

В. В. СТОЛЬНИКОВ, академик П. А. РЕБИНДЕР и Е. В. ЛАВРИНОВИЧ

**СЕДИМЕНТАЦИОННЫЕ ПРОЦЕССЫ В БЕТОННОЙ СМЕСИ —
ИХ ВЛИЯНИЕ НА ОБРАЗОВАНИЕ СТРУКТУРЫ БЕТОНА
И НА ЕГО ВОДОНЕПРОНИЦАЕМОСТЬ**

Бетон, представляющий собой полидисперсную систему, составленную из частиц, весьма различных по размерам и по физико-химическим характеристикам, начиная с момента приготовления бетонной смеси, претерпевает ряд структурных изменений, существенно влияющих на его основные технические свойства.

В период, предшествующий схватыванию, в бетонной смеси, как правило, текут процессы седиментации, обусловленные различием удельных весов составляющих. Относительно быстро происходит осаждение более крупных частиц заполнителей (щебня, гравия), образующих каркас системы. В ячейках этого каркаса продолжается медленное седиментационное уплотнение в цементном растворе или цементной пасте, которое в зависимости от их состава может достигать значительных размеров. В ходе самоуплотнения раствора происходит стесненное осаждение твердых частиц и выжимание воды. Часть воды, обуславливающая наружное водоотделение бетона, устремляясь вверх, обтекает частицы крупных заполнителей, создавая сеть сообщающихся (открытых) капиллярных ходов вдоль этих частиц. Другая часть воды скоплевается под нижними поверхностями крупных заполнителей, образуя в результате внутреннего водоотделения в бетоне либо прослойки воды, либо зоны ослабленного контакта заполнителей с цементным камнем. Зоны неплотного или ослабленного контакта являются в дальнейшем основными путями проникновения воды не только при напорной фильтрации, но и в условиях капиллярного подсоса, а следовательно, и очагами разрушения бетона агрессивными водами при всех видах агрессии. Морозостойкость бетона в условиях переменного режима также находится в зависимости от этих особенностей его структуры (от седиментационного синерезиса коагуляционной структуры цементного геля). Большую роль в морозостойкости бетона играет также коллоидная структура самого цементного камня, значение которой выдвигается С. В. Шестоперовым (3).

Нами экспериментально установлено, что бетон со значительным внутренним водоотделением, как правило, фильтрует сильнее вдоль слоев укладки, чем в направлении, нормальном к слоям укладки (см. рис. 1). Поэтому при оценке технических свойств бетонов (и в особенности гидротехнических) представляется весьма существенным учитывать условия формирования их структуры, обусловленные ходом седиментационных процессов в бетонной смеси. Применяя в бетоне цементные растворы и пасты, седиментационное самоуплотнение которых незначительно, можно в определенных условиях рассчитывать на получение бетона высокой водонепроницаемости, хорошо сопротивляющегося разрушающему действию мороза и агрессивных вод.

С этой точки зрения все мероприятия, уменьшающие седиментационное уплотнение цементной пасты, должны благоприятно отражаться на водонепроницаемости и долговечности бетона. Допустимая величина

седиментационного самоуплотнения цементного раствора должна быть принята такой, при которой размеры образующихся капиллярных ходов седиментационного происхождения у поверхности контакта цементного камня и заполнителей не будут превышать размеры капилляров в самом цементном растворе. Как показали исследования, это может быть достигнуто и позволяет правильно наметить пути повышения долговечности и водонепроницаемости бетона. Сюда в первую очередь должно быть отнесено обеспечение однородности бетона при его укладке приданием бетонной смеси хорошей удобообрабатываемости и устойчивости по отношению к расслоению. Значительные возможности повышения водонепроницаемости бетона достигаются применением поверхностно-активных добавок — гидрофилизующих и гидрофобизирующих.

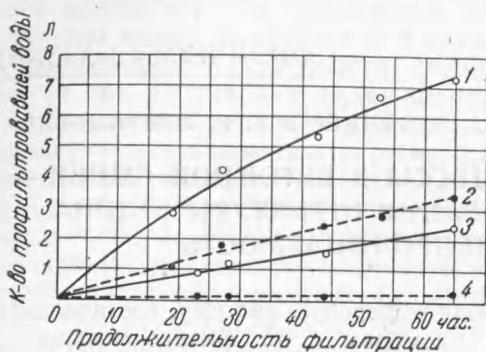


Рис. 1. Зависимость фильтрации от направления в бетоне с внутренним водоотделением. 1 и 3 — фильтрация вдоль слоев укладки, 2 и 4 — поперек слоев укладки; 1 и 2 — возраст бетона 7 дней, 3 и 4 — 28 дней

Действие в этом отношении гидрофилизующих добавок, обуславливающих разжижение цементной пасты и возможность уменьшения водоцементного отношения в бетоне, связано с увеличением плотности упаковки цементных частиц. При надлежащем подборе состава бетона, исключающем возможность внутреннего водоотделения в бетонной смеси, добавки этого типа должны повышать его плотность. Применение в бетоне гидрофобизирующих добавок, вызывающих структурирование цементной пасты и резко уменьшающих ее расслоение, также позволяет, как показывает опыт, существенно повысить водонепроницаемость бетона. В свете вышеприведенных соображений этот результат и обусловлен тем, что в системе уменьшается количество сквозных капилляров, возникающих в связи с седиментацией, причем остающаяся часть капилляров оказывается закупоренной минерализованными воздушными пузырьками. Из сказанного видно, что изучение седиментационного самоуплотнения концентрированных растворов смесей и цементных паст представляет значительный интерес при разработке мер к повышению водонепроницаемости бетонов. Подобные исследования при изучении стабилизации технических суспензий проводятся обычно путем наблюдения седиментации их в стеклянных цилиндрах, причем наблюдаемой величиной является высота (объем) осадка порошка или высота слоя отделившейся дисперсионной среды в функции времени. Однако часто возникает необходимость оценить стабильность высоко концентрированных суспензий, в которых даже при длительном отстаивании не происходит заметного отделения жидкой фазы на поверхности. Для оценки этого нами была разработана методика, дающая возможность изучать действие на такие системы различных реагентов и, в частности, поверхностно-активных веществ, и регистрировать пептизационные процессы и структурообразование в таких случаях, которые ранее не были доступны наблюдению (4).

Сущность новой методики состоит в том, что в определенном месте в центральной части системы помещается плотно «впаянная» в систему уравновешенная металлическая пластинка, перемещения которой, вызванные увлечением пластинки оседающей массой, наблюдаются при помощи микроскопа с окулярмикрометром. Пластинка имеет заостренный край и рифленую поверхность, обеспечивающую неразрывный контакт с

окружающими слоями системы. Размеры пластинки малы по сравнению с размерами сосуда, в котором производится наблюдение; точность отсчетов при измерении смещений пластинки составляет несколько микрон и может быть изменена по желанию (см. рис. 2). При этом существенно принять способ введения пластинки, обеспечивающий минимальное нарушение структуры пасты и надежную спаянность пластинки с окружающей пастой. Исследуемая паста закладывалась в кювету, состоящую из двух одинаковых отделений, разделенных перегородкой с узкой прорезью по всей ее высоте. Пластика погружалась в одно отделение до половины высоты кюветы и путем горизонтального перемещения в той же плоскости перемещалась через прорезь в перегородке в другое отделение кюветы. Пластика прикреплялась к тяге, соединявшей ее с весами, на которых она предварительно, до погружения в систему, точно уравнивалась. Полученные кривые $\Delta H = f(\tau)$ кинетики седиментационного самоуплотнения паст, приготовленных из минеральных гидрофильных порошков и воды (кварцевый порошок, цемент), имеют плавное очертание и с течением времени приближаются к некоторым предельным значениям, после чего заметной седиментации не происходит, что соответствует достижению системой по отношению к возможным перемещениям с учетом сил трения, некоторого «седиментационного равновесия». Вычисляя скорость оседания по наклону начальной прямолинейной части кривой $\Delta H(\tau)$, можно численно получать седиментационные характеристики концентрированных паст (1, 2). Как показали опыты, скорость смещения пластинки $V = d\Delta H/d\tau$, определяемая по начальной части кривой, не зависела от того, где была помещена пластинка, и являлась инвариантной характеристикой системы (см. рис. 3). Описанная методика позволила выяснить различие в характере физико-химического воздействия на концентрированную пасту, гидрофобизирующих и гидрофилизующих поверхностно-активных веществ, добавляемых для улучшения свойств бетона. Изучение было выполнено на пастах, содержащих 27% воды (к весу цемента) и представлявших собой густую массу, не отделявшую воду с поверхности. Как видно на рис. 4, общее перемещение пластинки в пасте без добавок составило 150 μ и, конечно, визуальное, по границе раздела вода — уплотненная структура, не могло быть зарегистрировано.

При введении в состав пасты натрового мыла абнетиновой смолы при той же весовой влажности пасты скорость седиментации ее резко уменьшилась. Полное смещение пластинки в этом случае также уменьшилось, и при дозировке мыла 0,3% к весу цемента оказалось равным всего 25 μ , т. е. практически цементная паста оказалась полностью структурированной. При введении в пасту гидрофилизующей добавки — сульфитно-спиртовой барды скорость седиментационного уплотнения цементной пасты значительно увеличилась по сравнению с пастой без добавки. Полное смещение пластинки также увеличилось и составило при дозировке 0,50% 300 μ , а при дозировках 0,10 и 0,20% около 375 μ .

Таким образом, действие этих двух добавок на цементно-водную пасту оказалось принципиально различным. Если смоляное мыло обусловило отчетливо видимое коагуляционно-структурирующее действие, то

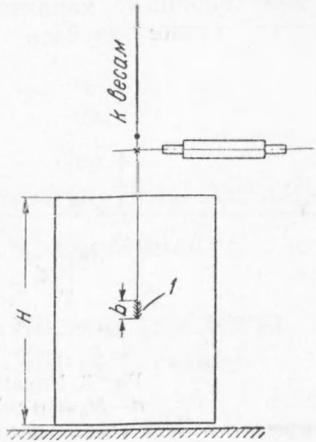


Рис. 2. Схема установки для исследования седиментационного самоуплотнения концентрированных паст. $b = 0,1 H$, 1 — стержень с насечкой

сульфитно-спиртовая барда вызвала резко заметный эффект пептизации системы.

Разработанная методика, кроме использования ее для оценки седиментационных характеристик цементных паст и растворов, позволяет также изучать люемость различных порошков в концентри-

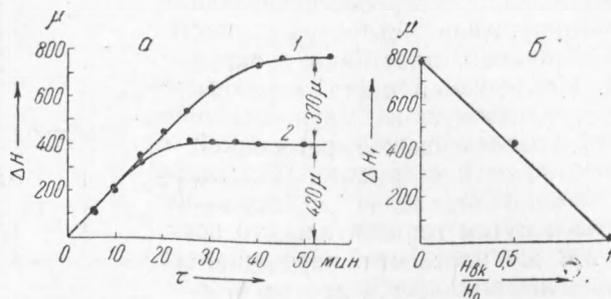


Рис. 3. Инвариантность седиментационных характеристик. а— $H_0=10$ см, 1— $H_{vk}/H_0=0$, 2— $H_{vk}/H_0=0,5$; б— $\tau=50$ мин

рованных суспензиях. Это относится к маслоемкости густых красок, различных паст и к оценке водопотребности цемента.

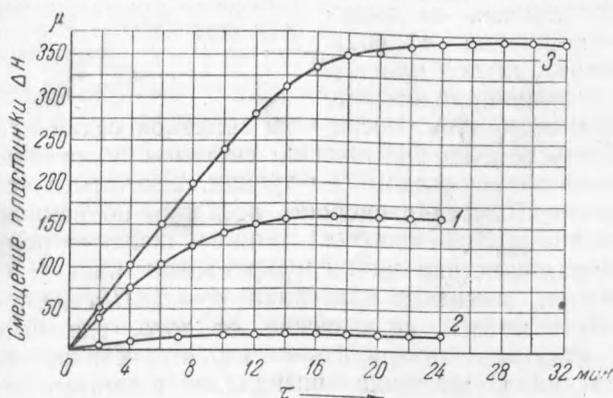


Рис. 4. Влияние поверхностно-активных веществ на ход седиментационного уплотнения цементных паст. 1—паста без добавок, 2—добавка 0,3% абиетинового мыла, 3—добавка 0,2% сульфито-спиртовой барды

Рассматривая водоотделение в пастах как отфильтровывание воды, вытесняемой уплотняющимися под действием силы тяжести твердыми частицами смеси, и определяя последовательным приближением при помощи описанной методики такое наибольшее весовое содержание воды, при котором опускание уравновешенной пластинки не будет происходить, можно определить предельную водоудерживающую способность порошка. Проведенные опыты показали, в частности, что водоудерживающая способность цемента, образывавшего пасту «нормальной густоты» при 27% воды, оказалась равной 23,5%. Водоудерживающая способность молотого кварцевого порошка той же тонкости помола, что и цемент, оказалась значительно меньше и составила всего около 15%. Введение в состав цементной пасты 0,3% абиетинового мыла повысило водоудерживающую способность до 27%, тогда как добавка 0,2% сульфитно-спиртовой барды снизила водоудерживающую способность до 21%.

Институт физической химии
Академии наук СССР
и Всесоюзный научно-исследовательский институт гидротехники
им. Б. Е. Веденеева, Ленинград

Поступило
24 IX 1951

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ П. А. Ребиндер, Исследования по физико-химии технических суспензий, 1933.
² П. А. Ребиндер, Изв. АН СССР, сер. хим., № 5 (1936). ³ С. В. Шестоперов, Новые исследования в области бетонов, 1950. ⁴ В. В. Стольников, ДАН, 72, № 3 (1950).