

ВЛИЯНИЕ ВОЗДУШНЫХ ПОР НА МОРОЗОСТОЙКОСТЬ БЕТОНА

А.А. Акрамов

Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими

В данной статье анализируются способы образования пузырьков воздуха, как возникающих самопроизвольно, так и создаваемых намеренно – в бетонной матрице, принцип их защиты от разрушения при воздействии низких температур, показатели качества этих пор и трудности, связанные с производством бетона, содержащего искусственно добавленный воздух.

Ключевые слова: воздушные поры, цемент, бетон, морозостойкость, прочность, плотность.

ТАЪСИРИ КОВОКИҲОИ ҲАВОЙ БА САРДИТОБОВАРИИ БЕТОН

А.А. Акрамов

Дар мақолаи мазкур усулҳои ба вуҷуд омадани хубобчаҳои ҳавоӣ дар омехтаҳои бетонӣ, принципи аз нобудшавӣ муҳофизат намудани онҳо ҳангоми таъсири ҳарорати паст, нишондиҳандаҳои сифатии ин ковокиҳои ва мушкилиҳои истеҳсоли бетони дар таркибашон ҳавоӣ сунъӣ иловашуда таҳлил карда мешаванд.

Калидвоҷаҳо: сӯроҳиҳои ҳаво, семент, бетон, ба сардитобоварӣ, мустаҳкамӣ, зичӣ.

INFLUENCE OF AIR PORES ON FROST RESISTANCE OF CONCRETE

A.A. Akramov

The methods of formation of air bubbles – both spontaneous and intentionally created – in the concrete matrix, the principle of their protection from destruction when exposed to low temperatures, the quality indicators of these pores and the difficulties associated with the production of concrete containing artificially added air are analyzed.

Keywords: air pores, cement, concrete, frost resistance, strength, density.

Введение

Пористость бетона, влияющая на его характеристики, состоит не только из микропор, формирующихся в процессе гидратации цемента, но и включает воздушные поры. Как и другие типы пор, они негативно сказываются на большинстве качеств материала, однако оказывают специфическое воздействие на устойчивость к замораживанию – потенциально увеличивая её. Хотя значительное улучшение морозостойкости благодаря намеренному добавлению воздуха широко известно, вклад естественных воздушных пор, возникающих из-за захваченного воздуха, остаётся предметом споров. Поэтому целесообразно изучить оба типа воздушных пор под единым углом зрения [11].

Бетон обладает сложной структурой и включает в себя не только основные ингредиенты, но и воздух, попадающий в бетоносмеситель и накапливающийся в пространстве между частицами заполнителя. В ходе перемешивания значительная доля этого воздуха выталкивается мельчайшими фракциями и водой, однако некоторая его часть сохраняется в конечном продукте.

В подвижных смесях, которые уже при перемешивании приобретают связную структуру, воздух представлен изолированными пузырьками. Их формирование (зашемление воздуха) происходит в зазоре определенного размера. Они характерны в основном для песчинок и могут рассматриваться как «ловушки» для воздуха. В процессе образования смеси узкие пустоты могут быть засыпаны цементным тестом, а воздух в широких частях пустот находится в раздельном состоянии. Остальные зазоры заполняются цементным тестом.

В процессе перемешивания смесь насыщается воздухом, проникающим в существующие дефекты структуры. Возникают резкие разрывы, крупные пузыри поднимаются к поверхности, а более мелкиедерживаются внутри однородной массы.

Силы поверхностного натяжения водных слоев пузырьков придают им сферическую форму.

Воздухововлечение увеличивается с повышением отношения песка к цементу. На практике это происходит при увеличении доли песка в смеси или уменьшении НК заполнителей. Количество воздуха в мелкозернистом бетоне выше.

Зашемленный воздух частично удаляется вибрацией. Это относится к большинству пузырьков и зависит от толщины смешанного слоя, степени его разжигания и продолжительности вибрации.

В твердых смесях при их уплотнении задерживается воздух. В смешанной (сыпучей) смеси он представлен сообщающимися между собой каналами. При сжатии смесь оседает, воздушные каналы сужаются, а их стенки в узких местах смыкаются, задерживая воздух при расширении. Жидкая фаза становится непрерывной, и смесь приобретает структуру смеси. Если этого не происходит (при недостаточном уплотнении), в формованной смеси остаются воздушные каналы и образуются пузырьки (полости), которые обычно выходят на поверхность. Они также возможны в подвижных смесях, не заполняя пространство формы или зазор между арматурными стержнями. Эти дефекты бетона, возникшие в результате нарушения технологии формования, необходимо отличать от естественных воздушных пор, оставшихся при качественном сжатии. В твердом бетоне воздушные поры не всегда имеют сферическую

форму, а могут воспроизводить форму пустот между зернами заполнителя и частично контактировать с их поверхностью.

В процессе затвердевания бетона имеющиеся при уплотнении воздушные включения преобразуются в воздушные поры. Как правило, они обладают округлой формой, а их стенки состоят из цементного геля с капиллярами, которые расходятся к поверхности пор. Когда бетон насыщается влагой, капилляры наполняются водой, однако воздушные поры продолжают удерживать воздух внутри себя.

В целом улучшение основных характеристик бетона напрямую связано с уменьшением количества пор в нем. Однако, когда речь идет о морозостойкости, важную роль играет не общий объем пор, а их структура. Чтобы обеспечить эту способность, в насыщенном водой бетоне необходимо наличие специальных воздушных пустот, способных расширяться и компенсировать увеличение объема воды при замерзании.

К ним относятся:

- воздушные полости, образующиеся вследствие усадки материала;
- воздух, фиксирующийся в капиллярах после частичного высыхания бетона во время эксплуатации;
- поры, возникшие естественным путем или созданные посредством добавления воздуха при производстве смеси.

Контракция (уменьшение объема взаимодействующих цемента и воды) создает вакуум в капиллярных порах. Он «гасится» за счет поглощения извне среды, в которой затвердевает бетон, обычно воздуха. Степень морозостойкости, которой обладает обычный бетон, достигается в том числе за счет воздухововлечения.

Во время работ летом бетон обычно сухой. Осенняя влажность вызывает поглощение воды капиллярами, а в части их объема сопровождается перекрытием воздуха. Положительная роль высыхания бетона в повышении его холдности отмечена неоднократно. К сожалению, этот процесс сложно регулировать. [1]

Воздушные поры выступают как основной тип резервной пористости бетона, поддающейся контролю. Именно они играют ключевую роль в повышении устойчивости материала к воздействию низких температур [2].

Влияние воздушной пористости

Разрушение бетонной структуры при воздействии низких температур обусловлено не только механическим воздействием расширяющегося льда (сопровождающимся увеличением объема до 9%), кроме того, в капиллярных порах возникает гидростатическое давление из-за выталкивания избыточной влаги, увеличивающееся с расстоянием до источника воды и потенциально превышающее допустимую прочность сосудов пор.

Благодаря воздушным порам бетон получает некоторую устойчивость к разрушению под воздействием низких температур, образуя тонкий слой защиты вокруг частиц цементного состава. В этих порах происходит смещение воды, которое не приводит к значительному увеличению напряжения материала [12]. Чем мельче размеры внутренних полостей, тем выше общая площадь их поверхностей и большая территория каменного состава цемента, подверженная их воздействию. Чтобы проиллюстрировать данный принцип, выполнены вычисления относительно защитного слоя из цементного материала толщиной в четверть миллиметра. (см. табл. 1).

Таблица 1 – Количество материала с цементом, ограждаемого 1 литром воздухововлекающих пор различного размера

Размер пор, мм	Удельная поверхность пор $\text{мм}^2/\text{мм}^3$	Объем защищенного цементного камня, л
1	6	1,5
0,5	12	3
0,3	20	5
0,1	60	15

Крупные поры оказывают незначительное защитное воздействие (ими можно пренебречь), а значительный эффект наблюдается лишь при размерах пор, находящихся в диапазоне от 0,3 до 0,5 мм, поэтому влияние запасных пор незначительно. Даже при условии насыщения материала водой в количестве до 100 литров на м^3 (что указывает на высокую капиллярную пористость примерно в 10%), высвобожденное количество жидкости составит лишь около 9 литров на м^3 . Для удержания такого малого объема вполне достаточно задействовать 1% всех имеющихся воздушных пор. Главное значение имеет их близость к зонам замерзания: рядом с потенциальной точкой образования льда должна располагаться воздушная полая структура. Добиться этого возможно путем сокращения размера пор и увеличения их общего количества.

Например, уменьшение размера в десять раз приведет к тысячекратному увеличению числа пор, которые и будут более равномерно распределены в бетоне.

При рассмотрении процессов разрушения бетона под воздействием низких температур важно подчеркнуть роль гидравлического давления как ключевого фактора. Именно оно позволяет понять эффективность воздушных пор в качестве защитного элемента структуры материала.

В бетонных конструкциях, изготовленных как из легко перемешивающихся, так и из менее подвижных составов, естественные пустоты присутствуют в объеме от 1 до 2%. Их размер обычно варьируется от 0,05 до 2 миллиметров, что ограничивает их способность к защите. Однако в определенных ситуациях концентрация этих пор значительно повышается, а также увеличивается доля небольших пор, благодаря чему улучшаются характеристики морозостойкости бетона.

Типичным примером являются мелкозернистые бетоны, где доля воздушных пор может достигать 3-6% и даже превышать этот показатель. При одинаковом соотношении воды к цементу такие бетоны характеризуются меньшей плотностью и прочностью, но при этом демонстрируют значительно лучшую морозостойкость по сравнению с традиционными бетонными смесями [3]. Важно учитывать, что улучшение характеристик морозостойкости также обусловлено более качественным контактом между цементным вяжущим и заполнителем в мелкозернистых бетонах; увеличение размера заполнителя обычно ведет к увеличению дефектов этого контакта.

При использовании бетона с крупным заполнителем увеличение количества песка в составе смеси способно увеличить количество воздушных пор [13]. Согласно исследованиям О.В. Кунцевича [2], повышение этого показателя с 0,33 (оптимальное значение с точки зрения прочности) до 0,5 при неизменном соотношении воды и цемента улучшало морозоустойчивость материала от 107–120 до 400 циклов замораживания и оттаивания. При этом использовались бетонные смеси с низкой подвижностью, где добавление песка существенно способствует удержанию воздуха.

Устойчивость бетона к низким температурам улучшается благодаря уменьшению текучести бетонной массы и особенно при использовании плотных составов [2, 4]. В таких бетонах наблюдается сокращение количества связанного цемента в сочетании с увеличением доли воздуха, а также уменьшение этого размера происходит за счет того, что слои цемента, окружающие эти пустоты, становятся тоньше. При этом необходимо учитывать, что подобное воздействие возможно только в случае тщательной обработки плотной смеси.

Использование модификаторов, генерирующих микроскопические воздушные пустоты внутри структуры бетона, значительно повышает его сопротивление разрушению при отрицательных температурах. Морозостойкость обычного бетона зачастую ограничена примерно двумя сотнями циклов попеременного замораживания и оттаивания, тогда как технология создания искусственных воздушных пор обеспечивает стойкость в пределах от тысячи до двух тысяч циклов [2, 5, 8]. Компоненты, добавляемые в бетонную смесь, снижают поверхностное натяжение воды и тем самым [6]:

- облегчают формирование и распределение воздушных пустот в процессе перемешивания;
- адсорбируясь на стенках образующихся пузырьков (границе между водой и воздухом), наделяют их одинаковым электрическим зарядом, предотвращая их объединение;
- стимулируют распад крупных воздушных пузырей на более мелкие.

В смеси образуются микроскопические пузырьки, которые остаются внутри материала даже при перемешивании и скатии. При застывании они преобразуются в воздушные пустоты диаметром от 0,01 до 1 мм, наиболее часто встречающиеся размером около 0,1 мм. Благодаря своему малому размеру и большому количеству эти пустоты значительно повышают устойчивость бетона к воздействию мороза.

Определение воздушных пор по объему пустот в материале

Одним из преимуществ использования воздушных пор является возможность их идентификации непосредственно в бетонной смеси по объему, а также относительно простая процедура измерения их характеристик после того, как бетон затвердеет.

Один из самых элементарных показателей – количество воздуха. При анализе учитывается, возник естественным путем или образовался благодаря специальному компоненту, способствующему насыщению воздухом. Если качество этого компонента не вызывает сомнений, то, вероятно, поры будут мелкими и обладают высокой эффективностью.

Таблица 2 – Требования к бетону для гидротехнических конструкций

НК заполнител.я, мм	Объем вовлеченного воздуха, % при $B/D > 0,5$
10	5-7
20	4-6
40	3-5
80	2-4

Вместо того чтобы учитывать объем воздушных пустот в расчетах по прямому соотнесению с объемом бетона целесообразнее анализировать арматурные элементы в связи с объемом цементного камня, который они окружают и обеспечивают надежную защиту. На практике это учитывается косвенно, например, через увеличение нормы воздухововлекающих добавок в бетонах с мелкозернистыми заполнителями, где процентное содержание цементного камня значительно больше. Требования к бетону, предназначенному для гидротехнических сооружений, отражены в таблице 2 по стандарту ГОСТ 26633.

Технология производства базируется на бетоне, благодаря чему возможна быстрая адаптация производственного процесса. Используют две методики. Самая элементарная из них заключается в сравнении реальной плотности бетона с той, что была предварительно определена посредством формулы абсолютных объемов – при этом вычисляется и показатель степени уплотнения бетонной массы. Несмотря на то, что данный подход не всегда даёт абсолютно точные результаты, это в неточности в определении предполагаемой плотности компонентов смеси обуславливают проблему. Улучшить точность анализа возможно за счет сопоставления расчетных значений с реальными показателями плотности бетона: первоначально в чистом виде, а затем уже после добавления модификаторов. Сравнительный анализ этих данных даст возможность оценить объем воздуха, вовлеченного в состав материала. Вместе с тем самым достоверным подходом остается измерение давления согласно требованиям стандарта ГОСТ 10181.

Невозможно точно установить размеры образующихся воздушных включений, что является ограничением данного метода. Несмотря на применение добавок, увеличивающих вероятность попадания воздуха, их величина остаётся неустойчивой из-за влияния множества факторов – типа добавок, соотношения компонентов смеси, продолжительности вибрации и прочих [6]. Таким образом, предпочтительнее использовать критерии, которые позволяют учитывать габариты этих же воздушных пор.

Для определения характеристик воздушности бетона проводят микроскопические исследования шлифов. Одним из наиболее распространенных показателей является количество воздушных пор малого размера (диаметром до 0,3 мм), который позволяет оценить их влияние на свойства материала. Однако этот метод не различает поры в диапазоне размеров от 0,01 до 0,3 мм по степени их эффективности. Альтернативой является «фактор расстояния», предложенный Т. Пауэрсом и получивший широкое признание благодаря своей точности.

При определении коэффициента расстояния применяется упрощенная модель воздушной сети, состоящей из пор. Эта сеть имитирует реальную структуру, обладая тем же объемом и числом пор, однако все поры в ней идентичны по размеру и равномерно распределены. Каждая пора окружена кубом, сложенным из каменного материала, а расстояние от самой дальней точки этого куба (его угла) до центра поры определяет значение коэффициента расстояния.

$$ФР = \frac{30}{\alpha} \left[1,4 \cdot \left(\frac{V_{ц.к.}}{V_{в.п.}} + 1 \right)^{\frac{1}{3}} - 1 \right], \text{мм.}$$

где $V_{ц.к.}$ – представляет собой процентное содержание вяжущего вещества в бетоне; $V_{в.п.}$ – обозначает долю воздушных пустот в бетоне, выраженную в процентах; а α – характеризует общую площадь поверхности этих самых воздушных пор, измеренную в квадратных сантиметрах на кубический сантиметр объема.

Фактор расстояния упрощенно отражает среднее удаление между воздушными пустотами в структуре цементного материала. Как и "защищенный объем" этого же материала (учитываемый при расчётах в таблице 1), он определяется исходя из величины общей площади поверхности воздушных пор. Эффективность этих пор возрастает пропорционально уменьшению толщины слоя цементного камня при условии равномерного расположения пор на его поверхности.

Для оценки воздушных пор часто применяют показатель удельной поверхности. Анализ промышленных образцов бетона выявил, что при использовании специальных модификаторов для образования воздушных пор это значение варьировалось от 243 до 630 см²/см³, в то время как в бетонах без подобных добавок оно находилось в диапазоне 42-436 см²/см³ [8]. Полученные результаты подтверждают отсутствие четкого разделения между различными типами воздушных пор и указывают на неточность обозначения "зашемленного" воздуха как "случайного".

В ряде государств применение критерии удаленности упрощается за счет единого определения "бетон с повышенной морозостойкостью" – без детализации по классам прочности. Принято считать, что для обеспечения требуемой морозостойкости максимальный размер зерен заполнителя должен быть в пределах 0,2–0,25 мм. Однако известно, что дальнейшее снижение этого размера способствует улучшению характеристик бетона в условиях низких температур.

Определение характеристик воздушности бетона представляет собой сложную задачу. Однако этот процесс не предполагает длительного выдерживания образцов (например, 28 дней для проверки морозоустойчивости), и может быть выполнен за несколько дней [7]. Это обеспечивает высокую скорость проведения испытаний.

Оценивая общую эффективность воздушности бетона, важно учитывать влияние сопутствующих технических параметров, среди которых ключевым является водоцементное отношение (В/Ц) [8]. Обычно корректировка данного параметра тесно связана с расчетом количества захваченного воздуха. Как показывает практика, коэффициент водоцементности находится в диапазоне от 0,55 до 0,45, уменьшаясь в случаях, когда требуется повысить устойчивость бетона к низким температурам (в соответствии с требованиями ГОСТ 26633 и ГОСТ 31384-2008).

Недостатки бетона с добавлением воздуха и сферы его использования.

Захватываемый воздух не вводится напрямую подобно остальным ингредиентам бетона. Количество и величина воздушных пузырьков в бетоне зависят от ряда факторов, помимо состава добавок: зернового размера песка, отношения между связующим веществом и водой, количества цемента и воды, способа смешивания компонентов, температуры окружающей среды, а также от доли минеральных добавок. Поэтому создание в бетоне структуры из воздушных пор с заданными свойствами – сложная технологическая задача. Успешное решение этой задачи реализуемо на предприятиях с высоким уровнем технологичности, обеспечивающим стабильное качество сырья и применяющим фракционированные наполнители, особенно при выборе песка.

В обычном бетоне часто встречаются существенные различия в количестве воздуха, который входит в его состав. В процессе возведения Байпазинской ГЭС согласно анализу шестнадцати про содерхание воздушных пузырьков колебалось в пределах от 1,4% до 11,8% [2]. Подобные показатели – от 2% до 10% – зафиксированы также при производстве бетонной брускатки [4]. Оптимизация производственных методик способствует снижению этого диапазона значений. Кроме того, при проверке качества бетона на нескольких значительных американских дамбах выявлены вариации объема воздуха от 2,9% до 5,6% [8].

Использование специализированных компонентов часто приводит к непредсказуемости воздушных пустот в материалах, что подталкивает исследователей к поиску других способов создания необходимой пористости [14]. В качестве альтернативы рассматривается внедрение «захваченного» воздуха с помощью полимерных микрокапсул или использования пористых включений [10]. Особое внимание уделяется газовыделяющим добавкам, к примеру, ГКЖ-94, благодаря успешному опыту их применения в производстве, демонстрирующему снижение вариативности объема газовой фазы в бетоне [2]. Тем не менее, искусственная аэрация остаётся наиболее распространенным методом получения бетона с повышенной устойчивостью к воздействию низких температур.

В соответствии с требованиями ГОСТ 26633-91 использование воздуховодоуплотняющих добавок допустимо при условии выдерживания не менее 200 циклов замораживания-оттаивания. Исходя из этого, можно обозначить два различных случая:

- при низкой стойкости к замораживанию – в пределах 200–300 циклов – содержание зафиксированного воздуха остается небольшим, обычно около 3–4 процентов. Добиться этого можно с помощью пластификаторов на основе лигносульфонатов, которые уже содержат некоторое количество воздуха (и способствуют увеличению количества песка), либо путем уменьшения количества используемых воздухововлекающих добавок. Изменения в объеме воздуха будут незначительными, что позволяет получать такой бетон при обычных объемах работ;

- при морозоустойчивости в 400 циклов и более количество поглощенного воздуха должно составлять от 4% до 6%, причем наблюдаются значительные изменения этого показателя. Для обеспечения стабильности необходимо поддерживать высокий уровень квалификации при производстве, проводить регулярный мониторинг количества включенного воздуха и оперативно корректировать его значения.

Для достижения заданных характеристик бетона целесообразно принимать во внимание изменения в количестве воздуха, включенного в смесь. В этом случае необходимо: 1) установить границы допустимых изменений объема воздуха; 2) определить оптимальное среднее значение этого объема таким образом, чтобы минимального значения было достаточно для обеспечения морозоустойчивости бетона, а максимального – для сохранения его прочности (путем регулировки количества используемого цемента).

Увеличение количества воздушных пор всего на 1% приводит к приблизительному снижению прочности бетона на 5%. Однако при использовании модификаторов, вводящих воздух в бетонную массу, это негативное влияние смягчается. Микроскопические пузырьки воздуха повышают текучесть бетонной смеси благодаря явлению, напоминающему принцип действия шариковых подшипников, а добавки часто также оказывают пластифицирующее воздействие. Поэтому при разработке рецептуры необходимо учитывать одновременное присутствие как воздуха, так и пластификаторов.

Выводы

При создании бетонной смеси определенной прочности без использования добавок основой является ее начальный состав, а затем происходит следующее:

- Исходя из необходимой степени защиты от замерзания, выбирается количество воздуха, который будет захвачен в растворе.
- Практическим путем подбирается оптимальное количество воздухововлекающего компонента.
- Определяется процентное соотношение воды и добавочного компонента, необходимое для получения оптимальной консистенции смеси.
- Чтобы сохранить исходную механическую прочность, вычисляется нужное количество цемента путем сопоставления показателей водоцементности в базовой смеси и отношения суммы воды и объема заключенного воздуха к количеству цемента в модифицированной смеси.
- Используя формулу абсолютных объемов, учитывающую наличие воздуха, корректируется количество песка.

Рецензент: Умарзода У.Х. — к.т.н., первый заместитель Председателя Комитета по архитектуре и строительству при Правительстве Республики Таджикистан.

Литература

- Шарифов А. Морозостойкость цементно-волластонитовых бетонов / Шарифов А., Акрамов А.А., Хокиев М.К., Умаров У.Х. // Вестник Таджикского технического университета, серия 4(16), Душанбе: «Шинос», 2011. – С.49 – 52
- Кунцевич О.В. Бетоны высокой морозостойкости для сооружений Крайнего Севера. Л.: Стройиздат, 1983, 132 с.
- Хворостянский В.Ф. Сопоставление прочности и морозостойкости пропаренных бетонов и растворов. Вопросы общей технологии и ускорения твердения бетона. М.: Стройиздат, 1970, с. 35-42.
- Грапп А.А., Грапп В.Б., Якобсон Л.В. Совершенствование технологии получения морозостойких бетонов. Рига, 1982, 41 с.
- «Добавки в бетон». Справочное пособие. М.: Стройиздат. 1988, стр. 571.
- Powers T.C. Topics in Concrete Technology. 3. Mixtures, Containing Intentionally Entrained Air. 4. Characteristics of Air Void Systems. Journal of PCA Research and Development Labs. September 1964, pp. 19-42, January 1965, pp. 23-41.
- Добролюбов Г., Ратинов В.Б., Розенберг Т.И. Прогнозирование долговечности бетона с добавками. М.: Стройиздат, 1983, 213 с.
- Невилль А.М. Свойства бетона. М.: Стройиздат, 1972, 344 с.
- Mielenz R.S., Wolkodoff V.E., Backstrom J.E., Burrows R.W. Origin, Evolution and Effekts of the Air Voids System in Job Concrete. Journal ACI, Oktober 1958.
- Зоткин А.Г. Обеспечение морозостойкости бетона. Иркутск, 1988, 86 с
- Шарифов А. Влияние декстрина на водонепроницаемость и морозостойкость бетона на цементно – волластонитовых вяжущих / Шарифов А., Акрамов А.А., Сайрахмонов Р.Х., Камолов С.Г. // Вестник Таджикского технического университета, серия 1(21), Душанбе: «Шинос», 2013. – С.49 – 52.
- Шарифов А. Влияние кремнезёма содержащего минерального наполнителя цемента на химический и фазовый составы цементного камня в бетоне / Шарифов А., Акрамов А.А., Сайдов Дж.Х., Назиров Я.Г. // Политехнический вестник, Серия: Инженерные исследования 2(42), Душанбе: «Шинос», 2018. – С. 101–104
- Шарифов А. Низкомарочный керамзитобетон с воздухововлекающей химической добавкой. / Шарифов А., Акрамов А.А., Шарипов Ф.Б. // Политехнический вестник, Серия: Инженерные исследования 3(42), Душанбе: «Шинос», 2018. – С. 70–74
- Шарифов А. Эффекты суперпластификаторов в бетонной смеси / Шарифов А., Акрамов А.А., Умаров У.Х, Хокиев М.К., Ахмедов М.Ф. // Политехнический вестник, Серия: Инженерные исследования 1(49), Душанбе: «Шинос», 2020. – С. 139–142.

МАЪЛУМОТ ДАР БОРАИ МУАЛЛИФ-СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ-INFORMATION ABOUT AUTHOR

TJ	RU	EN
Акрамов Авазҷон Абдуллоевич	Акрамов Авазжон Абдуллоевич	Akramov Avazjon Abdulloevich
Номзади илмҳои техникӣ, дотсент	Кандидат технических наук, доцент	Candidate of technical sciences, associate professor
Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осими	Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими	Tajik Technical University named after Academician M.S. Osimi
E-mail: akramov.avaz@mail.ru		