

УДК 691.1

**ВЛИЯНИЕ ИСПАРЕНИЙ КРЕМНЕЗЕМА НА ПРЕДЫДУЩИЙ БЕТОН  
С РАЗЛИЧНЫМ СОДЕРЖАНИЕМ ПЕРЕРАБОТАННЫХ ЗАПОЛНИТЕЛЕЙ****INFLUENCE OF SILICA FUME ON THE PERVIOUS CONCRETE  
WITH DIFFERENT LEVELS OF RECYCLED AGGREGATES****Соколов Денис Сергеевич**

студент факультета гидромелиорации,  
Кубанский государственный аграрный университет  
имени И.Т. Трубилина  
dn.sokolov\_11@mail.ru

**Аннотация.** Проницаемый бетон, также называемый пористым бетоном и проницаемопроницаемым бетоном, представляет собой особый тип бетона с высокой проницаемостью, который используется для бетонных плоских работ, что позволяет дождевой воде и другим источникам проникать сквозь него (ACI 522.1-13). В настоящее время проницаемый бетон в основном используется в дорожном покрытии, что объясняется его экологическими преимуществами, такими как уменьшение стока дождевой воды, поддержание уровня грунтовых вод, удаление загрязнений воды, уменьшение потребности в прудах-накопителях и других дорогостоящих средствах контроля дождевой воды, увеличивает способность воздуха и воды достигать корней деревьев, а также повышает сопротивление скольжению и снижает шум трения.

**Ключевые слова:** бетон, проницаемый бетон, пористость, сырье, агрегаты.

**Sokolov Denis Sergeevich**

Student of the Faculty of Hydromelioration,  
Kuban State Agrarian University  
named after I.T. Trubilin  
dn.sokolov\_11@mail.ru

**Annotation.** Permeable concrete, also called porous concrete and permeable concrete, is a special type of high permeability concrete that is used for concrete flat work, which allows rainwater and other sources to penetrate through it (ACI 522.1-13). Currently, permeable concrete is mainly used in road paving, which is explained by its environmental benefits, such as reducing rainwater runoff, maintaining the groundwater level, removing water pollution, reducing the need for storage ponds and other expensive means of rainwater control, increases the ability of air and water to reach the roots of trees, and also increases slip resistance and reduces friction noise.

**Keywords:** concrete, permeable concrete, porosity, raw materials, aggregates.

**П**роницаемый бетон, также называемый пористым бетоном и водопроницаемым бетоном, представляет собой особый тип бетона с высокой проницаемостью, который используется для бетонных плоских работ, что позволяет дождевой воде и другим источникам проникать сквозь него (ACI 522.1-13). В настоящее время проницаемый бетон в основном используется в дорожном покрытии, что объясняется его экологическими преимуществами, такими как уменьшение стока дождевой воды, поддержание уровня грунтовых вод, удаление загрязнений воды, уменьшение потребности в прудах-накопителях и других дорогостоящих средствах контроля дождевой воды, увеличивает способность воздуха и воды достигать корней деревьев, а также повышает сопротивление скольжению и снижает шум трения.

Чтобы получить бетон с высокой проницаемостью и высокой пористостью, следует исключить или свести к минимуму содержание мелкодисперсных заполнителей, чтобы можно было достичь этих отличительных свойств. Следовательно, это смесь портландцемента, воды и одного или двух крупнозернистых заполнителей без добавления небольшого количества мелкодисперсных заполнителей. Для поддержания низкой плотности каркасной упаковки предпочтительны крупнозернистые заполнители одного сорта, чтобы в матрице могло образоваться достаточное количество открытых пор. Необходимое количество воды и цементного раствора используются для создания пасты, которая покрывает частицы заполнителя, но оставляет свободные промежутки между ними, следовательно, образуются поры, где в ACI 522R рекомендуется использовать соотношение вода/цемент, варьируемое от (0,26 до 0,4). Однако в случае использования низкого соотношения вода/цемент иногда необходимо использовать химические добавки, такие как водорастворимая добавка, для достижения требуемой консистенции бетона и обрабатываемости. Кроме того, для обеспечения достижения

требуемой обрабатываемости следует провести испытание на ручное перекачивание шарика [1].

Поскольку мир в настоящее время стремится свести к минимуму потребление сырья и энергии, следовательно, вместо того чтобы создавать новые продукты из первичных материалов, они вместо этого пытаются найти альтернативные вещества для производства тех же продуктов с приемлемым качеством. Таким образом, мы можем сократить количество отходов и сохранить больше свалок. Что касается бетона, то извлечение крупных заполнителей из обломков разрушенных бетонных зданий и повторное использование их в новом бетоне является новой благоприятной тенденцией, поскольку было обнаружено, что в Европе образуется более 850 миллионов тонн разрушенных строительных отходов в год, что составляет 31 % от общего объема производства бетона [2].

Однако использование переработанных заполнителей в бетоне приводит к неблагоприятным последствиям, когда наблюдается, что при увеличении процентной доли переработанных заполнителей происходит последующее снижение механических свойств бетона. Произошедшее ухудшение механических свойств объясняется тем, что более высокое водопоглощение, более высокое содержание органических и вредных веществ, более низкая плотность и более высокий уровень измельчаемости по сравнению со свойствами необработанных заполнителей. Кроме того, наличие старых цементных растворов на частицах переработанных заполнителей ослабляет бетон и влияет на его механические свойства, где было обнаружено, что в случае использования переработанных заполнителей существуют две межфазные переходные зоны между переработанным заполнителем и бетонной матрицей: первая находится между заполнителем и старым цементом паста, а вторая находится между переработанным заполнителем и новой цементной пастой. В результате было замечено, что замена необработанных заполнителей переработанными заполнителями в проницаемом бетоне увеличивает коэффициент пустот, а также снижает прочность на сжатие и растяжение более чем на 40 %. Следовательно, в некоторых аспектах использование добавок, таких как кварцевый дым, измельченный гранулированный доменный шлак, летучая зола или химические примеси, является обязательным для частичной компенсации дефектов, связанных с добавлением вторичного сырья, агрегаты. Кроме того, требуется компенсация расхода воды из-за высокого водопоглощения использованных вторичных заполнителей, где рекомендуется учитывать (10 мин.) скорость водопоглощения переработанных заполнителей, поскольку процесс замешивания бетона может быть завершен за 10 минут, и на него приходится 90 % поглощенной воды в насыщенном состоянии заполнителей. Кроме того, некоторые исследователи предположили, что наилучший процент замены необработанного крупного заполнителя переработанным составляет до 30 %, даже в некоторых исследованиях наилучший процент замены составляет до 60 %, где нет существенного ухудшения механических свойств проницаемого бетона, между тем, некоторые исследователи обнаружили, что механические свойства проницаемого бетона настолько чувствительны, что сжатие прочность снижается даже примерно на 10 % при замене каждые 10 % переработанных заполнителей [3].

Как указано выше, для преодоления ухудшения свойств бетона, произошедшего из-за частичного при замене необработанных заполнителей на переработанные, существует несколько способов улучшить свойства бетона. Одним из таких решений является использование пуццоланового материала, называемого кремнеземным дымом. Кремнеземный дым является побочным продуктом, который, в свою очередь, приводит к сокращению количества отходов. Он образуется в процессе плавки в кремниевой и ферросилициевой промышленности в виде некристаллического кремнезема. Его можно использовать в виде уплотненных порошков или суспензии, в виде смеси в бетономешалке или даже в составе цемента заводской смеси.

Частичная замена цемента кварцевым газом выгодна с химической и физической точек зрения. Физически выгоден благодаря среднему диаметру частиц, который составляет около 0,5 мкм, таким образом, непрореагировавший кремнеземный дым

заполняет пустоты микрометрового размера. Кроме того, его насыпная плотность составляет около  $600 \text{ кг/м}^3$ , что меньше насыпной плотности цемента, которая составляет  $1440 \text{ кг/м}^3$ , и, следовательно, добавление кремнезема впоследствии приведет к образованию большего количества геля, чем тот, который образуется при использовании цемента, что означает уплотнение бетонной матрицы. Кроме того, использование кремнеземного дыма приведет к сокращению расхода цемента, что, в свою очередь, сократит выброс  $\text{CO}_2$ .

С точки зрения химической реакции, поскольку это аморфный материал, он растворяется в бетоне до начала реакции и вступает в реакцию с гидроксидом кальция (С-Н) в гидратированном цементе, образуя больше геля, силикат-гидрата кальция (С-S-Н). Следовательно, кремнеземный дым уменьшает просачивание бетона и обеспечивает более плотную межфазную переходную зону вокруг заполнителей и бетонной массы, а также более плотная матрица, что, в свою очередь, увеличивает прочностные параметры. Кроме того, размер капиллярных пор и продуктов кристаллической гидратации постепенно уменьшается в зоне межфазного перехода, пока продолжаются пуццолановые реакции. Таким образом, толщина переходной зоны уменьшается и слабое звено в микроструктуре бетона сводится к минимуму [4].

Замечено, что кремнеземный дым является хорошей заменой цементу. Оптимальный дым от кремнезема процент замены составляет около 10 % в пересчете на вес цемента. Таким образом, в данном исследовании в качестве максимального процента замены цементом было использовано 10 % кремнезема. В свою очередь, конечная стоимость бетонной смеси увеличивается, поскольку кварцевый песок стоит дороже цемента.

### Литература

1. Влияние химических добавок на бетонные и железобетонные конструкции / А.В. Николовский [и др.] // Экономика и предпринимательство. – 2022. – № 9(146). – С. 1000–1002.
2. Заворотынская В.В. Современные способы ускорения набора прочности бетона / В.В. Заворотынская, Д.А. Тхазеплова, А.А. Шиховцов // Электронный сетевой политематический журнал «Научные труды КубГТУ». – 2020. – № 8. – С. 641–649.
3. Современные технологии ускорения набора прочности бетона / Е.А. Лангнер [и др.] // Вестник евразийской науки. – 2020. – Т. 12. – № 5. – С. 36.
4. Кириченко В.А. Экономико-технологические аспекты применения полистиролбетона / В.А. Кириченко, А. А. Шиховцов, А. Б. Митин // Экономика и предпринимательство. – 2017. – № 9-3(86). – С. 1204–1207.

### References

1. The influence of chemical additives on concrete and reinforced concrete structures / A.V. Nikolovsky [et al.] // Economics and entrepreneurship. – 2022. – № 9(146). – P. 1000–1002.
2. Zavorotynskaya V.V. Modern methods of accelerating the strength set of concrete / V.V. Zavorotynskaya, D.A. Tkhezeplov, A.A. Shikhovtsov // Electronic network polythematic journal «Scientific works of KubSTU». – 2020. – № 8. – P. 641–649.
3. Modern technologies of acceleration of concrete strength gain / E.A. Langner [et al.] // Bulletin of Eurasian Science. – 2020. – Vol. 12. – № 5. – P. 36.
4. Kirichenko V.A. Economic and technological aspects of polystyrene concrete application / V.A. Kirichenko, A.A. Shikhovtsov, A.B. Mitin // Economics and entrepreneurship. – 2017. – № 9-3 (86). – P. 1204–1207.