

6
А-63

МИНИСТЕРСТВО ЭНЕРГЕТИКИ И ЭЛЕКТРОФИКАЦИИ
СССР ГЛАВНИИПРОЕКТ

ГРУЗИНСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
ЭНЕРГЕТИКИ И ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ
(ГрузНИИЭГС)

На правах рукописи

Х. С. ЧИКОВАНИ

ПОРИСТАЯ СТРУКТУРА ЦЕМЕНТНОГО КАМНЯ
И ЕЕ СВЯЗЬ С ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ФАКТОРАМИ

(05.484. Строительные материалы, детали и изделия)

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Тбилиси
1971 год

71-4
22361

МИНИСТЕРСТВО ЭНЕРГЕТИКИ И ЭЛЕКТРОФИКАЦИИ СССР
Г Л А В Н Ы Й П Р О Е К Т
ГРУЗИНСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
ЭНЕРГЕТИКИ И ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ
(ГрузНИИЭТО)

На правах рукописи

Х.С. ЧИКОВАНИ

ПОРИСТАЯ СТРУКТУРА ЦЕМЕНТНОГО КАМНЯ И ЕЕ СВЯЗЬ
С ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ФАКТОРАМИ

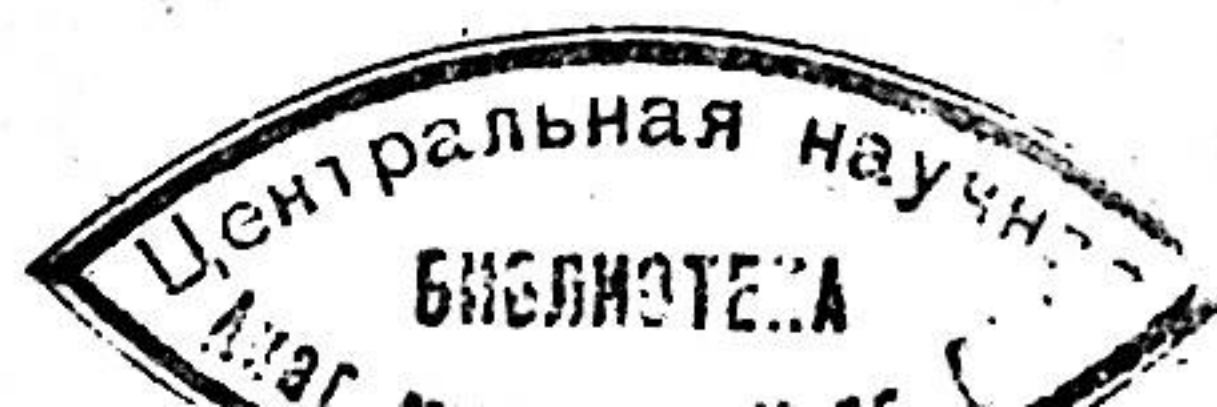
(05.484. Строительные материалы, детали и изделия)

А в т о р е ф е р а т

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Тбилиси

1971



3
Работа выполнена в Институте строительной механики и сейсмостойкости (ИСМиС) Академии наук Грузинской ССР

Научный руководитель - доктор техн. наук З.Н.ЦИЛОСАНИ

Официальные оппоненты:

Заслуженный деятель науки и техники Груз.ССР,
доктор техн. наук, проф. П.П.ЦУЛУКИДЗЕ

Кандидат техн. наук, доцент Ш.В.БУРЧУЛАДЗЕ

Ведущее предприятие - Тбилисский государственный научно-исследовательский институт строительных материалов Министерства промышленности строительных материалов СССР (ТбилГОСНИИСМ)

Автореферат разослан " " _____ 1971 г.

Защита состоится " " _____ 1971 г. в " " часов
на заседании Совета по присуждению ученых степеней ГрузНИИГО -
г.Тбилиси-16, ул. Ленина 70.

УЧЕНЫЙ СЕКРЕТАРЬ СОВЕТА
КАНД.ТЕХН.НАУК

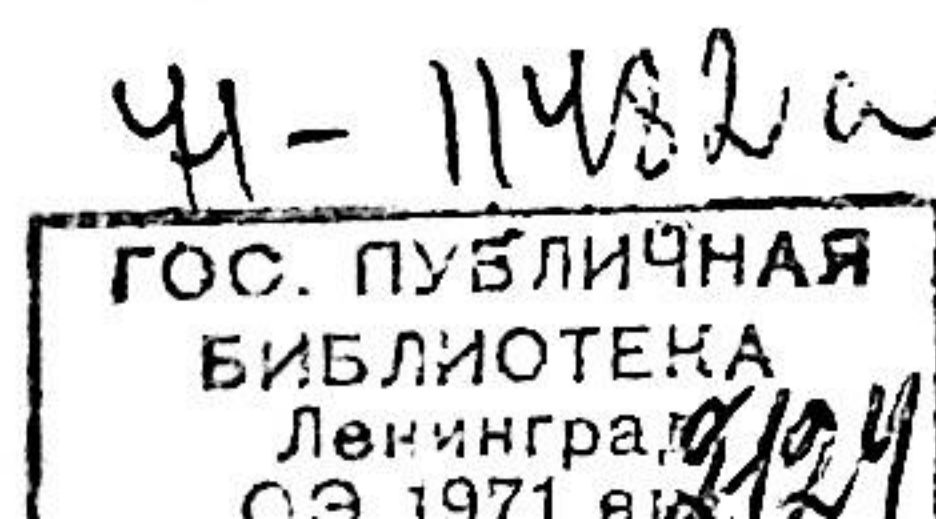
В.Н.БАСТАТЧИЙ

Создание бетона с желаемым сочетанием физических, прочностных и деформативных свойств является одной из важнейших задач науки о бетоне. Для решения этой задачи, с одной стороны, необходимо знать какова связь между особенностями строения структуры бетона и его свойствами (прочность, деформативность, стойкость, проницаемость и др.), а с другой, знать, как влияют те или иные факторы на процесс формирования структуры.

При большом разнообразии факторов, влияющих, как на формирование структуры бетона, так и на характер связи последней со свойствами бетона и невозможностью их полного охвата в пределах одной работы, была поставлена цель исследовать только влияние некоторых технологических факторов на особенности формирования пористой структуры цементного камня. Так, исследовано влияние на строение пористой структуры цементного камня минералогического состава цементного клинкера, водоцементного отношения, различных добавок, режима приготовления и хранения образцов, их возраста. Кроме того, в работе затрагивается и вопрос взаимосвязи между характером строения пористой структуры цементного камня и его свойствами - прочностью и проницаемостью.

Для выявления относительной роли отдельных факторов в суммарном эффекте влияния различных параметров на формирование пористой структуры цементного камня и вскрытия имеющейся взаимосвязи между изучаемыми явлениями были применены методы математической статистики. Предложены эмпирические зависимости, позволяющие расчетным путем определять параметры, характеризующие пористую структуру цементного камня - общую пористость и распределение пор по размерам.

Работа проводилась в Отделе физико-химической механики бетона Института строительной механики и сейсмостойкости АН Грузинской ССР в 1960-1969 годах.



Диссертация состоит из введения, трех глав, выводов, содержит 129 страниц, в том числе 12 таблиц, 20 рисунков, список использованной литературы из 140 наименований; к диссертации имеется приложение на 117 страницах (графики).

В первой главе описаны существующие методы исследования пористой структуры дисперсных тел и дается обзор работ по исследованию пористой структуры цементного камня.

С 1951 года в стране было начато координированное исследование пористой структуры дисперсных тел. Развитие сорбционной техники стимулировало широкое разрабатывание работ по исследованию адсорбентов и разработке методов измерения внутренних параметров пористого тела.

Благодаря исследованиям А.С.Беркмана, Г.И.Горчакова, Б.В.Дерягина, М.М.Дубинина, М.И.Думанского, И.И.Жукова, Ф.М.Иванова, Б.Э.Лейриха, А.В.Лыкова, И.Т.Мельниковой, О.П.Мчедлова-Петросяна, Т.Г.Плаченова, П.А.Робиндера, Е.К.Сегаловой, В.Л.Солицевой, В.В.Стольниковой, П.П.Ступаченко, Ю.В.Чеховского, А.Е.Шейкина и других, а также зарубежных исследователей Бауэра, Броунярда, Вайборна, Джекона, Пауэрса, Ренделя и других на сегодняшний день имеются, как разработанные для капиллярных пористых материалов методы по измерению пористости, так и конкретные данные по ним. Так как, многие строительные материалы по характеру структуры принадлежат к капиллярно-пористым телам, то естественно, что методы, используемые в сорбционной технике при исследовании адсорбентов, можно применять и для цемента, раствора, бетона, кирпича и ряда других строительных материалов.

В основном, для изучения пористой структуры дисперсных тел и

адсорбентов применяются следующие методы: рентгеновский и электро-микроскопический, сорбционный, определение удельной поверхности (Б.Э.Т.) и ртутной порометрии.

В настоящее время, по большинству вопросов влияния различных параметров на структурную пористость цементного камня нет общего мнения, нет единой и общепринятой методики и в проведении эксперимента для всестороннего изучения структурной пористости цементного камня и бетона.

В реферируемой работе структура цементного камня изучалась с использованием методов капиллярной конденсации и ртутной порометрии. Выбор этих методов был обусловлен тем, что они в большей степени отвечали поставленной в исследовании задачи.

Во второй главе дается характеристика использованных материалов, описание техники проведенных экспериментальных работ, а также анализ полученных результатов.

Для установления влияния минералогического состава цемента на пористую структуру цементного камня были использованы пять различных по минералогическому составу цементов: два портландцемента Каопского завода, Араратский портландцемент, Таузский белый портландцемент и Руставский шлакопортландцемент. Это позволило охватить следующие диапазоны изменения процентного содержания основных клинкерных минералов: C_3S -33-60%, C_2S -12-34%, C_3A -7-15% и C_4AF -2-27%.

Изученные варианты водоцементного отношения: вода, необходимая для затворения теста нормальной густоты, (соответственно, для каждого цемента), 0,35; 0,40; 0,45; 0,50, т.е. охватывался весь используемый на практике диапазон. Образцы испытывались 3, 7, 28 и 90 суток.

Часть образцов готовилась из цементной пасты, которая подвергалась виброактивации при помощи электродинамического вибратора. Частота виброактивации изменялась от 50 до 2400 герц.

Добавки применялись следующие: сульфитно-спиртовая барда (ССБ) $-0.1 + 0.2\%$; 20% молотого кварцевого песка; 0.2% ССБ и 20% молотого кварцевого песка совместно; кальций хлористый $- 2\%$ и 0.2% ССБ совместно, кальций хлористый 2% и мылонафт 0.01% и 0.02%. Дозировку добавок производили от веса цемента.

Режим твердения образцов: нормальные условия, твердение в среде CO_2 , пропарка и автоклавирование при 8 атм.

В намеченные сроки все образцы испытывались на сжатие (по три образца-близнеца на точку); определялись удельные и объемные веса, процент гидратации по карбонизации и по связанной воде, процент карбонизации, гигроскопическая и связанная вода. Параллельно отбирались пробы для изучения пористой структуры цементного камня.

Пористая структура цементного камня изучалась: общая пористость - пикнометрическим методом, распределение пор и их объемы - методом капиллярной конденсации и ртутной порометрии, а для установления характера связи между строением пористой структуры цементного камня и его проницаемостью были изучены коэффициент паропроницаемости и условная сквозная пористость.

Метод капиллярной конденсации дал возможность изучить первоначальную пористую структуру цементного камня. Так как образцы цементного камня после формирования и твердения во влажной среде всегда имеют высокую влажность, приближающуюся к полному насыщению, было решено строить кривые десорбции, что достигалось размещением образцов в эксикаторы с определенным значением давления водяных паров над серной кислотой соответствующей концентрации. Для

построения изотерм десорбции задавались двенадцатью значениями давления паров (12 точек).

Этим методом было изучено 50 разных вариантов цементного камня.

Все изотермы десорбции, построенные по наблюдениям над образцами цементного камня оказались однотипными. Значительно отличались лишь кривые десорбции виброактивированного цементного камня и о добавкой хлористого кальция.

На основе кривых десорбции были построены кривые распределения пор по размерам. Метод капиллярной конденсации выявляет лишь микропоры, а именно капилляры размерами 10^{-5} см и менее и не дает возможности определить размеры и характер распределения по объему макрокапилляров. Но тем не менее, этим методом можно иметь достаточно полное представление о пористости в целом. Так, например, в цементном камне на каспском портландцементе, изготовленном без вибрации и без добавок, объем микропор составлял 80-90% от общего объема пор и лишь 20-10% приходило на долю макрокапилляров. Несколько хуже обстоит дело при добавке хлористого кальция. Добавка хлористого кальция в цементном камне при равных водоцементных отношениях приводила к сокращению объема капилляров с радиусом менее 10^{-5} см до 75-65% по сравнению с 95% без добавки, также увеличивался объем пор радиусом 10^{-7} см от 10-20% до 20-35%.

Заметное влияние на характер распределения пор по размерам оказывала величина добавки ССБ и мылонафта.

Согласно ходу кривых распределений пор по размерам, построенных в процентах от общего объема образца, объем пор и капилляров в зависимости от изменений количество добавляемых ССБ и мылонафта, а также при повышении частоты виброактивации, менялись лишь в диапазоне пор более 10, 10^{-7} см.

Поры меньших размеров почти во всех случаях занимали одинаковые объемы независимо от количества ССБ, микронафта и частоты виброактивации.

Изотермы десорбции и кривые распределения пор в образцах из виброактивированного цементного камня показали, что с повышением частоты виброактивации (частота виброактивации равнялась 50, 100, 150, 200, 300, 600, 1200 и 2400 герца) возрастала доля мельчайших пор, что указывало на то, что структура становится более мелкокристаллической. В то же самое время с ростом частоты виброактивации возрастала общая пористость, что было следствием ухудшения удобоукладываемости теста, возникающего в результате понижения его пластичности.

Другим методом, примененным для изучения характера пористой структуры цементного камня в зависимости от влияния различных технологических факторов был метод ртутной порометрии. Структура исследовалась на поромерах низкого и высокого давления.

Поромер низкого давления был собран по чертежам, присланным из ЛенпроектНИИСТМ-а. В процессе освоения в поромер были внесены дополнения и изменения, улучшившие и облегчившие работу. Так, например, к вакуумной системе был подключен диффузионный насос, что позволило более быстро создавать необходимое разряжение. Для измерения создаваемого в системе вакуума вместо манометра Маклеода была применена вакуумная лампа и серийно выпускаемый электронный вакуумметр ВИТ-1А. Это упростило как процедуру сборки прибора, так и проведение самих опытов. При помощи этого поромера измерялись поры в диапазоне от 15 до 1168 микрон.

Дальнейшее изучение пористой структуры велось на поромере высокого давления марки ПА-ЭМ системы Ленинградского ордена Трудового

Красного Знамени технологического института. В нем измерялись поры диаметром от 0,0056 до 15 микрон. Всего изучена структурная пористость в 332 образцах.

В результате исследования влияния различных факторов на строение пористой структуры цементного камня методом ртутной порометрии установлено, что увеличение водоцементного отношения увеличивает общую пористость цементного камня, однако, рост общей пористости у разных цементов неодинаков, кроме того, с возрастом при казпских цементах и арапатском цементе разница между общей пористостью при разных В/Ц сокращается, тогда как для таузского и рустанского цементов это не наблюдается. При росте В/Ц отношения растет макропористость, что особенно сильно сказывается в диапазоне пор размерами от 242 до 1168 микрон, а также возрастает и доля мелких пор от 0,030 до 0,0056 микрон за счет сокращения пор размерами от 4 до 0,030 мк.

Изменение В/Ц оказывает на объемные и удельные веса цементного камня, а именно, с ростом В/Ц отношений удельные и объемные веса - уменьшились. Количество химической и гигроскопической влаги увеличивалось пропорционально водоцементному отношению.

Исследование влияния вида цемента на строение пористой структуры цементного камня показало, что наибольшая плотность - у цементного камня на казпском портландцементе, наименьшее у цементного камня на арапатском портландцементе.

Цементный камень на казпском (П) цементе характеризуется равномерным распределением пор по всем исследуемому диапазону (от 10^6 до 10 мк) пор. При казпском (I) наблюдается преобладание объема пор, размерами $10^3 + 10$ мк. Наоборот, в цементном камне на арапатском и таузском портландцементах и рустанском шлакопортландцементе преобла-

дает более крупная пористость $10^6 + 10^4$ мкм. Илакопортландцемент характеризуется, кроме того, практически полным отсутствием пор $10^4 + 10^3$ мкм.

Добавка ССБ в количестве 0,2% от веса вяжущего приводило к превращению макро и переходных пор в макропоры. Кроме того, добавка 0,2% ССБ, при применении киевского портландцемента приводила к повышению общей пористости в начале твердения и к ее сокращению к возрасту 90 суток. При совмещении добавки ССБ с обработкой в среде CO_2 это явление не наблюдалось. Примерно, аналогичная картина наблюдалась и при применении таузского цемента.

Добавка мылонафта в количестве 0,01 и 0,02% приводило к изменению пористости цементного камня - происходил рост микропор в диапазоне от 0,15 до 0,0056 мкм.

Добавка хлористого кальция изменила общую пористость цементного камня на киевском портландцементе в большую сторону. Так, например, если без добавки общая пористость в зависимости от водоцементного отношения колебалась в пределах 25-35%, то при добавке хлористого кальция она возросла до 40-55%; происходит это за счет образования более мелкокристаллической структуры цементного камня и ухудшения удобоукладываемости теста. Так, если без добавки поры размерами от 6 мкм до 0,005 мкм составляли 10-20% общего объема пор, то при хлоридом кальция их объем возрос до 20-35%.

Пористая структура цементного камня улучшалась совместным добавлением 2% хлористого кальция и 0,2% ССБ, при этом, сокращалась общая пористость (5%) и увеличивалось количество микропор (10%).

Тонкомолотый кварцевый песок в количестве 20% от веса цемента уменьшил общую пористость цементного камня на киевском портландцементе и увеличил количество макро и переходных пор на 15%. А добав-

ка 20% тонкомолотого кварцевого песка в сочетании с 0,2% ССБ вызвала интенсивное уплотнение структуры цементного камня. Итак, наиболее плотная структура получается у цементного камня с добавкой ССБ 0,2% и тонкомолотого кварцевого песка 20%.

Исследование влияния виброактивации на структурную пористость цементного камня на киевском портландцементе позволило выявить следующие закономерности: при затрачивании одинаковой работы на формирование образцов, прочность в зависимости от частоты виброактивации цементной пасты имеет четко выраженный максимум, указывающий на существование оптимальной частоты виброактивации в пределах 200-400 герц, выше этой частоты прочность образцов постепенно падает, приближаясь к прочности образцов из невibroактивированного цементного камня. Соответственно, изменяется объемный вес и величина общей пористости цементного камня.

Так, с повышением частоты виброактивации объемный вес первоначально возрастает, а общая пористость падает - получается более плотная структура виброактивированного цементного камня, чем невibroактивированного. С превышением определенной частоты (200-400 герц), которая совпадает с оптимальной по прочности, объемный вес цементного камня, насыщенного до постоянного веса при $105^\circ C$ падает, а общая пористость возрастает - происходит "разрыхление" структуры.

Анализ интегральных кривых распределения пор по размерам, в диапазонах от 10 до 10^3 и от 10^4 до 10^6 мкм, обнаруживает, что до частоты колебания 300 герц виброактивация приводит к резкому сокращению суммарного объема пор размерами $10 + 10^3$ мкм и увеличению объема пор размерами $10^4 + 10^6$ мкм. При частотах превышающих 300 герц, объем пор размерами $10 + 10^3$ мкм меняется незначительно; наблюдается тенденция к сокращению объема. То же самое можно сказать относительно объе-

ма пор размерами $10^4 + 10^6$ мк до частоты 1200 герц. Однако, дальнейшее повышение частоты приводит к заметному росту объема этих пор. Так, в цементном камне, подвергнутому виброактивации при частоте 2400 герц, объем пор размерами $10^4 + 10^6$ мк был вдвое больше, чем при частоте 1200 герц. Если проследить за характером изменения суммарного объема пор обоих диапазонов, то заметим, что вначале с ростом частоты вибрирования, используемой в целях виброактивации цементной пасты, объем пор сокращается, но при повышении частоты с 1200 герц до 2400 герц пористость вновь возрастает.

Приведенные экспериментальные данные качественно полностью совпадают с данными, полученными при исследовании структуры по методу капиллярной конденсации, поэтому можно сказать, что в определенном диапазоне частот виброактивация способствовала образованию плотной структуры цементного камня, что связано с образованием более мелкокристаллической структуры и плотной их упаковкой. Однако, при чрезмерном дроблении кристалликов и следовательно, росте удельной поверхности, удобоукладываемость цементного теста при заданном количестве воды затворения, резко сокращается. В результате сильно затрудняется формование образцов, общая пористость которых возрастает. Причем рост пористости происходит за счет увеличения объема крупных пор размерами 10^6 мк и более, которые оказывали наибольшее влияние на прочность структуры.

Для выявления влияния режима и времени хранения на структурную пористость цементного камня использовались образцы твердевшие в обычных температурно-влажностных условиях; в среде углекислого газа, которая способствовала усиленной карбонизации цементного камня, а также образцы подвергавшиеся пропарке и автоклавной обработке.

Обработка и хранения образцов в среде углекислого газа при всех видах цемента, как с добавками, так и без добавок, в рассматриваемые сроки приводили к повышению прочностных показателей на сжатие; с повышением водоцементного отношения окорость карбонизации влажных образцов понижалась, что объясняется закупоркой пор капиллярной водой, присутствовавшей в образцах, и тем больше, чем больше было водоцементное отношение. Повысилась окорость гидратации цементного камня; как I, так и II портландцементы каспского завода показали большую окорость гидратации и карбонизации в 7, 28 и 90 дневных возрастах по сравнению с цементами Араратского, Таузского и Руставского заводов. Со своей стороны, цемент Руставского завода гидратируется и карбонируется быстрее цемента Таузского и Араратского заводов.

Вызревание образцов в среде углекислого газа позволяет получить более уплотненную пористую структуру цементного камня, и тем более, чем большим был возраст. Все образцы, твердевшие в среде CO_2 , имели на 12-13% меньшую общую пористость, чем образцы, твердевшие в нормальных условиях, при этом возрастало количество микропор.

При пропаривании и автоклавировании цементного камня общая пористость возрастала на 5-10%; переходная макропористость - на 6%, а объем микропор и мельчайших пор - на 15-18%.

Сопоставление данных о характере пористости в образцах разного возраста показало, что по мере вызревания камня происходит сокращение доли крупных пор и увеличение относительного объема мелких пор. Причем, наиболее интенсивно это наблюдается в начальные сроки (от 3 до 7 суток). Общая пористость, определяемая пикнометрическими способами, также меняется с возрастом в сторону ее постепенного уменьшения.

При добавке ССБ кривые распределения пор в образцах 3-х и 7-ми дневного возраста практически полностью совпадали для всех условий

хранения, что вызвано свойством ССБ, которое в начальные сроки приводит к торможению процессов гидратации и твердения вяжущего.

Для установления характера связи между строением пористой структуры цементного камня и его проницаемостью, были изучены коэффициент паропрооницаемости и условная "сквозная пористость" по электропроводности образцов, изготовленных из выше перечисленных цементов с учетом влияния всех ранее изученных факторов.

Паропроницаемость изучалась по принципу измерения, продифундировавшей через образец влаги при разных парциальных давлениях по двум противоположным сторонам образца.

Образцы-цилиндры $\phi = 8$ см и $H = 3$ см наклеивались на банки емкостью 500 см³, в которой была залита концентрированная серная кислота, помещались в среду с определенной температурой (20°C) и относительной влажностью (50 и 90%) окружающей среды. Количество диффундирующего водяного пара через образец, поглощенное концентрированной серной кислотой, контролировалось взвешиванием комплекта: образец-банка-серная кислота. Установление постоянства в весе, свидетельствовало о прекращении прохождения паров воды через образец. Наступало это быстрее при 90% относительной влажности внешней среды, чем при 50% влажности среды. Объясняется это тем, что при повышенной влажности среды значительная доля паропроницаемых капилляров быстрее заполнялась водой.

Для измерения объема сквозных пор был использован метод, предложенный Ф.М.Ивановым и К.А.Акимовой, который основан на линейной зависимости между величиной электросопротивления и толщиной образца, а также между величиной водопоглощения и сквозной пористостью.

Всего было изучено обоими методами 332 варианта.

Выполненным исследованием установлено, что с повышением водоце-

ментного отношения, наряду с увеличением общей пористости (от 10 до 20%) растет сквозная пористость и следовательно, коэффициент паропроницаемости. Это увеличение наблюдается в той же степени, что и увеличение объема воды, введенной при затворении. Так например, коэффициент паропроницаемости образцов из кесолокого портландцемента при В/Ц - 0,24 на 28-ие сутки равнялся $7,5 \cdot 10^{-6}$ г/см², а при В/Ц - 0,45 - $12,1 \cdot 10^{-6}$ г/см². Та же картина выявлялась и при измерении сквозной пористости.

Как I, так и II портландцемент кесолокого завода дает наиболее плотную структуру цементного камня и содержит относительно меньшее количество сквозных пор, и у них маленький коэффициент паропроницаемости при всех изученных сроках и В/Ц отношениях. Со своей стороны, цемент таузского завода дает более плотную структуру, чем цемент арратского завода.

Добавка ССБ в количестве 0,2% и милонафта 0,01 + 0,02% от веса вяжущего приводит к увеличению сквозной пористости и коэффициента паропроницаемости. Добавка хлористого кальция 2% от веса цемента, влекла за собой сокращение сквозной пористости и уменьшение коэффициента паропроницаемости по сравнению с цементным камнем без добавки. Благоприятно влияла и добавка хлористого кальция в сочетании с ССБ.

Сквозная пористость и коэффициент паропроницаемости сократились при росте частоты виброактивации (50-300 герц), что объясняется и образованием мелкокристаллической структуры и их плотной упаковкой.

Обработка и хранение образцов в среде углекислого газа, как с добавками, так и без добавок при всех видах цемента и при всех изученных сроках хранения приводит к уплотнению структуры. По мере вызревания цементного камня происходит зарастание пор новообразова-

нием, что уменьшает количество оквальных пор и коэффициент паропроницаемости.

В третьей главе выводится аналитическая зависимость между параметрами пористой структуры цементного камня и различными технологическими факторами.

Большой объем экспериментальных данных в виде цифрового материала и графиков, неизбежный разброс отдельных показаний, трудоемкость лабораторных работ, связанных с исследованием характера строения пористости цементного камня, обусловили необходимость проведения статистической обработки экспериментальных данных. Тем более, что при наличии ряда действующих факторов, строгая оценка роли каждого из них или их совокупности без применения методов математической статистики не представляется возможным. Часть факторов (В/Ц, время твердения, частота виброактивации) подается количественной оценке; другая часть (условия созревания, вид добавки), оценивалась качественно, а вид цемента оценивался как количественно, так и качественно.

Исковыми параметрами являлись: общая пористость цементного камня (Π) и характер распределения пор по размерам; последние представлялись в виде таблиц и построенных по ним интегральных кривых. Ввиду сложности очертания последних они аппроксимировались ломанными линиями (рис. I) и задача сводилась к определению связи между параметрами аппроксимирующих линий ($U_1, U_2, U_3, \tan \alpha, d_1$ и d_2) и изученными технологическими факторами.

Цемент данного вида C_i характеризовался содержанием основных клинкерных минералов C_3S, C_2S, C_3A и C_4AF , обозначенных соответственно x_3, x_4, x_5 и x_6 .

Для алгебраического выражения связи между параметрами аппроксими-

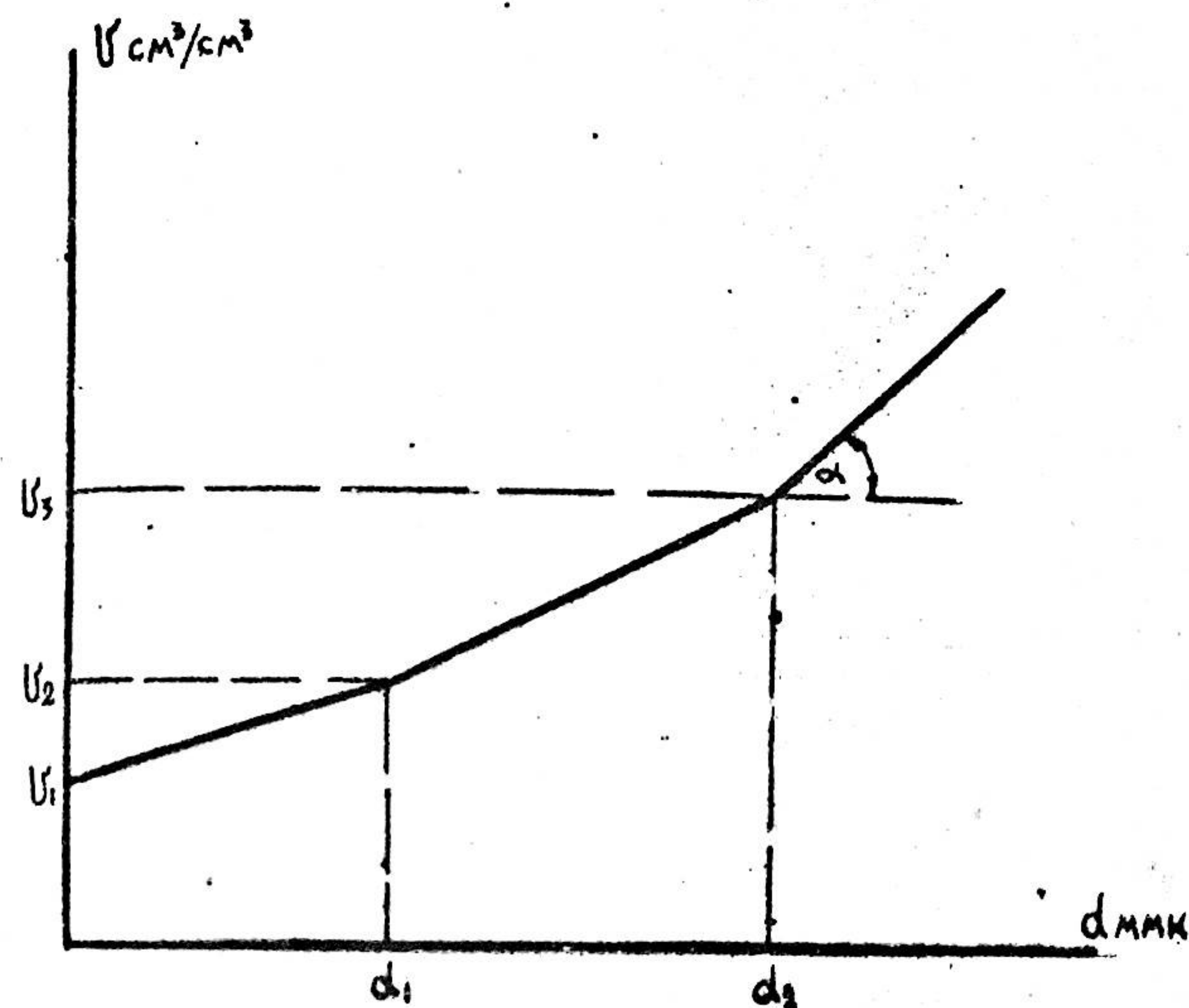


Рис. I Аппроксимирующая ломанная линия.

Таблица 1

№ п/п	Наименование факторов	Обозначение	Варианты факторов
1.	Водоцементное отношение	x_1	0,24; 0,35; 0,45;
2.	Возраст твердения в днях	x_2	3; 7; 28; 90.
3.	Условия хранения	A_1	Нормальное твердение
		A_2	В среде CO_2
4.	Вид добавки	B_1	ССБ
		B_2	Молотый кварцевый песок
5.	Вид цемента	C_1	Каспский портландцемент I
		C_2	Каспский портландцемент II
		C_3	Аракатский - " -
		C_4	Таузский белый - " -
		C_5	Руставский шлакопортланд-цемент

Таблица 2

Значение свободного члена и коэффициента в уравнении

$$y = a_0 + a_1 x_1 + a_2 x_2 \quad / \text{ К.Ш.У. } /$$

№ п/п	Параметры	a_0	a_1	a_2
1.	$\bar{y}$	38,01	18,13	- 0,05
2.	v_1	-0,006	0,18	- 0,0003
3.	d_1	-7,7	53,5	0,02
4.	v_2	0,03	0,41	- 0,0003
5.	v_3	0,029	0,22	- 0,0005
6.	d_2	0,02	0,03	- 0,0002
7.	$tg \alpha$	0,94	1,68	0,003

Таблица 3

№ п/п	Вид хранения	Параметры	a_0	a_1	a_2	a_3	a_4	a_5	a_6
1	Нормальное хранение	$\bar{y}$	46,58	26,83	-0,074	0,189	0,043	-0,989	-0,353
2		v_1	- 1,114	0,111	-0,0003	0,0078	-0,008	0,065	0,015
3		d_1	-7986,9	201,27	-0,1709	55,287	-52,19	447,01	III, 33
4		v_2	2,479	0,16	-0,0006	-0,0137	0,0169	-0,137	-0,0339
5		v_3	3,21	0,719	-0,0008	-0,0215	-0,019	-0,17	-0,04
6		d_2	1,2245	-5,705	-0,0068	-0,0247	-0,122	0,738	-0,001
7		$tg \alpha$	0,611	-0,533	-0,001	-0,0089	0,0062	0,016	0,023
1	В среде CO_2	$\bar{y}$	-9,493	23,79	-0,0243	0,324	-0,499	2,538	0,815
2		v_1	-0,025	0,0025	0,0002	0,0004	0,001	-0,0001	0,0004
3		d_1	-8544,4	96,33	-0,128	58,22	-60,69	490,63	124,21
4		v_2	-4,5	-0,1145	0,0005	0,038	-0,024	0,236	0,058
5		v_3	-0,047	-0,041	0,0007	0,0016	-0,0002	0,0127	0,009
6		d_2	25,45	-1,56	0,0022	-0,175	0,156	-1,333	-0,33
7		$tg \alpha$	8,395	-6,075	0,007	-0,134	-0,039	0,42	-0,022

мпирующей ломанной линии и влиянии на них технологическими факторами была выбрана линейная зависимость $y = a_0 + \sum a_i x_i$

Расчеты были проведены для каждого вида цемента, оценивалось также отклонение основных параметров: в таблице 2 приведены значения коэффициента a_i для каопокого шиферного цемента.

Аналогичные расчеты были также проведены, когда в качестве варианта фактора был принят не цемент того или иного завода, а отдельные клинкерные минералы. Значения соответствующих коэффициентов дано в таблице 3.

При вызревании образцов в нормальных условиях отклонение экспериментальных и подсчитанных с использованием коэффициентов по таблице 2 значений параметров не превышает 10%, а при вызревании в среде CO_2 - 15%.

Работы по математической обработке экспериментальных данных с целью установления расчетных зависимостей были проведены с использованием БЭСМ-4.

На основании проведенных исследований по изучению пористой структуры цементного камня можно сделать следующие основные общие выводы:

1. Методом капиллярной конденсации и ртутной порометрии исследовано влияние некоторых технологических факторов: минералогического состава цемента, водоцементного отношения, возраста, вида добавок, режима формирования и вызревания на характер строения пористой структуры цементного камня. Показано как влияют указанные факторы на общую пористость и на характер распределения пор по размерам. Построены интегральные кривые распределения пор различных размеров в цементном камне.

С целью облегчения и сокращения сроков проведения экспериментов в процессе работы были внесены некоторые изменения в конструкцию

поромера низкого давления, благоприятно оказавшиеся и на результатах измерения.

2. На примере виброактивированного цементного теста оделана попытка увязки прочностных показателей цементного камня с особенностями строения его пористой структуры.

3. Изучено влияние различных факторов (минералогического состава цементного клинкера, водоцементного отношения, возраста, добавок, режима приготовления, режима и времени хранения) на формирование сквозных пор и показателя (коэффициента) паропроницаемости цементного камня.

4. В результате обработки экспериментальных данных методом наименьших квадратов предложены эмпирические зависимости, позволяющие расчетным путем определять параметры, характеризующие пористую структуру цементного камня - общую пористость, распределение пор по размерам (интегральные кривые).

Эмпирические зависимости охватывают достаточно широкий диапазон изменения факторов, влияющих на строение пористой структуры цементного камня.

5. Результаты исследования могут быть использованы при выборе цемента, добавки и технологии изготовления для получения бетона желаемой пористой структуры. Они представляют интерес и с целью накопления справочных данных (ОД) по характеристикам пористой структуры цементного камня. Надобность таких данных очевидна, если учесть существенную роль характера пористой структуры в формировании основных технических свойств бетона - прочности, деформативности, проницаемости, стойкости и др.

Основное содержание диссертации опубликовано

в следующих работах:

1. Цилосани З.Н., Чиковани Х.С. О водоудерживающей способности затвердевшего раствора и бетона. Труды Института строительного дела АН ГССР, т.УШ, 1960.
2. Цилосани З.Н., Чиковани Х.С. Влияние добавок на водоудерживающую способность цементного камня. Труды Института строительной механики и сейсмостойкости АН ГССР, т.Х, 1963.
3. Цилосани З.Н., Чиковани Х.С. К исследованию дисперсной структуры цементного камня. Коллоидный журнал, т.25, № I, Москва.
4. Чиковани Х.С., Гелашвили Л.Л. Исследование процесса карбонизации в цементном камне и растворе. Бетон и железобетон. Сборник трудов, II, ИСМиС АН ГССР, Изд-во "Мецниереба", 1968.
5. Цилосани З.Н., Чиковани Х.С., Гелашвили Л.Л., Абуева З.А. Влияние виброактивации на пористую структуру и прочность цементного камня. "Бетон и железобетон", Сборник трудов, III, ИСМиС АН ГССР, Изд-во "Мецниереба", 1969.
6. Чиковани Х.С. Связь между проницаемостью цементного камня и его пористой структурой. Доклады Объединенной сессии научно-исследовательских институтов Закавказских республик, Ереван, 1968.
7. Будештский Р.И., Кешелава Б.Ф., Домидзе Н.М., Чиковани Х.С. О взаимозависимости прочности и структурной пористости силикатного бетона. В сборнике: Материалы научно-технической конференции по структуре и свойствам новых видов минеральных вяжущих и материалов на их основе. Владивосток, 1968.
8. Чиковани Х.С. Исследование пористой структуры бетона (на грузинском языке), журнал "Мецниереба да техника" ("Наука и Техника"), 2, 1971.

Основное содержание работы доложено на:

1. Объединенной сессии научно-исследовательских Институты Закавказских республик по строительству (Тбилиси, 1966).
2. Объединенной сессии научно-исследовательских Институты Закавказских Республик по строительству (Ереван, октябрь, 1969).

ბუარაძე სპირიტუალის ასული ბიუტაძე

ბაბუაშვილი ნინო ჟურნალის მფლობელა და ბიუსი პატი-
ვობადაცაა ბაბუაშვილის ჯანსაღობისათვის

ბაბუაშვილი # 991

30 05888

ბიუსი 250

ბაბუაშვილი "ბეჭდები", ბიუსი, 60, კუბიკი 19

საქ. სსრ ბეჭდები აკადემიის სტამბა, ბიუსი, 60, კუბიკი 19