 мм.

На данном этапе можно считать, что каркасы продольного направления практически не включаются в работу. Либо включаются, но далеко не в полной мере.

Так же необходимо отметить, что не маловажную роль играют связи по торцам плит, моделирующие выпуски арматурных стержней в колонны либо стены. На данном этапе их роль, возможно, не так значительна, однако на завершающих стадиях проведения эксперимента, на наш взгляд, их работа вносит определенный вклад в общую работу диска перекрытия. Соответственно, определение необходимой длины анкеровки стержней связи, замоналиченных по торцам плит, является важной задачей.

Следует отметить, что уже на ранних этапах передачи нагрузки на диск перекрытия происходит образование трещин на боковой грани плиты, что свидетельствует о том, что начинает отрываться крайнее ребро плиты, ослабленное прорезью крайней пустоты для размещения продольного каркаса.

#### Стадия 2

На данной стадии происходит образование трещин по границе контактного слоя между плитой и балкой с её последующим выделением. Начинает образовываться пластический шарнир, включаются и начинают работать на растяжение каркасы продольного направления.

Характеристики для пластического шарнира условно можно принять по сечению балки в поперечном относительно диска перекрытия

направлении и каркасам продольных каркасов, связывающим плиты перекрытия и балку замоноличивания.

Относительные деформации, зафиксированные по индикаторам в растянутых зонах плит, имеют на данной стадии постоянное значение при росте деформаций (рис. 5, 6), что может свидетельствовать о том, что происходит взаимный поворот двух жёстких дисков в шарнире в месте удаления центральной опоры.

Связь поперечного направления всё ещё обладает собственной жёсткостью и работает по модели изгибаемого элемента (рис. 4).

Следует отметить, что на данном этапе включаются в работу связи продольного направления по торцам (по 4Ø10 с каждой стороны).

Значение максимального прогиба для данной стадии составляет 56,53 мм.

#### Стадия 3

На данном этапе работает линейный пластический шарнир вместе со связями поперечного и продольного направления.

Вследствие поворота боковых граней диска перекрытия происходит отрыв боковых рёбер плит перекрытия. Окончательно выделяется балка поперечного направления (рис. 7).

Связь поперечного направления начинает работать по модели гибкой нити (стадия 2 работы связи) на растяжение. За счёт работы каркасов продольного направления в работу включается нижняя зона плит перекрытия, о чём свидетельствуют показания индикаторов (рис. 6).



**Рисунок 7** – Отрыв бокового ребра на третьей стадии работы диска перекрытия. Полное выделение балки поперечного направления

После полной передачи нагрузки, диск перекрытия оставили в таком нагруженном состоянии на сутки (рис. 8), после чего были произведены контрольные измерения основных показателей по индикаторам и прогибомерам.

#### *Демонтаж опытного диска перекрытия*

Немаловажным является поведение диска перекрытия после обрезки связей поперечного и продольного направления.

1. После проведения испытаний возвращали диск перекрытия в исходное состояние путём обратной передачи нагрузки на стропы крана.
2. Производили разгрузку фрагмента и обрезку связи поперечного направления и связей по торцам плит.
3. После чего производили передачу нагрузки от собственного веса на диск перекрытия путём полного отпуска строп. Следует отметить, что диск превратился в механизм, т. к. имело место появление трёх шарниров, расположенных на одной линии.

Следовательно, можно сделать вывод о том, что в момент полной передачи нагрузки на диск перекрытия в полной мере работали связи продольного и поперечного направления.

#### *Анализ работы связи поперечного направления*

Огромный интерес для исследования представляет вторая стадия работы связи поперечного направления, когда в конструктивной системе начинает проявляться мембранный эффект. Так же можно оценить адекватность принятых расчётных положений при проектировании связей в соответствии с требованиями DoD [4].

На рис. 9 представлена зависимость для второй стадии работы связи на третьем этапе работы диска перекрытия. Стоит отметить, что, судя по показаниям индикаторов, начало второй стадии для связи поперечного направления совпадает с началом третьего этапа работы всего диска перекрытия.

**Заключение.** В результате выполненного анализа проведенного экспериментального исследования диска перекрытия можно сделать следующие выводы:

1. Связь поперечного направления существенно повышает живучесть конструктивной системы при удалении средней опоры и при увеличении расчетного пролёта в два раза. Следует отметить, что после разгрузки плиты и обрезки связей, конструктивная система превратилась в механизм в месте пластического шарнира, который полностью исчерпал свой ресурс, что говорит о том, что мембранный эффект и работа самого диска перекрытия осуществлялась за счёт работы связи поперечного направления и частично связей на крайних опорах (замоноличенных выпусков).
2. Принятое количество арматурных стержней, используемых в качестве связи, рассчитанное в соответствии с требованиями DoD [4], оказалось достаточным для восприятия растягивающих усилий после полной передачи нагрузки на диск перекрытия в результате отпуска строп крана в соответствии с методикой проведения эксперимента.
3. Каркасы, располагаемые в продольном направлении, и балка замоноличивания в поперечном направлении связывают на начальном этапе диск перекрытия в единое целое, и он работает как монолитный диск перекрытия вплоть до образования трещин вдоль контактного слоя между балкой и плитой. После выделения балки начинает работать пластический шарнир, относительно которого происходит поворот двух жёстких дисков, образованных плитами перекрытия. На следующем этапе работы диска перекрытия в работу полностью включается связь поперечного направления, и начинает проявляться мембранный эффект.

Таким образом, принятое конструктивное решение диска перекрытия показало, что оно способно существенно повысить живучесть конструктивной системы при удалении средней опоры.



**Рисунок 8** – Диск перекрытия после полной передачи нагрузки через сутки

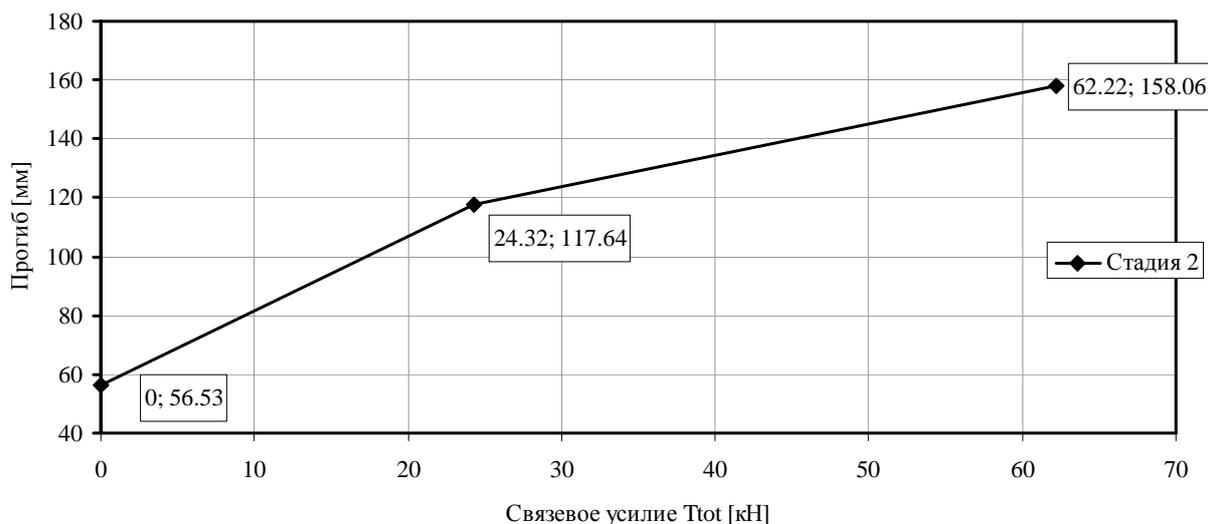


Рисунок 9 – Зависимость “связевое усилие - прогиб” для связи поперечного направления. Работа связи на стадии 2

#### СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Тур, А.В. Сопротивление изгибаемых железобетонных элементов при внезапном приложении нагрузки: дисс. канд. техн. наук: 05.23.01 / А.В. Тур; Брест, 2012. – 228 с.
2. General Actions – Accidental Actions (ТКП ЕН 1991-1-7 – Общие воздействия. Часть 7. – Особые воздействия): EN 1991-1-7.
3. Structural Use of Concrete, Part 1. Code of Practice for Design and Constructions: BS 8110-1:1997. – London: British Standards Institution, 1998. – 172 p.
4. Unified Facilities Criteria – Design of Building to Resist Progressive Collapse: UFC 4-023-03. – January, 2010.

Материал поступил в редакцию 10.05.2018

#### TUR A.V., PETSOLD T.M., TSIMBAREVICH T.A. Experimental research of the robustness of disk of overlapping from the hollow core slabs with removing the carrier element

At present, constructive solutions of buildings with discs of overlap, made of prestressed hollow core slabs, are becoming more widespread. It should be noted that in these constructive solutions, ensuring survivability in special design situations is a special task, not only from the point of view of directly calculating the bonds themselves, but also from the point of view of their placement in the overlapping disk.

УДК 624.012:[519.248:519.234.7]

Дереченник С.С., Тур В.В.

### НОВЫЙ ПОДХОД К ОЦЕНИВАНИЮ *IN-SITU* ХАРАКТЕРИСТИЧЕСКОЙ ПРОЧНОСТИ БЕТОНА В СУЩЕСТВУЮЩИХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЯХ ПРИ ОГРАНИЧЕННОМ КОЛИЧЕСТВЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ПОЛЕВЫХ ИСПЫТАНИЙ

**Введение.** В настоящее время реализуется план разработки международных норм по проектированию железобетонных конструкций определенных, например ТС250, как разработка Еврокодов нового поколения (G2). Этот период совпадает по времени с переработкой ряда национальных норм по железобетону, в частности СНБ 5.03.01 [1], и Национальных приложений к Еврокоду-2 (ЕС2).

Следует подчеркнуть, что в отличие от действующих норм проектирования, вновь разрабатываемые Еврокоды, а следом и Национальные приложения к ним, предполагают внесение специальных разделов, содержащих требования и адекватные расчетные модели для проверок предельных состояний существующих конструкций. Как оказалось, в отличие от национальной практики, в которой оценивание технического состояния существующих конструкций всегда уделяли достаточно пристальное внимание, в европейской практике этот вопрос оказался довольно новым, особенно применительно к зданиям и сооружениям. Традиционно этому вопросу достаточно много внимания уделялось при оценивании технического состояния мостов. Поэтому

для разработки разделов, относящихся к оцениванию существующих конструкций, в рамках рабочей группы комитета ТС250/SD2/WG1 была создана специальная тематическая группа TG3 (Assessment of existing structures – Оценивание существующих конструкций).

Естественно, что при разработке моделей сопротивления, применяемых для проверок предельных состояний существующих конструкций, одним из ключевых вопросов является адекватное определение свойств материалов, в частности *in-situ* прочности. При применении метода частных коэффициентов для проверок предельных состояний железобетонных конструкций основным параметром, описывающим физико-механические свойства бетона, является *in-situ* характеристическая прочность.

В соответствии с предложениями, сформулированными рабочей группой ТС250/WG1, в качестве основного расчетного метода при проверках предельных состояний существующих конструкций рекомендуется применять нелинейный анализ. Для получения адекватного решения в диаграммах деформирования для материалов реко-

Дереченник Станислав Станиславович, к.т.н., доцент, заведующий кафедрой электронных вычислительных машин и систем Брестского государственного технического университета.

Тур Виктор Владимирович, д.т.н., профессор, заведующий кафедрой технологии бетона и строительных материалов Брестского государственного технического университета.

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