



УДК 624.012.35

**Б.С. Соколов** – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой железобетонных и каменных конструкций

**А.Н. Седов** – аспирант, старший преподаватель

**Казанский государственный архитектурно-строительный университет (КазГАСУ)**

## **ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ КОМБИНИРОВАННЫХ СТЫКОВ КРУПНОПАНЕЛЬНЫХ ЗДАНИЙ С УЧЕТОМ ВОЗМОЖНЫХ ОТКЛОНЕНИЙ ПРИ ИХ ВОЗВЕДЕНИИ**

### **АННОТАЦИЯ**

В работе приведены результаты экспериментальных исследований несущей способности образцов комбинированных стыков в зависимости от толщины растворного шва, ширины площадки опирания плиты перекрытия, смещения верхней стеновой панели относительно нижней, угла поворота плиты перекрытия. Выявлены возможные схемы разрушения стыков, определены зоны их усиления.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** Комбинированный стык стеновых панелей, несущая способность стыков, схемы разрушения, зоны усиления.

**B.S. Sokolov** – doctor of technical sciences, professor, head of Reinforced-Concrete and Masonry Structures department

**A.N. Sedov** – post-graduate student, senior lecturer

**Kazan State University of Architecture and Engineering (KSUAE)**

## **EXPERIMENTAL RESEARCH OF COMBINED JOINTS OF LARGE-PANEL BUILDINGS WITH CONSIDERATION FOR POSSIBLE DEVIATIONS AT THEIR CONSTRUCTION**

### **ABSTRACT**

The experimental results on bearing capacity of combined joints depending on thickness of cement weld, on width of resting platform of floor panel, on displacement of top panel in relation to bottom one, on angle of floor panel rotation are presented. Possible schemes of joints destruction are revealed, the zones of their strengthening are defined.

**KEYWORDS:** Combined joint of building panels, bearing capacity of joints, schemes of destruction, zones of strengthening.

При проведении работ по обследованию крупнопанельных зданий возникает необходимость оценки несущей способности стеновых панелей и их стыков. При этом желательно учесть все возможные дефекты и отклонения от проекта, выявленные при обследовании, которые могут повлиять на изменение напряженно-деформированного состояния стыков и, следовательно, всей несущей системы в целом. Необходимость учета большого числа параметров и возможных дефектов в стыке определяет ряд требований к методике расчета горизонтальных стыков, в том числе и комбинированных. Кроме того, методика должна отражать механизм разрушения, содержать данные о зонах усиления и конструктивно технологических решениях, направленные на оптимальное усиление стыков.

Анализ работ, посвященных изучению работы комбинированных стыков, позволил выявить ряд недостатков:

- прочность комбинированного стыка, вычисленная по нормативной литературе [1, 2], существенно ниже прочности, определенной экспериментальным путем или в соответствии с теорией сопротивления анизотропных материалов сжатию [3];
- методика расчета, изложенная в [4], не учитывает наличие возможных дефектов в комбинированном стыке.

В связи с этим возникает необходимость дополнения существующей методики расчета [3, 4].

Предлагаемая методика расчета основана на теории сопротивления анизотропных материалов сжатию, согласно которой прочность бетона стыка при

сжатии  $N_{сеч}$  определяется преодолением сопротивления материала отрыву, сдвигу и раздавливанию:

$$N \leq N_{сеч} = (N_{bt} \cos \alpha + 2N_{sh}) / \sin \alpha + N_{ef}, \quad (1)$$

где  $N_{bt}$  – усилие сопротивления отрыву,  $N_{sh}$  – усилие сопротивления сдвигу,  $N_{ef}$  – усилие сопротивления раздавливанию.

Значение угла наклона площадки скольжения определяется в зависимости от класса бетона по формуле:

$$\alpha = \operatorname{tg}(0,25 \frac{R_b}{R_{bt}} - 1,56). \quad (2)$$

С учетом конструкции стыков и возможных дефектов при возведении зданий были проведены численные исследования, направленные на изучение напряженно-деформированного состояния комбинированных стыков. По результатам численных исследований были предложены зависимости для изменения угла наклона площадки скольжения, а, следовательно, и несущей способности стыка, в зависимости от толщины растворного шва, ширины площадки опирания плиты перекрытия, соотношения жесткостей раствора и бетона стеновой панели, смещения верхней стеновой панели относительно нижней, угла поворота плиты перекрытия.

**Целью** экспериментальных исследований является установление характера изменения несущей способности стыков от указанных выше факторов и получение новых данных о характере разрушения комбинированных стыков.

Для проведения исследований разработана информационная модель эксперимента (рис. 1), включающая в себя следующие факторы: соотношения толщин верхнего и нижнего растворных швов, ширина площадки опирания плиты перекрытия, эксцентриситет приложения нагрузки, поворот плиты перекрытия. Числовые значения факторов и геометрические характеристики образцов показаны в табл. 1.

Размеры образцов выбраны по геометрическому подобию к натурным параметрам панелей и их стыков. Толщина образцов стеновых панелей принята 200 мм (100 мм – контактная часть, 100 мм – платформенная часть). Ширина образцов принята с учетом размеров опорной площадки пресса ИПС-200, условий изготовления и составляет 450 мм. Для образца нижней стеновой панели в платформенной части максимально возможная ширина площадки опирания составляет

$l_k = 100 \text{ мм}$ , высота образца принята

$3l_k = 300 \text{ мм}$ . Высота выступа принята согласно численным исследованиям [5] и составила 120 мм. Площадки опирания в контактной и платформенной части образца верхней стеновой панели расположены близко друг к другу, поэтому можно считать, что нагрузка на образец приложена на всю его ширину –  $l_k = 200 \text{ мм}$ .

Высота образца составляет  $3l_k = 600 \text{ мм}$ . Вылет фрагмента плиты перекрытия принят 700 мм.

Образцы комбинированного стыка изготовлены из тяжелого бетона класса В20.

В процессе испытаний фиксировались разрушающая нагрузка, отклонения образцов от первоначального положения, деформации бетона и

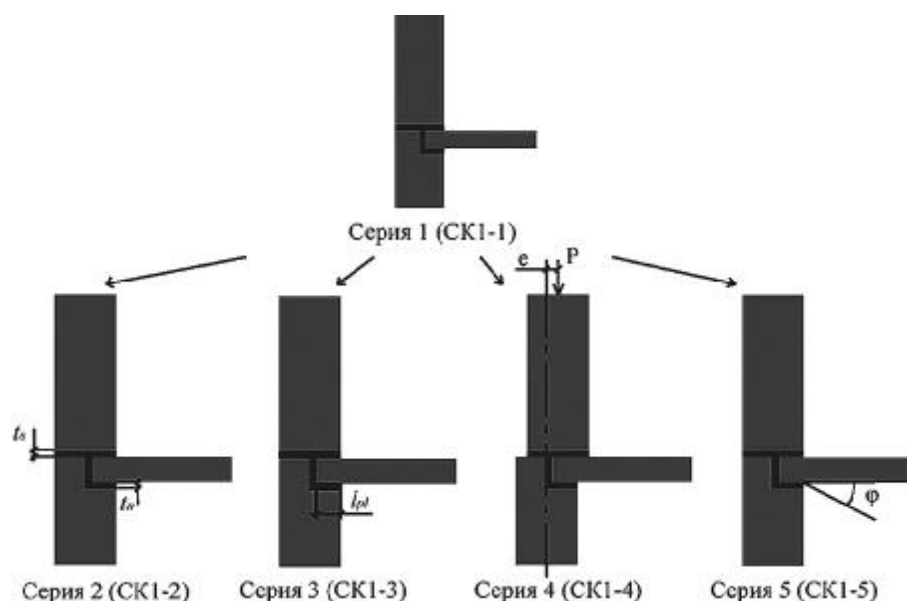


Рис. 1. Информационная модель экспериментальных исследований



Таблица 1

## Характеристики образцов комбинированного стыка

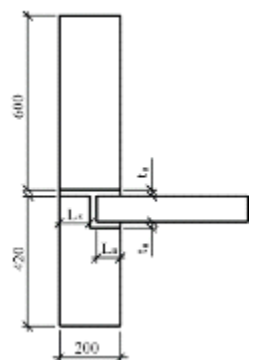
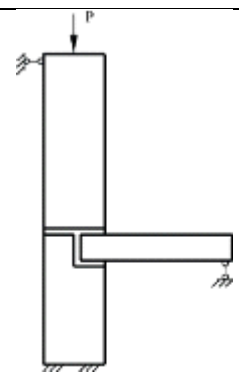
| № | Маркировка образца | Варьируемый параметр  | Геометрические размеры базового образца, мм                                                                                                                                               | Схема испытаний                                                                     |
|---|--------------------|-----------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| 1 | 2                  | 3                     | 4                                                                                                                                                                                         | 5                                                                                   |
| 1 | СК1-1-1            | —                     |  <p><math>L_k = 100</math>, <math>L_n = 80</math>,<br/><math>t_n = 20</math>, <math>t_g = 20</math></p> |  |
| 2 | СК1-2-1            | $t_g = 11 \text{ мм}$ |                                                                                                                                                                                           |                                                                                     |
| 3 | СК1-2-2            | $t_g = 44 \text{ мм}$ |                                                                                                                                                                                           |                                                                                     |
| 4 | СК1-3-1            | $L_n = 95 \text{ мм}$ |                                                                                                                                                                                           |                                                                                     |
| 5 | СК1-3-2            | $L_n = 55 \text{ мм}$ |                                                                                                                                                                                           |                                                                                     |
| 6 | СК1-4-1            | $e = 20 \text{ мм}$   |                                                                                                                                                                                           |                                                                                     |
| 7 | СК1-4-2            | $e = -20 \text{ мм}$  |                                                                                                                                                                                           |                                                                                     |
| 8 | СК1-5-1            | $j = 5^\circ$         |                                                                                                                                                                                           |                                                                                     |



Рис. 2. Образец комбинированного стыка, смонтированный на прессе



Сравнение несущей способности фрагмента комбинированного стыка

| № | Параметр                         | Значение                                                                 | Несущая способность стыка, кН |        |                                       |                          |
|---|----------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|--------|---------------------------------------|--------------------------|
|   |                                  |                                                                          | по [1]                        | по [4] | По результатам численных исследований | По результатам испытаний |
| 1 | 2                                | 3                                                                        | 4                             | 5      | 6                                     | 7                        |
| 1 | Базовый образец                  | $t_g = 20 \text{ мм}$ ,<br>$L_n = 80 \text{ мм}$ ,<br>$e = 0 \text{ мм}$ | 658,8                         | 1331,8 | 1294,8                                | 1420 (900)*              |
| 2 | Толщина растворного шва          | $t_g = 11 \text{ мм}$                                                    | 638,4                         | 1331,8 | 1454,8                                | 1750 (147)               |
| 3 |                                  | $t_g = 44 \text{ мм}$                                                    | 650,1                         | 1331,8 | 1203,4                                | 1040 (750)               |
| 4 | Ширина площадки опирания         | $L_n = 95 \text{ мм}$                                                    | 708,1                         | 1455,2 | 1393,5                                | 1325 (800)               |
| 5 |                                  | $L_n = 55 \text{ мм}$                                                    | 598,7                         | 1126,3 | 1073,3                                | 820 (700)                |
| 6 | Смещение верхней стеновой панели | $e = 20 \text{ мм}$                                                      | 588,5                         | 1361,5 | 1335,2                                | 1220 (700)               |
| 7 |                                  | $e = -20 \text{ мм}$                                                     | 587,5                         | 1167,4 | 1131,3                                | 1415 (850)               |
| 8 | Поворот плиты перекрытия         | $j = 5^\circ$                                                            | 658,8                         | 1331,8 | 1276,3                                | 1365 (960)               |

\*В скобках указана нагрузка, соответствующая образованию первой трещины.

раствора в контактной и платформенной частях по тензодатчикам (ГОСТ 21616-91), деформации растворных швов в контактной и платформенной частях по индикаторам часового типа (ГОСТ 577-68\*). Во время выдержки под нагрузкой производился осмотр поверхности образца для определения последовательности образования и развития трещин.

Основные значения разрушающих нагрузок при испытаниях представлены в табл. 2.

Изменение несущей способности стыка в зависимости от различных факторов также представлено в виде графиков на рис. 3-5.

Анализируя представленные зависимости, можно сделать следующие выводы:

- несущая способность комбинированного стыка, вычисленная согласно нормативной литературе [1], занижена по сравнению с результатами испытаний и другими методиками расчета, результаты, полученные с использованием теории сопротивления анизотропных материалов сжатию и зависимостей для угла наклона площадке, наиболее близки к опытным;

- на несущую способность комбинированного стыка существенно влияет изменение толщины

верхнего растворного шва  $t_g$ , что не отражают методики расчета [1] и [4];

- при уменьшении ширины площадки опирания плиты перекрытия происходит снижение несущей способности платформенной части комбинированного стыка и перераспределение действующего усилия на контактную часть, при ширине опирания менее 60 мм несущая способность стыка, вычисленная по предлагаемой методике, завышена по сравнению с данными эксперимента;

- при смещении верхней стеновой панели в сторону плиты перекрытия, согласно численным исследованиям [4], происходит увеличение несущей способности стыка за счет увеличения ширины платформенной части, что завышает несущую способность по сравнению с опытными данными, согласно которым несущая способность стыка снижается за счет перераспределения усилий на платформенную часть и работы на изгиб плиты перекрытия.

По результатам испытаний для каждого образца определены возможные схемы разрушения, наиболее характерные из которых представлены в табл. 3.

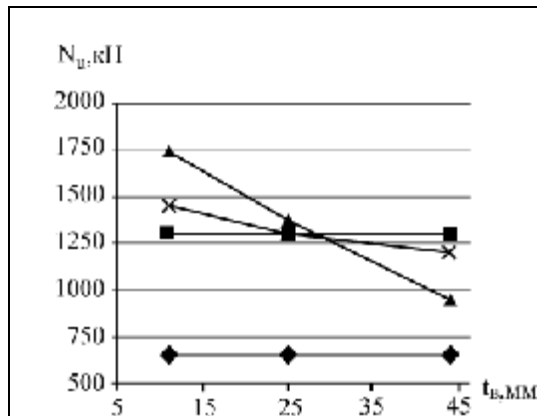


Рис. 3. Влияние толщины растворного шва на несущую способность стыка

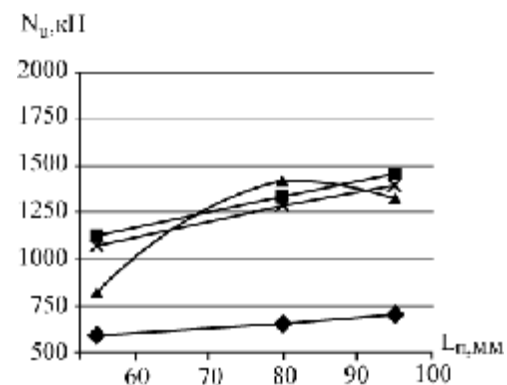


Рис. 4. Влияние ширины площадки опирания плиты перекрытия на несущую способность стыка

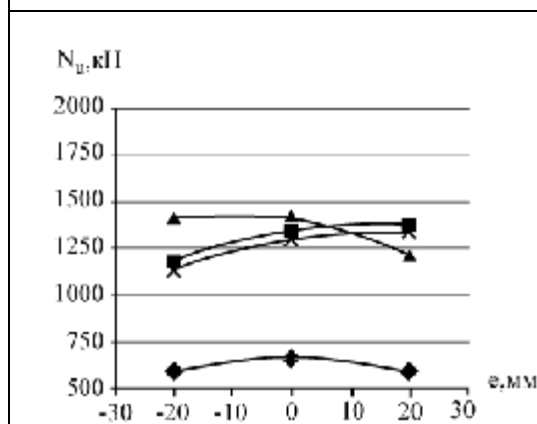


Рис. 5. Влияние толщины растворного шва на несущую способность стыка

- ♦— по [1]
- по [4]
- ×— по результатам численных исследований
- ▲— по результатам испытаний

По схеме разрушения 1 разрушение стыка произошло от раскалывания верхней и нижней стеновых панелей с образованием «клина» в верхней стеновой панели и с одновременным отколом платформенной части нижней стеновой панели.

Для схемы 2 характерно образование вертикальных трещин в контактной части верхней стеновой панели и в плите перекрытия. Разрушение стыка происходит от сдвига по площадке скольжения в нижней зоне и раскалывания верхней стеновой панели, от раскалывания контактной части нижней стеновой панели, от раскалывания и сдвига по площадке скольжения нижней стеновой панели.

По схеме 3 разрушение стыка произошло от раскалывания контактной части нижней стеновой панели, от раскалывания и сдвига по площадке скольжения нижней стеновой панели в нижней зоне.

Согласно представленным схемам разрушения можно выделить следующие зоны усиления комбинированного стыка: зона опирания плиты перекрытия, зоны сопряжения контактной и платформенной частей верхней и нижней стеновых

панелей. Усиление платформенной части можно производить с помощью крепления уголков или устройства железобетонного разгружающего ригеля, усиление зон сопряжения контактной и платформенной частей различными вариантами обжатия либо устройством полимерармированных шпонок.

Для усиленных образцов также планируется проведение экспериментальных исследований с целью определения характера влияния элементов усиления на несущую способность стыка, разработки методики расчета усиленных комбинированных стыков, основанной на теории сопротивления анизотропных материалов сжатию, технологии производства работ при усилении.

#### Выводы:

В статье представлены результаты экспериментальных исследований образцов комбинированных стыков стеновых панелей. Получен характер изменения напряженно-деформированного состояния и несущей способности стыков в зависимости от соотношения толщин верхнего и



Таблица 3

## Схемы разрушения образцов комбинированных стыков

| Схема 1                                                                                                                                                                                                                  | Схема 2     | Схема 3     |   |     |    |     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |         |             |   |    |   |    |   |    |   |     |    |     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |         |             |   |    |   |    |   |     |   |     |    |     |    |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|-------------|---|-----|----|-----|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|-------------|---|----|---|----|---|----|---|-----|----|-----|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|-------------|---|----|---|----|---|-----|---|-----|----|-----|----|-----|
| <div></div> <table><tr><th>№ этапа</th><th>Нагр-ка, кН</th></tr><tr><td>9</td><td>132</td></tr><tr><td>10</td><td>142</td></tr></table> | № этапа     | Нагр-ка, кН | 9 | 132 | 10 | 142 | <div></div> <table><tr><th>№ этапа</th><th>Нагр-ка, кН</th></tr><tr><td>4</td><td>60</td></tr><tr><td>6</td><td>84</td></tr><tr><td>7</td><td>88</td></tr><tr><td>9</td><td>125</td></tr><tr><td>10</td><td>130</td></tr></table> | № этапа | Нагр-ка, кН | 4 | 60 | 6 | 84 | 7 | 88 | 9 | 125 | 10 | 130 | <div></div> <table><tr><th>№ этапа</th><th>Нагр-ка, кН</th></tr><tr><td>5</td><td>70</td></tr><tr><td>7</td><td>90</td></tr><tr><td>8</td><td>100</td></tr><tr><td>9</td><td>110</td></tr><tr><td>10</td><td>120</td></tr><tr><td>11</td><td>130</td></tr></table> | № этапа | Нагр-ка, кН | 5 | 70 | 7 | 90 | 8 | 100 | 9 | 110 | 10 | 120 | 11 | 130 |
| № этапа                                                                                                                                                                                                                  | Нагр-ка, кН |             |   |     |    |     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |         |             |   |    |   |    |   |    |   |     |    |     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |         |             |   |    |   |    |   |     |   |     |    |     |    |     |
| 9                                                                                                                                                                                                                        | 132         |             |   |     |    |     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |         |             |   |    |   |    |   |    |   |     |    |     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |         |             |   |    |   |    |   |     |   |     |    |     |    |     |
| 10                                                                                                                                                                                                                       | 142         |             |   |     |    |     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |         |             |   |    |   |    |   |    |   |     |    |     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |         |             |   |    |   |    |   |     |   |     |    |     |    |     |
| № этапа                                                                                                                                                                                                                  | Нагр-ка, кН |             |   |     |    |     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |         |             |   |    |   |    |   |    |   |     |    |     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |         |             |   |    |   |    |   |     |   |     |    |     |    |     |
| 4                                                                                                                                                                                                                        | 60          |             |   |     |    |     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |         |             |   |    |   |    |   |    |   |     |    |     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |         |             |   |    |   |    |   |     |   |     |    |     |    |     |
| 6                                                                                                                                                                                                                        | 84          |             |   |     |    |     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |         |             |   |    |   |    |   |    |   |     |    |     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |         |             |   |    |   |    |   |     |   |     |    |     |    |     |
| 7                                                                                                                                                                                                                        | 88          |             |   |     |    |     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |         |             |   |    |   |    |   |    |   |     |    |     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |         |             |   |    |   |    |   |     |   |     |    |     |    |     |
| 9                                                                                                                                                                                                                        | 125         |             |   |     |    |     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |         |             |   |    |   |    |   |    |   |     |    |     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |         |             |   |    |   |    |   |     |   |     |    |     |    |     |
| 10                                                                                                                                                                                                                       | 130         |             |   |     |    |     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |         |             |   |    |   |    |   |    |   |     |    |     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |         |             |   |    |   |    |   |     |   |     |    |     |    |     |
| № этапа                                                                                                                                                                                                                  | Нагр-ка, кН |             |   |     |    |     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |         |             |   |    |   |    |   |    |   |     |    |     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |         |             |   |    |   |    |   |     |   |     |    |     |    |     |
| 5                                                                                                                                                                                                                        | 70          |             |   |     |    |     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |         |             |   |    |   |    |   |    |   |     |    |     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |         |             |   |    |   |    |   |     |   |     |    |     |    |     |
| 7                                                                                                                                                                                                                        | 90          |             |   |     |    |     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |         |             |   |    |   |    |   |    |   |     |    |     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |         |             |   |    |   |    |   |     |   |     |    |     |    |     |
| 8                                                                                                                                                                                                                        | 100         |             |   |     |    |     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |         |             |   |    |   |    |   |    |   |     |    |     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |         |             |   |    |   |    |   |     |   |     |    |     |    |     |
| 9                                                                                                                                                                                                                        | 110         |             |   |     |    |     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |         |             |   |    |   |    |   |    |   |     |    |     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |         |             |   |    |   |    |   |     |   |     |    |     |    |     |
| 10                                                                                                                                                                                                                       | 120         |             |   |     |    |     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |         |             |   |    |   |    |   |    |   |     |    |     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |         |             |   |    |   |    |   |     |   |     |    |     |    |     |
| 11                                                                                                                                                                                                                       | 130         |             |   |     |    |     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |         |             |   |    |   |    |   |    |   |     |    |     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |         |             |   |    |   |    |   |     |   |     |    |     |    |     |

нижнего растворяющих швов, ширины площадки опирания плиты перекрытия, эксцентриситета приложения нагрузки, поворота плиты перекрытия. Определены характерные схемы разрушения комбинированных стыков и показаны возможные зоны усиления.

**Литература**

1. Пособие по проектированию жилых зданий / ЦНИИЭП жилища Госкомархитектуры. Вып. 3. Конструкции жилых зданий (к СНиП 2.08.01-85). – М.: Стройиздат, 1989. – 304 с.
2. ВСН 32-77. Инструкция по расчету стыков панельных жилых и общественных зданий. Госгражданстрой. – М.: Госстрой СССР, 1977. – 87 с.
3. Соколов Б.С. Теоретические основы сопротивления бетона и железобетона при сжатии // Известия вузов. Строительство, 1993, № 9. – С. 39-43.
4. Соколов Б.С., Никитин Г.П. Совершенствование методики расчета комбинированных стыков панелей зданий // Вестник Томского ГАСУ, 2007, № 1. – С. 81-90.
5. Соколов Б.С., Седов А.Н. Исследование напряженно-деформированного состояния комбинированных стыков панелей крупнопанельных зданий для их усиления // Вестник РААСН Волжского регионального отделения, вып. 10. – Нижний Новгород, 2007. – С. 82-89.
6. Соколов Б.С., Седов А.Н. Изучение напряженно-деформированного состояния горизонтальных стыков панелей зданий для их усиления // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering, Moscow, 2008. – С. 123-124.