**УДК 666.973.6: 691.022-413**

**Костюк А.И., к.т.н., доцент, Зазуля Д.О., аспирант** (Одесская государственная академия строительства и архитектуры)

# ЧИСЛЕННЫЙ АНАЛИЗ РАБОТЫ ПЛАТФОРМЕННОГО СТЫКА ИЗ ПЕНОБЕТОНА НЕАВТОКЛАВНОГО ТВЕРДЕНИЯ

**Представлены результаты численного эксперимента, посвященного изучению напряженно-деформированного состояния опорных сечений стеновых панелей из пенобетона неавтоклавного твердения. Описаны некоторые закономерности распределения напряжений в сечениях приопорных участков.**
**Ключевые слова: стеновая панель, напряженно-деформированное состояние, косвенное армирование.**

**The results of the numerical experiment dedicated to the research of stress-strain condition of support sections of wall panels from self-consolidated foam concrete are reviewed. Some regularities of the stress distribution in sections of support parts are described.**
**Key-words: wall panel, stress-strain condition, lateral reinforcement.**

**Представлені результати численного експерименту, присвяченого вивченню напружено-деформованого стану опорних перерізів стінових панелей із пінобетону неавтоклавного твердіння. Описані деякі закономірності розподілу напружень у опорних перерізах.**
**Ключові слова: стінова панель, напружено-деформований стан, непряме армування.**

**В 60-80-х годах жилищная проблема** в Украине решалась за счет строительства панельных многоэтажных зданий. Сегодня широко распространено строительство зданий с монолитным каркасом, в которых можно применить индивидуальную планировку и форму здания, но при строительстве таких зданий применяются многочисленные трудоемкие процессы для выполнения ограждающих конструкций с использованием мелкоштучных элементов, которые значительно удорожают строительство. Поэтому возникает необходимость применения индустриальных несущих и ограждающих конструкций. Одним из наиболее перспективных направлений обеспечения современных требований по теплозащите зданий без существенного увеличения материалоемкости, трудозатрат, а главное стоимости, является применение ограждающих железобетонных панелей из эффективного теплоизоляционного материала.

В связи с тем, что стеновые панели из пенобетона неавтоклавного тверде-

ния используются в практике строительства в небольших объемах, их напряженно-деформированное состояние мало изучено. Авторы ставят целью изучить напряженно-деформированное состояние опорных сечений и влияние косвенного армирования на несущую способность стыковых соединений таких панелей.

В зданиях с бескаркасной системой основными являются три вида стыков: контактный, платформенный и комбинированный (контактно-платформенный) (рис. 1).

В настоящей статье будет рассмотрен платформенный стык панелей стен (рис. 2).

**В статье [1] говорится** о прочности платформенного стыка, имеющего два растворных шва. Она зависит от марки раствора швов, наличия уступа в стыке (за счет разной толщины перекрытий), глубины опирания плит перекрытий. Возможный вариант повышения трещиностойкости опорного сечения стеновой панели предлагается в работе [2]. Автор более целесообразным считает применять косвенное армирование опорной части панелей не сетками, а поперечными стержнями с надежными анкерными устройствами на концах.

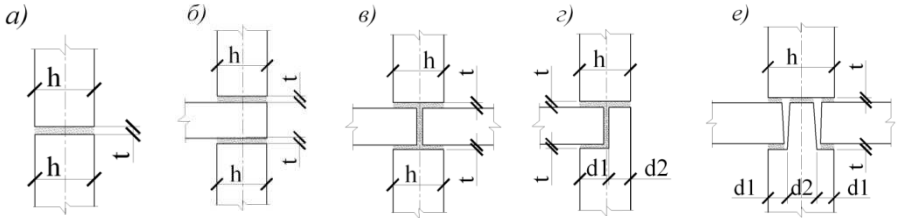


Рис. 1. Конструкции стыков: *а*, *б*, *г*,— стык наружных стен; *в*, *е* — стык внутренних стен; *а* – контактный стык; *б*, *в* – платформенный стык; *г*, *е*, – комбинированные стыки

В настоящее время наиболее активно изучением напряженно-деформированного состояния стыковых соединений крупнопанельных зданий занимается лаборатория Железобетонных и каменных конструкций Казанского Государственного Архитектурно-Строительного Университета. Авторами работы [3] разработана методика расчета стыков по прочности, которая базируется на теории сопротивления анизотропных материалов сжатию и отражает механизм их разрушения.

**В платформенном стыке** передача нагрузки происходит через опорные участки панелей стен, плит перекрытий и слои раствора, уложенного над и под опорной частью перекрытия. Разная толщина плит перекрытия, прочность и толщина раствора в шве, наличие зазора между плитами, вид плит перекрытий вызывают неравномерное распределение напряжений по опорному сечению стеновой панели, что приводит к изменению несущей способ-

ности стыка. Однако, из всего большого количества факторов, влияющих на несущую способность такого стыка, авторами были выделены два – эксцентриситет и количество косвенного армирования.

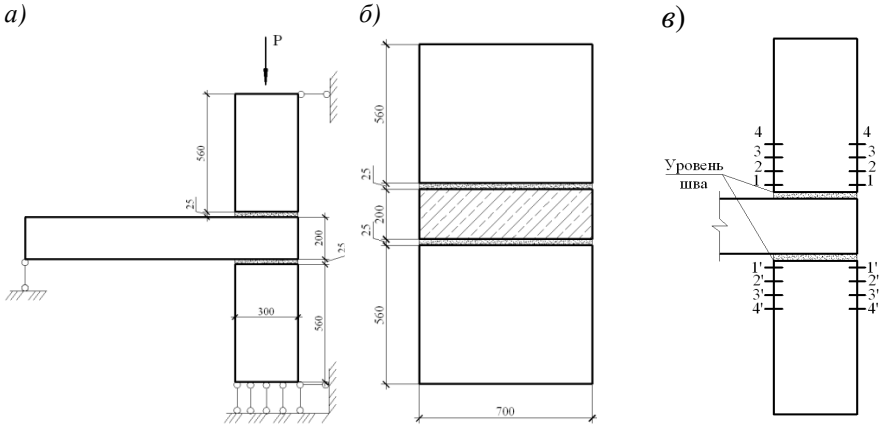


Рис. 2. Модель испытываемого элемента: *а* – вид сбоку, *б* – вид спереди, *в* – схема расположения рассматриваемых сечений

**Целью настоящей статьи** является изучение:

- напряженно-деформированного состояния опорных сечений стыковых соединений стеновых панелей;
- влияния косвенного армирования на несущую способность стыковых соединений стеновых панелей, выполненных из пенобетона неавтоклавного твердения.

**Платформенный стык** моделировался в программных комплексах ПК ЛИРА 9.4 и ПВК SCAD, которые реализуют метод конечных элементов. В модели были использованы конечные элементы трех типов: 36 – универсальный пространственный восьмиузловой изопараметрический КЭ, 41 – универсальный прямоугольный КЭ оболочки и 10 – универсальный пространственный стержневой КЭ. Расчет выполнен в линейной постановке.

Образец состоит из двух призм с размерами 560x700x300 мм из пенобетона неавтоклавного твердения и плиты с размерами 200x700x1000 мм; все элементы соединенных между собой растворным швом толщиной 25 мм (рис. 2). Рассматриваемые сечения располагаются на уровне шва, на уровне первой сетки – 1 (25 мм от шва), на уровне второй, третьей и четвертой сеток – 2, 3 и 4 соответственно (с шагом 50 мм) в верхней призме. В нижней призме нумерация сечений зеркальная с обозначением 1', 2', 3' и 4' соответственно.

Пенобетон принят плотностью 900 кг/м³, предельная прочность бетона – 5,9 МПа; модуль упругости бетона принят 4200 МПа; арматура класса Вр-I. Растворный шов принят плотностью 1500 кг/м$^3$ и модулем упругости 10000 МПа. Плита перекрытия принята из тяжелого бетона класса В25.

Результаты расчета представлены в виде графиков на рис. 3-7.

Как видно по графикам в торцевой части элементов, в области шва, напряжения увеличиваются с увеличением эксцентриситета, однако, появление сеток косвенного армирования не приносит должного эффекта. Понижение напряжений наблюдается только при эксцентриситете в 40 мм. В уровне сечений 1 и 1' можно наблюдать такую же картину, как и в уровне шва. В уровне сечений 2 и 2' напряжения растут с увеличением эксцентриситета. Введение в элемент усиления в виде сеток не уменьшает напряжения. В уровне 3 и 3' можно наблюдать небольшое снижение напряжений при наличии двух сеток армирования. Однако в уровне четвертой сетки напряжения снова увеличиваются. При рассмотрении графиков напряжений в уровне 4 и 4' можно заметить, что должный эффект понижения напряжений появляется только при армировании двумя сетками.

*а*) *б*)

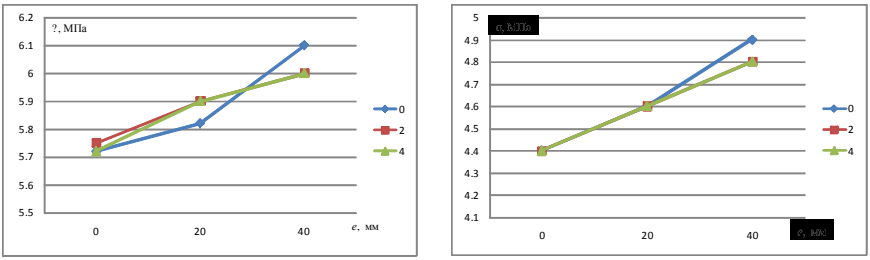


Рис. 3. Зависимость напряжений сжатия σ, МПа, в уровне шва (торец призмы) от величины эксцентриситета приложения нагрузки:
*а* – в верхней панели; *б* – в нижней панели

*а*) *б*)

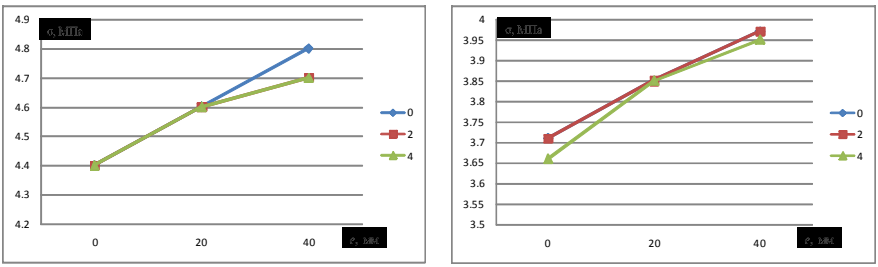


Рис. 4. Зависимость напряжений сжатия σ, МПа, в уровне сечения: *а* – 1 и *б* – 1' от величины эксцентриситета приложения нагрузки

*а*) *б*)

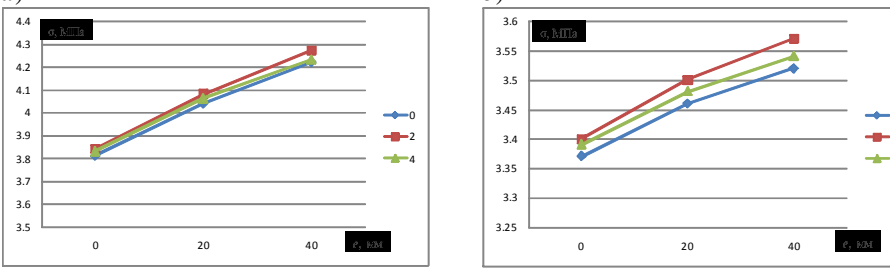


Рис. 5. Зависимость напряжений сжатия σ, МПа, в уровне сечения: *а* – 2 и *б* – 2' от величины эксцентриситета приложения нагрузки

*а*) *б*)

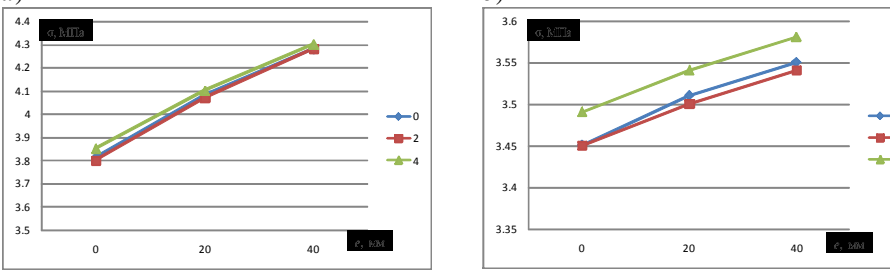


Рис. 6. Зависимость напряжений сжатия σ, МПа, в уровне сечения: *а* – 3 и *б* – 3' от величины эксцентриситета приложения нагрузки

*а*) *б*)

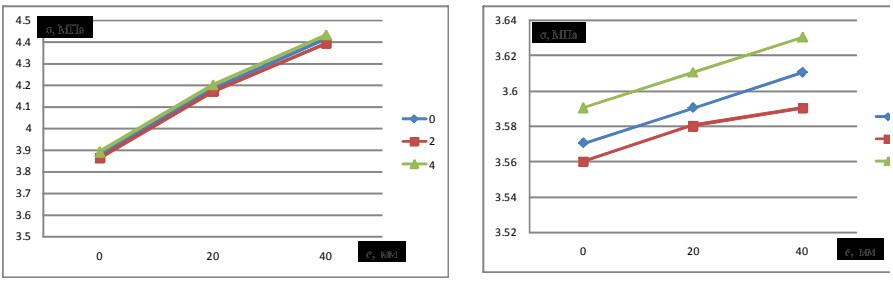


Рис. 7. Зависимость напряжений сжатия σ, МПа, в уровне сечения: *а* – 4 и *б* – 4' от величины эксцентриситета приложения нагрузки

Во всех образцах, усиленных косвенным армированием, зона усиления находится в состоянии двухосного сжатия, о чем свидетельствуют изополя напряжений, полученных при расчете (рис. 8). Причем область двухосного сжатия увеличивается в вертикальном направлении от опор и от плиты пере-

крытия с появлением сеток косвенного армирования. Это свидетельствует о том, что наличие косвенного армирования сдерживает поперечные деформации в торце элемента.

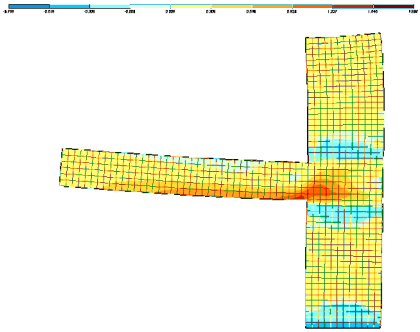

Рис. 8. Изополя главных растягивающих $\sigma_1$ в платформенном стыке с эксцентриситетом 40 мм без косвенного армирования

**В качестве вывода**, исходя из анализа полученных данных, можно отметить следующее:

- существующие теории механики разрушения бетона адекватно описывают характер распределения напряжений в пенобетоне неавтоклавного твердения;
- введение 2-х сеток косвенного армирования приводит к изменению знака главных растягивающих напряжений (т. е. напряжения растяжения в опорной зоне становятся сжимающими);
- косвенное армирование можно рассматривать как способ усиления опорной зоны стеновых панелей из пенобетона неавтоклавного твердения.

**1.** Цаплев Н.Н. Платформенный стык в зданиях повышенной этажности // Жилищное строительство. – 1975. – №4. – С. 14-15. **2**. Мощевитин Т.Г. Трещиностойкость и прочность платформенных стыков внутренних несущих стен // Жилищное строительство. – 1982. – №2. – С.15-16. **3.** Никитин Г.П. Прочность горизонтальных стыков бетонных конструкций зданий и сооружений: Дисс. на соиск. ученой степ. к.т.н. – Казань, 2007. – 173 с. **4.** Костюк А.І., Зазуля Д.О. Напружено-деформований стан опорних перерізів стінових панелей із пінобетону неавтоклавного твердіння. Передумови вивчення / Вісник ОДАБА. – №38. – 2010. – С. 361-364.

Рецензент: д.т.н., профессор Клименко Е.В. (ОГАСА)