

0- 779884

На правах рукописи



ЛАТЫПОВ РУСЛАН РАСУЛОВИЧ

**ПРОЧНОСТЬ ШТЕПСЕЛЬНЫХ СТЫКОВ
ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОЛОНН**

05. 23. 01 – Строительные конструкции, здания и сооружения

АВТОРЕФЕРАТ

диссертация на соискание ученой степени

кандидата технических наук

Казань – 2009

Работа выполнена на кафедре железобетонных и каменных конструкций ФГОУ ВПО «Казанский государственный архитектурно-строительный университет».

Научный руководитель: доктор технических наук,
профессор, член-корр. РААСН
Соколов Борис Сергеевич

Официальные оппоненты: доктор технических наук,
профессор, советник РААСН
Мирсяпов Илизар Талгатович

кандидат технических наук,
профессор,
Федоров Владимир Николаевич

Ведущая организация: ГУП «Научно-исследовательский
институт бетона и железобетона
им. А.А. Гвоздева», г. Москва

Защита состоится 29 декабря 2009 г. в 16.00 часов на заседании диссертационного совета Д 212.077.01 при Казанском государственном архитектурно-строительном университете по адресу: 420043, г. Казань, ул. Зеленая, д.1, в ауд. 3 - 203 (зал заседания Ученого совета).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Казанского государственного архитектурно-строительного университета.

Автореферат диссертации размещен на официальном сайте университета: <http://www.kgasu.ru>

Автореферат разослан 27 ноября 2009г.

НАУЧНАЯ БИБЛИОТЕКА КГУ



0000621217

Ученый секретарь
диссертационного совета,
д.т.н., профессор

Л.А. Абдрахманова

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Одними из важных факторов, влияющих на прочность и жесткость каркасных зданий из сборного и сборно-монолитного железобетона, являются конструктивное решение стыков колонн и условия их работы под нагрузкой. Поэтому исследования работы стыков для обеспечения конструкционной безопасности проектируемых зданий являются актуальными.

В последнее время для наращивания железобетонных колонн используют штепсельные стыки при строительстве зданий, воспринимающих как статические, так и сейсмические воздействия. Изучение научно-технической литературы показало отсутствие данных об экспериментальных исследованиях работы штепсельного стыка и рекомендаций по их расчету и конструированию.

Целью работы ставится разработка методики расчета по прочности штепсельного стыка железобетонных колонн при статических и сейсмических воздействиях.

Для реализации поставленной цели необходимо решить следующие **задачи**:

- выявить узлы и конструкции, изученные ранее, имеющие аналогичный характер работы со штепсельным стыком;
- провести численные исследования штепсельного стыка колонн и его элементов под нагрузкой для изучения влияния на их напряженно-деформированное состояние большого числа факторов, с выявлением наиболее значимых;
- определить расчетные схемы для разработки методики расчета прочности штепсельного стыка при сжатии и сдвиге;
- провести физические эксперименты фрагментов и натуральных образцов стыков колонн при действии поперечных однократных и повторяющихся знакопеременных статических нагрузок, имитирующих сейсмические;
- разработать методику расчета стыков по прочности при статических и сейсмических воздействиях, а также рекомендации по их конструированию.

Научная новизна заключается в следующем:

- разработана методика расчета штепсельных стыков железобетонных колонн на сжатие с учетом сеток косвенного армирования, основанная на теории сопротивления анизотропных материалов сжатию;
- предложена методика расчета стыка на сдвиг при статических и сейсмических воздействиях;
- получены опытные данные о характере снижения сдвиговой жесткости штепсельного стыка при действии однократных и повторяющихся

знакопеременных статических нагрузок, которые могут быть использованы для оценки влияния податливости стыка на напряженно-деформированное состояние несущего каркаса здания;

- усовершенствована конструкция штепсельного стыка для повышения несущей способности при сжатии и сдвиге.

Достоверность и обоснованность выводов основывается на использовании теории предельного состояния и сопротивления анизотропных материалов сжатию, результатах существующих и выполненных экспериментальных и численных исследований.

Практическая значимость. По результатам исследований разработана методика расчета по прочности штепсельных стыков железобетонных колонн и рекомендации по их конструированию, предназначенных для строительства на площадках с сейсмичностью до 7 баллов включительно.

Внедрение результатов исследований. Полученные результаты внедрены

– в научно-исследовательскую работу РААСН по теме «Теоретические и экспериментальные исследования штепсельного стыка железобетонных колонн для обеспечения конструкционной безопасности и эксплуатационной пригодности зданий и сооружений», № 2.3.10 в 2009 г;

– в х/д работу № 27/7 -07 на тему «Экспериментальные исследования штепсельных стыков железобетонных колонн»;

– в учебный процесс для выполнения магистерской диссертации и дипломного проекта.

Автор защищает:

- методику расчета штепсельных стыков на сжатие, отображающую механизм разрушения контактной зоны и особенности работы продольной арматуры в скважине;
- методику расчета штепсельного стыка на сдвиг при статических и сейсмических воздействиях, основанную на реальном механизме разрушения;
- результаты многофакторных численных исследований стыка и его элементов;
- результаты физических экспериментов на действие поперечных однократных и повторяющихся знакопеременных статических нагрузок, имитирующих сейсмические;
- рекомендации по конструированию штепсельного стыка при эффективном использовании материалов, что подтверждено технико-экономическим сравнением.

Апробация работы. Материалы диссертации докладывались на ежегодных конференциях КГАСУ 2006 – 2009 г.; на конференции «НАСКР 2007» г. Чебоксары; на симпозиуме «Актуальные проблемы компьютерного

моделирования конструкций и сооружений» г. Пермь 2008 г.; на Всероссийской научно-практической конференции «Градостроительство, реконструкция и инженерное обеспечение устойчивого развития городов Поволжья» г. Тольятти, 2009 г.

Публикации. По теме опубликовано 7 статей, в том числе 3 в изданиях ВАК.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, 6 глав, общих выводов, списка литературы, включающего 149 наименований. Работа содержит 191 страниц машинописного текста, 114 рисунков, 26 таблиц и приложения.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы, раскрыта научная новизна, практическая значимость, кратко изложена структура диссертации.

В первой главе определены узлы и конструкции, изученные ранее, имеющие аналогичный характер работы со штепсельным стыком, для оценки прочности с позиции работы каждого элемента, входящего его в состав. При сжатии – работа контактной зоны, усиленной сетками косвенного армирования и продольными стержнями; при сдвиге – сопротивление армированного сборно-монолитного шва. Приведены результаты обзора и анализа существующих исследований прочности муфтовых, контактных, гильзовых стыков колонн на сжатие и сдвиг, рамных узлов, сборно-монолитных соединений и фрагментов каркасов со штепсельными стыками колонн при действии однократных и малоцикловых статических и динамических нагрузок. Сформулированы цели и задачи исследования.

Исследованию прочности и жесткости сварных стыков при действии статических нагрузок посвящены работы Гурского А.Ф., Васильева А.П., Быченкова Ю.Д., Крылова С.М., Маткова Н.Г., Свердловла П.М., и др. На основании их работ составлены рекомендации по проектированию стыков, которые внедрены в типовые серии гражданских и промышленных зданий.

Оценке сейсмостойкости зданий и изучение действительной работы узлов и элементов посвящены работы Айзенберга Я.М., Ашкинадзе Г.Н., Беспалева А.А., Бержинского Ю.А., Воронова А.А., Ржевского В.А., Жунусова Т.Ж., Мартъмянова А.И., Мирсяпова И.Т., Полякова С.В., Парамзина А.М., Нуриевой Д.М. и др., в большинстве которых указывается на сложный характер деформирования колонн и их узлов.

Исследованию напряженно-деформированного состояния железобетонных колонн и их узлов при действии нагрузок, имитирующие сейсмическое воздействие, посвящены работы Ашимбаева М.У., Александряна Э.П., Васильева А.П., Полякова С.В., Залесова А.С., Гвоздева А.А., Городецкого В.А., Быченкова Ю.П., Тябликова Ю.Е., Крылова С.М.,

Корчинского И.Л. и др., а среди зарубежных ученых работы Laura M. F., Kazuhiro Nagaya, Halil Sezen и др.

Штепсельные стыки колонн нашли широкое применение в зарубежных сборно-монолитных каркасных несущих системах: Saret (Франция), Contiframe и Spanlight, (Великобритания) и др. Стык состоит из шести основных элементов, характеристика которых дана в таблице 1. Каждый из них участвует в сопротивлении разрушению, несет определенную ответственность за обеспечение прочности и жесткости стыка. На рис. 1 показан фрагмент колонны со штепсельным стыком, который подлежит дальнейшему исследованию.

Анализ научной и нормативной литературы показал отсутствие рекомендаций по расчету штепсельных стыков при действии поперечных сил и предложений по их конструированию. Однако в работе стыка существуют сходный характер с изученными ранее конструкциями: анкерные болты, закладные детали, контактные стыки и сборно-монолитные швы.

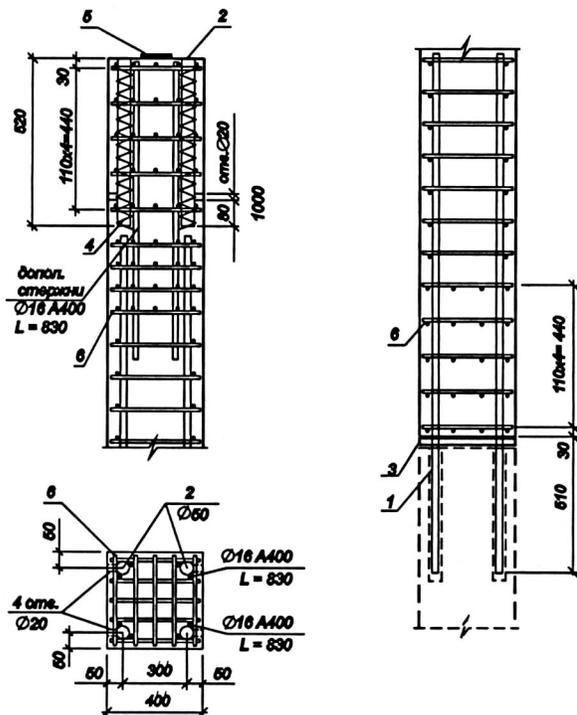


Рис. 1. Фрагменты железобетонной колонны со штепсельным стыком (поз. 1-6 представлены в таблице 1)

Характеристика несущих элементов стыка (см. совместно с рис. 1)

таблица 1

№	Элемент штепсельного стыка	Назначение	Характеристика	Наличие нормативной литературы
1	Продольная арматура	Восприятие и передача продольных и поперечных усилий	Диаметр и длина выпуска	а, б
2	Скважина	Анкеровка продольной арматуры	Диаметр и глубина	в, д
3	Раствор замоноличивания	Анкеровка стержней, антикоррозийная защита	Марка по прочности	в, г, д
4	Спиральная арматура скважины	Восприятие и распределение внутренних усилий стенкой скважины	Диаметр, шаг витков.	а, б
5	Центрирующая прокладка	Обеспечение точности монтажа	Толщина, размеры в плане	а, б
6	Сетки косвенного армирования	Усиление бетона сжатого ядра	Процент армирования	а, б

а) Пособие по проектированию бетонных и железобетонных конструкций из тяжелых и легких бетонов без предварительного напряжения арматуры (к СНиП 2.03.01-84*).

б) Руководство по конструированию бетонных и железобетонных конструкций из тяжелого бетона (без предварительного напряжения).

в) Методические рекомендации по установке закладных деталей и анкерных болтов приклеиванием к бетону и защите их от коррозии.

г) Пособие по проектированию анкерных болтов для крепления строительных конструкций и оборудования.

д) Рекомендации по проектированию и выполнению контактных стыков с обрывом арматуры в железобетонных колоннах многоэтажных зданий.

Для оценки прочности контактного шва одним из «аналогов» может служить методика расчета контактных швов сборно-монолитных конструкций на сдвиг, созданная на основании многочисленных экспериментальных исследований сборно-монолитных конструкций, выполненных, в том числе, в КИСИ (Я.Г. Сунгатуллин¹, В.Ш. Фатхуллин, И.Т. Мирсаяпов, Г.С. Валеев, Ю.Н. Волков и др.).

¹ Справочное пособие к СНиП 2.03.01-84*. Проектирование железобетонных сборно-монолитных конструкций. М.: Стройиздат, 1991. С.59.

Прочность и жесткость стыка зависит от вида раствора замоноличивания. Поскольку исследование выполнялось по заказу в рамках х/д работы, раствор замоноличивания стыка по решению заказчика принят цементно-песчаный марки М600 следующего состава: портландцемент и мелкозернистый песок с крупностью не более 2,5мм по ГОСТ 26633-91 в пропорции 1:1,5 по массе, В/Ц=0,45, суперпластификатор С-3.

Методика расчета, изложенная в АСІ 318-05, наиболее полно учитывает факторы, влияющие на прочность анкерного стержня при действии поперечных сил: толщина защитного слоя бетона, изгибная жесткость стержня, расположение анкера в поперечном сечении элемента. Однако многие из перечисленных параметров учитываются путем введения в расчетные формулы эмпирических коэффициентов, и упускается влияние поперечного армирования. Кроме того, конструктивные требования, предъявляемые к анкерным болтам и закладным деталям не позволяют использовать их методику расчета прочности на сдвиг для штепсельных стыков железобетонных колонн.

Анализ существующих предложений по расчету контактных стыков колонн при сжатии с учетом косвенного армирования показывает, что оценка их несущей способности производится по эмпирическим выражениям и не отображает физическую сущность механизма разрушения.

Перечисленные выше решения частных задач по назначению характеристик элементов штепсельного стыка (таблица 1) не решают основной проблемы – оценки прочности, хотя в их работе существуют схожие черты с изученными ранее конструкциями. Поэтому исследованию напряженно-деформированного состояния стыка и его отдельных элементов посвящены следующие главы диссертации.

Вторая глава посвящена теоретическому исследованию прочности штепсельного стыка при сжатии и сдвиге.

Экспериментально доказано, что в контактных стыках от действия сжимающей нагрузки образуется ядро, уплотняющееся к центру поперечного сечения колонны, и, подобно клину, разрушает состыкованные элементы. При использовании центрирующих прокладок такая форма разрушения становится наиболее вероятной, поэтому подход к расчету стыка базируется на теории сопротивления анизотропных материалов при сжатии, созданной и развитой казанской школой ученых под руководством проф. Соколова Б.С.

Основой теории является физическая модель сопротивления бетона разрушению в сжимающем силовом потоке от сдвига по грани клина, от раскалывания, от сжатия в зависимости от расположения грузовых площадок и их размеров. Таким образом, сопротивление разрушению при сжатии обеспечивается работой трех зон – отрыва, сдвига и раздавливания. Определение размеров расчетных зон и усилий в них составляют главные задачи построения методики расчета стыка. Усилия определяются с

использованием статического принципа метода предельного равновесия, в соответствии с которым разрушение происходит одновременно во всех зонах при достижении предельных напряжений, т.е. при отрыве - R_{bt} , при сдвиге - R_{sh} , при раздавливании - R_b . В железобетонных стыках также включаются в работу поперечные стержни N_{sw} , Q_{sd} , продольные стержни в стволе колонны N_s , продольные стержни, замоноличенные в скважинах N_{ck} .

Учитывая влияние продольной и поперечной арматуры в трех расчетных зонах, на рис. 2 представлена расчетная схема для железобетонных контактных стыков, а их условие прочности записывается в виде:

$$N \leq N_{ult} = \frac{(N_{bt} + N_{sw}) \cos \alpha + N_{sh} + Q_{sd} \sin \alpha}{\sin \alpha} + N_{ef} + N_s + N_{ck}; \quad (1)$$

Для колонн с квадратным поперечным сечением и размером грани a выражения для определения предельных усилий в расчетных зонах запишутся:

в зоне отрыва:	$N_{bt} = R_{bt} A_{bt}$	
	$N_{sw} = \omega \cdot \gamma_{sw} q_{sw} l_{sw}$	
	$N_{sh} = R_{sh} A_{sh}$	
в зоне сдвига:	$Q_{sd} = 0,667 \sum_1^n R_s A_{sw} \sin \alpha$	(2)
	$N_{ef} = R_b A_{ef}$	
в зоне раздавливания:	$N_s = \gamma_{s1} R_{sc} A_{sc}$	
	$N_{ck} = \gamma_s R_{sc} A_s$	

где: A_{bt} ; A_{sh} ; A_{ef} – площади расчетных зон бетона, определяемые в соответствии с геометрическими характеристиками расчетной схемы, по следующему выражениям:

$$\begin{aligned} A_{bt} &= 4(h_p - 0,25L_{loc} \sin 2\alpha)a; \\ A_{sh} &= L_{loc}^2 (\sin^2 \alpha + 1) \cos \alpha; \\ A_{ef} &= L_{loc}^2 \sin^4 \alpha. \end{aligned} \quad (3)$$

При отсутствии центрирующей прокладки в выражениях (3) L_{loc} принимает значение высоты поперечного сечения колонны a .

Эффективность косвенного армирования в зоне отрыва определяется по формуле:

$$\gamma_{sw} = 1 - \frac{A_{sw} \cdot R_s}{\varepsilon_{btu} \cdot E_s \cdot a \cdot S_w}. \quad (4)$$

Основные преимущества предложенного подхода заключаются в раскрытии физической сущности механизма разрушения. Это позволяет рационально использовать поперечное армирование в стыке при

проектировании или учесть ее при любом расположении и количестве в поперечных расчетах.

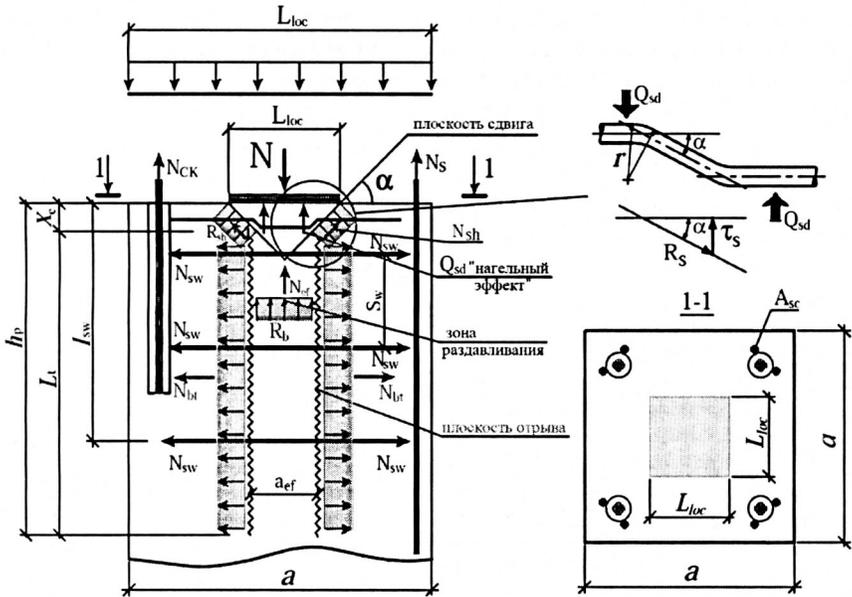


Рис. 2. Расчетная схема штепсельного стыка при сжатии (скважина с правой стороны стыка условно не показана)

Анализ научной литературы, методик расчета конструкций и узлов, имеющих близкий характер работы со штепсельным стыком, показал, что сопротивление сдвигу обеспечивается за счет работы защитного слоя бетона отрыву (Q_{bt}); поперечных стержней и сеток косвенного армирования (Q_{sw}), пересекающие наклонную трещину; продольной арматуры (Q_s); контактного шва. При отсутствии адгезии раствора замоноличивания с бетоном колонны в контактном шве учитывается только работа сил трения (μN), где N – продольное сжимающее усилие, μ – коэффициент трения скольжения, контактирующей пары «бетон-раствор».

Для разработки методики расчета штепсельного стыка при сдвиге и составления расчетной схемы, определены теоретические характеристики:

- статические – сумма проекций всех сил на горизонтальную ось;
- физические – в соответствии с принципами метода предельного равновесия напряжения в расчетных зонах достигают предельных значений одновременно;
- геометрические, характеризующие размеры и площади зон, сопротивляющихся разрушению.

На рис. 3 показана расчетная схема стыка при сдвиге. Характерными зонами, влияющими на прочность, являются: зона отрыва бетона защитного слоя при передаче на него усилий от арматуры; зона смятие бетона или раствора под продольной арматурой, контактная зона, с наличием сил трения.

- Статические характеристики расчетной схемы:

$$\sum (Q_k)_x = 0;$$

$$Q - Q_{bt} - Q_{sw} - Q_s - N \cdot \mu = 0. \quad (6)$$

Из этого уравнения получаем условие прочности стыка при статическом нагружении:

$$Q \leq Q_{ult} = Q_{bt} + Q_{sw} + Q_s + N \cdot \mu.$$

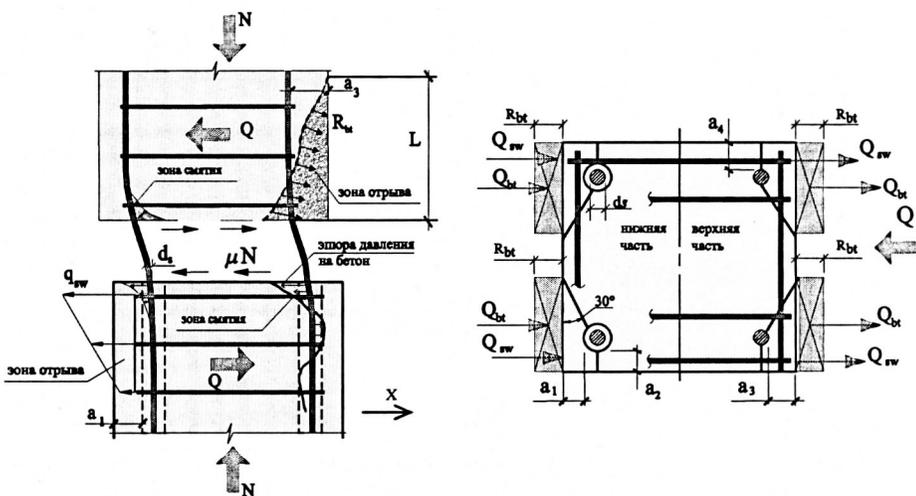


Рис. 3. Расчетная схема штепсельного стыка при сдвиге без учета адгезионной прочности горизонтального шва

При сейсмическом воздействии:

$$Q \leq \gamma_{bl} (Q_{bt} + Q_{sw}) + Q_s + N \cdot \mu,$$

где γ_{bl} – опытный коэффициент, интегрально учитывающий снижение несущей способности стыка при сейсмическом воздействии по сравнению с несущей способностью при статическом нагружении.

- Физические характеристики.

Для бетона: $\sigma_{bt} = R_{bt}$.

Для арматуры с учетом опытных значений коэффициентов условия работы:

$$\sigma_s = \omega_1 R_s;$$

$$\sigma_{sw} = \omega_2 R_s.$$

- Геометрические характеристики:

A_{bt} – площадь отрыва бетона защитного слоя; A_{sw} – площадь поперечных стержней, A_s – площадь продольных стержней, пересекающих шов;

С учетом принятых физических и геометрических характеристик, усилия сопротивления разрушению расчетных зон записываются в следующем виде:

$$Q_{bt} = A_{bt} R_{bt}, \quad (7)$$

$$Q_{sw} = \omega_2 \frac{R_s A_{sw}}{S_w} \cdot L, \quad (8)$$

$$Q_s = \omega_1 R_s A_s. \quad (9)$$

- Условие прочности:

- при действии статической нагрузки:

$$Q \leq Q_{ult} = A_{bt} R_{bt} + \omega_2 q_{sw} L + N \cdot \mu, \quad (10)$$

но не более $Q_{max} = Q_s + N \cdot \mu$.

- при сейсмическом воздействии:

$$Q \leq \gamma_{bt} \left(A_{bt} R_{bt} + \omega_2 q_{sw} L \right) + N \cdot \mu. \quad (11)$$

где: L_{loc} – размер в плане площадки передачи нагрузки;

h_p , ω – расчетная высота стыка и коэффициент полноты эпюры усилий в стержнях сеток в вертикальной плоскости;

γ_{sw} – коэффициент эффективности косвенного армирования, определяемый по выражению (4);

l_{sw} – эффективная длина зоны поперечного армирования, уточняемая по результатам численных исследований;

$q_{sw} = R_s A_{sw} / S_w$ – усилие в стержнях сеток на единицу длины;

A_{sw} – суммарная площадь стержней одной сетки в одном направлении, пересекающие плоскость отрыва;

S_w – шаг сеток в пределах эффективной длины зоны поперечного армирования;

γ_s , γ_{sl} – коэффициенты условия работы сжатых продольных стержней в скважине и в сжатом ядре колонны соответственно;

ω_1 , ω_2 – коэффициент условия работы продольной арматуры в стыке и коэффициент полноты эпюры растягивающих напряжений в поперечных стержнях, определяемые в ходе численных и экспериментальных исследований.

α – угол наклона грани клина;

μ – коэффициент трения скольжения.

В выражения входят неизвестные геометрические параметры расчетных зон, эмпирические коэффициенты, коэффициенты полноты эпюр и условия работы арматуры в стыке. Для их определения и подтверждения принятых предпосылок проведены численные и экспериментальные исследования.

В третьей главе приведены результаты многофакторных численных исследований стыка и его конструктивных элементов.

Целью численных исследований ставилось выявление наиболее значимых факторов и уточнение расчетных выражений на основании качественной и количественной картины напряженно-деформированного состояния.

Для реализации поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- разработать информационную схему численного эксперимента;
- выбрать математическую модель исследуемого процесса и сертифицированный программный комплекс;
- назначить расчетную схему стыка;
- выполнить расчеты и получить их результаты в удобном для анализа виде;
- проанализировать данные расчетов, построить аналитические зависимости «несущая способность стыка – фактор»;
- получить область значения параметров и степень их влияния на сопротивление стыка, входящих в условия прочности.

На рис. 4 показана информационная схема программы численного исследования стыка при сжатии, усиленного сетками косвенного армирования. В графическом виде указаны факторы и их значения, влияющие на напряженно-деформированное состояние исследуемого объекта.

Реализация численного эксперимента проводилась в ПК «Лира 9.4», в котором реализован метод конечных элементов. Для исследования поведения стыка на всех стадиях, в том числе в состояниях близких предельной, была сформирована модель из физически и геометрически нелинейных элементов. Нелинейные свойства бетона и раствора описывались условием прочности Гениева Г.А, а арматуры – диаграммой « $\sigma - \varepsilon$ », имеющей экспоненциальную зависимость.

Объемная модель стыка состояла из изопараметрических конечных элементов с размерами граней 25–50 мм. Поперечная и продольная арматуры моделировались нелинейными стержневыми конечными элементами.

Базовый образец принят сечением 400x400 мм, по высоте установлены сетки косвенного армирования из стержней $\varnothing 8$ мм класса А400 с размерами ячейки 50 мм и с шагом сеток 100 мм, связанные с продольной арматурой $4\varnothing 25$ мм класса А400. Из условия размещения элементов стыка, высота моделей принята равной тройной высоте поперечного сечения.

Анализ результатов исследований позволил выявить характер эпюр напряжений в образцах (рис. 5), трещинообразования, разрушения, которые качественно полностью подтвердили положения и гипотезы теории сопротивления анизотропных материалов сжатию и поэтому дали право на ее использование и решение рассматриваемой проблемы по оценке прочности стыка.

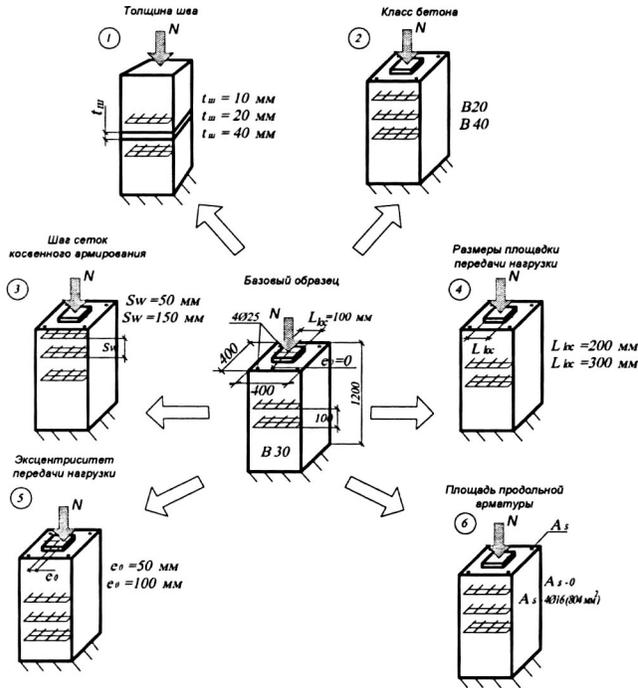


Рис. 4. Информационная схема программы численного исследования стыка при сжатии

Полученные данные позволили уточнить параметры, входящие в расчетные выражения и отражающие особенности работы стыка при сжатии: – при соотношении размера грузовой площадки к высоте поперечного сечения колонны при $L_{loc}/a \geq 0,5$ расчетная высота стыка, как сумма высот областей сжатия-сжатия и сжатия – растяжения, приближалась к значению $2L_{loc}$, а при $L_{loc}/a < 0,5 - 3,5 L_{loc}$. В результате аппроксимации численных данных методом наименьших квадратов получено выражение для определения расчетной высоты стыка:

$$h_p = 0,4L_{loc} + 0,9a, \quad (12)$$

– на угол наклона грани клина α к плоскости грузовой площадки повлияли физико-механические характеристики бетона и процент косвенного армирования. С повышением класса бетона угол α увеличивается. Поперечное армирование оказало значительное влияние – увеличение процента косвенного армирования с 1,3% до 4%, угол увеличился на 22%. Эти данные позволили получить выражения для определения угла наклона грани клина к плоскости площадки нагружения α при $L_{loc}/a < 0,3$;

– на напряженное состояния сеток влияют: ширина площадки передачи нагрузки L_{loc} , эксцентриситет e_0 и протяженность зоны их установки l_{sw} . В тоже время класс бетона, угол клина α повлияли на напряжения незначительно. Для оценки сопротивления стержней растяжению в зоне отрыва криволинейная эпюра напряжений (рис.5) приводится к прямоугольной с ведением коэффициента полноты эпюры ω . Максимальное значение ω удастся достичь при размещении сеток косвенного армирования в зоне действия максимальных растягивающих напряжений (рис. 5), т.е. под клином. Анализ данных позволил записать выражение для определения ω :

$$\omega = 1 - \frac{l_{sw} - X_c}{4a}, \quad (13)$$

– усилия в продольной арматуре при соотношении $L_{loc}/a > 0,3$ на уровне между 2 и 3 сетками достигали предельных значений.

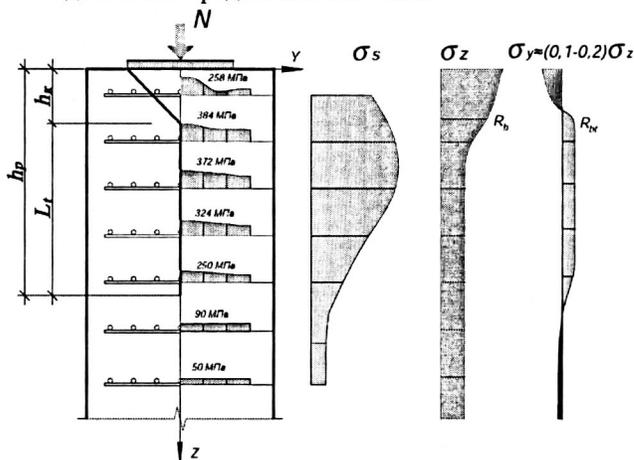


Рис. 5. Распределение напряжений в элементах контактного стыка

– существенное влияние на несущую способность оказывает эксцентриситет приложения нагрузки. По результатам расчетов и аппроксимаций численных данных получен коэффициент и выражение для его определения, учитывающий снижение несущей способности стыка.

В диссертации приводятся результаты численных данных в виде графиков и таблиц для каждого фактора. Их анализ позволяет сделать вывод, что основные принятые теоретические предпосылки верны, а физическая модель разрушения полностью описывает напряженно-деформированное состояние стыка при сжатии.

При исследовании работы штепсельного стыка при сдвиге изучалась работа отдельных элементов. Для учета особенностей контактного взаимодействия дополнительные расчеты выполнены в ПК Ansys. Расчеты по ПК «ЛИРА 9.4» и Ansys с одинаковыми граничными условиями показали близкие результаты. Однако особенностью контактного стыка является работа сил трения и возможность проскальзывания, что приводит к существенному перераспределению усилий. Часть информационной схемы исследования на сдвиг показана на рис. 6. По результатам численных исследований получены: характер распределения напряжений в зоне шва, схема разрушения защитного слоя бетона при передаче на него поперечных усилий от продольной арматуры, определена площадь отрыва бетона A_{bt} , входящее в выражение (7), коэффициенты $\omega_1=0,6\pm 0,8$ и $\omega_2=0,5$ в выражениях (8) и (9). Установлено, что высота проекции зоны отрыва L остается пропорционально диаметру продольной арматуры d_s и определяется по формуле $L=(8)d_s$.

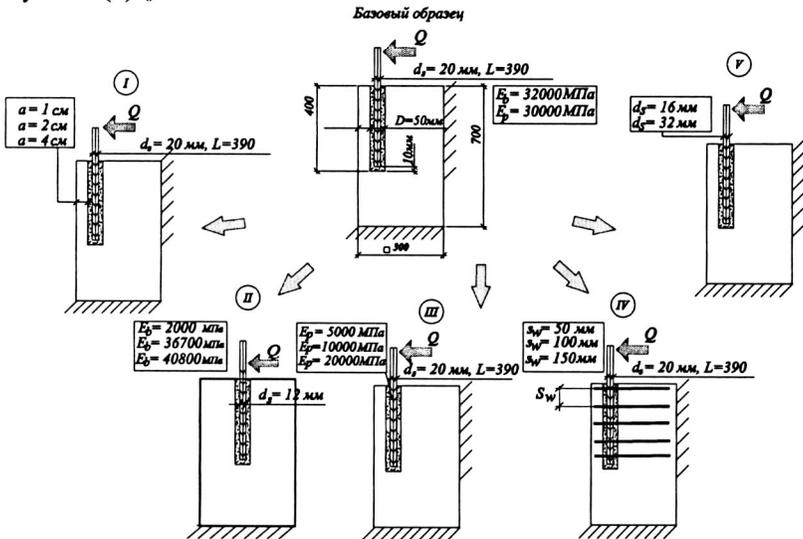


Рис.6. Информационная схема программы численного эксперимента продольной арматуры в бетоне и скважине

В четвертой главе представлены программа и результаты экспериментальных исследований фрагментов и натуральных образцов колонн со штепсельным стыком при действии однократных и повторяющихся знакопеременных статических нагрузок. Целью исследований ставилось получение опытных данных о прочности и жесткости стыков для сравнения с теоретическими разрушающими нагрузками и подтверждения возможности использования последних при проектировании.

Изготовлено и испытано 23 образца, которые были разделены на 2 группы. В первую группу образцов входило 11 фрагментов стыка, которые разбиты на 4 серии и испытаны на осевые и поперечные однократные статические нагрузки. По результатам экспериментов получены следующие данные:

- по серии 1 определены характер разрушения и несущая способность защитного слоя продольной арматуры на сдвиг, расположенной в скважине;
- по серии 2 то же, но продольной арматуры расположенной в сплошном сечении колонны;
- на образцах серии 3 исследовано сопротивление стыка при выдергивании арматуры из скважины;
- из серии 4 определены сопротивление разрушению стыка при сдавливании арматуры, расположенной в скважине, и степень ее использования. Коэффициент γ_s в результате принят равным 0,6.

Во второй группе испытаны 12 натуральных образцов колонн сечением 300×300 мм и 400×400 мм, отличающихся классом бетона и армированием, замоналиченных цементно-песчаным раствором марки М600 (рис. 1). Стыки испытывались на сдвиг при действии однократных и повторяющихся знакопеременных статических нагрузок. В работах Ржевского В.А., Корчинского И.Л., Полякова С.В. и др., показано, что для колонн повторяющееся (малоцикловое) знакопеременное статическое нагружение с коэффициентом асимметрии цикла, равным $\rho = -1$, и количеством циклов 40-50, соответствует сейсмическому воздействию и может использоваться для определения нижней границы разрушающего усилия.

Для создания горизонтальных (сдвиговых) усилий в образцах второй группы сконструирована и изготовлена установка, состоящая из жестких траверс с размещением на ней тяг и горизонтально расположенных домкратов ДГ-50 и ДГ-100. Знакопеременная нагрузка прикладывается по этапам нестационарным блочным нагружением при разных значениях поперечной силы в первом цикле. При создании вертикального обжатия установка с образцом помещалась в пресс ИПС-200, а нагрузка передавалась через шарниры скольжения.

По результатам испытаний получены данные о несущей способности, механизме разрушения штепсельных стыков при действии однократных статических и повторяющихся знакопеременных нагрузок, имитирующих

сейсмическое воздействие. Получены значения сдвиговых жесткостей стыка и законы их снижения при отсутствии и наличии сил вертикального обжатия. Они могут быть использованы для создания упругоподатливых и упругопластических статических и динамических моделей при проектировании сборно-монолитных каркасов со штепсельными стыками колонн.

Определены коэффициенты трения скольжения «бетон – раствор» при напряжениях обжатия не более $0,5R_b$ и значение коэффициента $\gamma_{bl}=0,66$; уточнены выражения для определения геометрических параметров расчетных зон, входящих в условия прочности.

В пятой главе разработаны методики расчета штепсельного стыка на сжатие и сдвиг. Приведены сравнения теоретических значений разрушающих усилий при сжатии с экспериментальными данными Довгалека В.И., Васильева А.П., Маткова Н.Г. для призм и стыков колонн. Опытные образцы отличались прочностью бетона, продольным и поперечным армированием, шириной площадки передачи сжимающей нагрузки. Установлено, что предлагаемая методика расчета на сжатие дает близкое совпадение расчетных и опытных данных с погрешностью не более 12%. Кроме того, выполнено сравнение расчетных данных с нормативными методиками.

Расчетные разрушающие усилия при сдвиге, вычисленные по разработанной методике, в том числе с учетом сейсмического воздействия, отличаются от опытных значений до 14%.

Учитывая это, можно сделать вывод о том, что разработанные методики расчета штепсельных стыков по прочности на сжатие и сдвиг, в том числе с учетом сейсмического воздействия, обладают требуемой надежностью и поэтому могут быть использованы для оценки прочности стыков при проектировании.

В шестой главе приведены практические рекомендации по проектированию штепсельных стыков, предназначенных для строительства на площадках с сейсмичностью до 7 баллов включительно. Разработаны алгоритмы методик расчета стыков по прочности, по которым составлена программа для ЭВМ, приведены примеры расчета. Разработаны новые конструктивные решения стыка для повышения качества их замоноличивания, несущей способности и жесткости, которые заключаются в следующем:

- в скважине вместо спиральной арматуры использовать гофрированные стальные трубы цилиндрической формы для повышения сил механического сцепления растворной оболочки с окружающим бетоном;
- для повышения трещиностойкости и прочность стыка на действие поперечных сил целесообразно установить, вместо первой сетки косвенного армирования, стержней из полосовой стали высотой 12-20мм

и толщиной 5(6)мм в виде замкнутых хомутов, огибающих гофрированные трубы;

- при создании неровностей бетонной поверхности торцов, глубиной до 1 см, стыкуемых колонн и установкой центрирующего арматурного стержня в средней части можно повысить трещиностойкость шва, несущую способность и жесткость стыка при действии поперечных сил;
- для повышения экономичности стыка рекомендуется продольную арматуру в нижней части стыка не обрывать, а вводить в гофрированную трубу, обеспечив непосредственный контакт (нахлест) стержней, передающие осевые усилия. При этом длина трубы должна быть больше длины анкеровки на 2-3 диаметра арматуры для обеспечения бетону эффекта обоймы, находящегося под торцом анкеруемых стержней.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

1. Разработана методика расчета контактной части штепсельного стыка при сжатии, основанная на теории сопротивления анизотропных материалов сжатию. Её достоверность подтверждена сравнением с опытными результатами экспериментов, проведенных ранее. Отклонения составили в пределах от -5% до +12%.
2. Предложена методика расчета штепсельного стыка на сдвиг при статических и сейсмических воздействиях. Проведено сравнение расчетных и опытных разрушающих усилий при сдвиге, которое показало отклонение в пределах от -4% до +14%.
3. Проведены численные исследования с рассмотрением различных факторов, с учетом физической нелинейности железобетона, которые позволили уточнить геометрические и физические параметры расчетных схем штепсельного стыка при сжатии и сдвиге.
4. Выполнены экспериментальные исследования фрагментов и натуральных образцов железобетонных колонн со штепсельными стыками на действие продольных и поперечных сил, в том числе имитирующих сейсмическое воздействие. Принятая для расчетов схема разрушения стыка при сдвиге подтверждена опытными данными. Получены значения сдвиговых жесткостей стыка при действии однократных и повторяющихся знакопеременных статических нагрузок.
5. Разработаны рекомендации по проектированию штепсельного стыка, позволяющие повысить их несущую способность при действии осевых и поперечных усилий в условиях сейсмичности площадки строительства до 7 баллов включительно.

Содержание диссертации изложено в следующих публикациях:

1. Соколов Б.С., Латыпов Р.Р. Исследование напряженно–деформированного состояния железобетонного каркаса со штепсельными стыками колонн. // Сборник научных трудов студентов. Материалы 58 республиканской научной конференции. Казань, 2006. С. 62-65.
2. Соколов Б.С., Латыпов Р.Р. Исследование влияния податливости стыков колонн на распределение усилий в элементах каркаса зданий из монолитного железобетона. // Вестник РААСН волжского регионального отделения. Н. Новгород, 2007. С. 90-96.
3. Соколов Б.С., Латыпов Р.Р. Исследование напряженно-деформированного состояния штепсельного стыка железобетонных колонн. // *International Journal for Computational Civil and Structural Engineering*. 2008. С. 120-122.
4. Латыпов Р.Р. Некоторые результаты исследования НДС штепсельного стыка железобетонных колонн. // Сборник научных трудов аспирантов и студентов. Казань, 2008. С.24-29.
5. Соколов Б.С., Латыпов Р.Р. Экспериментальные исследования работы арматуры в скважине штепсельного стыка железобетонных колонн. // Известия КГАСУ. Казань, 2009. №1(11). С. 112-118.
6. Соколов Б.С., Латыпов Р.Р., Лизунова Н.С. Экспериментальные исследования усиления штепсельных стыков. // Сборник трудов II Всероссийской научно-практической конференции. Тольятти, ТГУ, 2009. С. 185-191.
7. Соколов Б.С., Латыпов Р.Р. Экспериментальные исследования штепсельного стыка колонн на сдвиг при действии статических и сейсмических нагрузок. // Бетон и железобетон. М., 2009. №5. С. 2-5.

Корректурa автора
Подписано в печать

Формат 60x84/16
Заказ № 692

Печать RISO
Тираж 100 экз.

ПМО КазГАСУ, 420043, Казань, ул. Зеленая, 1