

ТЕХНОЛОГИЯ И ОРГАНИЗАЦИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА



УДК 691.327:620.1

DOI: 10.17673/Vestnik.2019.01.13

В. П. ПОПОВ
А. Ю. ДАВИДЕНКО
Д. В. ПОПОВ

О ВЛИЯНИИ ВЛАЖНОСТИ НА ПОВЕРХНОСТНУЮ ЭНЕРГИЮ БЕТОНА

INFLUENCE OF HUMIDITY ON THE SURFACE ENERGY OF CONCRETE

Рассматриваются результаты исследования влияния влажности на значения поверхностной энергии бетона. Показано, что величина последней в значительной мере зависит от влажности материала и меняется в широких пределах, иногда в несколько раз, в зависимости от этапа разрушения. Выделены две группы показателей, влияющих на процесс разрушения: физико-механические и кинетические. Показано, что поверхностная энергия, отнесенная к первой группе, является одним из параметров, определяющих прочностные и эксплуатационные характеристики бетона. Сделан вывод, что учет влажности материала позволяет объяснить поведение бетона при его замачивании.

Ключевые слова: разрушение бетона, поверхностная энергия, модуль упругости, коэффициент Пуассона, влажность материала

The results of the study of the effect of humidity on the surface energy of concrete are considered. It is shown that the value of the latter largely depends on the moisture content of the material and varies widely, sometimes several times, depending on the stage of destruction. Two groups of indicators affecting the process of destruction are identified: physico-mechanical and kinetic. It is shown that the surface energy referred to the first group is one of the parameters determining the strength and performance characteristics of concrete. It is concluded that taking into account the moisture content of the material allows us to explain the behavior of concrete when it is soaked.

Keywords: concrete destruction, surface energy, elastic modulus, Poisson's ratio, material moisture

Широкое распространение бетона и железобетона в практике строительства, объясняемое рядом параметров, из которых главным является то, что это местный строительный материал и исходное сырье можно найти в любом регионе России, потребовало дополнительных исследований в области совершенствования его структуры и методов контроля качества выпускаемой продукции. При этом особое место занимают исследования, объясняющие поведение материала при его работе в условиях различного вида внешних воздействий. Как показали многочисленные исследования, несущая способность бетона и его долговечность зависят от кинетики процессов его разрушения. Современная наука, называемая «механика разрушения», позволяет не только объяснить физическую картину работы материалов при внешнем воздействии, но и построить математические модели, описыва-

ющие особенности разрушения материала при силовом, температурном и других видах воздействий. Математическое описание процессов разрушения материалов, в том числе и бетонов, позволяет выделить их начальные характеристики, контроль которых в процессе изготовления конструкции или изделия позволяет выпускать продукцию требуемого качества.

Современные конструкционные бетоны работают в широком диапазоне внешних воздействий, таких как силовые, температурные, влажностные и др. Причем последние могут носить как статичный, так и циклический характер действия. Следует отметить, что, как правило, внешнее воздействие на бетон носит комплексный характер. Так, любая бетонная конструкция, работающая вне зданий или сооружений, воспринимает силовое, влажностное и температурное воздействия, и на процесс ее разрушения

оказывают влияние все эти три вида. При этом необходимо определить, какие из начальных характеристик наиболее чувствительны к каждому из видов внешнего воздействия.

В данной работе приводятся результаты исследования процессов разрушения бетона при различных видах внешнего воздействия и их математическое описание [1, 2]. Показано, что при любых видах разрушения существует ограниченное число начальных характеристик бетона. Оценено влияние влажности на значения последних.

Исследования, выполненные авторами данной работы, показали, что бетон разрушается, как и другие конструкционные материалы, – хрупко, лавинообразно. Это позволило использовать для математического описания процессов его деструкции энергетическую теорию механики разрушения, основанную на работах А. А. Гриффитса [3], и кинетическую концепцию механики разрушения С. Н. Журкова [4]. При этом необходимо учесть, что с точки зрения энергетической концепции бетон, как любой другой хрупкий материал, имеет три стадии разрушения, отличающиеся энергией трещинообразования.

На первой стадии, при незначительных по величине внешних воздействиях, в бетоне развивается сеть мелких трещин, небольших по величине. Как правило, при этом увеличиваются площади начальных дефектов структуры материала и они превращаются в плоские дефекты в виде микротрещин. Энергия трещинообразования ничтожно мала и практически не поддается приборной регистрации.

На второй стадии, называемой «этапом подготовки разрушения», по мере роста величины внешнего воздействия микротрещины объединяются в макротрещины и намечаются направления развития магистральных трещин. Энергия разрушения в этом случае четко фиксируется аппаратурой, и по величине она на несколько порядков выше энергии, фиксируемой на первом этапе.

На третьем этапе разрушения, называемом собственно «разрушение», происходит слияние макротрещин и превращение их в магистральные трещины. Последние разделяют бетонный элемент на отдельные части, не способные воспринимать внешние воздействия. Величина энергии трещинообразования на текущем этапе на несколько порядков превышает величины, зафиксированные на втором этапе разрушения.

Используемые авторами математические модели позволяют описать все три стадии разрушения материала и выявить комплекс параметров, отвечающих за кинетику их развития [5–8]. Было установлено, что все характеристи-

ки процессов разрушения бетона, независимо от вида внешнего воздействия, можно разделить на две группы: начальные, определяемые как структурные характеристики материала, и кинетические, зависящие от интенсивности внешних воздействий. К первой группе авторами отнесены: поверхностная энергия, модуль упругости и коэффициент Пуассона, ко второй – склонность бетона к трещинообразованию и интенсивность трещинообразования.

Исследования выполнялись на шестнадцати составах бетона, отличающихся технологическими параметрами изготовления, видом и расходом цемента, составом бетонной смеси по массе и водоцементным отношением, а также наличием химической добавки. Составы исследуемых бетонов приведены в табл. 1

Этими же исследованиями было установлено, что значения всех трех начальных физико-механических характеристик находятся в прямой зависимости от влажности материала, что было выявлено при сравнении результатов испытаний образцов в воздушно-сухом и водонасыщенном состояниях. При этом наименее чувствительной характеристикой к действию влаги является коэффициент Пуассона, а наиболее чувствительной – поверхностная энергия.

Определение значений модуля упругости и коэффициента Пуассона выполняли акустическим методом, практически реализованным путем измерения скоростей прохождения продольных и сдвиговых ультразвуковых волн по методике [9].

Поскольку авторами впервые в практику расчетов параметров бетона введена характеристика, называемая «поверхностной энергией», и отсутствовала методика её определения, ими же она и была разработана. В частности, было предложено определять значения поверхностной энергии на образцах бетона в виде пластин, имеющих в центре отверстие, через которое на образец передавалось усилие растяжения. Образец испытывался на устройстве, похожем на разрывную машину. При этом фиксировались усилия разрушения и замерялась площадь разрушенной поверхности образца.

С целью исследования оценки влияния влажности на значения модуля упругости, коэффициента Пуассона и поверхностной энергии испытания выполнялись в несколько этапов [10,11]. На первом этапе образцы-пластины после твердения в течение 28 суток с момента изготовления в нормальных условиях высушивались в сушильном шкафу до стабилизации массы, затем помещались в воду и по мере насыщения их влагой на них определялись значения модуля упругости, коэффициента Пуассона и поверхностной энергии. Испытания

заканчивались тогда, когда образцы в процессе замачивания достигали стабилизации массы. Полученные значения физико-механических характеристик приведены в табл. 2.

Результаты исследования показали следующее. Изменения значений коэффициента Пуассона были незначительными, по сравнению с другими характеристиками, и не превышали 5 %. Изменения значений модуля упругости были более существенными и достигали 35 %

в меньшую сторону. Наиболее чувствительной к наличию влаги в структуре бетона оказалась поверхностная энергия; ее значения, полученные на отдельных образцах, изменялись в 6–8 раз по отношению к первоначальным, определенным в сухом состоянии, и так же в меньшую сторону. Это наглядно можно увидеть на графиках зависимости прочности бетона на сжатие от поверхностной энергии в сухом и водонасыщенном состоянии, которые представлены на рис. 1, 2.

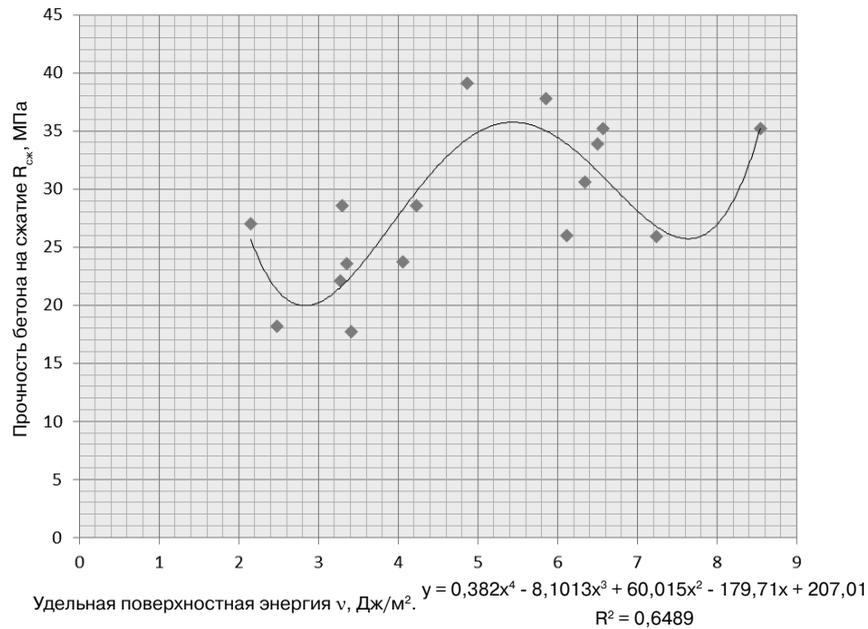


Рис. 1. Зависимость прочности бетона от поверхностной энергии для образцов в воздушно-сухом состоянии

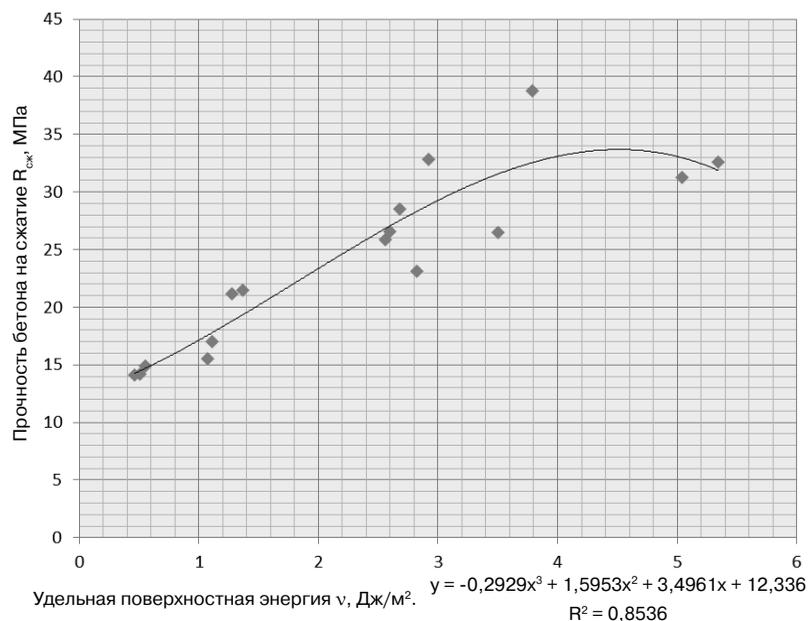


Рис. 2. Зависимость прочности бетона от поверхностной энергии для образцов в водонасыщенном состоянии

Таблица 1

Составы исследуемых бетонов

№ п/п	Вид цемента	Расход цемента, кг/м ³	Водоцементное отношение В/Ц	Состав бетонной смеси по массе Ц:П:Щ	Расход химической добавки ПАЩ-1, %
1	Быстротвердеющий портландцемент	375	0,4	1:1,59:3,18	-
2		375	0,6	1:1,52:3,03	-
3		625	0,4	1:0,78:1,57	-
4		625	0,6	1:0,72:1,44	-
5	Алюминатный портландцемент	375	0,4	1:1,59:3,18	-
6		375	0,6	1:1,52:3,03	-
7		625	0,4	1:0,78:1,57	-
8		625	0,6	1:0,72:1,44	-
9	Шлакопортландцемент	500	0,7	1:0,83:1,67	-
10		300	0,7	1:1,81:3,62	-
11		500	0,5	1:1,90:1,80	-
12		300	0,5	1:1,94:3,88	-
13		500	0,7	1:0,83:1,67	0,4
14		300	0,7	1:1,81:3,62	0,2
15		500	0,5	1:1,90:1,80	0,4
16		300	0,5	1:1,94:3,88	0,2

Таблица 2

Значения физико-химических характеристик в воздушно-сухом и водонасыщенном состоянии

№ п/п	Модуль упругости E, МПа		Коэффициент Пуассона μ		Удельная поверхностная энергия ν , Дж/м ²		Прочность на сжатие R _{сж} , МПа	
	Воздушно-сухие	Водонасыщенные	Воздушно-сухие	Водонасыщенные	Воздушно-сухие	Водонасыщенные	Воздушно-сухие	Водонасыщенные
1	30561,3	37167,6	0,220	0,219	4,87	3,79	39,1	38,8
2	21818,2	26113,3	0,221	0,210	7,24	1,28	25,9	21,2
3	22862,3	32295,7	0,218	0,155	8,54	2,68	35,2	28,5
4	25382,4	27897,5	0,187	0,206	6,11	2,82	26,0	23,1
5	20374,2	26337,7	0,248	0,235	2,15	1,37	27,0	21,5
6	17118,0	22790,6	0,254	0,243	3,41	0,55	17,7	14,9
7	22522,6	29504,6	0,196	0,212	3,35	0,46	19,4	14,1
8	22007,1	24651,6	0,237	0,233	2,48	0,51	18,2	14,2
9	21138,3	25160,6	0,229	0,221	4,06	1,11	23,7	17,0
10	15481,9	18469,9	0,237	0,243	3,27	1,07	22,1	15,5
11	26189,5	29894,3	0,218	0,204	6,34	2,56	30,6	25,9
12	22894,6	25990,4	0,234	0,221	5,85	2,92	37,8	32,8
13	22815,6	24457,1	0,217	0,174	4,23	3,50	28,6	26,5
14	22561,9	24064,0	0,198	0,212	3,30	2,60	28,6	26,6
15	25174,0	26801,1	0,201	0,163	6,50	5,04	33,9	31,3
16	24367,3	25266,9	0,220	0,219	6,57	5,34	35,2	32,6

На наш взгляд, проведенные исследования объясняют наличие эффекта снижения прочности бетона при его замачивании и явления, наблюдаемого при замачивании других природных каменных материалов и называемого «размягчением». Кроме того, проведенные исследования убеждают в необходимости учета влияния влажности бетонов на прочностные и эксплуатационные характеристики материала при проектировании и подборе составов. Такой учет позволит продлить сроки эксплуатации конструкций и изделий.

Выводы. Выполненные исследования показали, что скорость разрушения бетонных и железобетонных конструкций и изделий при различных видах внешнего воздействия в значительной мере зависит от влажности материала, поскольку последняя меняет значения всех трех начальных параметров бетона: поверхностной энергии, модуля упругости и коэффициента Пуассона, отвечающих за его прочность и долговечность. Выявлено, что значения этих характеристик меняются в сторону уменьшения. Наиболее чувствительной к количеству влаги в структуре бетона признана поверхностная энергия.

Выполненные исследования объясняют наблюдаемый многими исследователями факт снижения прочности бетона по мере его водонасыщения. Приведенные данные также позволяют рекомендовать учитывать потерю прочностных и эксплуатационных параметров при подборе состава бетона тех конструкций, которые в процессе эксплуатации будут подвергаться регулярному замачиванию.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Попов В.П., Давиденко А.Ю., Попов Д.В. Особенности описания процессов разрушения бетона при различных видах внешнего воздействия // Научное обозрение. 2015. №7. С. 123–127.
2. Истомин А.Д., Беликов Н.А. Зависимость границ микротрещинообразования бетона от его прочности и вида напряженного состояния // Вестник МГСУ. 2011. № 2-1. С. 159–162.
3. Griffith A.A. The phenomena of rupture and flow in solids // Phil.Trans.Ray.Soc. 1921. Series A-221. Pp. 163–198.
4. Журков С.Н. Проблемы прочности твердых тел // Вестник АН СССР. 1957. № 11. С.78–82.
5. Попов В.П., Коренькова С.Ф., Попов Д.В. Моделирование процесса разрушения бетона гидростатическим давлением на базе механики разрушения // Известия ВУЗов. Строительство. 2010. № 10. С.5–7.
6. Фурса Т.В., Петров М.В., Данн Д.Д., Лыков А.Е. Разработка комплексного метода оценки процессов трещинообразования при одноосном сжатии армированного бетона // Дефектоскопия. 2017. № 6. С. 63–69.
7. Василевская Н.Г., Енджиевская И.Г., Дружинкин С.В., Зубенко В.А., Зырянов Е.В. Структурные факторы управления прочностью высокопрочного монолитного бетона // Современные проблемы науки и образования. 2012. № 4. С. 151.
8. Попов В.П., Давиденко А.Ю. Разрушение бетона одноосным сжатием с точки зрения механики разрушения // Строительные материалы. 2012. №3. С. 16–17.
9. Методика определения прочностных и деформативных характеристик при одноосном кратковременном сжатии. МИ 11-74. М.: Изд-во стандартов, 1975. 68 с.
10. Мосесов М.Д. Акустические методы определения долговечности материалов // Традиции и инновации в строительстве и архитектуре. Строительство: сборник статей. Самара: СамГТУ, 2017. С. 61–65.
11. Фурса Т.В., Оситов К.Ю., Данн Д.Д. Разработка нового неразрушающего метода контроля процесса трещинообразования в бетоне под воздействием климатических факторов // Технологии бетонов. 2013. № 2 (79). С. 36–38.

Об авторах:

ПОПОВ Валерий Петрович

доктор технических наук, профессор кафедры инженерной геологии, оснований и фундаментов Самарский государственный технический университет Академия строительства и архитектуры 443001, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 194 E-mail: npc-ria@yandex.ru

POPOV Valery P.

Doctor of Engineering Science, Professor of the Engineering Geology, Foundations and Foundations Chair Samara State Technical University Academy of Architecture and Civil Engineering 443001, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 194 E-mail: npc-ria@yandex.ru

ДАВИДЕНКО Анна Юрьевна

кандидат технических наук, доцент кафедры технологии и организации строительного производства Самарский государственный технический университет Академия строительства и архитектуры 443001, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 194 E-mail: aezg@mail.ru

DAVIDENKO Anna Yu.

PhD in Engineering Science, Associate Professor of the Technology and Organization of Construction Production Chair Samara State Technical University Academy of Architecture and Civil Engineering 443001, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 194 E-mail: aezg@mail.ru

ПОПОВ Дмитрий Валерьевич

кандидат технических наук, доцент кафедры инженерной геологии, оснований и фундаментов Самарский государственный технический университет Академия строительства и архитектуры 443001, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 194 E-mail: popov38@yandex.ru

POPOV Dmitry V.

PhD in Engineering Science, Professor of the Engineering Geology, Foundations and Foundations Chair Samara State Technical University Academy of Architecture and Civil Engineering 443001, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 194 E-mail: popov38@yandex.ru

Для цитирования: Попов В.П., Давиденко А.Ю., Попов Д.В. О влиянии влажности на поверхностную энергию бетона // Градостроительство и архитектура. 2019. Т.9, №1. С. 79–84. DOI: 10.17673/Vestnik.2019.01.13.

For citation: Popov V.P., Davidenko A.Yu., Popov D.V. Influence of Humidity on the Surface Energy of Concrete // Urban Construction and Architecture. 2019. V. 9, 1. Pp. 79–84. DOI: 10.17673/Vestnik.2019.01.13.

Уважаемые читатели!

Научно-технический центр «Геотехника» с лабораторией «Механика грунтов» приглашает к сотрудничеству.

Основные направления деятельности Центра:

- инженерные изыскания;
- обследования зданий и сооружений;
- судебная экспертиза;
- консультационные услуги.

Руководитель Мальцев Андрей Валентинович

Контакты: 443001, Россия, г. Самара, Молодогвардейская, 194, корпус 13, каб. 0304 Б
тел. (846) 339-14-69, E-mail: geotechnika@ya.ru