

чительно не отличаются, следовательно упрощенно  $\alpha_c(\Theta)$  может быть принят равным  $\alpha_c(\Theta)=0.00001^{\circ}\text{C}^{-1}$  [6]. Коэффициент  $\beta$  может быть принят равным 0.6 [6]. Результаты обработки данных [3] показывают, что коэффициент псевдоинтенсивности напряжений неоднородного материала может быть определен по формуле

$$K_{1C} = 0.1971 \cdot (100 \cdot \Psi / \rho)^{0.25}. \quad (7)$$

Пористость высокопрочного бетона с  $B/\Psi < 0.4$  упрощенно может быть оценена через расход цемента ( $\Psi$ ) и водоцементное отношение [3]

$$n_p = 0.0008 \cdot \Psi \cdot (B/\Psi) = 0.0008 \cdot B. \quad (8)$$

Преобразование формулы (4) с учетом предложенных допущений и формул (3, 5-8) позволяет получить формулу для инженерных расчетов возможности хрупкого разрушения конструкций из высокопрочного бетона при пожаре

$$F = 0.045 \cdot E_c \cdot \Psi^{0.2}. \quad (9)$$

Модуль упругости в формуле (9) подставляется в ГПа.

УДК 624

Давыдов Е.Ю.

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СТАЛЬНЫХ ПАНЕЛЕЙ-ОБОЛОЧЕК НА ПРОЛЕТ С ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ОТВЕРСТИЯМИ

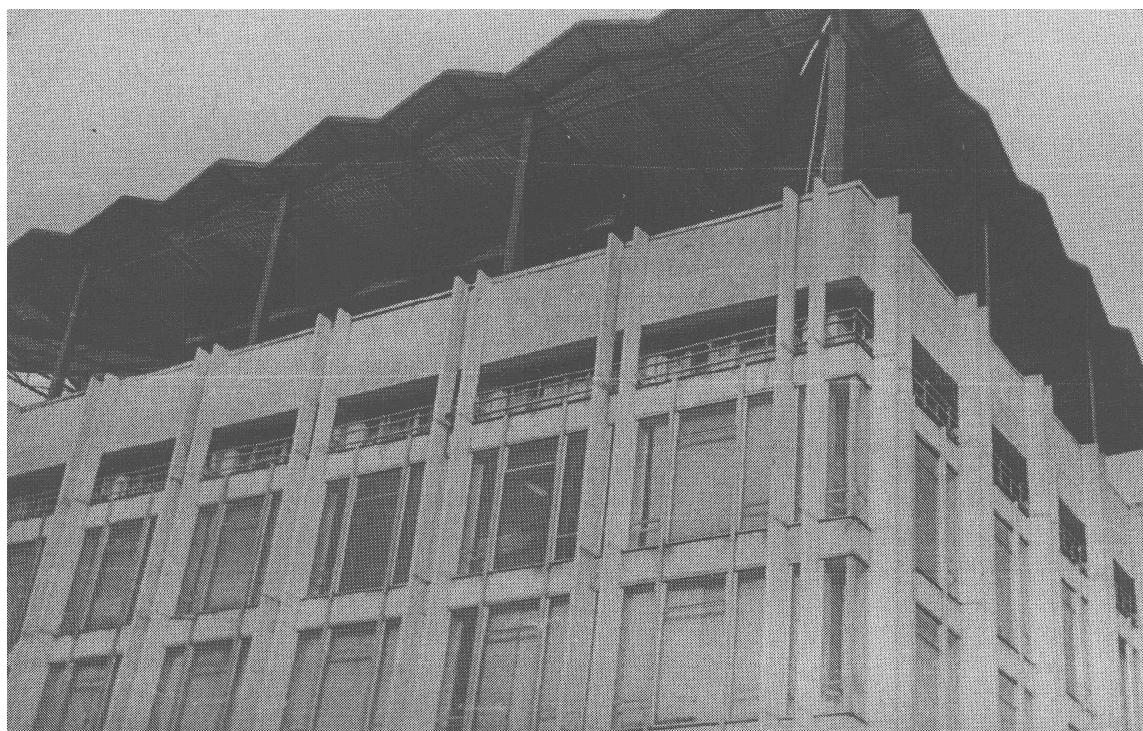


Рис. 1. Покрытие универсама "Беларусь" в г. Минске в процессе строительства

В Республике Беларусь панели-оболочки нашли применение как при новом строительстве, так и при реконструкции зданий общественного и производственного назначения [1, 2]. На рис. 1 приведен фрагмент покрытия универсама "Беларусь" в процессе строительства.

Панели-оболочки имеют форму гиперболического параболоида, опорный контур образуется из холодногнутых или горячекатанных профилей, а пролетная конструкция из стальных профилированных листов. Панели-оболочки позво-

Проведенные авторами расчеты для различных составов высокопрочных бетонов, показали, что погрешность расчетов находится в интервале 1-8%, поэтому формула (9) может быть использована с приемлемой достоверностью для инженерных расчетов возможности хрупкого разрушения конструкций из высокопрочного бетона при пожаре.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. EN 1992: Eurocode 2: Design of concrete structures- Part 1-2: General rules-Structural fire design. November 2001.
2. МДС 21-2.2000 Огнестойкость и огнестойкость железобетонных конструкций. - М.: ГУП "НИИЖБ", 2000. - с.92.
3. Рекомендации по защите бетонных и железобетонных конструкций от хрупкого разрушения при пожаре.
4. Жуков В.В., Панюков Э.Ф. Термостойкость железобетонных конструкций. Киев: Будэвельник. 1991. 218с.
5. Заседателев И.Б., Петров-Денисов В.Г. Тепло-массоперенос в бетоне специальных промышленных сооружений. - М.: Стройиздат, 1973.- 168с.
6. Милованов А.Ф. Стойкость железобетонных конструкций при пожаре. - М.: Стройиздат, 1998. - с.304.

ляют существенно (на 30-40%) снизить трудозатраты на монтажной площадке, уменьшить на 1...2м высоту зданий, сократить расход материалов на конструктивные элементы в пределах покрытия. Создавая выразительный в архитектурном отношении интерьер, панели-оболочки позволяют отказаться от подвесного потолка и, тем самым, в еще большей степени повысить экономическую эффективность покрытий из панелей-оболочек и снизить эксплуатационные расходы.

Давыдов Е.Ю., Белорусский национальный технический университет. Беларусь, БНТУ, 220027, г. Минск, пр. Ф. Скорины, 65.

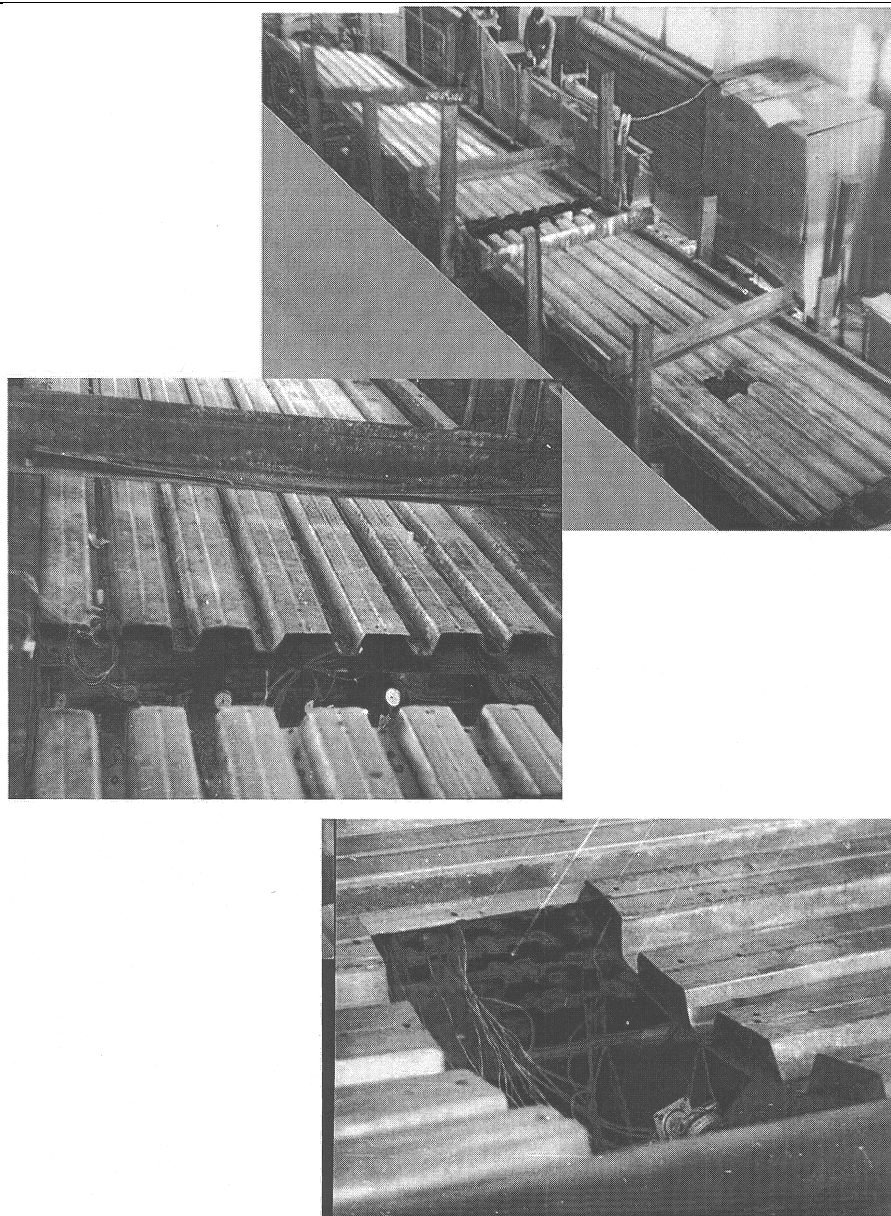


Рис. 2. Панели-оболочки с отверстиями в пролетной конструкции.

Отверстия в панелях-оболочках обусловлены, как правило, технологическими потребностями: устройством вентиляционных проемов, пропуском технологических трубопроводов, наличием зенитных фонарей.

Целью экспериментальных исследований было изучение распределения напряжений в растянутых пролетных конструкциях с отверстиями, имеющими различные конструктивные обрамления, а также изучение влияния отверстий на деформативность пролетной конструкции. Кроме того, в процессе эксперимента исследовалась и обратная зависимость: влияние деформативности продольных элементов опорного контура на напряженное состояние пролетной конструкции с отверстиями.

В задачу эксперимента входило исследование панелей-оболочек с отверстиями, расположенными в центре панели-оболочки и вблизи поперечных элементов опорного контура. При этом по периметру отверстия усиливались стальными пластинами, расположенными только по верхним или только по нижним полкам профнастила, одновременно по верхним и нижним полкам исследовались также панели-оболочки с отверстиями без усиления.

Размеры в плане панелей-оболочек, исследуемых в процессе эксперимента 2х12м. Расположение отверстий в пролетной конструкции, а также варианты обрамления отверстий приведены на рис.2. Обрамления малых отверстий (размером 390-390 мм) выполнялось стальными пластинами, располагаемыми по нижним и верхним полкам гофров» Обрамление сквозных отверстий выполнялось гнутым швеллером N16.

В целях уменьшения объема излагаемого материала в настоящей статье приведены результаты только для трех загружений (0,4; 0,8 и 1,2 кПа) и только по сечениям, расположенным на одной половине панелей-оболочек при симметричном расположении отверстий.

На рис.3, приведены эпюры нормальных напряжений в пролетной конструкции с одним отверстием. Распределение напряжений вдали от отверстий не имеет каких-либо отличительных особенностей. Однако вблизи отверстия отмечается ярко выраженная концентрация напряжений: растягивающие напряжения в гофрах, соседних с отверстием, резко отличаются от напряжений в других гофрах (примерно в 5...8 раз). При этом зона наибольших растягивающих напряжений захватывает не только нижние полки гофров, но и верхние, на которые приходится пик концентрации напряжений.

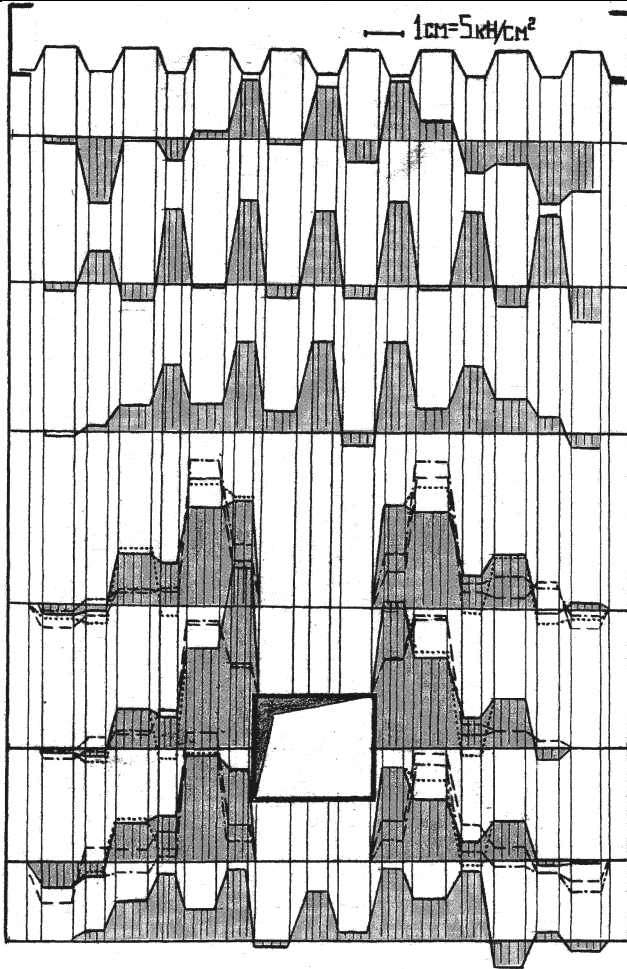


Рис. 3. Эпюры нормальных напряжений в пролетной конструкции с отверстием: - без усиления; « усиленным по верхним и нижним граням; — усиленным по нижним граням; — усиленным по верхним граням.

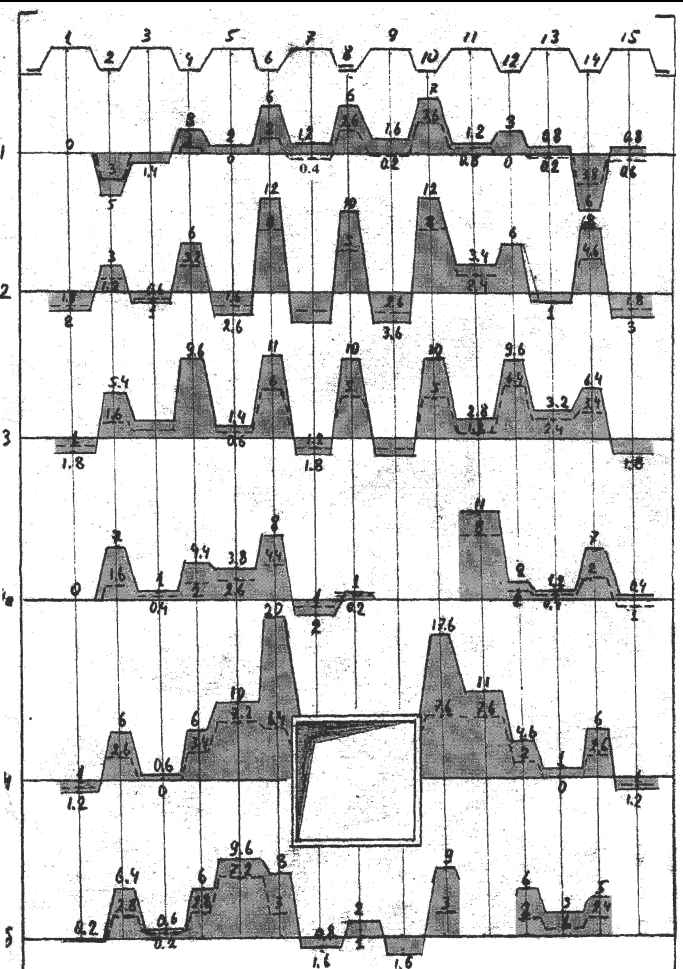


Рис. 4. Эпюры нормальных напряжений в пролетной конструкции при деформируемом опорном контуре

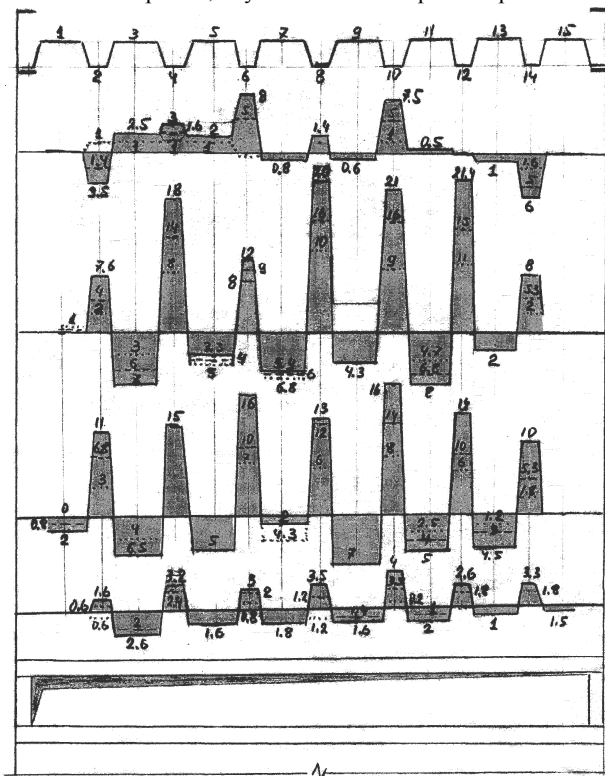


Рис. 5. Напряжение в пролетной конструкции с отверстием на всю ширину панели-оболочки

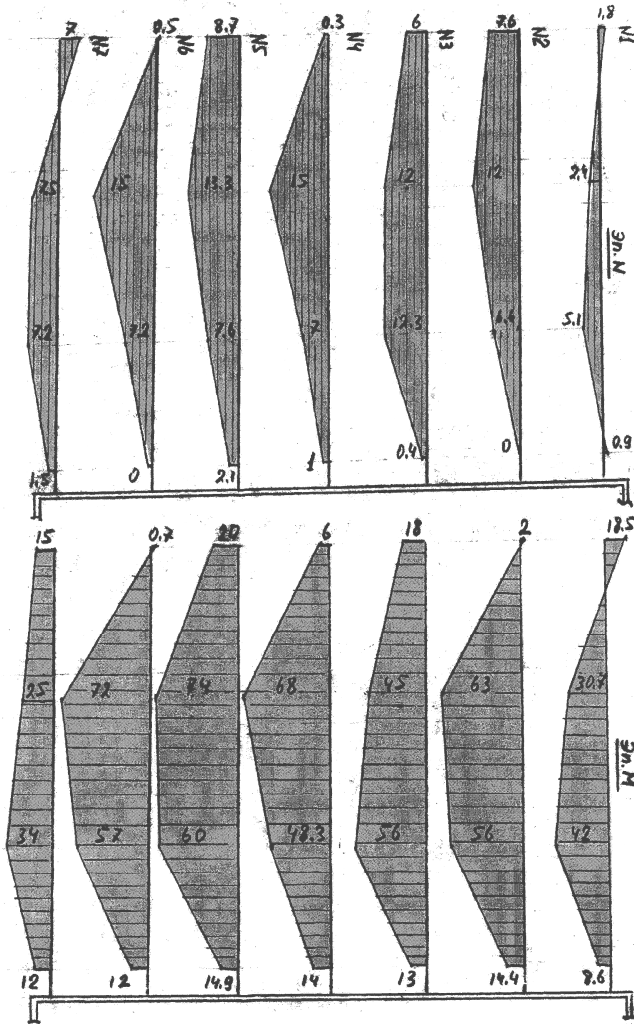


Рис. 6. Эпюры осевых усилий и изгибающих моментов при сквозном отверстии

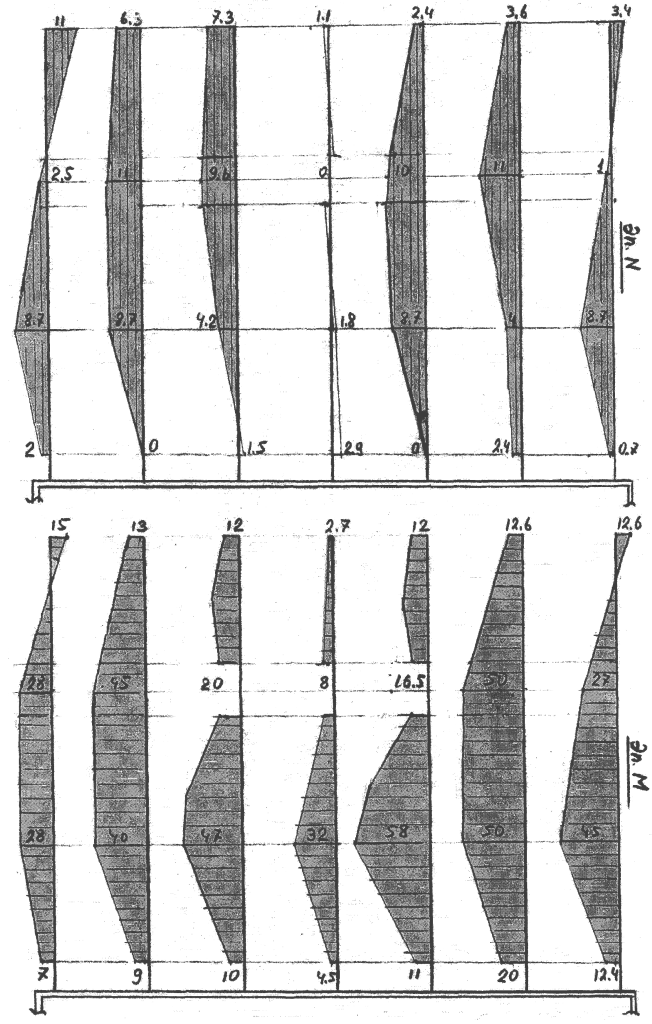


Рис. 7. Эпюры осевых усилий и изгибающих моментов.

Другой особенностью распределения напряжений является уменьшение напряжений до нуля в гофрах, пересекаемых отверстием. Указанное уменьшение является здесь результатом резкого снижения жесткости гофров на растяжение и изгиб и недостаточной жесткости усиления.

Сравнение рассмотренного распределения с распределением напряжений вблизи отверстий без какого-либо усиления показывает, что здесь пик концентрации напряжений сместился к краям отверстия и располагается уже в нижних полках гофров. Указанное обстоятельство свидетельствует о том, что усиление отверстий способствует распределению напряжений по сечению гофров, соседних с отверстием, однако это распределение не является существенным. Другие особенности при сравнении указанных эпюр обнаружены не были.

Сравнение напряжений вблизи отверстий, усиленных только по нижним или только по верхним полкам, указывает на то, что усиление по нижним полкам более эффективно, чем по верхним: в последнем случае распределение напряжений у краев отверстий ближе к эпюре напряжений, когда отверстие не имело усиления. Сопоставление усилий, приходящихся на наиболее напряженную часть сечения, в месте расположения отверстий, показывает, что их значения для всех четырех вариантов почти одинаковые: разница не превышает 8%.

Описанные выше варианты распределения напряжений получены при испытании панелей-оболочек с опорным контуром, неподвижным в вертикальном направлении. Распределение напряжений в пролетной конструкции при деформиру-

емом опорном контуре панелей-оболочек приведено на рис. 4, где представлены эпюры напряжений при нагрузках интенсивностью 0,4 и 0,8 кПа. Сопоставление напряжений с аналогичными загрузками, но при жестком опорном контуре (см. рис. 3), дает основание утверждать, что вертикальные перемещения продольных элементов опорного контура не оказывают существенного влияния на концентрацию напряжений вблизи отверстий.

Анализ перемещений пролетной конструкции при усилении отверстия только снизу, только сверху и без усиления показывает, что обрамление отверстий уменьшает прогибы пролетной конструкции в местах расположения отверстий и наиболее эффективным при этом является усиление по нижним полкам.

Распределение напряжений в пролетной конструкции при сквозном отверстии (на всю ширину панели-оболочки) приведено на рис. 5. Вблизи отверстия напряжения в гофрах уменьшаются. Примерно так же, как у поперечных элементов опорного контура панели-оболочки, т.е. при данном конструктивном решении пролетная конструкция расчленяется на две части. Об этом же свидетельствуют эпюры осевых и изгибающих моментов в гофрах (см. рис. 6): значения осевых сил и моментов уменьшаются как при приближении к поперечным элементам опорного контура, так и к обрамлению сквозного отверстия. В связи с тем, что изгибная горизонтальная и вертикальная жесткости обрамления отверстия соизмеримы с соответствующими жесткостями поперечных

элементов опорного контура, распределение перемещений происходит как для двух самостоятельных пролетных конструкций, разделенных сквозным отверстием, т.е. наибольшие вертикальные перемещения отмечены в середине каждого полупролета.

В процессе эксперимента исследовалось напряженное состояние пролетной конструкции панели-оболочки с двумя разновеликими отверстиями: малое отверстие расположено вблизи поперечного элемента опорного контура на расстоянии  $1/6$  пролета, а большое отверстие расположено в середине пролета. При этом малое отверстие имело два варианта усиления: по верхним и нижним полкам и только по нижним полкам. Распределение напряжений в обоих случаях не имело существенных различий, что подтверждает сделанный ранее вывод о незначительной эффективности усиления отверстий по верхним полкам гофров. Об этом же свидетельствует анализ перемещений. Очевидной особенностью рассматриваемого напряженного состояния является отсутствие резкой концентрации напряжений, что является следствием близкого расположения отверстия к опорному контуру.

Эпюры осевых сил и изгибающих моментов в условных стержнях приведены на рис. 7. Осевые силы в стержнях, прерываемых отверстием, близки к нулю, а осевые силы в стержнях, близлежащих к отверстию, имеют некоторое увеличение, что является следствием концентрации напряжений. Сопоставление эпюр изгибающих моментов, приведенных для панели-оболочки с двумя отверстиями с эпюрами для панели-оболочки с одним центральным отверстием, показывает существенное (в среднем на 36%) уменьшение изгиба в сечении, где расположено второе отверстие. Это является следствием увеличения поперечной жесткости пролетной конструкции за счет стальных полос, обрамляющих отверстие.

#### Выводы

1. Проведены обширные экспериментальные исследования панелей-оболочек с технологическими отверстиями в пролетной конструкции. Исследования выполнены при

УДК 624

Давыдов Е.Ю.

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАПРЯЖЕНИЙ ВБЛИЗИ ОТВЕРСТИЙ В СТАЛЬНЫХ ПРОФИЛИРОВАННЫХ ЛИСТАХ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ В КАЧЕСТВЕ ПРОЛЕТНОЙ КОНСТРУКЦИИ ПАНЕЛЕЙ-ОБОЛОЧЕК НА ПРОЛЕТ

### 1. Принятые расчетные предпосылки.

В покрытиях зданий и сооружений технологические отверстия чаще всего имеют форму квадрата, прямоугольника или круга. Расположение отверстий может быть самым разнообразным. Наиболее часто размеры отверстий не превышают  $1/5...1/3$  ширины панели-оболочки. Именно для указанных форм и размеров наиболее применимо разработанный в данной работе способ определения напряжений вблизи отверстий. Для инженерного расчета и особенно при индивидуальном проектировании наиболее удобным является использование несложных аналитических формул. В настоящей работе рассматривается именно аналитический вариант решения поставленной задачи по определению напряженного состояния пролетной конструкции панелей-оболочек с отверстиями.

Особенностью поставленной задачи применительно к панелям-оболочкам является ярко выраженная конструктивная анизотропия пролетной конструкции, изготовленной из изотропного материала, и неопределенность степени влияния конструктивной анизотропии на распределение напряжений вблизи отверстий. Поэтому задача рассматривалась в двух

вариантах: как для изотропного, так и для анизотропного материала. Другой особенностью является своеобразная форма распределения основных напряжений по ширине панели-оболочки. При решении задачи использованы следующие расчетные предпосылки:

- контур отверстий свободен от внешних воздействий;
  - на контуре отверстий изгибающие моменты, перпендикулярные сторонам отверстий, равны нулю;
  - направления главных напряжений основного напряженного состояния совпадают с направлением гофров ( $\sigma_x = \sigma_k$ );
  - основные напряжения вблизи продольных элементов опорного контура панелей-оболочек равны нулю;
  - напряжения, перпендикулярные направлению гофров и касательные напряжения, не оказывают существенного влияния на концентрацию напряжений;
  - в качестве компонентов основного напряженного состояния принимаются напряжения в срединной поверхности.
2. По результатам экспериментальных исследований установлено, что эффективность элементов усиления, располагаемых на периметру при их установке в плоскости нижних граней гофров, профилированных листов, выше, чем при их установке в плоскости верхних граней гофров. В то же время, уменьшение концентрации напряжений при наличии усиления отдельными пластинами не является существенным, прежде всего, из-за податливости соединений.
  3. При наличии сквозного отверстия и при наличии обрамляющих элементов, обладающих изгибной жесткостью, соизмеримой с жесткостью опорного контура, напряженно-деформированное состояние пролетной конструкции может рассматриваться, как для двух взаимно не зависимых частей.
  4. При исследовании панелей-оболочек с двумя отверстиями в пролетной конструкции, расположенными одно от другого на расстоянии  $5a$  и более ( $a$  - размер отверстия), не было обнаружено их взаимного влияния - значения наибольших напряжений оказались примерно равными напряжениям при одиночных отверстиях.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Давыдов Е.Ю. Тонколистовые металлические оболочки в покрытиях зданий и сооружений. - Изд-во "Полымя", 1985, 63 с.
2. Давыдов Е.Ю. Тонколистовые металлические панели-оболочки на пролет для покрытия зданий и сооружений. // Монтажные и спец. работы в стр-ве. N 2. 2002. с.7... 11.