

МИНИСТЕРСТВО СТРОИТЕЛЬСТВА И АРХИТЕКТУРЫ  
УКРАИНЫ

НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ СТРОИТЕЛЬНЫХ  
КОНСТРУКЦИЙ /НИИСК/

На правах рукописи

ТУМЭНДЭМБЭРЭЛИЙН МУНХБАЯР

ИССЛЕДОВАНИЕ СХЕМ УСИЛЕНИЯ КОНСТРУКЦИИ  
В УСЛОВИЯХ ПОВЫШЕННОЙ СЕЙСМИЧНОСТИ

05.23.01 - Строительные конструкции

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

КИЕВ 1994г.

ДВ 31.000

Работа выполнена в Научно-исследовательском институте архитектуры и градостроительства /НИИАИГ/ Монголии.

Научный руководитель: - доктор технических наук, профессор, Академик АИН Украины Городецкий А.С.

Официальные оппоненты: - доктор технических наук, профессор Коляков М.И.

- кандидат технических наук, с.н.с Слободян Я.Е.

Ведущая организация: Киевский Государственный Технический Университет Строительства и Архитектуры

Защита состоится " 22 " декабря 1994 г. в 15 час на заседании специализированного совета .... в Киевском Научно - исследовательском институте строительных конструкций, 252180, Киев, ул.Клименко, 5

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Киевского Научно-исследовательского института строительных конструкций.

Автореферат разослан " 21 " ноября 1994 г.

Ученый секретарь специализированного учёного совета кандидат

Кунявский Ю.М.

ЛНБ України ім.В.Стефаніка

В. Стефаніка  
України



00777201 (O)

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность. Научно-технический прогресс в настоящее время стал главным рычагом интенсификации процессов создания материально-технической базы общества.

Внедрение самых последних достижений науки и техники в общественное производство оказывает сильное воздействие на развитие всех отраслей народного хозяйства. Особенно активное влияние оказывает научно-технический прогресс на развитие капитального строительства, обеспечивая совершенствование организации производства и труда, улучшение использования основных производственных фондов и средств труда, повышение уровня механизации и автоматизации строительных работ.

В направлении задач по развитию и совершенствованию научных и конструктивных работ строительства, принятых конференцией Минстроя Монголии от апреля 1993 года, из главных задач на предстоящий период ставится развитие научных исследований по сейсмостойкости строительства и улучшение разработки расчетных основ каменных кладок в местных условиях. Экономическое развитие Монголии связано с интенсивным освоением ее богатых природных ресурсов, созданием крупных территориально-промышленных комплексов, строительством горнорудных центров и новых городов. Для решения этих задач необходимо рациональное, перспективное планирование, основанное на достаточно надежном знании разнообразных природных условий Монголии, среди которых первостепенное значение имеют сейсмические условия.

По материалам исследований, проведенных в сфере деятельности Организации Объединенных Наций, в связи с землетрясениями только

в течении года случаются материальные ущербы в сумме 400 миллионов американских долларов, умирают 10 тыс. людей, изувечиваются много тысяч людей.

Большая часть территории Монголии расположена в одном из наиболее сейсмоактивных внутриконтинентальных районов - Центрально-Азиатском сейсмическом поясе, в пределах которого известны сильнейшие землетрясения, вошедшие в число мировых катастроф. С 1905 года в нашей стране произошли несколько сильных землетрясении в баллах от 7 до 11. Например:

1. Гоби-Алтайское землетрясение 4.XП.1957г

Это землетрясение ощущалось на всей территории Монголии. По параметрам макросейсмического поля интенсивность Гоби-Алтайского землетрясения определяется в 11-12 баллов, магнитуда 8,3.

2. Баян-Цаганское землетрясение 7.У.1958 г.

Произошло на южных склонах хр. Баян-Цаган в Гобинском-Алтае, к западу от плейстосейстовой области Гоби-Алтайского землетрясения 1957 г. По параметрам макросейсмического поля интенсивность в эпицентре 9 баллов.

3. Сайханское землетрясение 23.У|.1958 г.

Произошло в юго-западной части хр. Бурэнгийн-Нуру, в среднем течении р. Орхон.

Интенсивность землетрясения в эпицентре, по макросейсмическим данным, составляет 8-9 баллов. Магнитуда - 6.2

4. Бурынхярское землетрясение 3.X||.1960 г.

Произошло на северных склонах хр. Бурын-Хяр, являющегося продолжением к юго-востоку горной группы Гурван-Сайхан.

По макросейсмическим данным, магнитуда Бурын-Хярского землетря-

сени 7.0 интенсивность в эпицентре 9 баллов.

75% территории нашей страны расположены в зонах 7 и выше 7 баллов. В 1957 году в Гурван-Богде были ущербы в связи с землетрясением 20 миллионов тугриков (в ценах 1957 года), а в 1967 году в сомоне Могод Булганского аймака случился ущерб 1 миллион тугриков.

Урок многих землетрясений показывает, что кирпичные несущие стены являются наиболее слабым звеном в конструктивной схеме сейсмостойких зданий.

В нашей стране для построенных зданий, сооружений наблюдаются ошибки, которые по зарубежным исследованиям последствий землетрясений являются главными причинами повреждений кирпичных зданий и сооружений. Поэтому у нас требуются изучать и исследовать сейсмостойкие кирпичные здания, обрабатывать технические решения по каменным зданиям в сейсмических районах.

Цель работы настоящей диссертации являются развитие и совершенствование эффективных методов решения задач, связанных с расчетом кирпичных конструкций на сейсмические воздействия, а также разработка на этой основе новых конструктивных решений усиления конструкций этого класса. Для достижения поставленной цели в работе решались следующие основные задачи:

- Анализ сейсмостойкости зданий с кирпичными стенами по последствиям землетрясений.
- Исследование особенностей землетрясений Монголии.
- Численные исследования различных типов усиления кирпичных конструкций.
- Разработка новых конструктивных решений усиления

конструкций.

Метод исследования: В основу проведенных исследований положена следующая методология:

- Выявление типичных схем разрушений кирпичных конструкций на основе анализа последствий известных землетрясений.
- Построение и исследование различных расчетных моделей.
- Выбор приемлемых форм расчетных моделей, наиболее достоверно отображающих известные формы разрушений.
- Проведение численных исследований на выбранных моделях и выработка на их основе рекомендаций по различным конструктивным схемам усиления кирпичных конструкций.

Научную новизну определяют следующие основные результаты работы:

1. Исследование напряженно-деформированного состояния кирпичных конструкций за пределами линейной упругости.
2. Сравнение и анализ критериев деформирования кирпичной кладки за пределами линейной упругости.
3. Разработка новых конструктивных решений усиления кирпичных конструкций в условиях повышенной сейсмичности.

Достоверность научных результатов определяется корректностью математических моделей и сравнением результатов численных исследований с данными натурных обследований последствий землетрясений

Связь с планами НИР. Тема диссертации соответствует плану научно-исследовательских работ НИИАиГ АН Монголии и связана с планом развития строительства Монголии. Тема диссертации

соответствует подпроекту "Строительные конструкции", проекту "Архитектура и градостроительства" и проекту "Стены общественных и жилых зданий", которые разрабатываются в НИИАГ. Результаты исследований используются в разработке технических решений этих проектов по кирпичным зданиям.

Практическим результатом работы являются расчетные модели, позволяющие провести численные исследования работы кирпичных конструкций при сейсмических воздействиях и рекомендации по усилению кирпичных конструкций.

Результаты исследования внедрены в проектах усиления здания конторы компании "Авто зам" Баянгольского сомона Центрального аймака. Экономический эффект от внедрения составил 586.9. тыс. туг.

Результаты работы предусмотрены:

- В проектах "Строительные конструкции", которые являются к проектам, обрабатываемым НИИАГ Монголии.

- В проектах "Стены общественных и жилых зданий", которые разрабатываются по заказу Министерства Инфраструктуры, Академии Наук Монголии.

Апробация работы.

Полученные результаты работы обсуждались на семинарах по САПР-е научной совете НИИАСС Украины и НИИАГ Монголии 1992, 1993 годах.

На основе исследования разработаны

1. Т.Мунхбаяр, Д.Энхгэрэл.

"Рекомендации по сейсмостойкости кирпичных кладок"  
НИИАГ. Улан-Батор .1994 г.

2. Ц.Шараа, Т.Мунхбаяр, Д.Энхгэрэл

" Инструкции по проектированию зданий в условиях повышенной сейсмичности " •

НИИАИГ. Улан-Батор .1994 г.

На защиту выносятся:

- Математические модели кирпичных конструкций, отражающие реальную работу материала на всех этапах нагружения в условиях повышенной сейсмичности

- Рекомендации для различных схем усиления кирпичных конструкций в условиях повышенной сейсмичности

Объём работы Диссертация состоит из введения ,трех глав, основных выводов, списка литературы и приложений. Она содержит 116 страниц , 66 рисунков и 107 страниц приложений. Список литературы содержит 29 наименований.

#### СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Введение. Содержание работы изложено в виде краткой аннотации, показана актуальность и научная новизна настоящих исследований, их практическая ценность и апробация работы , а также основные результаты, выносимые на защиту.

В первой главе рассматриваются уроки повреждений кирпичных зданий после сильных землетрясений, произошедших на Земле и на территории Монгольской страны , сейсмичность землетрясения и особенности строительства Монголии.

В этой главе исследованы следующие вопросы:

-Данные о 15 мировых землетрясениях, которые произошли 9 июня 1897г. в Алма-Ате, 18 апреля 1906 г. в Сан-Франциско, 6 октября 1948 г. в Амхабаде, 17 мая 1976 г. в Бухаре,

6 декабря 1977 г. в Черчике и 31 августа 1986 г. в Кишиневе и др. также сейсмичность и типы разрушений кирпичных зданий при этих землетрясениях, исследование кирпичных зданий по сейсмичности со сравнением со зданиями других видов. Из исследований 15 случаев землетрясений, прошедших в зарубежных странах, наблюдается следующие особенности:

- Неспособность работы кирпичных кладок при растяжении является главной причиной для разрушения кладок зданий при сейсмических воздействиях.

- Здания из обоженого кирпича перенесли землетрясение лучше, чем здания из сырца.

- В тех случаях, когда пояса наружных стен имели короткие отрезки, входящие во внутренние стены, их заанкеривание часто оказывались недостаточным, чтобы удержать от падения при действии сейсмических сил из плоскости наружных стен.

Кирпичные здания практически оказывались сравнительно менее сейсмостойкими, чем крупнопанельные и каркасные здания. В результате землетрясения обследованные здания получили такие средние значения степени повреждения:

- каменные и саманные здания 2,1, в том числе одноэтажные 2,5

- крупнопанельные 1,3

- монолитные 1,9, в том числе изготовленные в скользящей опалубке 2,5 в переставной 1,2

- каркасные здания 1,8 В том числе только по несущим конструкциям 0,6

На степень повреждаемости кладки стен при колебаниях грунта

значительное влияние оказывает ее монолитность. Последняя определяется, кроме прочностных характеристик кирпича и раствора, качеством заполнения горизонтальных и вертикальных швов раствором и величиной сцепления кирпича и раствора. Оценка величины нормального сцепления кирпича и раствора, произведенная при натурных обследованиях, показывает, что в подавляющем большинстве случаев, когда имели место сильные разрушения кирпичных конструкций, прочность сцепления кладки была очень низкой.

- О состоянии землетрясений, прошедших в Монголии; об ущербе, которые случилось при сейсмическим воздействиям,

- О развитии строительства кирпичных зданий и о мероприятиях по повышению сейсмостойкости зданий в условий Монголий,

- Вопросы по повышению сейсмостойкости кирпичных зданий и анализа применяемых методов напряжений конструкций, исследования недостатков этих методов и особенности полезных методов напряжения.

В Монголии построены много зданий, в зависимости от сырья местных строительных материалов.

Современная застройка г.Улан-Баторе в основном /67% всех зданий / представлена каменными домами высотой 1-4 этажей. В этой группе домов преобладают здания, построенные в разное время /без учета и с учетом норм сейсмостойкого строительства разных лет/с использованием в качестве основного материала мелких обжиганных кирпичей. В результате испытаний установлено, что более 200 здания построены в период от 1930 года до 1960 года без учета норм сейсмостойкого строительства, объем сметной стоимости этих здания более 300 мл. туг/ приблизительно

более 70 мл. ам. долларов/ В них живут много тысяч людей. Эти здания выполнены с несущими кирпичными стенами толщиной 38,51, 64,77 см с жесткими расчетными схемами, с перегородками из глиняных кирпичей и из деревянных досок толщиной 10-25 см. Покрытия и перекрытия - из пустотных сборных железобетонных плит и дерева. Основные виды кирпича-обыкновенный и глиняный пластического формования и силикатный. Связанно с этой проблемой требуются разработки по строительству в таких направлениях:

- Определение сейсмостойкости существующих зданий.
- Установление долговечности конструкций и зданий.
- Изменение назначения зданий.
- Повышение сейсмичности здания путем усиления и закрепления.

В нашей стране для построенных зданий, сооружений наблюдаются ошибки, которые по зарубежным исследованиям последствий землетрясений являются главными причинами повреждений кирпичных зданий и сооружений. Поэтому у нас требуются изучать и исследовать сейсмостойкие кирпичные здания, обрабатывать технические решения по каменным зданиям в сейсмических районах.

Традиционные методы по повышению сейсмичности существующих зданий имеют некоторые недостатки:

1. Для малоэтажных зданий не используются потенциалы работы кладок при сжатии.
2. Затрачено много строительных материалов.
3. Затрачено много строительного труда.

Отсюда видно, что метод усиления строительных конструкций для повышения сейсмостойкости кирпичных кладок целесообразен при использовании потенциалов сжимаемой зоны кирпичных кладок для

малозэтажных или малонагруженных / от вышележащих нагрузок/зданий.

Можно повышать несущую способность кладок при растяжении, в зависимости от потенциалов сжимаемой зоны кирпичных кладок, путем искусственного образования скатия методом применения предварительно-напряженных элементов/тяг/.

Кирпичная кладка хорошо выдерживает действия сжимающих усилий и плохо воспринимает растягивающие, сдвигающие и изгибные усилия. Урок землетрясений показывает, что при отсутствии или недостаточности мер, принятых для повышения сейсмостойкости каменных конструкций, кладка подвергается повреждениям даже при сравнительно небольшой интенсивности землетрясений. При сильных же землетрясениях отсутствие специальных мер сейсмозащиты зданий с кирпичными стенами может быть причиной массовых разрушений.

Во второй главе проведено исследование методов расчета усиления конструкции.

Кирпичные стены работают как элементы плоского напряженного состояния. Для решения задач плоского напряженного состояния наиболее употребительны треугольный и прямоугольный конечные элементы, имеющие по две степени свободы в узле и независимую аппроксимацию перемещений  $U_x$  и  $U_y$ .

Треугольный конечный элемент плоского напряженного  
состояния.

---

В неявном виде аппроксимирующие функции перемещений принимаются в виде линейных полиномов:

$$U_x(x, y) = A_1 + A_2 x + A_3 y; \quad U_y(x, y) = B_1 + B_2 x + B_3 y.$$

В явном виде аппроксимирующие функции имеют вид:

$$U_x(x, y) = (a_1 + b_1 x + c_1 y) * u_1 + (a_2 + b_2 x + c_2 y) * u_2 + (a_3 + b_3 x + c_3 y) * u_3$$

$$U_y(x, y) = (a_1 + b_1 x + c_1 y) * v_1 + (a_2 + b_2 x + c_2 y) * v_2 + (a_3 + b_3 x + c_3 y) * v_3$$

$$a_1 = 1 / \Delta \begin{vmatrix} x_2 & y_2 \\ x_3 & y_3 \end{vmatrix}; \quad b_1 = -1 / \Delta \begin{vmatrix} 1 & y_2 \\ 1 & y_3 \end{vmatrix};$$

$$c_3 = 1 / \Delta \begin{vmatrix} 1 & x_2 \\ 1 & x_3 \end{vmatrix};$$

где:  $u_1, u_2, u_3$ ;  $v_1, v_2, v_3$ ; - степени свободы;

$\Delta$  - удвоенная площадь треугольника.

$(x_1, y_1), (x_2, y_2), (x_3, y_3)$  - координаты узлов.

Значения  $a_2, b_2, c_2, a_3, b_3$  и  $c_3$  определяются с помощью круговой перестановки индексов узлов.

Аппроксимирующие функции обеспечивают совместность конечных элементов и порядок аппроксимации  $p=1$ . Средняя квадратическая оценка напряжений имеет порядок  $h$ , а перемещений  $h^2$ / порядок дифференциального оператора задачи в данном случае  $2m=2$ .

В таблице 1 приведена матрица жесткости, которая получена на основе явных аппроксимирующих функции. Для упрощения выражения местная система координат выбрана так /см.рис.1/, чтобы  $X_1=Y_1=Y_2=0$

В табл.1. принято:

$$a_1 = 1/2 * [ c/a + (1-\mu) * (b/2a + a/2 - b) * 1/c];$$

$$a_2 = 1/4 * (1+\mu) * (1 - b/a)$$

$$a_3 = 1/2 * [ (1-\mu) * (1 - b/a) * b/2c - c/a];$$

$$a_4 = 1/4 * [b/a * (1+\mu) - (1-\mu)];$$

$$a_5 = 1/4c * (1-\mu) * (b-a); \quad a_6 = \mu/2 ;$$

$$a_7 = [1/c * (b/2a - b + a/2) + c/4a * (1-\mu)];$$

$$a_8 = 1/2 * [(1+\mu) * b/2a - \mu];$$

$$a_9 = 1/2 * [b/c * (1 - b/a) - c/2a * (1-\mu)];$$

$$a_{10} = 1/4 * (1-\mu); a_{11} = 1/2c * (b-a);$$

$$a_{12} = 1/2a * [c + b / 2c * (1-\mu)];$$

$$a_{13} = -b/4a * (1+\mu); a_{14} = -1/4c * (1-\mu);$$

$$a_{15} = 1/2a * [b / c + c/2 * (1-\mu)];$$

$$a_{16} = -b/2c; a_{17} = a/4c * (1-\mu); a_{18} = a/2c .$$

Таблица.1

/ матрица /

U1	V1	U2	V2	U3	V3	Степени свободы
						Узловые усилия
a1	a2	a3	a4	a5	- a6	Qx1
	a7	a8	a9	-a10	a11	Qy1
		a12	a13	a14	a6	Qx2
			a15	a10	a16	Qy2
				a17	0	Qx3
					a18	Qy3

Симметрично  
 Все члены матрицы E  
 умножаются на  $1 - \mu^2$

Прямоугольный конечный элемент плоского напряженного  
состояния.

Для этого элемента приведены аппроксимирующие функции и исследован порядок сходимости, который совпадает с треугольным элементом. Вместе с тем численные эксперименты показывают, что решение, полученное на основе прямоугольного элемента, гораздо ближе к точному, чем на основе треугольного. Это объясняется наличием в аппроксимирующем полиноме для прямоугольного элемента члена  $xу$ , что обуславливает переменные значения деформаций и напряжений по области, в то время как у треугольного элемента они постоянны. Матрица жесткости прямоугольного элемента /рис.2 / приведена в таблице 2.

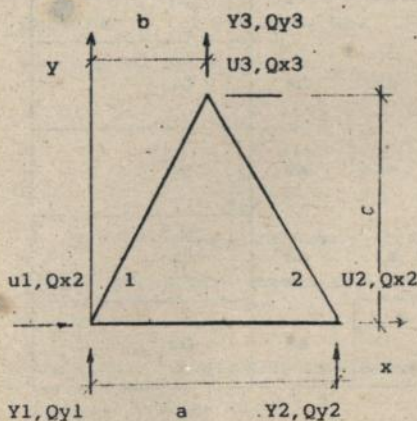


Рис.1

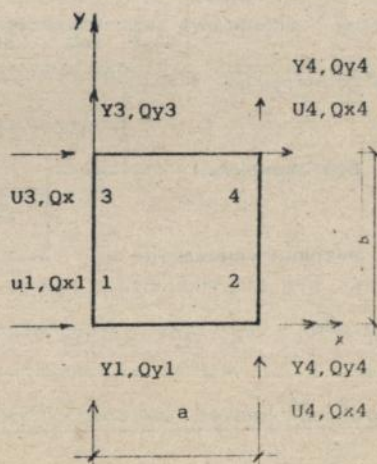


Рис.2

Таблица 2.

/ матрица /

U1	V1	U2	V2	U3	V3	U4	V4	Степени свободы	Узловые усилия
a1	a3	a5	-a4	a9	a4	a7	-a3	Qx	
	a2	a4	a6	-a4	a10	-a3	a8	Qy	
		a1	-a3	a7	a3	a9	-a4	Qx	
			a2	a3	a8	a4	a10	Qy	
				a1	-a3	a5	a4	Qx	
					a2	-a4	a6	Qy	
						a1	a3	Qx	
							a2	Qy	
Симметрично									
Все элементы матрицы умножаются на:									
E									
I - m2									

В ней принято:

$$a1 = b/3a + a/6b * (1-m); \quad a2 = a/3b + b/6a * (1-m);$$

$$a3 = 1/8 * (m+1); \quad a4 = 1/8 * (1-3m);$$

$$a5 = -b/3a + a/12b * (1-m); \quad a6 = a/6b - b/6a * (1-m);$$

$$a_7 = -b/6a - a/12b * (1-\mu); \quad a_8 = -a/6b - b/12a * (1-\mu);$$

$$a_9 = b/6a - a/6b * (1-\mu); \quad a_{10} = -a/3b + b/12a * (1-\mu);$$

Также рассмотрены методы решения нелинейных уравнений МКЭ, описывающих работу кирпичных стен.

Материал кирпичной кладки имеет нелинейную зависимость между напряжениями и деформациями. Эта нелинейная зависимость обуславливает нелинейности системы уравнений МКЭ.

#### Построение нелинейных разрешающих уравнений МКЭ.

Для нелинейной задачи разрешающая система уравнений имеет вид

$$K(q) * q = P. \quad / 1 /$$

Нелинейная задача заключается в том, что коэффициенты матрицы жесткости зависят от степеней свободы, что по сути и обуславливает нелинейность задачи. Из выражения для градиента функционала / 1 / вытекает формула вычисления элемента  $K_{lj,r}$  матрицы жесткости:

$$K_{lj,r} = \int_{\Omega_r} \frac{\partial \sigma_i(u)}{\partial \varepsilon_i(u)} \varepsilon_i^T(\varphi_l) M \varepsilon_i(\varphi_j) d\Omega \quad / 2 /$$

Это выражение является основным при построении матриц жесткости конечного элемента для нелинейного упругого тела. Для линейного случая М-матрица, не зависящая от  $u$ , и / 2 / превращается в известное выражение для построения матриц жесткости линейно упругих тел.

Анализируя / 2 /, видим, что в выражение для  $K_{lj}$ , будут входить неизвестные степени свободы. Так как в выражении для  $\varepsilon_i(u)$  они будут стоять под знаком радикала, то получение  $K_{lj,r}$  в

явною виде весьма затруднительно. Можно указать по крайней мере два случая, когда это возможно:

1. зависимость  $\sigma_i(\epsilon_i)$  содержит только нечетные степени. Тогда  $\frac{\sigma_i}{\epsilon_i}$  содержит только четные степени и радикал исчезает.
2. вид напряженного состояния позволяет выразить  $\epsilon_i(u)$  через деформации без использования радикала. Например, для одноосного напряженного состояния  $\epsilon_i = \epsilon_x$ .

Рассматриваемые ниже методы часто применяются для решения нелинейных задач:

- Метод упругих решений
- Метод переменных параметров
- Простая модификация метода последовательных нагружений.

#### Реализация нелинейного расчета

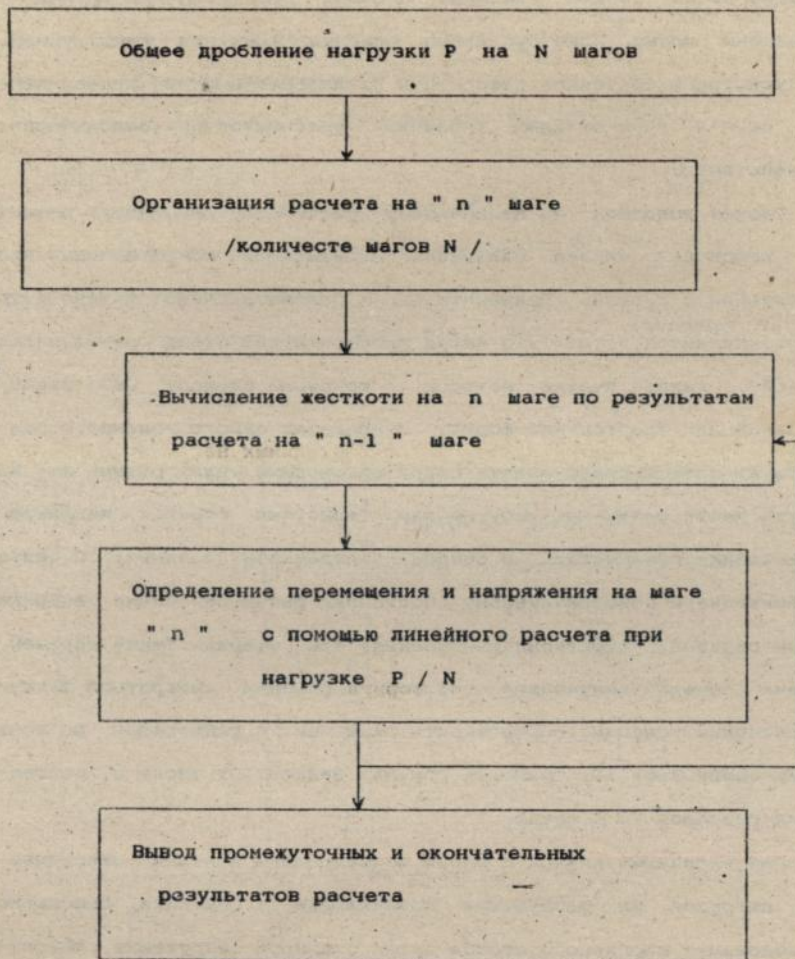
Так как все методы решения нелинейных задач основаны на решении линеаризованных уравнений, то в качестве основного ядра принят вычислительный комплекс "ЛИРА". Матрица жесткости на  $n$ -ном шаге  $K_{\ell j, r}$  вычисляется по формуле:

$$K_{\ell j, r} = \int_{\Omega_r} \frac{d\sigma_i}{d\epsilon_i(u)} E^T(\psi_i) M E(\psi_j) d\Omega$$

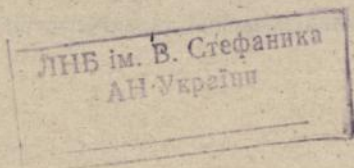
Блок-схема программы реализации нелинейного расчета имеет

вид:

Блок-схема шагового метода



Погрешность шагового метода обратно пропорциональна количеству шагов  $N$ . ( пропорциональна  $1/N$  )



Третья глава посвящена исследованию результатов численного моделирования работы реальных плоских кирпичных конструкций. Приведены новые конструктивные решения усиления конструкций. Предусмотрены состояния деформаций преднапряженных и ненапряженных одно-и двух-этажных кирпичных фрагментов при сейсмических воздействиях.

Расчет выполнен по нелинейному расчетному принципу, потому что кирпичная кладка оказывает неодинаковые сопротивления при растяжении и сжатии. Применительно к рассматриваемой задаче суть МКЭ заключается в том, что фасад простенка или стены разбивается сеткой, каждая ячейка которой - конечный элемент (КЭ) прямоугольной или треугольной формы. В пределах одного конечного элемента КЭ должны представлять собой однородные тела, разные же КЭ могут иметь различные упругие характеристики, отражая, например, роль кладки, арматуры и бетона в отдельном сечении. С целью приближения к действительному состоянию расчетная схема выбрана таким образом, что тяги учитывались как стержни. Таким образом, задача расчета континуума сводится к решению дискретной задачи обеспечения условий совместности смещений и равновесия во всех узлах соединения КЭ. Точность решения зависит от числа и соотношения размеров КЭ в сетке.

Для кирпичных кладок с целью исследования влияния сейсмических нагрузок на разрушения возникающие от сеймики, выполнена исследования кирпичного столба путем этапного загрузения сейсмическим воздействием на основе программы "Феникс", которая разработана в НИИАСС Украинской Республики.

Геометрические характеристики фрагмента:

- ширина -  $b = 1.0$  м
- высота -  $h = 3.0$  м
- толщина -  $t = 0.51$  м
- коэффициент Пуассона -  $\mu = 0.16$

Разделим фрагмент на 100 элементов шириной 0.3 м,  
высотой 0.3 м.

Принимаем, что фрагмент испытан без тяга.

Расчет проведен на действие нагружения от собственного веса и от сейсмики.

Расчетная схема пластин приведена на рис 3, включает 100 КЭ

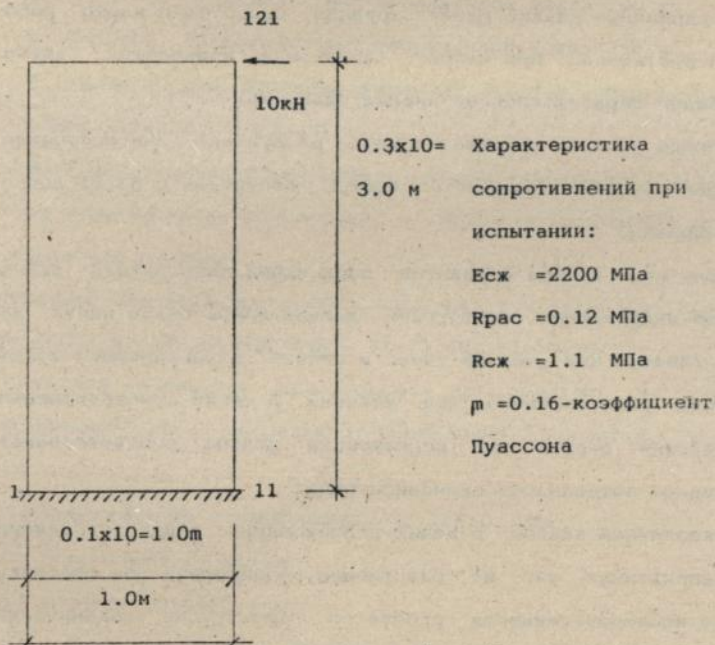


Рис 3.

№-222 /балки-стенки/, 121 узлов сетки. Порядок решаемой системы уравнений - 220, ширина ленты системы -26. Общее процессорное время решения на ЭВМ- ЕС-1060- 1 минута.

Результаты исследований совпадают с результатами натурных исследований докторов Т.Э.Жунусова, В.И.Будянова и А.М.Прамзина, которые установили, что постепенно растет максимальная ширина раскрытия всех трещин.

Из этих испытаний получены следующие выводы:

-При расчете по программе "Феникс" шаговой метода для малой деформации начинали возникать трещины в элементах в связи с тем, что кирпичные кладки имеют хрупкие свойства и плохо работает при растяжении. При малом изменении дальнейшей деформации трещины образовались на многих элементах.

-Сжимающие усилия, соответствующие разрушению или состоянию, при котором начинали возникать трещины, достигали в 53.6% допустимого значения.

Поэтому при выборе вариантов напряжений конструкций здания видно, что напряженные конструкции должны иметь очень малую деформацию /деформация меньше, чем в стадии возникновения трещин / учитывая вышеуказанные два условия. А также конструирование преднапряжения стропильных конструкций должно соответствовать использованию потенциалов сжимаемой зоны.

Для кирпичных кладок с целью исследования влияния предварительно-напряженных тяг на разрушении, возникающие от сейсмики, выполнено исследовательская работа по расчету для сейсмического воздействия на основе программы "МИРАЖ", которая разработана в НИИАСС Украинской Республики.

В испытании выбраны фрагменты со следующими геометрическими характеристиками:

- ширина -  $b = 4.5$  м
- высота -  $h = 6.6$  м
- толщина  $\delta = 0.51$  м
- коэффициент Пуассона -  $\mu = 0.16$  КЭ N-230

Разрушаемая нагрузка прикладывалась за 5 шагов при вариантах "А" / КИ-11-00 / за 7 шагов при вариантах "Б", "В" / КИ-13-40, КИ-10-70 / В исследовании приняты 3 варианта кладок:

а. Без напряжения.

б. С тягой, предварительно-напряженной  $R_{пред} = 160$  кН

в. С тягой, предварительно-напряженной  $R_{пред} = 290$  кН

В расчете для каждого варианта кладок приняты одинаковые сопротивления и нагрузки.

Во время испытаний кирпичные кладки периодически загружены, чтобы использовать результаты о том, как происходят деформации в кирпичных кладках.

Принимаем Варианты фрагментов испытания без тяга /фрагмент КИ-11-00/ и с тягой/фрагмента КИ-13-40, КИ-10-70/.

Расчет элементов производился на действие загрузки от собственного веса, нагрузки от перекрытия и покрытия, от сейсмике и от напряжения тяга. Здесь :

- От собственного веса кладки -  $q = 8.26 \cdot 10^{-3}$  МПа
- От покрытия -  $q = 24$  кН/м
- От перекрытия -  $q = 36.4$  кН/м
- От сейсмике -  $S_1 = 79.2$  кН,  $S_2 = 164$  кН
- От напряжения тяга/ фрагментах КИ-13-40 -  $R_{пред} = 160$  кН, КИ-10-70 -

$R_{пред}=290$  кН/. Нагрузка от сейсмики распределяется на элемент фрагмента в уровни покрытия и перекрытия.

Зависимость между нагрузкой и деформацией. см.рис.5, табл.3.

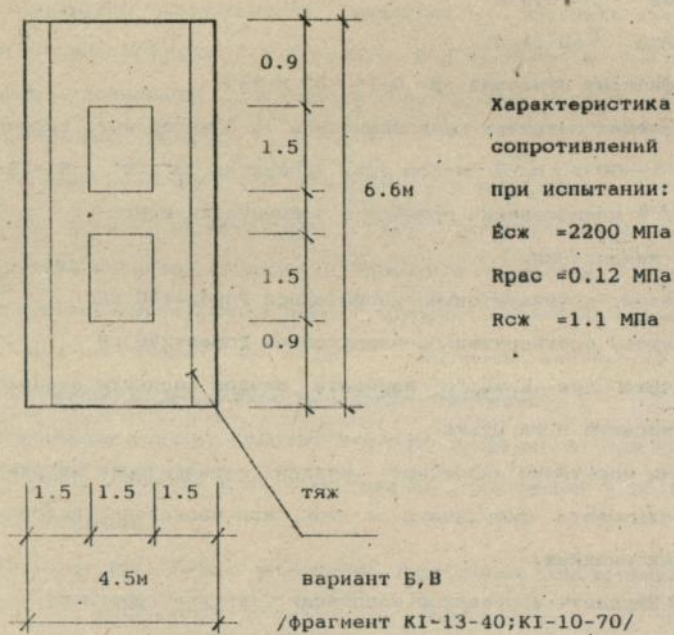


Рис 4.

В вариантах без предварительного напряжения перемещение резко увеличилось и при нагрузках  $P_1 = 47.4$  кН и  $P_2 = 98.4$  кН пластина разрушилась. А в варианте усиления при натяжении  $t = -40^\circ\text{C}$  перемещение при нагрузках 47.4 кН и  $P_2 = 98.4$  кН  $V = 2,53$  мм, в варианте усиления при натяжении  $t = -70^\circ\text{C}$  перемещение  $V = 2,94$  мм при нагрузках 47.4 кН и  $P_2 = 98.4$  кН. Отсюда видно, что усиление

кирпичной кладки с предварительно-напряженными тяжами целесо-

образно при воздействиях горизонтальной сейсмической нагрузки.

и деформацией.

Таблица 3.

Шаг загрузки	Деформация при различных значениях предварительных напряжений $\nu$ , мм.		
	без усиления	$t = -40^{\circ}\text{C}$	$t = -70^{\circ}\text{C}$
1	-0,827	-0,739	-0,858
2	-1,688	-1,532	-1,791
3	-2,966	-2,532	-2,937
4		-3,576	-4,006
5	2,378	-5,104	-6,093
6	-675,5	-7,836	-8,860
7.		-69,47	-36,134

образно при воздействиях горизонтальной сейсмической нагрузки. Этот метод увеличивает несущую способность кладки.

В нашей стране отсутствуют материалы, которые увеличивают сцепление кладки, а также, с другой стороны, традиционные методы требуют много материалов. По этим причинам в нашей стране для кирпичных кладок целесообразно применение предварительно-напряженных тяг. Также можно применять этот метод для увеличения сейсмостойкости существующих зданий.

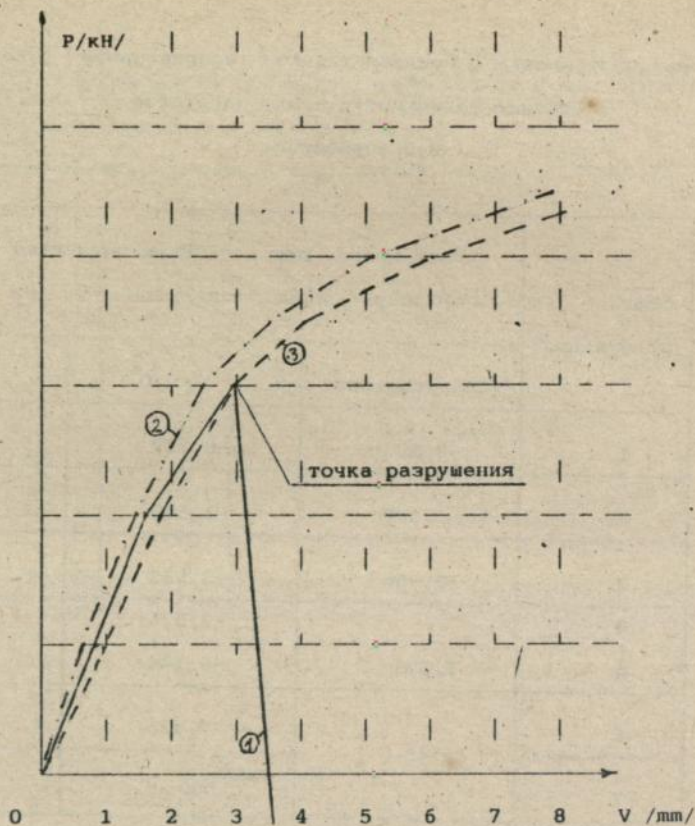


Рис.5. График зависимости между нагрузкой и деформацией.

- 1- При условии без применения тяг./вариант "а"/
- - - 2- При применении тяг, напряженных силой  $R_{предв}=160$  кН/вариант "б"/
- · - · 3- При применении тяг, напряженных силой  $R_{предв}=290$  кН./вариант "в"/

Результаты исследования внедрены в проектах усиления здания конторы компании "Авто зам" Баянгольского сомона Центрального аймака. Здание имеет размер в плане 30 x 12 м и площадь 360 м<sup>2</sup> и высотой - 3.5 м, выполнено с несущими кирпичными глиняными стенами толщиной 38, 51, 64 см. перегородками из глиняного кирпича и имеет большую толщину -25 см, ширина простенка 1.16; 1.42; 2.21 м. Покрытие этого здания-из пустотных сборных железобетонных плит. Сейсмичность площадки -7 баллов. По сейсмическому расчету стена здания не выдержало.

Всего было рассмотрено 3 варианта усиления стены этого здания. Техничко-экономические показатели по усилению здания на всей площади / 1 м<sup>2</sup> площади./

таблиц.4.

N	Техничко-эконом. показатели	Номер варианта		
		А	Б	В
1	Расход стали "кг"	4448 /12.36 /	6205 / 17.24 /	1270 / 3.53 /
2	Расход бетона м 150 "м <sup>3</sup> "	1.51 /0.004 /	- -	30.0 / 0.083 /
3	Сметная стоимость " туг."	820900 / 2280 /	1566930 / 4353 /	1407820 / 3910 /

нии, для которых определены расход бетона и стали по конструктивным элементам.

-Усиление кирпичных стен с металлическими тягами /вариант-А/

-То же с металлическими элементами /вариант-Б/

-То же с железобетонными обоями/вариант -В/

Для их технико-экономического сравнения между собой

вычислены расход бетона, стали и сметная стоимость усиления конструкции /табл.4./. Сравнение расхода материалов и стоимости всех вариантов здания приведены на табл.5.

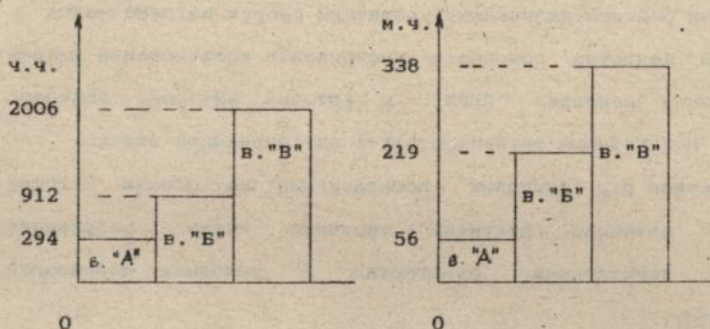
Сравнение сметных стоимостей усилений зданий

Таблица. 5.

N	Наименование	Сметная стоимость "туг"	в том числе "туг"		
			зарплата	материалы	механизмы
1	. Вариант "А" механизм/2000 туг/ч 56ч = 112000 туг/	820900	18750	6690150	112000
2	. Вариант "Б" механизм/2000 туг/ч 219ч = 438000 туг/	1566930	63180	1065750	438000
3	. Вариант "В" механизм /2000 туг/ч 338ч = 676000 туг/	1407820	129420	602500	676000

Сметная стоимость здания в I варианте снизилась на 47.6% по сравнению со зданием с усилением стальных конструкций, или на 41.7% по сравнению со зданием с усилением железобетонных конструкций. Расход стали в зданиях с металлическими тягами меньше в среднем на 39,5%, для чем здания с металлическими элементами. В варианте А расходы бетона 19,9 раз меньше чем в варианте Б.

-Сокращение трудоемкости работ на строительном площадке.



Применение варианта предварительно - напряженных тяг целесообразно по сравнению другими вариантами усиления здания.

#### Заключение.

В диссертационной работе получены следующие основные результаты:

1.Проектирована схема разрушения кирпичных зданий, вызванных наиболее сильными землетрясениями за период 1900-1990г.г.

2.На основе проведенного анализа выявлены типовые схемы разрушения кирпичных конструкций.

3.Проведены исследования на выборе расчетных моделей кирпичных конструкций, работающих на сейсмические воздействия.

3.1 В качестве основного численного метода принят метод конечных элементов.

3.2 На основе эмпирических исследований построены зависимости между напряжениями и деформациями для кирпичной кладки, имеющей различные пределы прочности для сжатия и растяжения.

3.3 Полученные нелинейные зависимости  $\sigma - \epsilon$  использованы для построения нелинейных уравнений, описывающих напряженно-деформ-

мированное состояние кирпичной кладки.

3.4 Для решения нелинейных уравнений выбран шаговый метод.

3.5 В качестве основного инструмента исследований выбран вычислительный комплекс "ПИРА", в который автором включены полученные нелинейные зависимости  $\delta$ - $\varepsilon$  для кирпичной кладки.

4. Проведен ряд числовых исследований, на основе которых численными методами получены типичные схемы разрушения кирпичных конструкций, работающих в условиях повышенной сейсмичности.

5. На основе многовариантных численных исследований выработаны рекомендации по усилению кирпичных конструкций, работающих в условиях повышенной сейсмичности.

6. Разработанные методы расчета и выработанные рекомендации внедрены в ряде проектных организаций Монголии:

- Научно-исследовательский институт Архитектуры и градостроительства
- Проектная компания "ТУГУЛДУР"
- Строительная компания "СУУРЬ"
- .....и.т.д.

7. Основные положения диссертации отражены в следующих работах:

1. Т.Мунхбаяр, Д.Энхгэрэл.

"Рекомендации по сейсмостойкости кирпичных кладок"

НИИАИГ. Улан-Батор .1994 г.

2. Ц.Шараа, Т.Мунхбаяр, Д.Энхгэрэл

"Инструкции по проектированию зданий в условиях повышенной сейсмичности"

НИИАИГ. Улан-Батор .1994 г.

1455184

AB 31.336

**AB 31.336**