

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Ф. Г. АРУТЮНЯН

ИССЛЕДОВАНИЕ ДАВЛЕНИЯ ЗАЩЕМЛЕННОГО ВОЗДУХА В ПОРИСТЫХ КАМЕННЫХ МАТЕРИАЛАХ И НОВЫЙ МЕТОД ЕГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ

1. Вводная часть

При соприкосновении с водой пористых каменных и других материалов, благодаря капиллярным силам, вода всасывается в их поры и капилляры и вытесняет из них находящийся там воздух. Явление это носит длительный характер и, в основном, зависит от эффективного диаметра пор и капилляров пористого тела. Немедленному и полному насыщению пористого тела водой в данном случае препятствует изолированная в нем от внешней среды защемленная часть воздуха.

Воздух, будучи гидрофобным и мало растворимым в воде веществом, в замкнутом состоянии, в пористых естественных и искусственных каменных материалах, как при обыкновенной, так и пониженных температурах, препятствует свободной миграции влаги в них. Учение о защемленном воздухе фактически только создается. В настоящее время имеются только отдельные, отрывочные высказывания о его влиянии на термодиффузию в глине и торфе [1], на процессы сушки капиллярно-пористых тел [2, 3], на влагосодержание грунтов, на качество обработки керамических масс [7] и т. д.

Будучи молодой областью науки, учение о защемленном воздухе только намечается и поэтому особенно нуждается в углублении, коренной разработке и теоретическом обобщении.

В этом направлении следует отметить прежде всего работу М. З. Симонова [4, 5], который, отрицая гипотезу об открытых и закрытых порах в каменных и бетонных материалах, прямыми опытами доказал, что неполное заполнение водой капилляров в указанных материалах объясняется образованием в них защемленного воздуха, и что давление защемленного воздуха не равно атмосферному. В своих экспериментах М. З. Симонов пользовался колбами В. В. Некрасова, примененными в свое время для определения контракции при твердении гидравлических вяжущих [6].

Определение давления защемленного воздуха в пористом заполнителе с помощью колб В. В. Некрасова производилось следующим образом. Бралась конусной формы стеклянная колба, емкостью 200—

еще и тем, что колба закрывалась после того, как пористый материал уже был намочен находящейся в ней водой, и вытесненная в начале эксперимента основная часть воздуха была утеряна. Указанное побудило нас предложить принципиально иной способ определения защемленного воздуха в гидрофильных пористых телах и для данной цели разработать и сконструировать новый прибор, в котором указанные недостатки колб В. В. Некрасова были устранены.

2. Описание нового прибора

В приборе нашей конструкции (см. рис. 1) определение давления защемленного воздуха производится следующим образом: развинчиванием болтов 3 с прибора снимается крышка 5, и высушенный и взвешанный образец 15 ставится на дно эмалированного сосуда 1. Образец 15 с помощью гонкой шелковой, или другой прочной нитки, подвязывается к крану 9, для чего нитка пропускается через отверстие этого крана и снаружи наматывается на него. Затем, на кран 9 надевается резиновая трубка 12, открывается кран 16 и поднятием склянки 14, сосуд 1 до уровня полного покрытия образца 15 заполняется ртутью, после чего кран 16 закрывается и прибор вновь собирается. После того, как прибор собран, вся система, включая стеклянные бюретки 6 и 11 полностью заполняется водой. Для заполнения бюретки 6 предварительно открывается кран 7 и бюретка 11 подымается вверх до тех пор, пока вода не начнет переливаться через кран 7, после чего кран 7 закрывается. Температура системы измеряется стеклянным термометром 18, вставленным в приваренное к крышке 5, металлическое гнездо 19. Эксперимент на собранной установке иногда длится от нескольких дней до нескольких недель, поэтому герметичность соединений ее отдельных узлов имеет весьма важное значение. Это на установке достигается резиновыми соединениями и резиновой прокладкой 4, зажимаемой болтами 3, между фланцами крышки 5 и сосуда 1. Герметичность на собранной установке проверяется длительным наблюдением за уровнем воды в бюретках 11 и 6. Убедившись в герметичности собранной установки, в журнале записей отмечается температура системы и уровень воды в бюретке 11, эксперимент начинается, поворачивается кран 9 и запускается хронометр.

Пробковый кран 9, через который пропущена поддерживающая под ртутью образец камня нитка, играет роль ножниц, так как поворотом крана 9 перерезается нитка, поддерживающая образец под ртутью и, вследствие разности удельных весов камень мгновенно всплывает на поверхность ртути и оказывается в водной среде. Поворотом крана 9 одновременно прерывается связь системы с баллоном ртути, и дальнейшие изменения объема системы отражаются только на показаниях бюретки 11, которая с внешней атмосферой сообщается через открытый конец.

Указанный прибор предотвращает потери воздуха из системы, позволяя с первых же секунд намокания камня одновременно определить количество впитанной в него воды и вытесненного из него воздуха, что достигается записью показаний двух бюреток—воды 11 и воздуха 6, на что требуется 10—12 секунд времени.

Во избежание искажений показаний бюреток 11 и 6, уровень воды в них всегда должен поддерживаться на одинаковой высоте. Вытесненный из камня воздух, благодаря конусообразной форме крышки 5, целиком собирается в бюретке 6, вследствие чего уровень воды в ней постепенно опускается. Если бы вода входила в камень в объеме равном объему вытесненного из камня воздуха, то в сообщающейся бюретке 11 уровень воды должен был оставаться на прежней высоте. Однако, как показал эксперимент, уровень воды в бюретке 11 также начинает опускаться, хотя выделившийся воздух целиком собирается только в бюретке 6. Это означает, что из пористой породы воздух вытесняется в меньшем объеме, чем насыщающаяся туда вода, т. е. отношение объема воды, пошедшей в камень к объему вытесненного из камня воздуха больше единицы ($\frac{B}{I} > 1$). Из экспериментов вытекает, что зацементированный воздух в образце сжимается, что приводит к появлению избыточного давления.

3. Изучение зацементированного воздуха в каменных материалах при помощи нового аппарата

Для определения давления зацементированного воздуха нами были сняты характеристики фельзитовых туфов Калачинского, Туманянского и Цатерского месторождений и, для сравнения, вулканического туфа Аринджского месторождения, арктического туфа и литонидной пемзы. Всего исследовано шесть разновидностей камней. Испытанные образцы имели правильную геометрическую форму цилиндров ($d=50$, $h=50$ мм). Образцы перед испытанием были тщательно очищены от пыли, промыты в струе проточной воды и все вместе одновременно высушены в сушильном шкафу при температуре $110 \pm 5^\circ\text{C}$. Для создания идентичных условий испытаний, все шесть разновидностей камней испытывались одновременно, для чего была собрана батарея, состоящая из шести аппаратов. Температура помещения, где производились испытания в течение всего эксперимента, поддерживалась в пределах $24,5 \pm 0,5^\circ\text{C}$, чему способствовали умеренный летний климат и расположение лаборатории в подвальном помещении.

Результаты изучения зацементированного воздуха указанных образцов приводятся в таблице 1. В ней для каждой разновидности камня приводятся по два значения. На первой строчке показаны данные, соответствующие первой равновесной точке, а на второй — данные конечной равновесной точки, когда образец извлекался из аппарата. Как видно из таблицы 1, эксперимент для отдельных разновидностей

Величины давления защемленного воздуха для изученных видов пористых каменных материалов

Таблица 1

Наименование породы	Пористость, %	Объем пор образца, мл (P)	Продолжительность намокания, дни	Объем всосавшейся по образцу воды, мл (W)	Объем вытесненного из образца воздуха при обыкновенном давлении (B) мл	Заполнение пор образцом водой, %	Объем оставшегося в образце воздуха, мл		Давление защемленного воздуха, атм	Насыщение этих же камней водой по времени (определено взвешиванием)	
							при обыкновенном давлении P-B	в сжатом состоянии P-W		продолжит намокания, дни	заполнение пор водой, %
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Цатерский фельзитовый туф	25,5	31,15	1 13	28,5 28,8	22,0 22,1	91,5 92,5	9,15 9,05	2,65 2,35	3,45 3,84	43	96,8
Гуманянский фельзитовый туф	22,1	28,71	7	26,6	19,5	92,6	9,2	2,11	4,35	43	95,4
Калачинский фельзитовый туф	32,0	30,62	15 19	25,3 26,60	20,4 22,6	82,5 87,0	10,22 8,02	5,32 3,93	1,92 2,04	164	100
Ариндский вулканический туф	30,0	28,70	0,83 19	20,5 22,94	16,1 17,3	71,5 80,0	12,6 11,4	8,2 5,76	1,54 1,98	328	97,2
Артикский туф	37,3	35,05	12 16	23,4 23,7	16,5 17,1	66,8 67,7	18,55 17,95	11,65 11,35	1,59 1,58	360	99,5
Литондская пемза	41,8	38,74	2,62 36	16,84 19,02	3,5 4,88	43,4 49,2	35,24 33,86	21,9 19,72	1,6 1,7	360	70

камней длился от 7 до 36 дней, после чего образцы были вынуты из приборов и взвешены. Взвешивание производилось с целью проверки точности показаний бюреток, причем всегда получалось точное совпадение данных количества впитавшейся в камень воды, измеряемого по бюреткам и получаемого взвешиванием. Извлеченные из аппаратов камни, после контрольного взвешивания были положены в воду для определения дальнейшего хода водонасыщения во времени. что производилось общепринятым методом (взвешиванием).

Подсчет давления заземленного воздуха по данным таблицы 1 производим следующим образом. После вытеснения части воздуха приведенной к обыкновенному давлению (столб. 8) будет равен разности общего объема пор камня P (ст. 3), и объема ушедшей из системы части воздуха B (ст. 6). В сжатом, заземленном состоянии объем его будет равен разности общего объема пор P и объема впитавшейся в камень воды W (ст. 5). По закону Бойля-Мариота в изотермическом процессе уменьшение объема приводит к увеличению его давления и, наоборот. Для получения давления заземленного воздуха D (ст. 10), необходимо получить отношение, показывающее во сколько раз объем изолированной части воздуха $P-B$ уменьшается в результате сжатия ($P-W$)

$$D = \frac{P-B}{P-W} \cdot \text{ата.} \quad (1)$$

Это отношение выражает значение абсолютного давления заземленного воздуха (ата). При желании выразить его в виде избыточного давления (ати), необходимо из значений абсолютного давления (ата) отнять значение барометрического давления. Результаты подсчета значения давления заземленного воздуха, полученные указанным выше способом, приводятся в столбце 10 (табл. 1).

Эти данные показывают, что значение давления заземленного воздуха у фельзитовых туфов почти вдвое больше, чем у остальных разновидностей изученных камней и колеблется в пределах от 2.04 до 4.35 ата.

4. Гипотеза о продолжительности существования заземленного воздуха в капиллярно-пористых материалах

Из таблицы 1 следует, что у фельзитовых туфов значения давлений заземленного воздуха для более короткого периода водонасыщения выше, чем для других пород при более продолжительном водонасыщении. Затем, заполнение пор образцов при повышенном значении давления заземленного воздуха выше, чем при пониженном давлении. Иначе говоря, высокому значению давления заземленного воздуха соответствует быстрое удаление из системы газовой фазы, и относительно быстрое насыщение пород водой. Из столбца 11 таблицы 1 видно, что пористые каменные породы при продолжительном

хранении под водой в конечном итоге полностью насыщаются водой. Причем фельзитовые туфы с высоким значением избыточного давления заземленного воздуха полностью насыщаются за 2—5 месяцев, а другие породы с относительно низким избыточным давлением—за более продолжительные сроки. Так, ариджский туф за 12 месяцев, аргилеский туф за 13 месяцев, а литондская пемза за еще более продолжительный срок. Из сказанного вытекает, что наличие в камнях хотя бы небольшого избыточного давления заземленного воздуха в конечном итоге приводит к полному их водонасыщению во времени. Процесс образования избыточного давления и механизм удаления воздуха из системы можно осветить следующим образом. При намокании гидрофильных пористых каменных материалов, благодаря отрицательному капиллярному давлению, вода, насыщаясь в их поры и капилляры, начинает вытеснять из них воздух. После свободного ухода части воздуха, другая часть изолируется в камне. Если капиллярные силы велики и дальше могут отжать воду и камень, то в изолированной части воздуха может возникнуть избыточное давление, воздух зажимается. Избыточное давление заземленного воздуха в дальнейшем приведет к дополнительной растворимости газов в скелете камня (закон Генри), к появлению градиента концентрации и диффузии (закон Фика). Иначе говоря, при наличии избыточного давления, зажатый воздух, растворяясь и диффундируя через заполненные водой поры и капилляры, постепенно, но целиком уйдет из камня, уступив свое место воде. Камень во времени полностью насытится водой, медленно, но окончательно. Следует особенно подчеркнуть, что *повышенное избыточное давление заземленного воздуха приводит к быстрому удалению из системы газовой фазы*, что обусловлено повышенной растворимостью газов, высоким градиентом концентрации и ускоренной диффузией. Это основной вывод нашей работы и его мы выдвигаем в качестве гипотезы. Это позволяет нам сделать и другие выводы, а именно:

а) повышенное давление заземленного воздуха может возникнуть у тел с относительно меньшим эффективным диаметром пор и капилляров, т. е. у тел мелкопористых, которые насытятся быстрее крупнопористых;

б) растворимость кислорода в воде больше растворимости азота, поэтому зажатый воздух в скелете камня со временем должен обогащаться азотом. Анализ газов в этом случае может служить мерой степени сжатия газов в камне и размеров пор и капилляров последнего. Наблюдения показали, что зажатый воздух из камня уходит вначале крупными, а затем мелкими пузырьками не равномерно, а рывками, что должно соответствовать отдельным фракциям пор и капилляров камня. Последние рассуждения показывают, что более глубокое изучение зажатого воздуха позволит вывести также и закономерности структурного характера камней, увязав их со значениями избыточного давления.

Ныне господствует представление о вечном сосуществовании жидкой и газовой фаз в капиллярно-пористых гидрофильных телах. С этой целью предложены коэффициенты насыщения, морозостойкости (в керамике), понятие о „открытых“ и „закрытых“ порах и т. д. Не трудно убедиться, что с точки зрения иного подхода, все указанное для изученных нами камней является необоснованным. Сказанное подтверждается и тем, что при вакуумировании все капилляры каменных материалов полностью насыщаются водой.

Причина улучшения качества вылеживающейся керамической пластичной массы пока не объяснена [7]. Она очень просто объяснима выдвинутой нами гипотезой. В увлажненной керамической пластичной массе воздух находится в защемленном состоянии под избыточным давлением и по своему химическому составу несколько отличается от обыкновенного. При продолжительном вылеживании массы, защемленный воздух постепенно уходит из системы диффузией, а уход гидрофобного воздуха улучшает качество массы.

С точки зрения выдвинутой нами гипотезы, вакуумирование мелкопористой керамической массы и свежесформованного бетона должно повышать степень их водонасыщения. Иначе говоря, вода еще глубже должна вглубь входить в поры и капилляры камня, а воздух должен уходить оттуда путем диффузии. Но, с другой стороны, вода может быть и отжата из крупных пор и капилляров, если капиллярное давление окажется меньше силы, создаваемой разрежением. Низкая морозостойкость мелкопористых тел, по сравнению с крупнопористыми, также должна быть объяснена с точки зрения влияния защемленного воздуха, ибо в мелкопористых телах давление защемленного воздуха относительно высокое и он быстро удаляется из системы и поэтому морозостойкость камней уменьшается. Временное или окончательное снижение водопоглощения и повышение морозостойкости гидрофобированного бетона, строительного кирпича [8] и др. материалов, также можно объяснить с точки зрения этой гипотезы. Если воздух в пористом камне заменить аммиаком или другим, более растворимым в воде газом, чем воздух, что можно осуществить непродолжительным продуванием камня аммиаком, то эффект защемления в процессе водонасыщения можно свести к нулю. В заключение надо подчеркнуть необходимость дальнейшего глубокого исследования состояния и поведения защемленного воздуха в пористых материалах вообще.

Институт стройматериалов и сооружений

Министерства строительства

Армянской ССР

Поступило 20 X 1957

Ֆ. Գ. ՀԱՐՈՒԹՅՈՒՆՈՒՆ

ԾԱԿՈՏԿԵՆ ՔԱՐԱՆՅՈՒԹԵՐՈՒՄ ՄԵԿՈՒՍԱՅՎԱԾ ՕԳԻ ԶՆՇՄԱՆ
ՄՍՈՒՄՆԱՍԻՐՈՒԹՅՈՒՆԸ ԵՎ ԱՅԴ ԶՆՇՄԱՆ ՄԵՍՈՒԹՅՈՒՆԸ
ՈՐՈՇԵԼՈՒ ՆՈՐ ՄԵԹՈԴԸ

Ա. Մ. Գ. Ս. Ի. Ռ. Մ.

Մակուտկեն շինարարական քարերը թրջելիս նրանց մեջ հղած ոգի մի մասը անընդհատ ներթափանցող ջրով արտաքին միջավայրից մեկուսանում և սկզբում քարից հեռանալ չի կարողանում: Մարի նկատում ալդ ոգի մեջ սուս է գալիս հալելիս ճնշում:

Մեր կողմից հայտնադրված և պատրաստված է մի սարք, որը հնարավորություն է տալիս որոշել ալդ մեկուսացված ոգի րացարձակ ճնշումը, որից հանելով բարոմետրիկ ճնշումը ստանում ենք հալելիս ճնշումը:

Երբ սարքի օդնութվամբ մի քանի շինարարական քարերի համար որոշված են րացարձակ ճնշման հետևյալ արժեքները՝

Թումանյանի ֆելդիտային տուֆի համար	4,35 առ.
Ծաթերի	3,81 »
Ղալաչալի	2,04 »
Ասինջի սովորական	1,98 »
Արթիկ տուֆի	1,58 »
Լիսոփղային պեմզալի	1,60 »

Փորձերը ցույց տվեցին, որ բարձր հալելիս ճնշմանը համապատասխանում է ոգի համեմատաբար արագ հեռացում և քարերի ջրով լրիվ և րաց հագեցում: Ֆելդիտային տուֆերը ջրով լրիվ հագեցում են 2—3 ամսում, Ասինջի տուֆը՝ 12 ամսում, Արթիկի տուֆը՝ 13 ամսում, իսկ լիսոփղային պեմզան՝ ալելի ուշ:

Ստացված արդյունքները հնարավորություն տվեցին առաջարկել մի նոր հիպոթեզ, ըստ որի քարի ներսում ոգի հալելիս ճնշման սովորության զեպրում, մեծանում է նրա լուծելիությունը ճնշված ոգի և ջրի կոնսակում, առաջանում է կոնցենտրացիաների տարբերություն և ողը, լուծված վիճակում ջրով լցված մաղական խողովակներով գիֆուպիալով քարի ներսից հեռանում է, պիլելով իր տեղը ջրին:

Առաջարկված հիպոթեզը բացատրում է տեխնիկայի մի շարք չլուծված հարցերը, ինչպես որինակ՝ մանրածավալուն լոնական և արհեստական քարերի ցածր ցրտակալունությունը, կերամիկական թաց մասսալի որակի բարձրացումը երկարատև պահելիս, ջրի միգրացիայի և լույս կուսակման ու զալիս ֆազի փոխարարելիան, ինչպես նաև հիդրոֆորիզացման հարցերը: Ըստ ալդ հիպոթեզի, քարում մեկուսացված և հալելիս ճնշման տակ գտնվող յոթ արտաքին ոգի հետ համեմատած պետք է հարաապատ լինի ազդանով, և ալն:

ЛИТЕРАТУРА

1. Наседкин Н. А., Покровский Г. И. О термозафузии в глине и горфе. Журн. Технической физики, т. 9, 1515, 1939.
2. Лыков А. В. Теория сушки. М.—Л., 1957.
3. Лыков А. В. Явления переноса в капиллярно-пористых телах. ГИИТЛ, М., 1954.
4. Симонов М. Э. Самовакуумирование легкого бетона. Известия АН АрмССР, т. VII, № 5, 67—69, Ереван, 1954.
5. Симонов М. Э. Бетон и железобетон на пористых заполнителях. М., 1955.
6. Некрасов В. В. Изменение объема системы при твердении гидравлических вяжущих. Известия АН СССР, № 6, 1945.
7. Бутт Ю. М., Дудероф Г. Н., Матвейев А. А. Общая технология силикатов. М., 1950.
8. Жигалкович В. Ф., Штады В. В. Изменение водопоглощения и морозостойкости строительного кирпича при нанесении на него кремнеорганических соединений. Сборник научных работ, вып. V, НИИ стройматериалов МПСМ, Минск, 1957.