

## МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КАМЕННОЙ КЛАДКИ ПРИ СРЕЗЕ

**Чернева Е.С., Клименко Е.В., Довгань А.Д.** (Одесская государственная академия строительства и архитектуры, г. Одесса)

Приведена часть результатов планируемого эксперимента по исследованию напряженно-деформированного состояния соединения каменных стен при срезе. Установлено количественное и качественное влияние, как в отдельности, так и во взаимодействии друг с другом таких факторов как отношение геометрических параметров и расчетное сопротивление кладки.

**Постановка проблемы.** Трещины в каменных стенах появляются в результате неравномерного оседания стен (из-за оседания оснований фундаментов), температурных напряжений и перенапряжений стен (в узких простенках, перемычках, под опорами балок), вымывания грунта из-под подошвы фундамента грунтовыми водами или водой из санитарно-технического оборудования в случае аварии, оседания грунтов под подошвой фундаментов в результате их намокания. Задачей конструкторов является не допустить появление трещин и предусмотреть это расчетом при проектировании.

**Анализ последних исследований.** Проблемам исследования каменных конструкций (условия работы, НДС, прочность, эксплуатация и реконструкция, усиление и т.д.) посвященные труды многих отечественных ученых. Для исследования поведения конструкций при различных воздействиях применяют метод конечных элементов (МСЕ). Вопросом использования МСЕ для определения напряженно-деформированного состояния каменных конструкций посвящены работы В. Г. Левенко [1], Г. Н. Брусенцова [2, 3], G. Saw [4], A. W. Page [5, 6], T. N. Ganju [7], S. C. Anand [8] и др. Анализ полученных экспериментом результатов предложен в работах В.А. Вознесенского, Т.В.Ляшенко, Б.Л. Огаркова, Я.П. Иванова, И.И. Николова [9,10].

**Выделение нерешенных ранее проблем.** Теория расчета каменных конструкций при срезе, созданная в тридцатых годах 20-го столетия проф. Онищиком применяется и сегодня без каких либо дополне-

ний и корректирования. Недостаточным, на наш взгляд, является изучение напряженно-деформированного состояния каменной кладки из-за её неоднородности.

**Формулировка цели статьи.** Целью работы является анализ влияния геометрических параметров и расчетного сопротивления кладки на прочность каменной кладки при срезе.

**Экспериментальная часть работы** состоит из испытания стыка двух кирпичных стенок таврового сечения в плане на центральное сжатие с целью определения границы прочности каменной кладки. Срез был получен путем приложения разной по интенсивности нагрузки. (рис1)

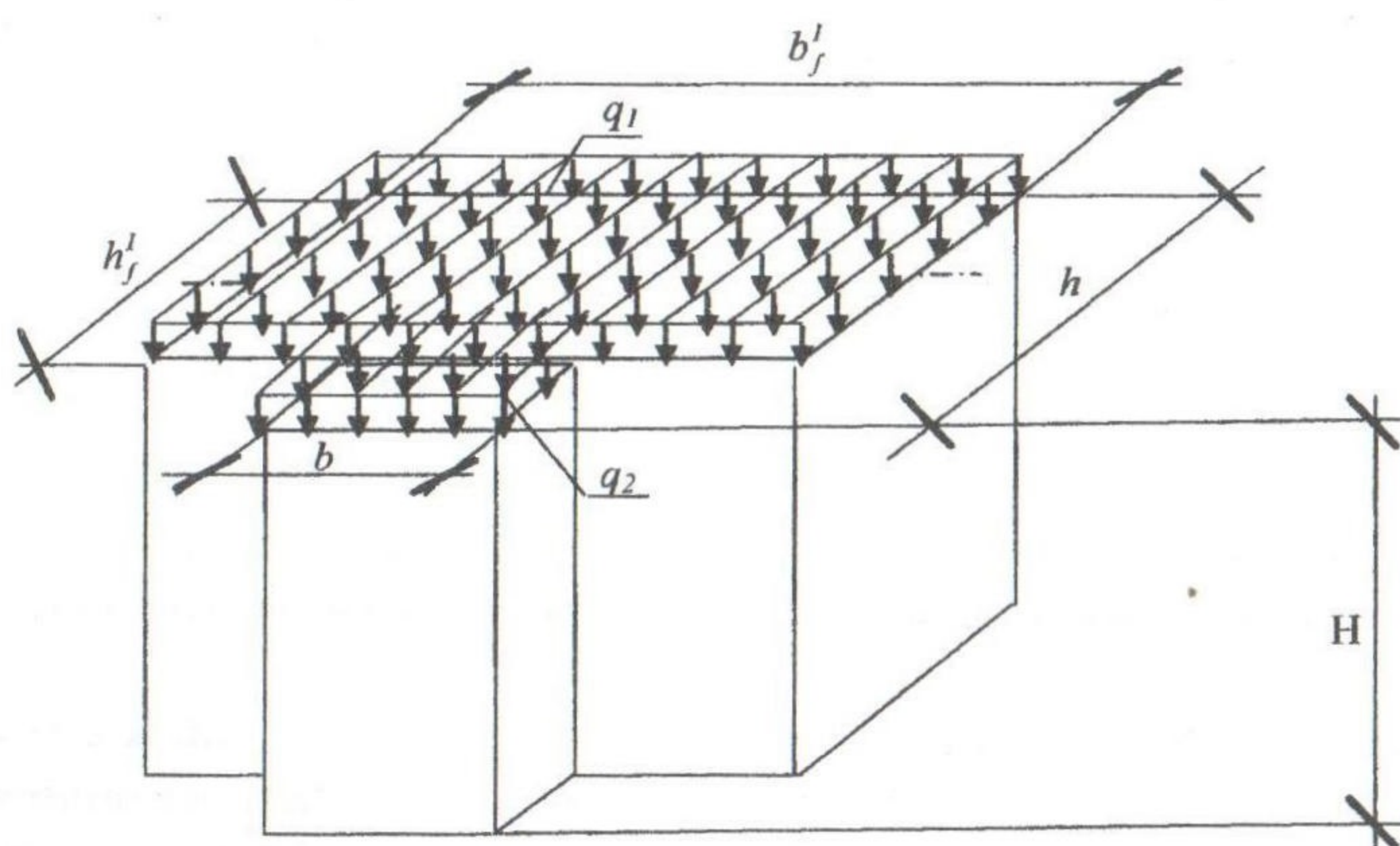


рис.1 Схема загрузки кладки

Планируется также определение формы разрушения и разрушающей нагрузки для этих случаев среза.

Для более четкого представления, относительно выполняемой работы, было выполнено планирование эксперимента, которое дало возможность охватить изучение всех основных факторов, которые влияют на прочность при срезе. Анализ априорной информации показал, что наибольшее влияние на явление, которое исследуется, имеют следующие факторы (таблица 1).

Таблица 1

Исследуемые факторы Усерии		Уровни варьирования			Интервал варьирования
Код	Натуральные значения	«-1»	«0»	«+1»	
X1	Отношение $\frac{b_{f'}}{b}$	800/400 2	1600/400 4	2400/400 6	2
X2	Отношение $\frac{h_{f'}}{h}$	200/800 0,25	400/800 0,5	600/800 0,75	0,25
X3	Расчетное сопротивление сжатию кладки R, МПа	Mк=75 Mр=5 1,4	Mк=50 Mр=5 1,1	Mк=25 Mр=50 0,7	0,3-0,4

Перед выполнением эксперимента было решено провести сначала теоретические исследования НДС для более четкого осознания работы каменных элементов на срез.

Исследование механического поведения кирпичной кладки проводится на основе числового решения объемной задачи механики деформации и разрушения неоднородных тел с учетом структурного разрушения для разных случаев напряженно-деформированного состояния. Для решения задачи необходимо задать свойства структурных элементов (деформационные - модуль упругости, прочность в соответствии с избранным критерием разрушения) и избрать схему изменения деформационных свойств.

Конструкция кладки своей регулярностью дает возможность использовать метод конечных элементов. Расчет ведется с помощью программного комплекса Лира 9.2. Величина разрушающей нагрузки и предельных напряжений представлены в таблице 2.

Таблица 2

Результаты моделирования при трехфакторной модели планирования эксперимента

№ опыта	Кодированные значения факторов			Предельные нагрузки, тс/м <sup>2</sup>		Напряжения в опытных кладках, МПа			Проверка
	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	q <sub>1</sub> =const	q <sub>2</sub>	σ <sub>z</sub>	τ <sub>xz</sub>	τ <sub>yz</sub>	
1	+1	+1	+1	0,2	101	0,813	0,553	0,448	$ \sigma_z - R_u  \leq 0,01$ $ \tau_{\max} - R_{sq}  \leq 0,01$
2	+1	+1	-1	0,2	37	0,305	0,194	0,153	$0,553 - 0,55 = 0,003 \leq 0,01$ $0,194 - 0,2 = 0,006 \leq 0,01$
3	+1	-1	+1	0,2	35	0,583	0,54	0,146	$0,54 - 0,55 = 0,01$
4	+1	-1	-1	0,2	15	0,239	0,198	0,055	$0,198 - 0,2 = 0,002 \leq 0,01$
5	-1	+1	+1	0,2	127	0,104	0,414	0,545	$0,545 - 0,55 = 0,006 \leq 0,01$
6	-1	+1	-1	0,2	52	0,441	0,159	0,2	$0,2 - 0,2 = 0 \leq 0,01$
7	-1	-1	+1	0,2	83	1,23	0,555	0,221	$0,555 - 0,55 = 0,005 \leq 0,01$
8	-1	-1	-1	0,2	30	0,439	0,195	0,071	$0,195 - 0,2 = 0,005 \leq 0,01$
9	+1	0	0	0,2	43	0,491	0,401	0,22	$0,401 - 0,4 = 0,001 \leq 0,01$
10	-1	0	0	0,2	90	1,09	0,407	0,389	$0,407 - 0,4 = 0,007 \leq 0,01$
11	0	+1	0	0,2	82	0,665	0,394	0,356	$0,394 - 0,4 = 0,006 \leq 0,01$
12	0	-1	0	0,2	33	0,532	0,391	0,115	$0,391 - 0,4 = 0,009 \leq 0,01$
13	0	0	+1	0,2	69	0,795	0,552	0,338	$0,552 - 0,55 = 0,002 \leq 0,01$
14	0	0	-1	0,2	26	0,3	0,196	0,12	$0,196 - 0,2 = 0,004 \leq 0,01$
15	0	0	0	0,2	50	0,576	0,394	0,241	$0,394 - 0,4 = 0,006 \leq 0,01$

Полученные результаты были обработаны с помощью программного комплекса, позволяющего определить влияние каждого исследуемого фактора на разрушающую нагрузку. В результате получены графики зависимости всех факторов от  $q_{\text{разруш.}}$  (рис.2) Также получен комплексный график влияния всех факторов одновременно при различных уровнях загрузки (рис.3). Анализ влияния факторов определяется уравнением регрессии:

$$\overline{Y}_{q_u} = 52,112 - 14,935x_1 + 20,061x_2 + 25,531x_3 + 11,555x_1^2 - 3,851x_3^2 + 2,750x_1x_2 - 5,777x_1x_3 + 8,366x_2x_3$$

Исходя из уравнения при увеличении 1 фактора  $b_f/b$ , образец разрушается при меньшей нагрузке, при увеличении 2 фактора нагрузка возрастает, и при увеличении расчетного сопротивления кладки прочность образца увеличивается, следовательно, увеличивается разрушающая нагрузка.

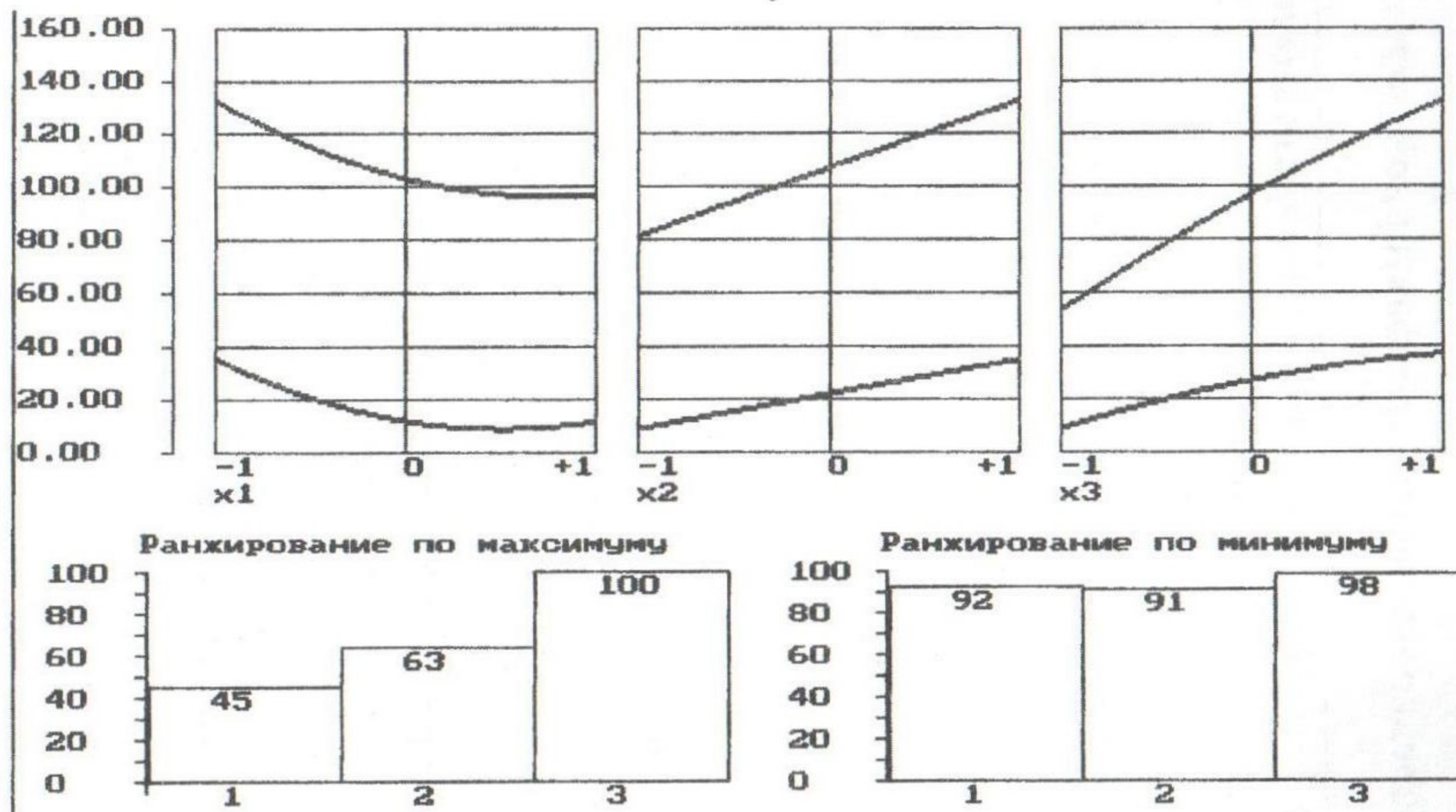


рис.2 Влияние факторов в зоне максимума и минимума на разрушающую нагрузку

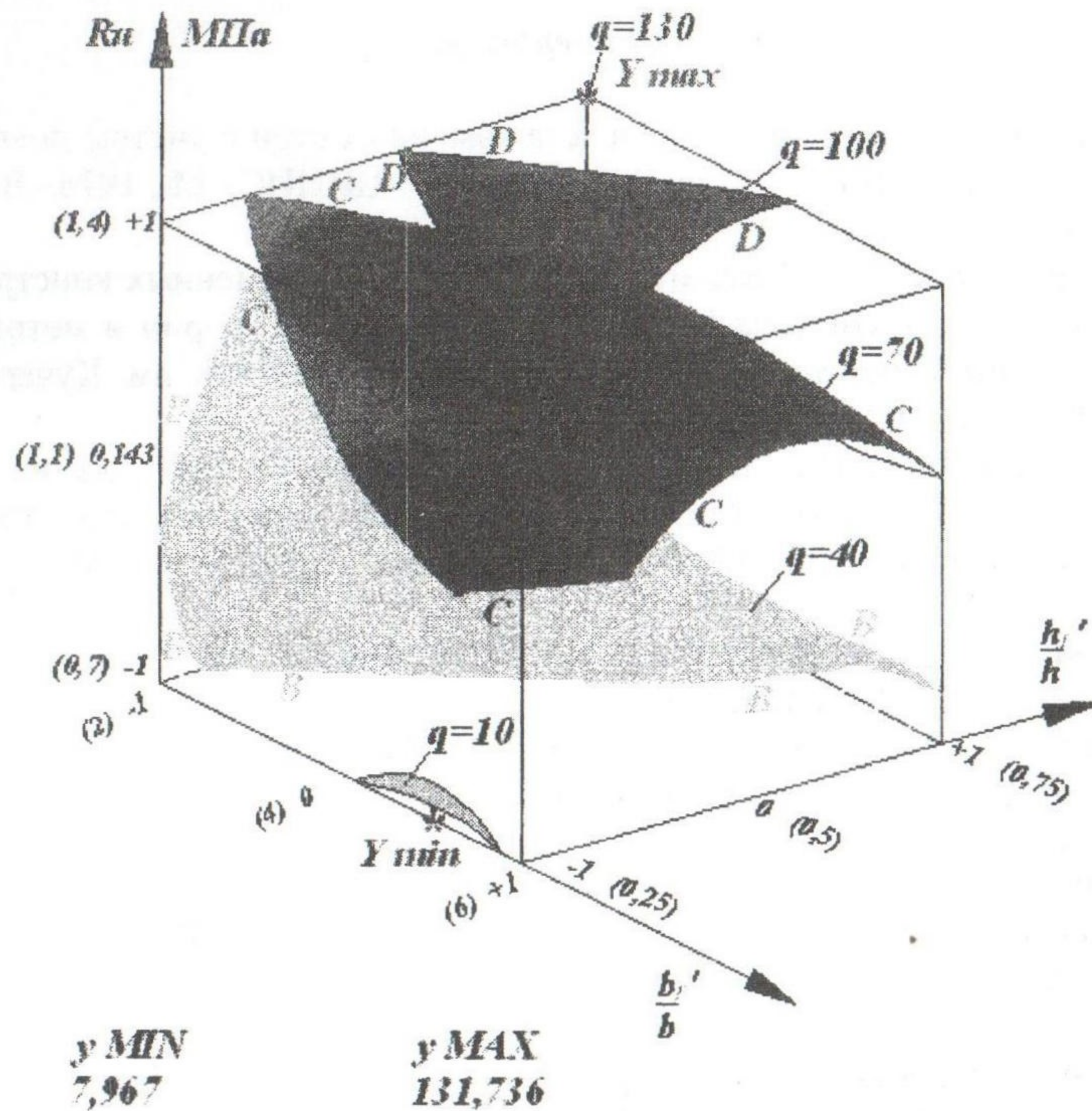


рис.3 Совместное влияние факторов на величину разрушающей нагрузки: А-уровень нагрузки 10, В-40,С-70,Д-100 кН/м.

#### Выводы:

1. Промоделировано напряженно-деформированное состояние каменных стен при срезе, что дало возможность определить значение нагрузки, то есть оценить несущую способность конструкции.
2. Оценено влияние геометрических размеров конструкций на предельное значение срезающей силы.

### Литература

1. Иевенко В.Г. Алгоритм расчета каменных стен с учетом появления и развития трещин: Реф. информ. / ЦИНИС.–М., 1976.–Вып. 9.– С. 5.
2. Брусенцов Г.Н. О развитии методов расчета каменных конструкций с применением МКЭ.// Исследования по теории и методам расчета строительных конструкций: Тр. ЦНИИСК им. Кучеренко. – М., 1984.– С. 74–86.
3. Брусенцов Г.Н., Першин А.В. Расчет кирпичных зданий на ЕС ЭВМ.// Исследования по теории и методам расчета строительных конструкций: Тр. ЦНИИСК им. Кучеренко. – М., 1983. – С. 87 – 94.
4. Saw C. Linear elastic finite element analysis of masonry walls on beam. – Building Science. – 1974. - vol. 9. - № 4. - p. 299 – 307.
5. Page A. W. A non – linear analysis of the composite action of masonry walls on beams.// Proc. Inst. Civ. Eng. – 1979. - Part 2. - 67, Mar. - p. 93 – 110.
6. Page A. W. Finite element model for masonry.//J. of the Structural Division, Proc. of ASCE. – 1978. - vol. 104. - № ST8. - p. 1267 – 1268.
7. Ganju T. N. Non – linear finite element computer model for structural clay brickwork. – Struct. Eng., 1981, vol. 59B, № 3, p. 40.
8. Anand S. C., Young D. T. Finite element model for composite masonry.// J. of the Structural Division, Proc. of ASCE. – 1982. - vol. 108. - № ST12. - p. 2637 – 2651.
9. В.А. Вознесенский, Т.В. Ляшенко, Б.Л. Огарков. Численные методы решения строительно-технологических задач на ЭВМ.; ред. В.А. Вознесенского.-К.: Выща шк. Головное изд-во, 1989 – 328с.: ил.
10. ЭВМ и оптимизация композиционных материалов /В.А. Вознесенский, Т.В. Ляшенко, Я.П. Иванов, И.И. Николов. – К.: Будівельник, 1989. – 240с.