



УДК 624.012.4:624.93

**И.И. Мустафин** – кандидат технических наук, доцент**Р.Ф. Фардиев** – аспирант**Казанский государственный архитектурно-строительный университет (КазГАСУ)****ОБЕСПЕЧЕНИЕ СОВМЕСТНОЙ РАБОТЫ ЖЕЛЕЗОБЕТОННОЙ ОБОЙМЫ  
С УСИЛЯЕМЫМ ВНЕЦЕНТРЕННО-НАГРУЖЕННЫМ ЭЛЕМЕНТОМ****АННОТАЦИЯ**

В статье рассмотрен круг вопросов, касающихся обеспечения совместности работы сборного и монолитного бетонов в случае усиления внецентренно сжатых элементов железобетонной обоймой. Представлено расчетное выражение для определения требуемой толщины усиления из условия обеспечения прочности контактного шва на сдвиг. Рассмотрены основные расчётные выражения для проверки прочности контактного шва в случае использования шпонок и армирования поперечной арматурой. На основании предложенных теоретических предпосылок разработана программа экспериментальных исследований.

**I.I. Mustafin** – candidate of technical sciences, associate professor**R.F. Fardiev** – post-graduate student**Kazan State University of Architecture and Engineering (KSUAE)****PROVIDING OF JOINTNING WORK OF REINFORCED-CONCRETE HOLDER WITH  
STRENGTHENED NON-CENTRIC LOADED ELEMENT****ABSTRACT**

The questions related to maintenance of joint work of modular and monolithic concretes in case of strengthening of non-centric compressed elements of reinforced concrete holder were considered. The settlement expression for definition of required thickness of strengthening at a given condition of maintenance of durability of a contact seam on shear is stated. The basic settlement expressions for the checking of the contact seam durability in case of using shear keys and reinforcing by cross-section reinforcement are considered. Based on stated theoretical preconditions the program of experimental research is developed.

Одним из распространенных вариантов применения сборно-монолитных конструкций является применение его при усилении внецентренно нагруженных колонн при реконструкции гражданских и промышленных зданий, а также при «новом» строительстве в случае ошибок, просчетов, допущенных на стадии проектирования и строительства. При усилении колонн широкое применение на практике нашли железобетонные обоймы.

Необходимым условием работы сборно-монолитных конструкций является обеспечение сцепления сборного и монолитного бетонов, т.е. обеспечение прочности контактного шва между «старым» и «новым» бетонами. Известно, что в контактном шве от действия на усиливаемый элемент изгибающих моментов и продольных сил возникают сдвиговые усилия, которые можно определить из анализа напряженно-деформированной схемы усиленного элемента со случайным эксцентриситетом

(рис.1). Применяя для элементарного слоя обоймы (узел 1, рис.1) закон Гука одновременно для сдвига и сжатия, получим расчётную зависимость для определения максимальных касательных напряжений:

$$t = Gt_{gj} = G \frac{\Delta l}{d} = \frac{kE_{ad}Nl_{ad}}{2(1+n)2A_c E_c d}, \quad (1)$$

где  $d$  – толщина элемента усиления,  $G$  – модуль упругости бетона при сдвиге,  $n$  – коэффициент Пуассона бетона,  $E_{ad}$  – модуль упругости бетона элемента усиления,  $E_c$  – приведенный модуль упругости железобетона усиливаемого элемента,  $k$  – коэффициент, учитывающий распределение касательных напряжений по длине железобетонной обоймы.

Сопrotивление контактного шва действию касательных напряжений будет обеспечено при соблюдении условия:

$$t \leq [t_{\text{н\ddot{a}}}] = R_{sh}, \quad (2)$$

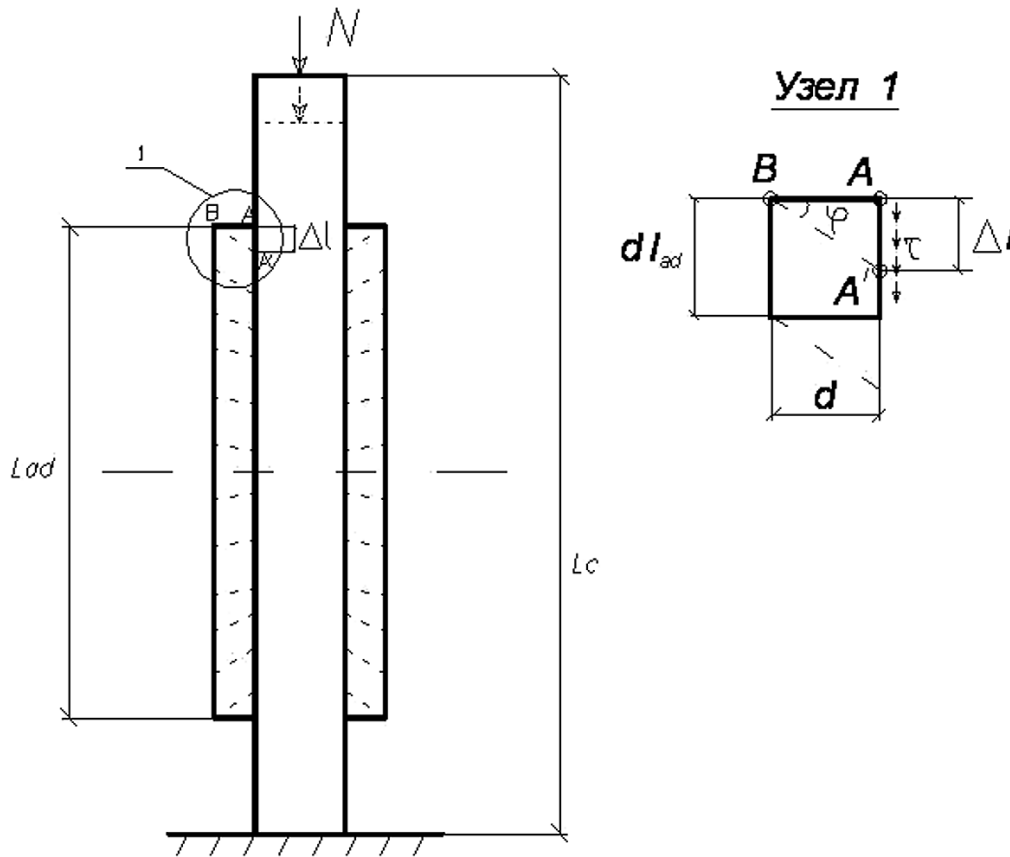


Рис. 1. Расчётная схема для определения касательных напряжений контактного шва

где  $R_{sh}$  – сопротивление шва сдвигу.

Из совместного решения выражений (1) и (2) можно определить требуемую толщину усиления, при которой будет обеспечена прочность контактного шва:

$$d \geq \frac{E_{ad} N l_{ad}}{8k E_c (1-n) A_c R_{sh}}, \quad (3)$$

При соблюдении условия (3) железобетонная обойма будет воспринимать часть продольного усилия. Величина передаваемой нагрузки на обойму, очевидно, будет зависеть от соотношения толщины усиливаемого элемента. Для проверки и корректировки полученного выражения (3), а также для исследования распределения нагрузки между усиливаемым элементом и обоймой толщина обоймы принята в качестве варьируемого параметра в экспериментальных исследованиях. С этой целью планируются испытания 3-х серий образцов (по 3 образца в каждой) с толщиной элемента усиления 30, 40, 50 мм (рис. 2).

Сопротивление шва сдвигу будет обеспечиваться за счет сопротивления сцепления, механического зацепления и обжатия бетона, которое допускается определить по аналогии с изгибаемыми элементами по формуле:

$$R_{sh} = R_{sh,b} = g_{b1} g_{b2} R_{bt} \left( 1 + g_{b4} \frac{S_{bm}}{R_{bt}} \right), \quad (4)$$

где  $g_{b1}$ ,  $g_{b2}$ ,  $g_{b4}$  – коэффициенты, учитывающие соответственно длительное действие нагрузки, влияние поверхности контактного шва на сцепление, влияние состояния поверхности контактного шва при его обжатии  $S_{bm}$  – среднее значение напряжения обжатия контактного шва.

Обжатие контактного шва при усилении внецентренно сжатых элементов происходит благодаря работе поперечной арматуры обоймы, а также усадке бетона обоймы. Величину обжатия контактного шва в данном случае допустимо определить по аналогии с расчётом внецентренно сжатых элементов с косвенным армированием сетками по формуле:

$$S_{bm} = 2j m_{s,ad} R_{s,ad}, \quad (5)$$

здесь  $m_{s,ad}$  – коэффициент поперечного армирования сечения усиленного элемента,  $R_{s,ad}$  – расчётное сопротивление поперечной арматуры обоймы,  $\varphi$  – коэффициент эффективности поперечного армирования. Согласно пособию к СНиП [3] величина коэффициента эффективности поперечного армирования является функцией коэффициента



поперечного армирования, приведённого расчётного сопротивления бетона, расчётного сопротивления поперечной арматуры обоймы:

$$j = f(m_{s,ad}, R_{b,red}, R_{sw,ad}). \quad (6)$$

Вид данной функции для случая усиления обоймой предполагается получить в ходе обработки результатов численных и экспериментальных исследований. Следует также отметить, что обжатие обоймой основного элемента не только оказывает влияние на прочность контактного шва, но и увеличивает расчетное сопротивление сжатию бетона основного элемента, находящегося в условиях всестороннего обжатия. Для исследования влияния поперечного армирования принято решение проведения испытаний 2-х серий образцов с шагом поперечных стержней 50 и 100 мм (рис. 2).

Что касается назначения толщины обоймы, то анализ формулы (3) показал, что расчётная толщина обоймы может оказаться больше, чем требуется для восприятия продольной сжимающей силы. При этом целесообразно уменьшение толщины обоймы, но для обеспечения прочности контактного шва использовать шпонки, либо поперечную арматуру, пересекающую контактный шов. При этом суммарное расчетное сопротивление сдвигу  $R_{sh}$  контактного шва можно принять по формуле:

$$R_{sh} = R_{sh,b} + R_{sh,s} + R_{sh,n}, \quad (7)$$

где  $R_{sh,s}$  – сопротивление шва сдвигу за счет работы на срез поперечной арматуры, пересекающей шов;  $R_{sh,n}$  – сопротивление шва сдвигу за счет работы поперечных шпонок.

Сопротивление контактного шва за счёт работы бетонных шпонок в выражении следует принять равным меньшему из значений сопротивлений соответствующих разрушению бетонной шпонки от среза, смятия и образования наклонных трещин соответственно по формулам:

$$R_{sh} = 2R_{br} A_{sh}, \quad (8)$$

$$R_c = 1,5R_{loc} A_c, \quad (9)$$

$$R_{crc,b} = 0,7R_{loc} A_{crc}, \quad (10)$$

Для получения действительной работы, механизма разрушения шпоночного соединения в данном случае предполагается испытание 2-х серий образцов с длиной шпоночного соединения 50 мм и 90 мм (рис. 2).

В случае невозможности устройства шпонок для обеспечения прочности контактного шва целесообразно использовать нагельный эффект арматуры, пересекающей контактный шов.

Сопротивление контактного шва за счет работы на срез поперечной арматуры, пересекающей контактный шов, можно определить, воспользовавшись формулой, приведенной в пособии по проектированию сборно-

монолитных конструкций [5]:

$$R_{sh,s} = 0,65\sqrt{R_b^2 E_s m_{sw}} \leq 0,7 m_{sw} R_s \quad (11)$$

Однако данное расчётное выражение получено для случая усиления изгибаемого элемента. Возможность применения выражения (11) для случая внецентренного сжатия и определения эффективности применения армирования контактного шва, принято решение провести испытание 2-х серий образцов с арматурой, пересекающей контактный шов (рис. 2).

Другой важной определяющей характеристикой работы усиленной конструкции является эксцентриситет приложения продольной силы. Для оценки напряжённо-деформированного состояния усиленного элемента важным является правильное принятие величины эксцентриситета приложения нагрузки. Если до усиления продольная сжимающая сила была приложена вне пределов ядра сечения (случай больших эксцентриситетов), то после усиления с увеличением поперечного сечения сила может оказаться приложенной в пределах ядра (случай малых эксцентриситетов). Так, согласно исследованиям Теряника В.В. [1] «эффект обоймы» с ростом эксцентриситета приложения нагрузки снижется, следовательно, при определённом его значении обойма будет работать так же, как и одностороннее наращивание сечения. Но остаётся неясным, при каких параметрах целесообразно применить тот или иной способ усиления.

Весьма важным также является наличие или отсутствие предварительного разгрузки конструкции перед её усилением. Для обеспечения включения в работу элемента усиления ранее существовало требование о разгрузке конструкции при усилении, но это часто вызывает затруднения. Поэтому для учёта степени разгрузки конструкции в литературных источниках по усилению конструкций [2, 7] предлагается вводить коэффициент 0,8 к расчётному сопротивлению бетона и арматуры усиления при нагрузке, превышающей 65% от расчётной на момент усиления. Данный коэффициент является весьма приближённым и не может учитывать степень нагруженности элемента, явление ползучести и т.п.

Немаловажным фактором является и способ передачи нагрузки, которая не передаётся непосредственно на элемент усиления без специальных устройств. Бетон и арматура элемента усиления в этом случае не могут в полной мере воспринимать все усилия. Для учёта данного фактора согласно пособию по проектированию каменных конструкций [4] в расчёте для усилия, воспринимаемого обоймой, вводятся коэффициенты: 1 – при наличии передачи нагрузки на опоры сверху и снизу, 0,7 – при передаче нагрузки на опору снизу, 0,35 – при отсутствии передачи нагрузки. Т.е. сечение обоймы может воспринимать лишь 35 % нагрузки при отсутствии

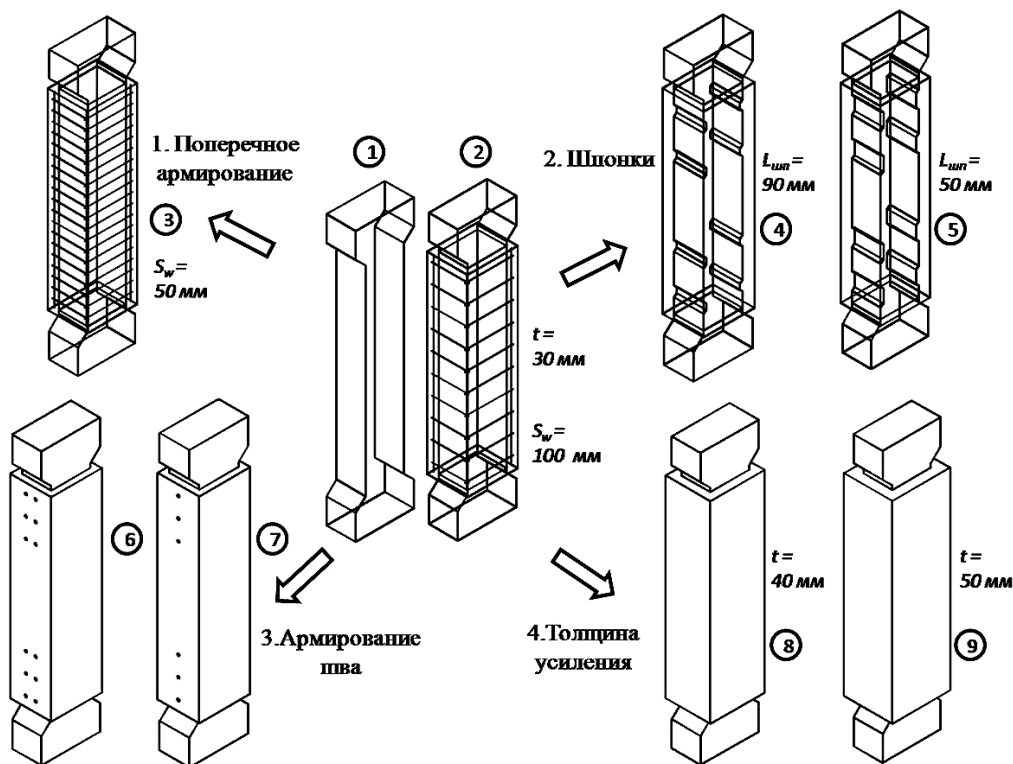


Рис. 2. Программа экспериментальных исследований

передачи нагрузки. Степень включения в работу элемента усиления зависит в той или иной степени от многих факторов: соотношений размеров усиляемого элемента и элемента усиления, соотношений классов бетона, поперечного армирования, прочности контактной зоны и т.п.

Усиление производят, как правило, конструкций со значительным сроком службы, материал которых подвержен всякого рода изменениям (ползучесть, коррозия, микроструктурные изменения, микротрещины и др.) Материал же усиления новый, с совершенно иными прочностными показателями и не имеющий существенных повреждений.

Для изучения перечисленных выше факторов с учётом проведенных численных исследований применяется программа экспериментальных исследований (рис. 2). Предложенная программа экспериментальных исследований охватывает целый круг вопросов, связанных с обеспечением совместной работы «старого» и «нового» бетонов для случая усиления внецентренно сжатых элементов устройством железобетонной обоймы.

Для экспериментальных образцов в качестве материала всех элементов принят бетон класса В15. Основной элемент армируется 4-мя стрежнями продольной арматуры  $\varnothing 10 \text{ мм}$  и поперечной –  $\varnothing 5 \text{ мм}$  с шагом 200 мм. Железобетонные обоймы армируются продольной арматурой  $\varnothing 10 \text{ мм}$ , поперечной –  $\varnothing 5 \text{ мм}$ . Все геометрические параметры образцов приняты с коэффициентом подобия реальным конструкциям,

равным 0,5; длина элементов принята равной 1,5 м, размеры поперечного сечения основного элемента –  $15 \times 20 \text{ см}$ .

### Литература

1. Гроздов В.Т., Теряник В.В. О прочности и деформативности внецентренно сжатых колонн, усиленных обоймами // Известия вузов. Строительство и архитектура, 1991, № 2. – С. 128-130.
2. Лазовский Д.Н., Пецольд Т.М. Усиление железобетонных конструкций. Пособие П 1-98 к СНиП 2.03.01-84\*. – Минск: ГП «Стройтехнорм». – С. 198.
3. Пособие по проектированию бетонных и железобетонных конструкций из тяжелых и легких бетонов без предварительного напряжения арматуры (к СНиП 2.03.01-84). – ЦНИИПромзданий, 1984.
4. Пособие по проектированию каменных и армокаменных конструкций (к СНиП II-22-81). – М.: Центральный институт типового проектирования, 1989.
5. Проектирование железобетонных сборно-монолитных конструкций. Справочное пособие к СНиП 2.03.01-84\*. – М.: Стройиздат, 1991.
6. Пособие по проектированию жилых зданий (к СНиП 2.08.01-89\*). – М., 2000.
7. Рекомендации по проектированию усиления железобетонных конструкций зданий и сооружений реконструируемых предприятий. Надземные конструкции и сооружения. НИИЖБ. – М.: Стройиздат, 1992. – С. 191.