

СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ

С. А. Шагинян

Экспериментальное исследование кладки мидис

В Закавказье широко применяется трехслойная кладка мидис с применением естественных строительных камней. Эта система кладки состоит из двух наружных рядов штучных камней, сложенных на пластичном растворе и среднего бутового заполнения с заливкой раствора литой консистенции, который замоноличивает кладку.

Экспериментальному исследованию кладки мидис посвящена работа З. А. Адагорцяна [3], которым в 1940 г. испытаны 9 армированных и 4 неармированных столбика размерами $25 \times 25 \times 50$ см.

Недостатком указанной работы является то, что автором испытаны модельные образцы. Как известно, это обстоятельство приводит к существенному искажению характеристик кладки.

В 1945 г. А. А. Чураян [10] произвел динамическое испытание 13 образцов армированной кладки мидис с применением арктического туфа; размеры образцов в этих опытах составляли $35 \times 115 \times 95$ см.

Насколько нам известно, статические испытания кладки мидис натуральной величины не производились.

В связи с отсутствием экспериментально обоснованных данных по прочности кладки мидис в нормативных положениях У-57-43 принята следующая редакция: „Кладка мидис по прочности приравнивается к бутовой кладке из постелистого камня“ [9]. В новых нормах Н-7-49 по кладке мидис никаких указаний не дано [5].

В Институте Строительных Материалов и Сооружений Академии Наук Армянской ССР с 1948 г., по развернутой программе, начато комплексное экспериментально-теоретическое исследование по проблеме „Естественные строительные камни Армянской ССР и каменные конструкции“, включающее изучение вопросов механической обработки камня, физико-механических свойств камня, а также статических и динамических свойств кладки из естественных камней Армянской ССР [1, 7, 8, 11].

Опыты автора настоящей статьи, произведенные по этой проблеме в 1949 г., имели целью установить прочность и деформационные свойства кладки мидис при сжатии, с применением туфового камня одного месторождения и одной марки раствора и проверить

соответствие нормативных данных с полученными экспериментальными данными.

Исследование кладки мидис на сжатие производилось на 16 опытных образцах размерами $50 \times 70 \times 125$ см, состоящих из двух типов: тип А—столбы с применением только ложковых камней и тип В—с тычковыми камнями через два ложка (рис. 1). Образцы испытывались в возрасте 28 и 90 суток, а также в возрасте 1 суток для получения раствора нулевой прочности.

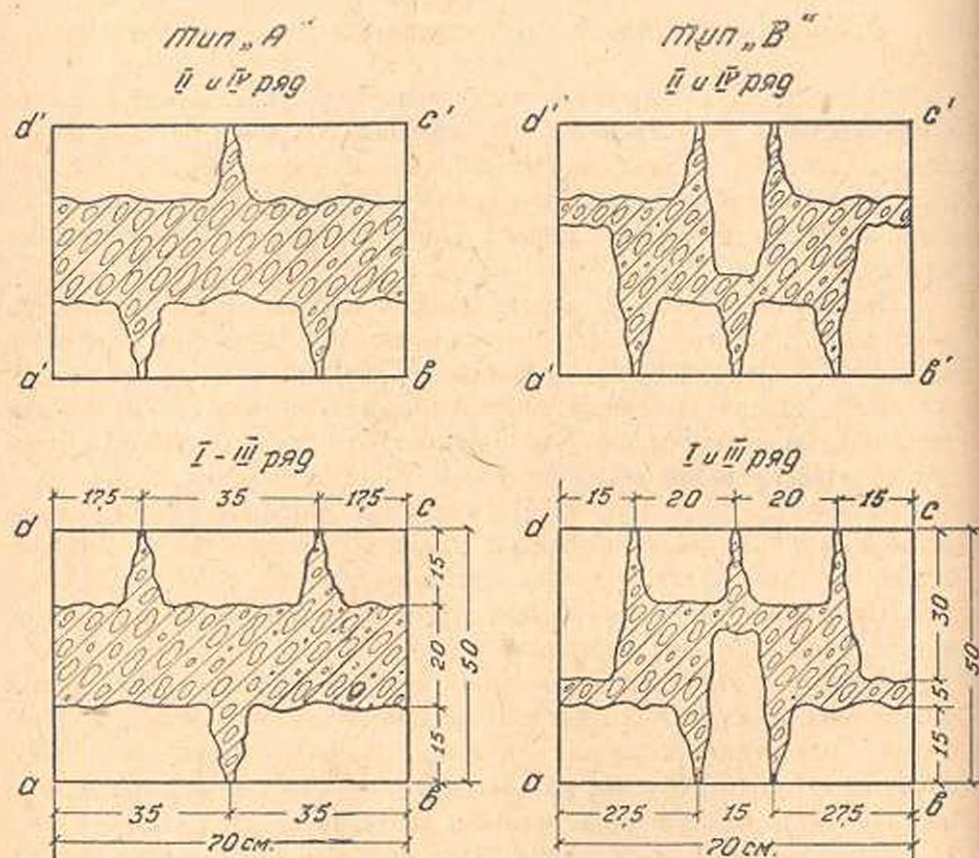


Рис. 1. Опытные образцы кладки мидис (план).

Параллельно с исследованием кладки мидис производилось изучение прочности примененного раствора и бутобетона.

Для изготовления опытных образцов кладки мидис применялись следующие материалы:

а) туф черного цвета джрвежского месторождения, с объемным весом $1,45 \text{ т/м}^3$, с диапазоном колебаний от $1,40$ до $1,50 \text{ т/м}^3$ [7]. Образцы этого туфа, в виде цилиндров диаметром 15 см и длиной 60 см , до момента разрушения имеют постоянный модуль упругости, в среднем 60000 кг/см^2 , с колебанием для отдельных образцов от 45000 до 77000 кг/см^2 . Изготовленные кубики размерами сторон

10 см из этого же туфа показали прочность (в среднем) 100 кг/см^2 с колебанием от 70 до 140 кг/см^2 .

Для получения однообразных образцов кладки, околка камней производилась по заранее вырезанным шаблонам по формам и размерам, указанным на чертеже (рис. 1);

б) туфовый щебень (хибар) размерами 5–10 см, полученный как отход от оковки указанных выше туфовых блоков;

в) туфовый песок, полученный перемалыванием остатков туфового щебня (хибар) в молотковой дробилке, с последующим просеиванием через сита с отверстием 5 мм.

Песок имел среднюю крупность 0,38 мм, объемный вес $1,03 \text{ т/м}^3$ и содержал до 36% пылевидных частиц туфа;

г) портландцемент араратского завода им. С. Орджоникидзе. Испытания по ОСТ показали, что портландцемент обладает активностью 400 кг/см^2 ;

д) карбидная известь (шлам) Ереванского завода им. Кирова.

Опытные образцы столбов из кладки мидис возводились на сложном растворе с объемным соотношением 1:2, 3:11 (портландцемент, карбидная известь с содержанием 50% воды, туфовый песок). Раствор изготовлялся вручную, с тщательным перемешиванием компонентов.

Образцы состояли из четырех рядов кладки, сложенных в один день. Кладка столбов производилась в помещении лаборатории каменщиком средней квалификации. Образцы возводились на железобетонных плитах размерами $50 \times 70 \times 14 \text{ см}$, с соблюдением требований, предъявляемых к кладке мидис [4].

Раствор применялся двух консистенций: пластичной, с осадкой конуса Строй ЦНИЛ-а 9,5–10,5 см, литой осадкой конуса (без грузика) 11,5–12,5 см. Одновременно с возведением опытных столбов изготовлялись контрольные кубики из раствора с размерами сторон в 7 см и восьмерки. Для определения прочности средней части столба изготовлялись также кубики размером $20 \times 20 \times 20 \text{ см}$ из бутобетона под заливку. Образцы раствора и бутобетона изготовлялись в металлических формах на пористом основании.

Все образцы кладки и раствора хранились в помещении лаборатории в обычных, воздушно-сухих условиях.

В таблице 1 приведен температурно-влажностный режим хранения образцов.

За 7–10 дней до испытаний верхние плоскости столбов выравнивались по уровню цементным раствором, а боковые грани окрашивались известковым молоком.

Для определения объемного веса кладки мидис образец кладки перед установкой взвешивался при помощи специальных весов и затем устанавливался в пресс.

С целью обеспечения равномерного соприкосновения металлических плит пресса с нижней и верхней поверхностями образца между

Таблица 1

Наименование	Первый месяц (август)			Второй месяц (сентябрь)			Третий месяц (октябрь)		
	Макс.- мум	Мини- мум	Средняя	Макс.- мум	Мини- мум	Средняя	Макс.- мум	Мини- мум	Средняя
Температура воздуха °C	29	25	26	27	20	23	20	15	16
Влажность воздуха в %	55	46	51	57	45	51	59	42	54

торцами их и металлическими плитами заливался слой алебастра.

Испытание кладки производилось на 200-тонном гидравлическом прессе.

Образцы кладки мидис испытывались однократной нагрузкой до разрушения. Нагрузка увеличивалась ступенями по 4,5—5,5 тонн, что соответствовало повышению напряжения в кладке 1,3—1,5 кг/см². На каждой ступени нагрузки производилась выдержка усилия для записи отсчета по приборам, после чего нагрузка снималась до следующей ступени.

Установленные на образце измерительные приборы удалялись при нагрузке, отвечающей интенсивному развитию трещин и деформаций. После снятия приборов нагрузка повышалась до полного разрушения образца.

Замер продольных деформаций кладки производился четырьмя деформометрами с базой 90 см (рис. 2). Испытание кубиков из раствора производилось на 10-тонном гидравлическом прессе; восьмерки испытывались на приборе Михаэлиса, кубики из бутобетона на 50-тонном гидравлическом прессе.

Результаты испытания раствора и бутобетона, испытанные в возрастах 28 и 90 суток, приведены в таблицах 2, 3 и 4.

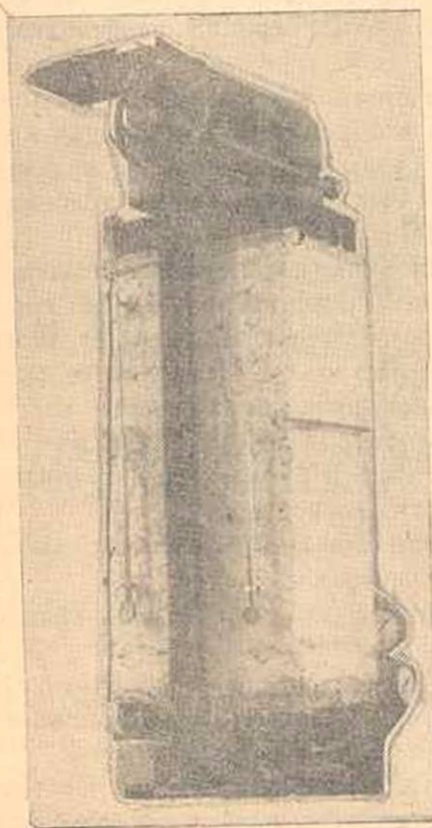


Рис. 2. Испытание кладки мидис на 200-тонном прессе.

Таблица 2

Результаты испытания раствора в возрасте 28 суток

№№ образцов кладки	Раствор под лопату			Раствор под заливку		
	Объемный вес	Прочность на сжатие	Прочность на растя- жение	Объемный вес	Прочность на сжатие	Прочность на растя- жение
	γ т/м ³	R кг/см ²	R _p кг/см ²	γ т/м ³	R кг/см ²	R _p кг/см ²
1	1,40	13	2,5	1,36	7	2,0
2	1,37	15	4,5	1,37	7	4,5
3	1,35	16	3,0	1,26	8	3,5
4	1,40	24	7,5	1,28	8	4,0
5	1,40	17	4,0	1,32	11	3,5
6	1,42	21	5,5	1,32	10	3,5
7	1,40	13	2,5	1,36	7	2,0
8	1,37	15	4,5	1,37	7	4,5
9	1,35	16	3,0	1,26	8	3,5
10	1,40	24	7,0	1,28	8	4,0
11	1,48	22	5,5	1,32	15	5,0
12	1,42	22	5,5	1,33	14	4,5

Примечание: В таблице приведены средние данные по трем испытаниям.

Таблица 3

Прочность раствора в возрасте 28 и 90 суток

№ № образцов кладки	Возраст раствора	Прочность рас- твора под лопату	Прочность рас- твора под заливку
	суток	R кг/см ²	R кг/см ²
7	28	13	7
8		15	7
9		16	8
Среднее из 9 опытов		15	7
7	90	16	8
8		14	7
9		16	7
Среднее из 9 опытов		15	7

Примечание: В таблице приведены средние данные по трем испытаниям.

Таблица 4

Прочность бутобетона под заливку в возрасте 28 и 90 суток

№ № Образцов	Возраст	Объемный вес	Прочность на сжатие
	суток	γ т/м ³	R кг/см ²
а	28	1,40	24
б		1,34	17
в		1,38	18
Среднее из 9 опытов		1,37	20
а	90	1,38	27
б		1,34	20
Среднее из 6 опытов		1,36	23

Примечание: В таблице приведены средние данные по трем испытаниям.

Проведенные нами опыты над кубиками и восьмерками из раствора и бутобетона, изготовленных и испытанных по описанной выше методике, дают нам возможность отметить следующее:

а) испытание контрольных кубиков с размерами сторон $7 \times 7 \times 7$ см из легкого раствора состава 1:2, 3:11 (по объему) пластичной консистенции в возрасте 28 суток показывает, что раствор относится к марке 15;

б) прочность раствора в возрасте 90 суток незначительно отличается от прочности раствора в возрасте 28 суток, т. е. для кубика с размерами сторон 7 см от возраста 28 суток до 90 суток нарастания прочности раствора не замечается;

в) прочность на сжатие кубиков $7 \times 7 \times 7$ см из раствора литой консистенции два раза ниже, чем прочность кубиков из того же раствора, но пластичной консистенции;

г) прочность восьмерок на растяжение из раствора пластичной консистенции равна в среднем 0,25 прочности кубиков на сжатие из того же раствора с колебанием от 0,20 до 0,30. Прочность восьмерок из раствора литой консистенции на растяжение несколько ниже, чем прочность восьмерок из того же раствора, но пластической консистенции;

е) испытание бутобетона на туфовом щебне (хибар) и растворе литой консистенции в возрасте 28 суток показывает прочность кубиков с размерами $20 \times 20 \times 20$ см на сжатие 20 кг/см². Нарастание прочности бутобетонных кубиков от возраста 28 суток до 90 суток составляет 15%.

Результаты испытаний образцов кладки мидис сведены в таблицу 5.

Таблица 5

Тип кладки	№ № образцов кладки	Объемный вес кладки	Прочность кладки	Начало по- явления трещин в кладке	Упругая ха- рактери- стика кладки	Начальный модуль уп- ругости	Сжимае- мость кладки	Влажность раствора в кладке
		$\gamma \text{ т/м}^3$	$R \text{ кг/см}^2$	$\Sigma \text{ тр/R}$	α	$E_0 \text{ кг/см}^2$	$\epsilon_{0, \text{ р.м.м./м}}$	%
Возраст кладки 1 день								
В	20	1,58	9,5	0,17	250	2400	9,20	—
	21	1,72	12,0	0,18	130	1600	17,70	—
	Среднее из двух	1,70	10,5	0,17	170	1800	13,50	—
Возраст кладки 28 суток								
А	1	1,49	14,5	0,75	1070	15500	2,15	17
	2	1,55	14,0	0,79	1150	16100	2,00	14
	3	1,56	15,5	0,69	700	10900	3,29	16
	Среднее из трех	1,53	14,5	0,74	900	13000	2,56	—
В	4	1,50	16,0	0,66	890	14200	2,59	12
	5	1,54	14,5	0,75	880	12800	2,62	24
	6	1,58	16,0	0,66	750	12000	3,07	22
	Среднее из трех	1,54	15,5	0,69	830	12900	2,77	—
А и В	Среднее из шести	1,54	15,0	0,72	850	12800	2,71	18
Возраст кладки 90 суток								
А	7	1,53	16,5	0,65	—	—	—	—
	8	1,47	17,0	0,81	1100	18700	2,09	—
	9	1,50	18,5	0,60	1050	19400	2,19	—
	Среднее из трех	1,50	17,5	0,69	1090	19100	2,11	—
В	10	1,51	19,0	0,65	1400	26600	1,64	—
	11	1,48	19,0	0,71	1050	20000	2,19	—
	12	1,53	17,5	0,79	1100	19300	2,09	—
	Среднее из трех	1,51	18,5	0,72	1140	21100	2,02	—
А и В	Среднее из шести	1,50	18,0	0,70	1100	19800	2,09	—

Рис. 3, 4 и 5 иллюстрируют характер разрушения кладки мидис при ее испытании на сжатие.

Анализ результатов испытания показывает, что кладки мидис типа А и типа В имеют одинаковый объемный вес. Прочность кладки мидис из туфа прочностью 100 кг/см^2 и раствора марки 15 в возрасте 28 суток в среднем равна $15,0 \text{ кг/см}^2$ с колебанием от 14,0 до $16,0 \text{ кг/см}^2$, а в возрасте 90 суток — $18,0 \text{ кг/см}^2$ с колебанием от 16,5 до $19,0 \text{ кг/см}^2$. Нарастание прочности кладки от возраста 28 суток до 90 суток составляет 20%.

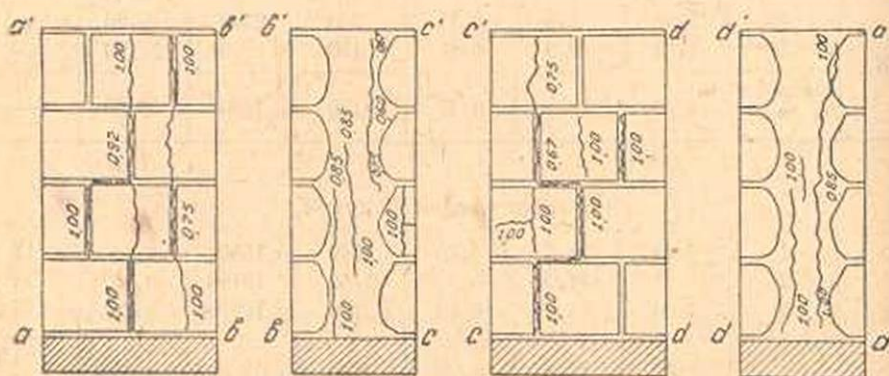


Рис. 3. Характер разрушения кладки образца № 9. На чертеже указаны величины $\frac{\sigma}{R}$.

При одном и том же возрасте замечается повышение прочности кладки при повышении прочности раствора. Например, при повышении прочности раствора от 13 до 24 кг/см^2 прочность кладки повысилась от 14 до 16 кг/см^2 в возрасте 28 суток и от 16,5 до 19 кг/см^2 в возрасте 90 суток.

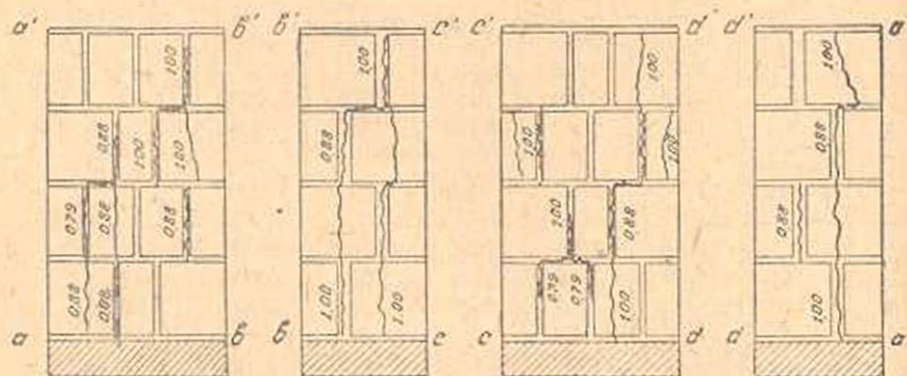


Рис. 4. Характер разрушения кладки образца № 12. На чертеже указаны величины $\frac{\sigma}{R}$.

Сопоставление полученных из опытов величин прочности кладки мидис с данными У-57-43 [9] показывает, что прочность кладки мидис на сжатие выше, чем прочность, принятая в нормах.

Прочность кладки мидис типа А и прочность кладки типа В в возрасте 28 и 90 суток почти одинакова.

Первые, видимые невооруженным глазом, трещины в кладке мидис появляются почти при одинаковых величинах $\frac{\sigma_{тр}}{R}$ как в возрасте 28 суток, так и в возрасте 90 суток. Как правило, трещины вертикальные и впервые появляются или в растворе бутобетона (тип кладки А), или в вертикальных швах (тип кладки В), при напряжении в кладке в среднем $0,70 R$ с колебанием от $0,60 R$ до $0,80 R$. Трещины в камне появляются после образования трещин в растворе при очень высоких напряжениях в кладке, близких к пределу прочности на сжатие. Трещины в камне появляются при напряжении в кладке $0,80-1,00 R$.

Результаты испытания показывают, что имеется несоответствие между ростом прочности кладки мидис в период от возраста 28 до 90 суток и отсутствием роста прочности раствора в том же периоде. Прекращение роста прочности раствора в кубиках $7 \times 7 \times 7$ см в возрасте 28 суток подтверждается также другими опытами [2].

Опытные данные показывают необходимость изменения принятой методики определения прочности раствора на пористых заполнителях (туфовый песок, пемзовый песок).

Как показали опыты, процент влаги раствора в кубиках размерами $7 \times 7 \times 7$ см в возрасте 28 суток приближается к нулю. Надо полагать, что раствор в этих кубиках на 28 суток обезвоживается полностью; поэтому и прекращается дальнейший процесс твердения раствора.

Образцы раствора, взятые из ядра испытанной нами кладки мидис, имели влажность от 17 до 22% (табл. 5). Это показывает, что процесс твердения раствора в кладке может продолжаться и после 28 суток, что и подтверждается опытами.

Рис. 6-8 характеризуют деформационные свойства кладки Известня III, № 7-40



Рис. 5. Характер разрушения кладки образца 11.

мидис при сжатии. Здесь продольные относительные деформации выведены как средние из показаний четырех деформометров.

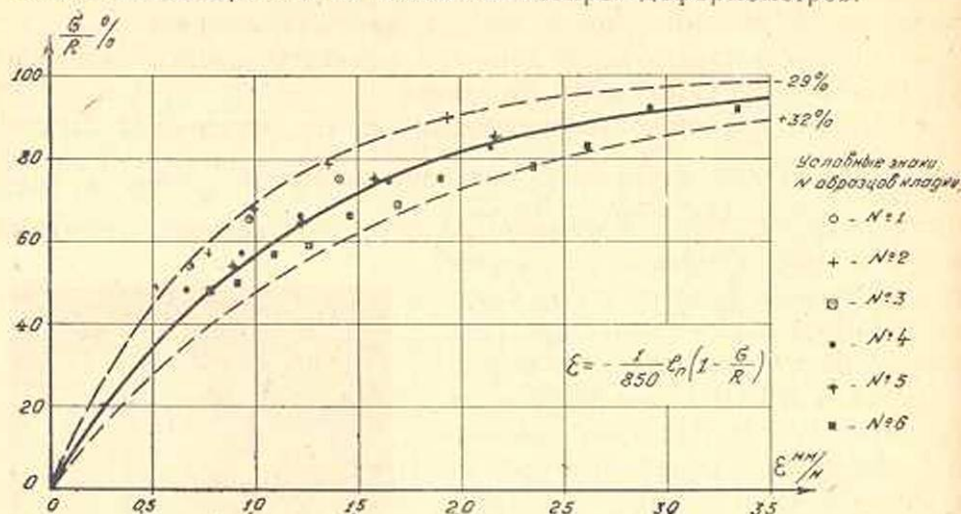


Рис. 6. Относительные деформации кладки мидис при сжатии в возрасте 28 суток.

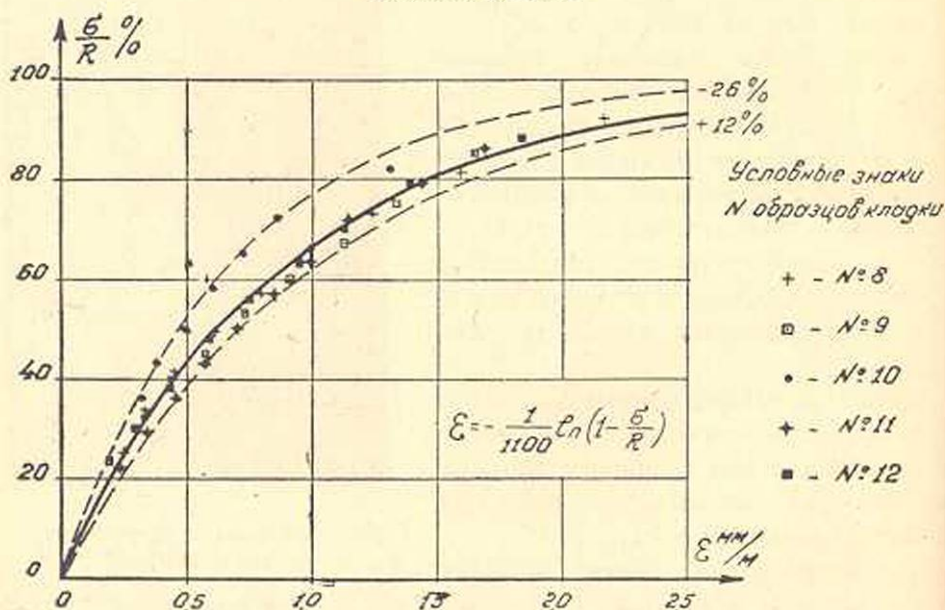


Рис. 7. Относительные деформации кладки мидис при сжатии в возрасте 90 суток.

Анализ результатов испытания показывает, что:

а) относительные деформации каждого в отдельности образца кладки мидис, а также средние из деформаций для группы образцов с достаточной точностью подчиняются логарифмическому закону $\epsilon = -\frac{1}{\alpha} \ln\left(1 - \frac{\sigma}{R}\right)$; в этом случае действительный модуль

упругости $E = E_0 \left(1 - \frac{\sigma}{R}\right)$; последняя аналогична формуле Л. И. Овнищика [6], предложенной для кирпичной кладки на цементном растворе.

б) Упругая характеристика кладки мидис в возрасте 28 суток в среднем равна 850, с колебанием от 700 до 1150, а в возрасте 90 суток 1100 с колебанием от 1050 до 1400.

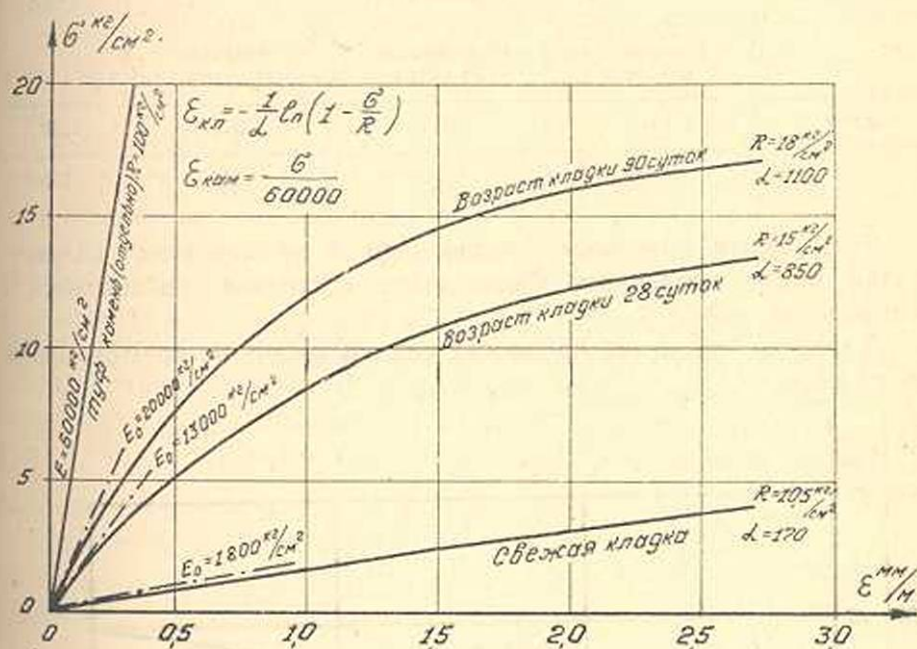


Рис. 8. Относительные деформации кладки мидис и туфового камня при сжатии.

в) Упругие характеристики α , начальные модули упругости E_0 и предельные сжимаемости $\epsilon_{0,9R}$ кладки мидис типа А и типа В незначительно отличаются друг от друга.

г) Деформируемость кладки мидис с увеличением ее возраста уменьшается. Величина упругой характеристики кладки мидис с повышением прочности кладки на 20% в период от 28 суток до 90 суток повышается от 850 до 1100, т. е. на 29%.

д) Принятые в У-57-43 [9] величины упругих характеристик для кладки мидис явно занижены. Для кладки мидис на легких растворах марки 15 величина упругой характеристики принята равной 500. Опыты показывают, что в возрасте 90 суток в среднем $\alpha = 1100$ с колебанием от 1050 до 1400.

Для сравнения деформаций кладки в разных возрастах с деформациями туфа нами составлен график (рис. 8). Нетрудно заметить, что при одинаковых напряжениях кладка мидис деформируется несравненно больше, чем туф.

Сопоставление предельной сжимаемости туфа, примененного в наших опытах с предельной сжимаемостью кладки мидис, приводится в таблице 6.

Таблица 6

Измеритель	Сжимаемость ±0,9R			Туфа
	Кладки мидис			
	В однодневном возрасте	В возрасте 28 суток	В возрасте 90 суток	
мм/м	13,5	2,7	2,1	1,50
%	900	180	140	100

По данным таблицы видно, что с увеличением возраста кладки мидис предельная сжимаемость последней приближается к сжимаемости туфа.

Характер изменения прочности кладки мидис во времени показан на рис. 9.

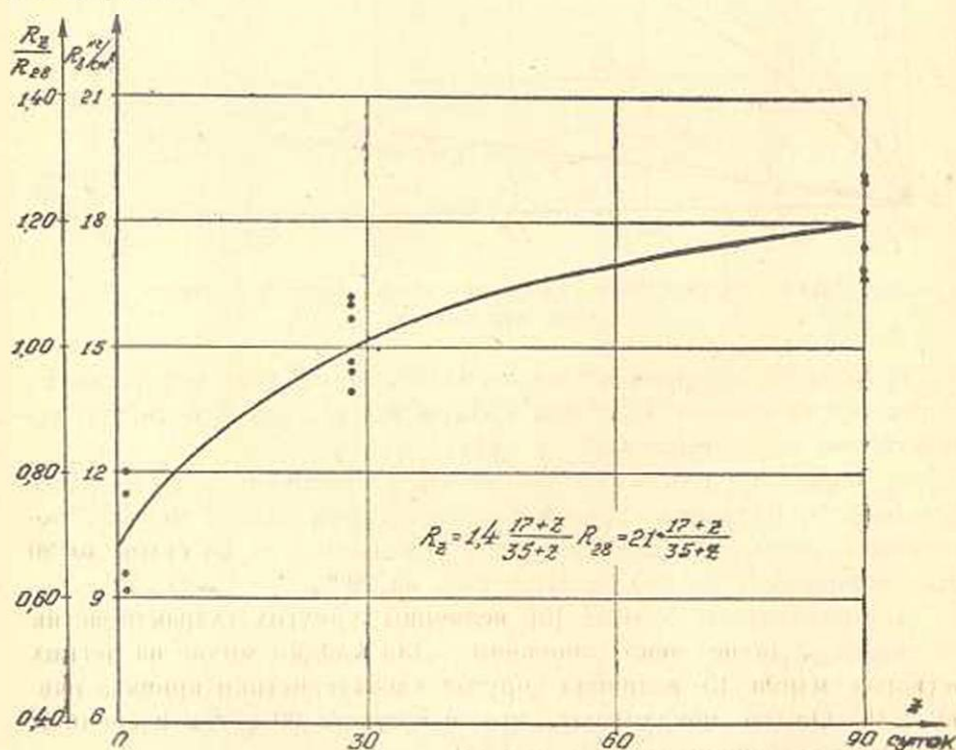


Рис. 9. Влияние возраста на прочность кладки мидис.

В ы в о д ы

Произведенные исследования позволяют сделать следующие выводы:

1. Прочность кладки мидис из туфа прочностью 100 кг/см^2 и легкого раствора марки 15 в возрасте 28 суток равна 15 кг/см^2 , а в возрасте 90 суток — 18 кг/см^2 .

2. Упругая характеристика кладки мидис на легком растворе марки 15 в возрасте 28 суток равна 850, а в возрасте 90 суток — 1100.

3. При статическом сжатии кладка мидис с тычковыми камнями имеет такую же прочность как и кладка мидис без тычковых камней.

4. Принятые в У-57-43 [9] прочность и упругая характеристика кладки мидис из камня марки 100 и легкого раствора марки 15 не подтверждаются опытами.

В настоящее время автором статьи ведутся опыты по изучению прочности и деформационных свойств кладки мидис в зависимости от изменения прочности раствора и ширины постелей камня, а также рекогносцировочные опыты по изучению кладки из естественных камней правильной формы, полученные механической обработкой. Автор выражает благодарность канд. техн. наук В. В. Пинаджяну за ценные указания, данные ему при выполнении настоящей работы.

Институт Строительных Материалов и Сооружений
Академии Наук Армянской ССР.

Поступило 8 VII 1950

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Акопов А. А., Акопов Р. В., Касьян М. В., Тер-Азарьев И. А. — Механическая обработка камня резанием. Отчет. АИС, 1950.
2. Аракелян А. А. — Проектирование состава раствора на базе местных материалов. Отчет. АИС, 1949.
3. Агагорцян Э. А. — Армирование туфовой кладки. (Сб. докл. на Зак. конф. по строительству). Ереван, 1942.
4. И-5-49. АИС. — Инструкция по применению кладки мидис в сейсмических районах Армянской ССР. Ереван, 1949.
5. И-7-49. МСПТИ — Нормы проектирования каменных конструкций. Москва, 1949.
6. Ошницкий Л. И. — Прочность и устойчивость каменных конструкций. Москва, 1937.
7. Седракян Л. Г. — Исследование физ.-мех. свойств естественных камней Арм. ССР. Отчет. АИС, 1949.
8. Степанян В. А. — Нормальное сцепление раствора с камнем при применении туфового песка. Отчет. АИС, 1950.
9. У-57-43. Наркомстрой — Указания по проектированию и применению каменных и армокаменных конструкций. Москва, 1943.
10. Чураян А. Л. — Исследование сейсмостойкости кладки облицовочными рядами. Тр. бюро зитисейсм. строительства АН Груз. ССР. Тбилиси, 1945.
11. Шагинян С. А. — Экспериментальное исследование прочности и деформационных свойств кладки мидис. Отчет. АИС, 1950.

Ս. Ս. Շահինյան

ՄԻԴԻՍ ՇԱՐՎԱԾՔԻ ՓՈՐՁՆԱԿԱՆ ՀԵՏԱԶՈՏՈՒՄԸ

Ա Մ Փ Ո Փ Ո Ւ Մ

Անդրկովկասի արդյունաբերական և քաղաքացիական շինարարություններում միգրիս անվան տակ լայն կիրառում ունեն հոսանքային շարվածքները: Մինչև հիմա բացակայում են այդ տիպի շարվածքների կրողունակութունը և ղեկորմացիոն հատկությունները հիմնավորվող փորձնական ավյալները: Աշխատանքում բերված են 16 նմուշների ($50 \times 70 \times 125$ սմ) վրա կատարած փորձնական հետազոտությունների արդյունքները: Պարզված է, որ սեղմման ժամանակ լայնադիր քարեր ունեցող միգրիս շարվածքի կրողունակութունը «15» մարկայի շաղախի դեպքում հավասար է լայնադիր քարեր չունեցող միգրիս կրողունակությանը: Փորձերը ցույց են տալիս, որ «15» մարկայի շաղախ ունեցող միգրիս շարվածքի առաձգականության գործակիցները 1,5—2 անգամ ավելի են «Մ-57-43»-ով սրված գործակիցներից: Պարզվել է, որ քարի շարվածքի առաձգականության մոդուլը որոշելու համար արված է. Ի. Օնիշչիկի բանաձևը ճիշտ է նաև միգրիս շարվածքի համար: