

СПОСОБЫ ПОВЫШЕНИЯ ДОЛГОВЕЧНОСТИ БЕТОНА С ВВЕДЕНИЕМ ДОБАВКОК

А.А. Акрамов

Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими

Статья посвящена повышению долговечности бетона с помощью добавок. Увеличение срока службы бетона достигается за счет его улучшения, неспособность материала пропускать влагу – важнейшее свойство, обеспечивающее высокую прочность конструкций из бетона и железобетона. В представленном материале приводятся вычисления, необходимые для оценки характеристик бетоносмеси.

Ключевые слова: бетон, долговечность, проницаемость, морозостойкость, стойкость, пористость, плотность.

УСУЛҲОИ БАЛАНД НАМУДАНИ ДАРОЗМУДДАТИИ БЕТОН БО ВОРИД НАМУДАНИ ИЛОВАҲО

А.А. Акрамов

Мақола ба баланд намудани дарозмуддатии бетон бо ворид намудани иловаҳо баҳшида шудааст. Зиёд намудани мӯҳлати истифодабарии бетон аз хисоби беҳтар намудани обнагузаронии масолеҳи бетон, ки яке аз хусусиятҳои асосии он аст, иборат буда баландмустахкамии конструксиҳои бетонӣ ва оҳанубетониро таъмин менамояд. Дар мақола хисобҳо оиди баҳодиҳии хислатҳои маҳлули бетонӣ пешниҳод гардидаанд.

Клизвожаҳо: бетон, дарозмуддати, гузаронда, хунукитобовар, устуворӣ, ковоки, зичӣ.

METHODS OF INCREASING THE DURABILITY OF CONCRETE BY ADDING ADDITIVES

A.A. Akramov

This article is devoted to improving the durability of concrete using additives. Concrete's service life is extended through its improvement; the material's impermeability to moisture is a key property that ensures the high strength of concrete and reinforced concrete structures. The presented material provides calculations necessary for assessing the characteristics of concrete mixture.

Keywords: concrete, durability, permeability, frost resistance, resistance, porosity, density.

Введение

Бетон характеризуется высокой долговечностью благодаря способности сохранять свои физико-механические характеристики в течение всего периода его эксплуатации [1]. Под долговечностью бетона подразумевают его свойство сохранять заявленные характеристики на протяжении всего срока службы сооружений, подвергающихся воздействию окружающей среды [2]. Бетон считается долговечным, если способен противостоять внешним факторам и оставаться целостным в течение значительного количества лет, соответствующих условиям его эксплуатации [3-9].

Долговечность бетонных конструкций подвержена влиянию разнообразных факторов – как находящихся внутри материала, так и действующих извне. К числу внешних причин, вызывающих разрушение, относятся физическое воздействие окружающей среды, резкие колебания температуры и агрессивное действие газов, содержащихся в атмосфере. К внутренним факторам относятся взаимодействия между щелочными компонентами цемента и кремнезёлом в составе заполнителя, а также различные изменения объёма цементного камня и заполнителя, обусловленные разницей в их температурном расширении.

При должном внимании к технологии производства и эксплуатации прочность бетонных конструкций способна увеличиваться даже при воздействии колебаний температур и уровня влажности.

Качество бетона во многом определяется его надежностью – способностью выдерживать эксплуатационные нагрузки в течение определенного периода времени. Долговечность же тесно связана как со сроком службы материала, так и с условиями, в которых он используется или хранится. Исходя из этого определения, можно обосновать методы оценки долговечности бетона, используя устойчивость к различным факторам как основной критерий. Стойкость бетона делят на фактическую и относительную. Последнюю характеризуют как способность бетона или железобетона противостоять воздействию определенных материалов, например, известковых составов. Важно учитывать, что фактические испытания могут требовать значительного времени; искусственное ускорение процесса посредством изменения условий воздействия или типа агрессивной среды может исказить механизм разрушения материала.

Согласно исследованию, проведенному автором [11], надежность эксплуатации бетона, железобетона и изделий из них напрямую зависит от их способности противостоять негативным факторам окружающей среды. Долговечность этих конструкций обеспечивается лишь в том случае, если бетон, стальная арматура и сами железобетонные элементы выдерживают нагрузки и воздействия, характерные для условий их применения. Ожидаемый срок службы различных типов бетонов и железобетонных конструкций представлен в последующей таблице 1.

Таблица 1 – Сроки службы бетонов и железобетонных конструкций

Материал конструкции	Срок службы (предел), годы		
	нижний	средний	верхний
Обычный бетон	30	70	Нет предела
Автоклавный легкий бетон	10	35	60+α
Бетонные блоки	10	45	70+α
Сборный железобетон, толщиной, см	4 8 12	15 25 30	60+α 80 Неопределенный
Плиты	15	40	60+α

Примечание: α – учитывается при умеренном воздействии внешней нагрузки.

Для увеличения срока службы бетона и железобетонных конструкций принципиально важно грамотно сформулировать исходные данные для технико-экономического обоснования проекта. Это сложный процесс, требующий значительных затрат времени, поскольку необходимо взвесить все расходы, связанные с увеличением прочности, с непосредственными результатами и рядом дополнительных преимуществ, таких как улучшение экологической ситуации и создание благоприятной санитарно-гигиенической среды в помещениях здания. Анализ проблемы обеспечения долговечности бетона и железобетона следует проводить, учитывая два ключевых аспекта: воздействие внешних факторов на материал и влияние самого материала и конструкции (включая арматуру и бетон) на окружающую среду.

При анализе второго фактора необходимо детально исследовать воздействие внешней среды на стальную арматуру и бетон в железобетонных конструкциях, включая изучение процессов и скоростей коррозии. На этом этапе следует также определить методы улучшения устойчивости бетона и железобетона к негативному влиянию агрессивных сред [10]. Продолжительность службы бетона напрямую связана с его способностью противостоять проникновению влаги, что является ключевым показателем качества этого материала.

Для определения путей увеличения срока службы конструкций необходимо анализировать влияние внешних условий и определять основные факторы их воздействия на арматурное железо и бетон, прежде всего на железобетонные сооружения. Также важно исследовать механизм и скорость протекания процессов коррозии с целью разработки методов улучшения устойчивости бетона и железобетона к негативному воздействию окружающей среды [10]. Значительную роль в обеспечении долговечности бетона играет его способность пропускать влагу и другие вещества.

Методы определения пористости и проницаемости бетона

Способность бетона к проникновению газов и жидкостей является важной характеристикой материала и исследуется с использованием различных методик оценки пористости и прочности. Данное свойство определяется как возможность бетона пропускать сквозь себя жидкости или газы под воздействием разницы давлений – этот параметр указывается в маркировке бетона буквой "W", обозначающей водонепроницаемость. Также бетон может обладать способностью к диффузии – процессу перемещения веществ, растворённых в воде, даже при отсутствии разности давлений; эта особенность оценивается посредством нормативных значений плотности потока и электрохимического потенциала [12].

Авторы исследования [3-9] отмечают, что воздействие воды и агрессивных жидкостей на бетон ухудшает его эксплуатационные качества, включая устойчивость к низким температурам. В результате проникновения этих компонентов внутрь структуры материала происходит вымывание гидроксида кальция – Ca(OH)₂. Интенсивность этого процесса зависит от проницаемости бетона, являющейся ключевым показателем его надежности, то есть морозостойкости. Коррозия арматуры происходит в результате проникновения влаги и воздуха в армированном бетоне и это приводит к нарастанию объема бетона, в результате которой появляются трещины и отслаивание защитного слоя. Прохождение воды через толщину бетона зависит не только от её давления, но и от избыточного давления, возникающего при осмосе.

Даже в твердом цементном теле и заливочном материале присутствуют воздушные пустоты. В готовом бетоне эти пустоты могут занимать от 1 до 10 процентов общего объема из-за отделения воды или неполного уплотнения. Это происходит потому, что частицы заполнителя в плотном бетоне тесно соприкасаются с цементным камнем. Именно свойства цементного камня оказывают ключевое влияние на общую проницаемость бетона.

При создании бетонной смеси важно обеспечить высокую плотность материала, однако даже при этом в бетоне формируются капилляры и гелевые пустоты. Доля капиллярных пор может варьироваться от нуля до сорока процентов от общего объема цементного камня, а доля пор в геле – до тридцати процентов, что определяется степенью гидратации и соотношением воды к цементу.

Водопоглощение бетона вычисляется как отношение массы влажного образца к массе сухого образца – эта величина отражает количество пор в бетонной структуре, то есть его проницаемость.

Водопроницаемость бетона обусловлена принципами фильтрации жидкостей сквозь материалы с порами. В цементном камне отдельные составляющие связаны между собой, поэтому вода способна к адгезии лишь на ограниченной площади. Активное участие воды в процессе фильтрации связано с её высокой мобильностью и увеличенной вязкостью. Характеристики пор в бетоне – их расположение, величина и протяженность – оказывают существенное воздействие на степень его водопроницаемости, которая является сложной функцией зависящей от его пористости.

Эксперименты, выполненные на основе цементного геля, показали, что при пористости 28 % его способность к проникновению составляет $7 \cdot (10-14)$ см/сек. Таким образом, капиллярная структура цементного материала позволяет оценить степень его водопроницаемости. Процесс фильтрации воды через бетон влияет на эту проницаемость. Анализируя изменение размера, формы и количества цементных составляющих, возможно установить количество связанной воды в цементном растворе. В результате гидратации происходит увеличение объема структуры с порами примерно на 2,1 раза по сравнению с исходным цементом, что приводит к значительному снижению проницаемости; водные полости замещаются продуктами реакции [3-9].

На характеристики прочности и способности к проникновению влаги в затвердевшем цементном растворе значительное влияние оказывают степень закрытости пор, их размер, форма и количество гелеобразующего вещества. Таким образом, прочность материала напрямую зависит от его структуры. При идентичном соотношении воды и цемента использование цемента с крупным помолом приведет к образованию более неоднородной и пористой структуры, в отличие от цемента мелкого помола. Влияние химического состава цемента на его способность пропускать воду обратно пропорционально уровню завершенности процесса гидратации.

Исходя из этого, можно заключить, что на долговечность цементного материала влияет уровень связанной воды; при этом уменьшение способности к проникновению свидетельствует о повышении его устойчивости, что позволяет предположить зависимость прочности от соотношения объема гелевой структуры и доступного пространства.

Проницаемость бетона, показывающая объем воды, прошедшего за час через единицу площади при заданном давлении, выражается числом K_{np} и рассчитывается с использованием следующей формулы [13]:

$$K_{np} = \frac{B}{At(\rho_1 - \rho_2)}$$

где: A – площадь образца в квадратных сантиметрах; t – продолжительность испытания в часах; ρ_1 и ρ_2 – значения градиента давления.

Как показывает практика, достаточно редко подтверждается зависимость непроницаемости цементного камня от его водоцементного отношения, так как технологический процесс играет основную роль.

Наличие крупных пор в цементной матрице при одинаковых пропорциях воды и цемента определяется объемом используемого цемента, его типом, а также качеством сжатия, которое нередко нарушается, что существенно сказывается на способности материала пропускать воду.

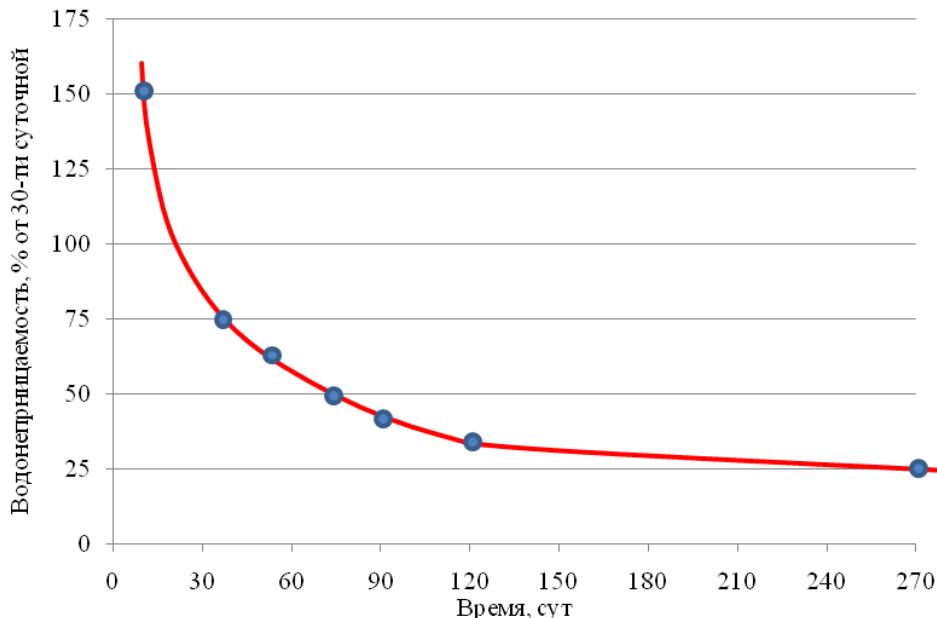


Рисунок 1 – Динамика водонпроницаемости бетона в зависимости от его возраста.
Через 30 суток водонпроницаемость считается равной 100%.

Вода, попадая в бетон при поливке, проникает в его микропоры и микрокапилляры. Под действием поверхностных сил вода теряет способность свободно перемещаться и задерживается в этих структурах. Этот процесс, известный как кольматация пор и капилляров, уменьшает проницаемость бетона. Со временем прочность бетона растет, поскольку объем пор уменьшается вследствие заполнения их продуктами гидратации цемента. Это изменение пористости бетона также приводит к снижению его проницаемости. В графике 1 показано, как возраст бетона сказывается на его водопроницаемости.

Влияние плотности на проницаемость

Связь между пористостью и плотностью бетона тесно связана с размером капилляров в его паровом пространстве. Диаметр этих капилляров варьируется от 15 ангстрем до сотых долей микрометра. В ходе длительного процесса гидратации капилляры бетона заполняются веществами, образующимися в результате реакции.

Эти продукты имеют свойства перекрывать капилляры бетона на отдельных участках. Разновидность размера радиуса капилляров в бетоне дает возможность определять различные механизмы переноса через толщу бетона газов и жидкостей.

Пропуск газов и жидкостей через бетон зависит от его типа и подчиняется разным физическим законам. Крупнопористые бетоны следуют законам аэро- и гидродинамики. Тяжелые и легкие бетоны массового производства подчиняются закону Пуазейля, но в зависимости от режима течения – ламинарного или турбулентного. Специальные бетоны же характеризуются диффузионным переносом, который может быть капиллярным (для жидкостей) или кнудсеновским (для газов).

Для бетонов, которые используются в химической промышленности, типичны явления диффузии, осмоса и диализа.

Согласно авторам [14] в вязкостном потоке влияние вязкости и плотности флюида выражается следующим образом:

- $\Delta p = k \frac{\eta \cdot v \cdot b}{r^2}$ при ламинарном потоке;
- $\Delta p = k \frac{\Pi^2 \cdot n \cdot b}{l}$ – при турбулентном потоке.

В цементных материалах, применяемых в химических процессах, часто наблюдаются процессы диффузии, осмоса и диализа. Как отмечают исследователи в работе [8], воздействие вязкости и плотности жидкости во вязком течении описывается следующими уравнениями:

- $\Delta p = k \frac{\eta \cdot v \cdot b}{r^2}$ – для ламинарного режима движения;
- $\Delta p = k \frac{\Pi^2 \cdot n \cdot b}{l}$ – для турбулентного режима.

где k — показатель проницаемости, η — вязкость текучей среды, v — средняя скорость движения жидкости вдоль линии тока, b — параметр, характеризующий размер рассматриваемого объекта, Π — доля пор в объеме, n — отношение плотности газа к плотности воздуха, r — диаметр капиллярного канала.

В целях описания капиллярно-пористых веществ, как проницаемой среды, несколько исследователей в работе [15] предложили усовершенствованные подходы к моделированию. Авторы, включая Дамклера, Л.С. Лейбензона [16], Баррера [17], Флада [18], Дейса [19] и других, использовали модель пористой структуры, основанную на идее цилиндрических каналов, расположенных параллельно друг другу. Однако ключевым ограничением такого подхода является ошибочное предположение о нулевой проницаемости пористого материала в перпендикулярном направлении, что противоречит реальному состоянию дел.

Согласно широко используемой модели пористой структуры, разработанной Слихтером, ее можно представить как объем, содержащий равномерно расположенные сферические элементы (известную также как модель искусственного основания). Структура может принимать форму куба, шестигранника или тетраэдра. Эта структура формируется из капилляров, обладающих изогнутой осью и поперечным сечением в форме меняющегося треугольника, который циклически уменьшается от наибольшего размера до наименьшего.

Согласно исследованиям Дарапского и Манегольда [20], многослойная структура, состоящая из большого количества сфер, способна формировать разнообразные конфигурации. Это обусловлено тем, что отдельные сферы, проникающие в пространство между расположенными ниже, трансформируют общую структуру упорядоченности. В результате более плотного расположения образуются две альтернативные формы пустот в отличие от одной модели, предложенной Слихтером. Однако модель Слихтера имеет ограничения, включая недостаточный уровень пористой структуры и отсутствие непрерывного контакта между частицами, что затрудняет ее использование для анализа поведения твердых тел.

Согласно точке зрения М.М. Дубинина, рассматриваемая пористая структура представляет собой сложную сеть, состоящую из больших и малых пор, соединенных между собой мелкими каналами.

Анализ с использованием техники Бехгольда–Думанского и наблюдение под оптическим микроскопом выявили, что протяженность капилляров наибольшего размера обычно значительно превышает размер рассматриваемого материала.

Эти капилляры отличаются изменчивым диаметром и располагаются среди округлых пор, что характерно для сетевидных капилляров. Оптимально эта структура мелких капилляров демонстрируется схемой, разработанной Викком и М. М. Дубининым.

Макропористость является общим признаком бетонных конструкций и оказывает значительное влияние на их физико-химические характеристики, включая способность пропускать различные вещества. При этом доля пор с диаметром более 10^{-5} см обычно не выходит за пределы 30% от общего объема бетона, чаще всего составляя величину между 10 и 15%.

Определение проницаемости вещества по параметру его общей пористости возможно лишь с некоторой погрешностью.

В бетоне перемещение газов и жидкостей происходит благодаря разнице в давлении, концентрации веществ, температуре и электрохимическим градиентам. Жидкая фаза способна проникать сквозь структуру бетона, используя сразу несколько различных способов переноса.

Обычно наблюдается доминирование одного механизма перемещения для большей части бетонных конструкций при наличии разницы давлений в условиях ламинарного либо турбулентного течения.

Коэффициенты проницаемости бетона варьируются в очень больших пределах, охватывая более десятка порядков величин. Существующие способы оценки способности бетона пропускать жидкость в зависимости от объема прошедшей сквозь него жидкости делятся на два типа: определяющие высокую и низкую степень проницаемости.

Бетон относят к первой категории материалов, поскольку его пропускная способность обусловлена двойным механизмом: перемещением жидкости по Пуазейлю и Кнудсену, дополненным капиллярной фильтрацией в условиях типового размера образцов. Во вторую группу входят бетоны, свойства которых в отношении проницаемости обусловлены диффузией, осмосом, термодиффузией и электрохимическими процессами переноса веществ.

Объем жидкости, прошедшей сквозь исследуемый материал, определяют либо прямым физическим измерением, либо непрямыми методами, основанными на химическом, физико-химическом или радиохимическом анализе. Во вторую группу входят подходы, которые принимают во внимание особенности процесса перемещения жидкости. Преобладающими являются способы, основанные на диффузионном переносе. Определение коэффициента может быть осуществлено напрямую или опосредованно, используя данные о коэффициентах диффузии, растворимости и характер связи между ними и коэффициентом проницаемости. Традиционным подходом к определению коэффициента проницаемости при диффузионном переносе считается метод Баррера. Коэффициент проницаемости, обозначаемый как k , вычисляется в соответствии с уравнением [21]:

$$k = \left[\left(\frac{V_k}{T_{\text{оп}}} + \frac{V_{\text{сист}}}{T_{\text{сист}}} \right) \frac{\Delta p}{760} 273 \right] \frac{760}{p} \frac{b}{S \Delta x},$$

Здесь: p — представляет собой давление газа внутри газовой камеры; b — обозначает толщину пробы; S — площадь поверхности пробы; Δp — указывает на изменение давления в откачиваемой камере; Δx — соответствует времени, затраченному на повышение давления в камере; V_k — есть объем откачиваемой камеры; $V_{\text{сист}}$ — определяет объем неотрегулированной по температуре части вакуумной установки; $T_{\text{оп}}$ — температура эксперимента; $T_{\text{сист}}$ — температура окружающей среды.

Оценка водопроницаемости материалов на основе цемента, таких как затвердевший раствор и высокоплотные образцы, может быть осуществлена с помощью методики, предложенной С.А. Рейтлингером и основанной на диффузионном транспорте.

Влияние водонепроницаемости на свойства бетона

На характеристики водопроницаемости бетона существенно влияет процесс создания бетонной смеси. Факторы, определяющие эту способность, принято разделять на две категории: технологические, включающие состав компонентов смеси, методы приготовления, формовки и последующего ухода за бетоном; и изменения, происходящие с бетоном со временем или под воздействием агрессивных внешних условий, приводящие к модификации его физико-механических параметров, включая и степень прочности.

К началу формирования бетона применяют первичные компоненты смеси: цемент и материалы для заполнения объема. Цемент определяется минеральным составом и степенью измельчения, а заполнители - зерновым составом, минерологией, шероховатостью поверхности, пористостью и наличием химически активных веществ.

В случае сопоставимых факторов, наименее проницаемыми оказываются разнообразные типы цементов, способных увеличиваться в объеме и создавать напряжение.

Более мелкий помол цемента способствует формированию микрокапиллярной структуры в цементном камне и существенному сокращению количества крупных капилляров, что приводит к уменьшению его проницаемости. В связи с увеличением расхода воды при производстве цемента и одновременным снижением устойчивости бетона к образованию трещин эффективность использования высокодисперсных вяжущих напрямую связана с качеством уплотнения бетонной смеси и условиями, в которых будут эксплуатироваться сооружения. При производстве непроницаемого бетона ключевые требования к наполнителю связаны с распределением частиц по размерам, наличием примесей, текстурой поверхности и объемом пор.

С целью уменьшения способности бетона к проникновению рекомендуется применять для наполнения плотные горные породы, например, базальт, доломит, порфир или андезит.

Характеристики бетонной композиции оказывают существенное влияние на водопроницаемость готового изделия. Ключевые параметры состава смеси при этом включают водоцементное соотношение, количество используемого цемента, пропорцию заполнителя и цемента, а также соотношение фракций крупного и мелкого заполнителей.

Водоцементное отношение влияет на пористость и проницаемость бетона – сначала они уменьшаются при снижении этого показателя, достигая некоторого оптимального значения, а затем резко увеличиваются вследствие недостатка связующего материала. Важным параметром в данном случае выступает коэффициент раздвижки, отражающий соотношение между объемом цементного теста и объемом пор в заполнителе.

Недостаточная концентрация смеси неизменно ведет к значительному росту ее пористости, в то время как чрезмерное вибрирование способно спровоцировать разделение компонентов, усилить выход воды и, как следствие, увеличить пористость бетона. Для достижения максимальной непроницаемости бетонной конструкции важно осуществлять уплотнение смеси при минимально возможной текучести, соответствующей выбранному методу уплотнения.

Выводы

В этом исследовании рассматриваются различные методы продления срока службы бетонных и железобетонных конструкций. Особое внимание уделяется подходам, направленным на повышение гидроизоляционных свойств бетона и снижение его водопоглощения. Кроме того, приводятся формулы, с помощью которых можно определить характеристики бетона.

Рецензент: Каландарбеков И.К. — д.т.н., профессор кафедры «Промышленное и гражданское строительство» ППУ им. акад. М.С.Осими.

Литература

1. Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения: ГОСТ Р 54257-2010. – М: Стандартинформ, 2011. – 18 с.
2. Черкасов Г. И. Введение в технологию бетона. – Иркутск: Иркутский политехнический институт, Восточно-Сибирское книжное издательство, 1974.
3. Невиль А. М. Свойства бетона: [пер. с англ.] / В. Д. Парфенова, Т. Ю. Якуб. – Москва: Изд-во лит-ры по строительству, 1972.
4. Шарифов А. Комплексные химические добавки для цементных бетонов / Шарифов А., Акрамов А.А, Хокиев М.К., Умаров У.Х. // Вестник Таджикского технического университета, серия 3(11), Душанбе: «Шинос», 2010. – С.69 – 72.
5. 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.
6. Шарифов А. Коррозионностойкость бетона на цементе с кремнезёмсодержащим минеральным наполнителем / Шарифов А., Акрамов А.А, Сайдов Дж.Х., Назиров Я.Г. // Политехнический вестник, Серия: Инженерные исследования 2(42), Душанбе: «Шинос», 2018. – С. 121–125.
7. Акрамов А.А. Водонепроницаемость бетона с одинарными и комплексными добавками / Акрамов А.А., Назиров Я.Г., Муминов А.К. // Политехнический вестник, Серия: Инженерные исследования 1(53), Душанбе: «Шинос», 2021. – С. 107–111.
8. Акрамов А.А. Водонепроницаемость бетонов с добавками из местного сырья /Акрамов А.А. // Научный журнал «Водные ресурсы, энергетика и экология» Института водных проблем, гидроэнергетики и экологии Национальной академии наук Таджикистана, Душанбе: «Фархунда М», 2023. Том 2, №4 – С. 72-76.
9. Акрамов А.А. Влияние минеральных добавок на свойства цемента / Акрамов А.А. // Политехнический вестник, Серия: Инженерные исследования 1(65), Душанбе, 2024. – С. 180-183.
10. Долговечность железобетона в агрессивных средах / С. Н. Алексеев [и др.]. – М.: Стройиздат, 1990. – 317 с.
11. Структура и свойства цементных бетонов / А. Е. Шейкин [и др.]. – М.: Стройиздат, 1979. – 344 с.

12. Бетонные и железобетонные конструкции, основные положения: СП 63.13330.2012: Актуализированная редакция СНиП 52-01-2003. – М: Минрегион России, 2012. – 148 с.
13. Баженов Ю. М. Технология бетона: Учебник. – М.: Изд-во АСВ, 2002. – 500 с.
14. Беркман А. С., Мельникова Е. Г. Структура и морозостойкость стеновых материалов. – М.: Госстройиздат, 1962. – 165 с.
15. Barrer R. M. 1953. A new approach to gas flow in capillary systems // J. Phys. Chem. – 1953. – Vol. 57. – P. 35.
16. Лейбнзон Л. С. Движение природных жидкостей и газов в пористой среде. – М.: ОГИЗ Гос. изд. тех.-теор. литературы, 1937.
17. Баррер Р. М. Диффузия в твердых телах: [пер.с англ.] / Р. М. Баррер. – М., 1958 – 390 с.
18. Flood T. F. The solid-gas interface. – М.: Dekker, 1967.
19. Decey J. R. Colstowns Symposium. – Bristol, 1958.
20. Manengold T., Solf K., Die Zechnerische und experementalle Bestimung des Hohlraumvolumens in kompakterMaterie. – Kolloid Z., 1937, Bd.81.
21. Рейтлингер С. А. Проницаемость полимерных материалов. – М., 1974. – 272 с.

МАҶЛУМОТ 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 ақдемик М.С. Осими	Таджикский технический университет им. акад. М.С. Осими	Tajik Technical University named after Academician M.S. Osimi
E-mail: akramov.avaz@mail.ru		