

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

А. А. Аракелян и Е. А. Инджикян

Определение прочности пористого камня по скорости капиллярной всасываемости

Прочность строительного камня является существенным фактором для прочности каменной конструкции.

Для определения прочности каменной конструкции на сжатие имеется ряд эмпирических формул: формула Л. И. Онищика [1] для кирпичной кладки, формула А. А. Шишкина [2] для кладок из естественных камней, формула для мидисовой кладки [3] и другие. Эти формулы показывают, что прочность каменной конструкции в сильной степени зависит от прочности камня. В последнее время в Институте Строительных материалов и Сооружений Академии Наук Армянской ССР выведены формулы для определения прочности бетонобетона [3, 4] и туфобетона [5], с учетом прочности крупного заполнителя.

Необходимость знания прочности строительных камней вызывается также рядом других соображений, возникающих на практике. Однако, непосредственное определение прочности камня или крупного заполнителя связано с необходимостью изготовления соответствующих кубиков и их испытания на раздавливание, что не всегда возможно легко осуществить. Чтобы обойти это затруднение, некоторые авторы предлагают определить прочность камня „R“ косвенным путем: по его объемному весу „γ“ или полной водопоглощаемости „w“. Так, например, проф. А. К. Беруля [6], на основе лабораторных испытаний, установлены следующие зависимости между „R“ и „γ“:

$$R_{сж} = \frac{68 \gamma}{2,7 - \gamma} \quad \text{для песчаника} \quad (1)$$

$$R_{сж} = \frac{56 \gamma}{2,8 - \gamma} \quad \text{для известняка.} \quad (2)$$

По опытам строительства Дворца Советов установлена [7] зависимость между „γ“ и „w“ для известняков:

$$R_{сж} = \frac{300(\gamma - 1,6)}{2,850 - \gamma} \quad (3)$$

$$R_{сж} = 50 + \frac{1500}{w} \quad (4)$$

Проф. М. Н. Ельчанинов [8], на основе значительного количества экспериментальных данных, установил эмпирическую зависимость между $R_{сж}$ и γ для известняков:

$$R_{сж} = \frac{300(\gamma - 1,05)}{3,15 - \gamma} \quad (5)$$

Кандидатом тех. наук А. А. Аракеляном [4] получена эмпирическая зависимость между $R_{сж}$, γ и w для туфового камня:

$$R_{сж} = \frac{132(\gamma - 1)}{2,52 - \gamma} \quad (6)$$

или
$$R_{сж} = \frac{52(50 - w)}{3,2 + w} \quad (7)$$

а кандидатом техн. наук С. А. Шагиняном [9] и В. М. Худавердяном [5] установлены также зависимости между $R_{сж}$, γ и w для вулканического и арктического туфов.

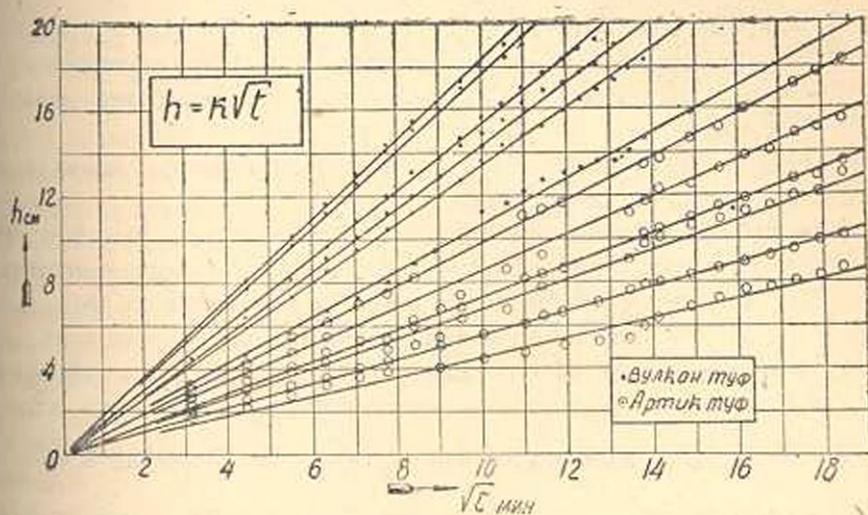
При подробном рассмотрении всех этих формул и кривых обнаруживается значительное рассеивание экспериментальных точек. «Иногда это рассеивание, — пишет В. М. Худавердян [5], — заходит так далеко, что затуманивает и совершенно скрывает из вида зависимость между прочностью камня и его физическим свойством» (т. е. объемным весом и водопоглощаемостью). Такое рассеивание экспериментальных точек говорит об отсутствии подобной, более или менее четкой зависимости между прочностью камня и его объемным весом или водопоглощаемостью (см. табл. 3 и 4).

Проф. Беруля, после безрезультатных попыток установления подобных зависимостей для гранитов и гранитогнейсов, пишет: «Исследование зависимости между объемным весом и сопротивлением раздавливанию для гранита и гранитогнейса привело к выводу об отсутствии какой-либо заметной связи». Поэтому существующие формулы и кривые для определения прочности камня по γ и w дают сугубо приближенные результаты, и они, при теперешней стадии развития научно-исследовательской работы в области каменных конструкций, не могут быть применены.

В целях получения более точного решения вопроса определения прочности камня косвенным путем мы в Институте Строительных Материалов и Сооружений АН Арм. ССР провели экспериментальную работу над туфовыми камнями, сущность которой излагается ниже.

При соприкосновении со смачивающими жидкостями в пористых материалах возникают капиллярные силы, заставляющие жидкость двигаться по этим капиллярам. Проведенные над туфовыми камнями экспериментальные работы выявляют строго выраженную закономерность скорости движения воды по капиллярам для каждо-

го камня в отдельности при их соприкосновении даже с растворами [3]. На фигуре 1 показаны результаты наших опытов по установлению закона движения воды по капиллярам туфовых камней при их соприкосновении с водой. Эти опыты показывают, что подъем воды по капиллярам, как функция от квадратного корня времени, для каждого камня в отдельности выражается прямой линией. В таблице 1 приведены значения тангенсов углов наклона этих прямых.



Фиг. 1.

Таблица 1

Обычный туф		Арктический туф	
№ № пл.	К в см/мин.	№ № пл.	К в см/мин.
1	1,820	1	0,980
2	1,771	2	0,850
3	1,534	3	0,728
4	1,426	4	0,685
5	1,336	5	0,564
6	1,049	6	0,401

Прямые, соответствующие вулканическим туфам, идут выше прямых, соответствующих арктическим туфам. Это логично, так как прочность обычных вулканических туфов выше прочности арктического туфа. Отклонения экспериментальных точек от прямой у арктического туфа больше, чем у вулканического. Это понятно, т. к. структура вулканических туфов более однородна. Каждому камню

соответствует своя прямая зависимости между „ h “ и „ \sqrt{t} “ (см. табл. 1), угол наклона которой определяется, повидимому, структурными особенностями данного материала. Таким образом, закономерность движения воды по капиллярам туфового камня может быть выражена, с достаточной для рассматриваемых целей степенью точности, простой формулой:

$$h = k\sqrt{t} \quad (8)$$

где h — высота поднятия воды в см,

t — время в минутах,

k — постоянный коэффициент скорости капиллярной всасываемости, зависящий от структурных особенностей данного камня.

Вопросом установления закона движения воды по капиллярам занимались многие исследователи.

Для проверки закона капиллярной всасываемости, выраженного формулой (8), проф. Философовым [10] проведена экспериментальная работа над четырьмя видами камней (в том числе и арктиским туфом) и выведен для каждого вида камня средний коэффициент „ K “. Между тем, как показывают наши опыты (таблица 1), коэффициент „ K “ для туфов (в зависимости от их структуры) колеблется в больших пределах. Определение коэффициента „ K “ по формуле $k = \frac{h}{\sqrt{t}}$

возможно чрезвычайно легко на любом строительстве и не требует специальных приспособлений. Сухой камень грубой тески любой величины, имеющий форму призмы, цилиндра или параллелепипеда слегка (на 1 см) погружается в воду или приводится в соприкосновение с поверхностью воды. Обеспечив постоянство уровня воды или соприкосновения камня с водой, измеряется высота „ h “ поднятия воды по камню через каждые определенные промежутки времени „ t “. Высота поднятия воды легко наблюдается по разнице в цвете промокшей части камня по сравнению с сухой частью. Если вода по камню поднимается неравномерно, что может иметь место при неоднородной структуре камня, то за „ h “ принимается среднее арифметическое из максимальной и минимальной величин. Имея „ h “ и „ t “, легко определить „ k “ — коэффициент скорости капиллярной всасываемости по формуле (8).

Практически можно рекомендовать производить измерение подъема воды за 25 мин. для арктического туфа и за 16 мин. для обычных вулканических туфов. При этом определение „ k “ упрощается:

$$\text{при } t = 25 \quad k = \frac{h}{5} \quad \text{и при } t = 16 \quad k = \frac{h}{4}$$

Необходимо, разумеется, иметь в виду, что формула (8), как и всякая эмпирически полученная закономерность, верна лишь в определенных пределах. В частности, при „ h “, — достаточно близкой к „ h “_{max}, соответствующей состоянию равновесия капиллярных сил и веса во-

ды в капиллярах, эта формула не применима. Однако, это ограничение не имеет значения с точки зрения приведенного выше практического применения формулы (8) с целью определения прочности камня по значению коэффициента „k“.

Выше было сказано, что коэффициент скорости капиллярной впитываемости „k“ определяется структурными особенностями данного камня. С другой стороны, известно, что прочность камня в сильной степени зависит от его структуры. Поэтому, предположение о существовании зависимости между прочностью камня и его коэффициентом скорости капиллярной впитываемости является вполне логичным. Для установления этой зависимости нами были изготовлены кубики размерами в ребре 5,5—7 см из вулканических и арктических туфовых камней. Коэффициент „k“ для каждого отдельного кубика определялся 3 раза, причем каждый раз кубики предварительно высушивались. Значение „k“ бралось как среднее из трех.* После определения коэффициента „k“ кубики высушивались и испытывались на раздавливание. На основании полученных экспериментальных данных нами составлены графики зависимости между „R_{сж}“ и „k“ (фиг. 2 и 3).

Подсчеты показывают, что эта зависимость может быть выражена с достаточной для практики точностью формулой:

$$\frac{1}{R} = ak + b \quad (9)$$

На основании приведенных экспериментальных данных, способом наименьших квадратов, получены значения коэффициентов „a“ и „b“. Для вулканического туфа:

$$a = 0,00777$$

$$b = -0,00496,$$

для арктического туфа:

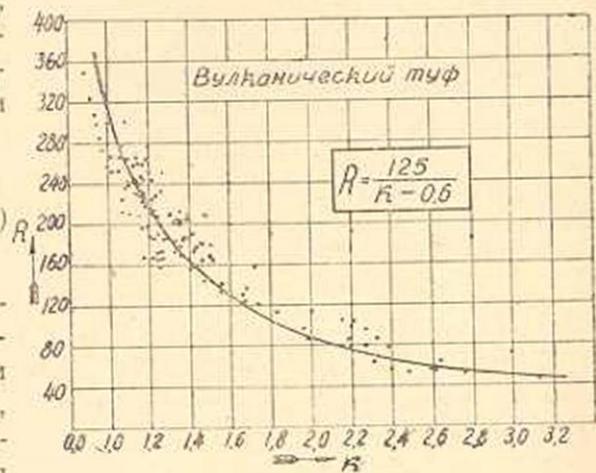
$$a = 0,01500$$

$$b = 0,00299.$$

Подстановкой этих значений в формулу (9) получим: для вулканического туфа:

$$R_{сж} = \frac{125}{k - 0,6} \quad (10)$$

* Кстати отметим, что среднее значение коэффициента „k“ очень мало отличается от величин отдельных измерений.

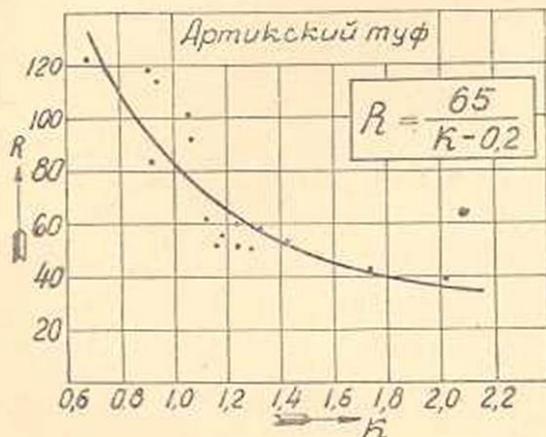


Фиг. 2.

для арктического туфа:

$$R_{сж} = \frac{65}{k - 0,2} \quad (11)$$

Чтобы наглядно показать, что для пористых камней зависимость (R, k) более закономерна, чем зависимости (R, γ) и (R, w) , нами вычислены средние квадратичные и средние арифметические отклонения экспериментальных величин прочности камня от величин, вычисленных по формулам (3, 6, 10 и 11) и по графикам кандидатов техн. наук Худавердяна и Шагиняна.



Фиг. 3.

Результаты этих вычислений приведены в таблицах 2, 3 и 4. Из этих таблиц видно существенное преимущество формул (10) и (11), дающих хорошие совпадения с опытными данными и подтверждающих существование закономерной связи между „ $R_{сж}$ и „ k “.

Полученные средние квадратичные отклонения по формулам (10) и (11) $\pm 16\%$ (табл. 2) в 3 раза меньше, чем отклонения, полученные по существующим до сего времени формулам и графикам.

Выводы

1. Между прочностью на сжатие „ $R_{сж}$ “ туфовых камней и коэффициентом скорости капиллярной впитываемости „ k “ существует закономерная связь.

Прочность камня можно определить быстро и достаточно точно с помощью выведенных нами формул (10) и (11) на любой стройке, без какого-либо оборудования и особых приспособлений.

2. Следует предположить, что подобную закономерную связь можно установить и для всех искусственных и естественных камней, обладающих свойством капиллярной впитываемости. После установления зависимости „ $R_{сж}$ “ и „ k “ для всех пористых материалов облегчится определение их прочности в лабораторных и построечных условиях составлением соответствующих стандартов на них.

Коэффициенты в формулах (10) и (11) в дальнейшем могут быть уточнены по накоплению новых опытных данных. Специальными опытами может быть установлена связь между коэффициентом „ k “ и другими физическими свойствами камня, помимо прочности,

ЛИТЕРАТУРА

1. *Онищик Л. И.*—Прочность и устойчивость каменных конструкций. 1937. Москва—Ленинград.
2. *Шашкин А. А.*—Прочность кладок из естественных камней по экспериментальным данным. 1938. Москва.
3. *Аракелян А. А.*—Опыт применения азийского цемента в кладке. Диссертация. 1948. Ереван.
4. *Аракелян А. А.*—Некоторые физико-механические свойства кладки из бутораствора на туфовых заполнителях. Изв. АН Арм. ССР № 6, 1948.
5. *Худавердян В. М.*—Применение туфо-бетонов в строительстве. Диссертация. 1947. Ереван.
6. *Беруля А. К.*—Установление связи между физическими и техническими свойствами естественных каменных материалов. Строительные материалы, № 8, 1934.
7. Проект стандарта на полевой метод испытания буттового камня. Строительная промышленность, № 2, 1939.
8. *Ельчанинов М. Н.*—О зависимости между механической прочностью и объемным весом известняка. Строительная промышленность, № 11, 1940.
9. *Шагинян С. А.*—Опытное исследование преднапряженных армокаменных балок из туфовых блоков. Изв. АН Арм. ССР, № 4, 1948.
10. *Философов П. П.*—Исследование капиллярной впитываемости строительных материалов. Строительные материалы, № 6, 1937.

Հ. Ա. Առաքելյան եւ Ե. Ա. Ինձիկյան

ԾԱԿՈՏԿԵՆ ՔԱՐԻ ԱՄՐՈՒԹՅԱՆ ՈՐՈՇՈՒՄԸ ԿԱՊԻԼՅԱՐ ԾԾՈՂԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ԱՐԱԳՈՒԹՅԱՆ ՄԻՋՈՑՈՎ

Ա Մ Փ Ո Փ Ո Ւ Մ

Հողի ստույգ բերված են Հայկական ՍՍՏ Գիտությունների Ազգային Շինարարական Նյութերի և Կառուցվածքների Ինստիտուտում կատարված էքսպերիմենտալ աշխատանքների արդյունքները՝ կապիլյար ծծողականության արագության մասին քարի ամրությունը որոշելու վերաբերյալ:

Փորձնական ավյանների հիման վրա արված են բանաձևեր տեղական տուֆի և Արթիկի տուֆի ամրությունը կապիլյար ծծողականության արագությանից կախված, որոնք հետևյալ տեսքն ունեն՝

$$R = \frac{125}{k - 0,6} \quad \text{— տեղական տուֆի համար}$$

$$R = \frac{65}{k - 0,2} \quad \text{Արթիկի տուֆի համար,}$$

որտեղ՝ R -ը քարի սեղմման ժամանակվոր դիամետրությունն է կգ/սմ²-ով, k -ն՝ քարի կապիլյար ծծողականության արագության գործակիցը:

Քարի ամրութիւնն այդ բանաձևով որոշելու համար բաժանան է
 Իմանալէն, որ $r = \frac{h}{\sqrt{t}}$, որտեղ՝ h -ը—չոր քարի կապիլլարներով ծծված
 ջրի բարձրութիւնն է սմ-ով (հաշված ջրի մակերեսից), իսկ t -ն՝ ջրի բարձ-
 րացման անոդութիւնը րոպեներով: Այսպիսով, հոդածում արված մեթոդով
 հարաւոր է դասուում քարի ամրութիւնը հեշտութեամբ որոշելի ցանկա-
 ցած շինարարական օրեկանների պայմաններում: