

DOI: 10.12737/22367

Сулейманова Л.А., д-р техн. наук, проф.,  
Погорелова И.А., канд. техн. наук, доц.,  
Сулейманов К.А., студент,  
Баженова О.О., студент

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

## ВЛИЯНИЕ КРУПНОГО ЗАПОЛНИТЕЛЯ НА ПОЛЗУЧЕСТЬ БЕТОНА

[ludmilasuleimanova@yandex.ru](mailto:ludmilasuleimanova@yandex.ru)

Проведены исследования по изучению влияния количества крупного заполнителя на ползучесть бетона при длительном его загрузении постоянной нагрузкой. Крупный заполнитель в процессе ползучести претерпевает обратную деформацию, т.е. часть неупругой деформации цементного камня компенсируется обратной упругой деформацией крупного заполнителя. Чем больше последнего в бетоне, тем больше обратная его деформация, тем большая часть неупругой деформации цементного камня ею компенсируется, а, следовательно, тем меньше будет ползучесть цементной части бетона и бетона в целом.

**Ключевые слова:** крупный заполнитель, ползучесть, бетон, призмы, нагрузка, длительное загрузение.

Бетон является основным строительным материалом нашего времени. Надежность прогнозирования поведения бетона в эксплуатационных условиях может быть повышена лишь при правильном представлении о физической природе прочности и деформируемости бетона при четких представлениях о механизме влияния различных факторов на эти свойства. В связи со стремлением к сокращению материалоемкости конструкций и к облегчению веса сооружений, особую актуальность приобретают исследования природы деформируемости бетона, в частности, усадки и ползучести.

Ползучесть и усадка являются важными свойствами бетона, которые необходимо учитывать при расчете бетонных и железобетонных конструкций на длительные воздействия нагрузки, изменений температуры и влажности. В связи с этим ползучесть и усадка постоянно изучаются исследователями [1–11].

Ползучесть бетона обуславливается ползучестью цементного камня, однако крупный заполнитель может оказывать на этот процесс существенное влияние. В настоящее время пригодность крупного заполнителя для бетона определяется тем, что при применении такого заполнителя бетон обнаруживает заданную прочность при кратковременном испытании в заданный срок, а влияние крупного заполнителя на другие свойства бетона, в том числе ползучести, не всегда учитываются строителями.

Под ползучестью бетона понимают неупругие деформации бетона, развивающиеся во времени под действием силовых факторов.

Интенсивность протекания усадочных явлений и ползучести бетона зависит от многих

факторов, главнейшими из которых являются состав бетона, температура и влажность среды, время. При ползучести решающую роль приобретает также возраст бетона и степень его загрузенности.

Авторами проведены исследования по изучению влияния количества крупного заполнителя на ползучесть бетона при длительном его загрузении постоянной нагрузкой.

Изготовленные образцы в виде призм размером  $10 \times 10 \times 40$  см двое суток хранились в форме, остальное время до начала испытаний – в нормальных условиях. Призменная прочность определялась на двух призмах за один день до загрузения длительной нагрузкой. Призмы, предназначенные для испытания длительной нагрузкой, за два дня до загрузения изолировались двумя слоями парафина и тремя слоями кальки, смазанной солидолом, с целью уменьшения влияния усадки на ползучесть образцов.

Для получения наибольшего различия в деформативных свойствах цементного камня и крупного заполнителя использовался цемент низкой марки. Заполнитель применялся фракции 10–20 мм, что исключило влияние гранулометрического состава на результаты исследований.

Длительной постоянной нагрузкой  $0,2 \dots 0,4 R_{пр}$  в возрасте 14, 42, 93 и 200 суток загрузались изолированные призмы из бетона следующих составов:

– состав №1: Ц=350 кг/м<sup>3</sup>, П=680 кг/м<sup>3</sup>, Щ=1200 кг/м<sup>3</sup>, В=185 л/м<sup>3</sup>;

– состав №2: Ц=640 кг/м<sup>3</sup>, П=1240 кг/м<sup>3</sup>, Щ=1200 кг/м<sup>3</sup>, В=338 л/м<sup>3</sup>;

– состав №3: Ц=415 кг/м<sup>3</sup>, П=800 кг/м<sup>3</sup>, Щ=933 кг/м<sup>3</sup>, В=220 л/м<sup>3</sup>;

– состав №4: Ц=350 кг/м<sup>3</sup>, П=950 кг/м<sup>3</sup>, Щ=933 кг/м<sup>3</sup>, В=185 л/м<sup>3</sup>.

Центровка призм производилась как по геометрической, так и по физической оси с помощью установленных приборов. При этом нагрузка на образцы не превышала  $0,2 R_{пр}$ .

Измерение деформаций осуществлялось с помощью индикаторов часового типа с ценой

деления 0,01 и 0,02 мм на базе 200 мм, установленных на четырех гранях призм.

Длительному испытанию подвергались по две призмы из бетона каждого состава.

Результаты испытаний призм, изготовленных при различном расходе цементного клея постоянного качества, представлены на рис. 1 и 2.

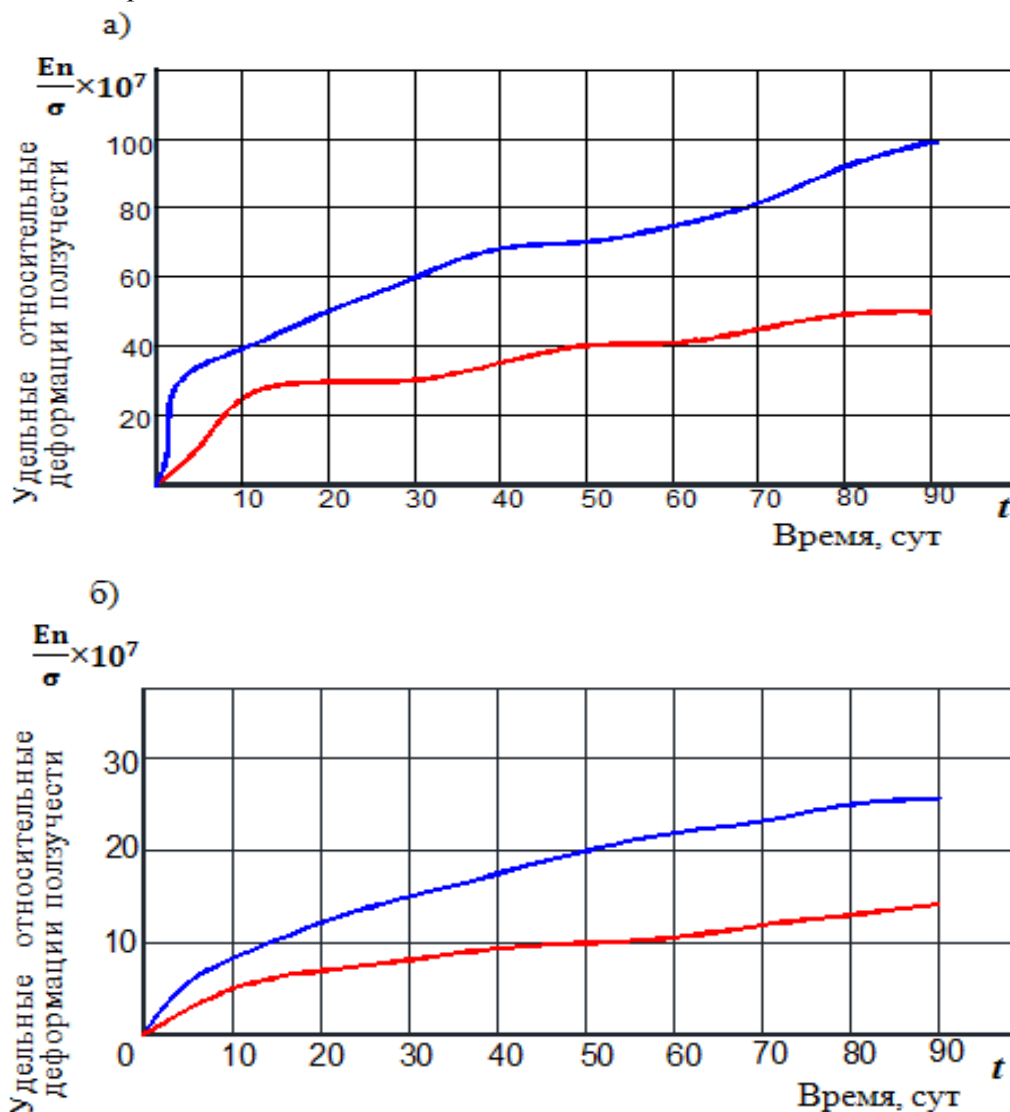


Рис. 1. Влияние количества крупного заполнителя на ползучесть бетона:

а) загрузка в возрасте 14 суток при  $\sigma = 0,2 R_{пр}$ ;

б) загрузка в возрасте 93 суток при  $\sigma = 0,4 R_{пр}$

Кривые ползучести:

— состав №1, — состав №2

Из рис. 1 видно, что при напряжении  $0,2 \dots 0,4 R_{пр}$  большему количеству цементного камня в материале соответствует большая ползучесть.

Такая закономерность вполне понятна, так как при таких напряжениях ползучесть материала обуславливается ползучестью цементного камня без нарушения его структуры. Поэтому, чем больше цементного камня в

материале, тем больше ползучесть последнего. Иная закономерность проявляется, если эти же призмы загрузить напряжением  $0,75 R_{пр}$  (рис.2). При таком напряжении материал с большим количеством цементного камня и меньшим количеством крупного заполнителя в наших экспериментах показал меньшую ползучесть независимо от возраста по загрузке.

Это объясняется тем, что при высоких напряжениях, главенствующее влияние на неупругие деформации бетона оказывает процесс возникновения и развития микротрещин. Чем раньше начнется этот процесс, тем большее влияние окажет он на длительные деформации бетона. Если в бетоне возникновение и развитие микротрещин началось при  $\sigma = 0,5 R_{пр}$ , то в растворе при  $\sigma = 0,82 R_{пр}$ . Поэтому при загрузке нагрузкой  $0,75 R_{пр}$  в растворе еще не наблюдалось микроразрушений и его неупругая деформация обуславливалась, в основном, линейной ползучестью цементного камня. В бетоне, загруженном до того же уровня, уже возникли микроразрушения и существенно повлияли на его ползучесть.

Ползучесть бетонов, имеющих содержание крупного заполнителя в пределах от нуля до  $450 \text{ л/м}^3$ , при  $\sigma = 0,75 R_{пр}$ , должна занимать промежуточное значение между ползучестью раствора и бетона состава №1. То же самое наблюдается и в первый период для бетона состава №3 (рис. 3). Однако в дальнейшем ползучесть раствора и бетона состава №3 выравнивается, что связано с неоднородностью бетона.

По-видимому, необходимо для составов №1 и №2 подобрать такой уровень нагрузки, когда их ползучести будут равны. Следовательно, на основании проведенных опытов можно утверждать, что влияние количества крупного заполнителя на ползучесть бетона связано с уровнем длительной нагрузки, которой нагружается бетон.

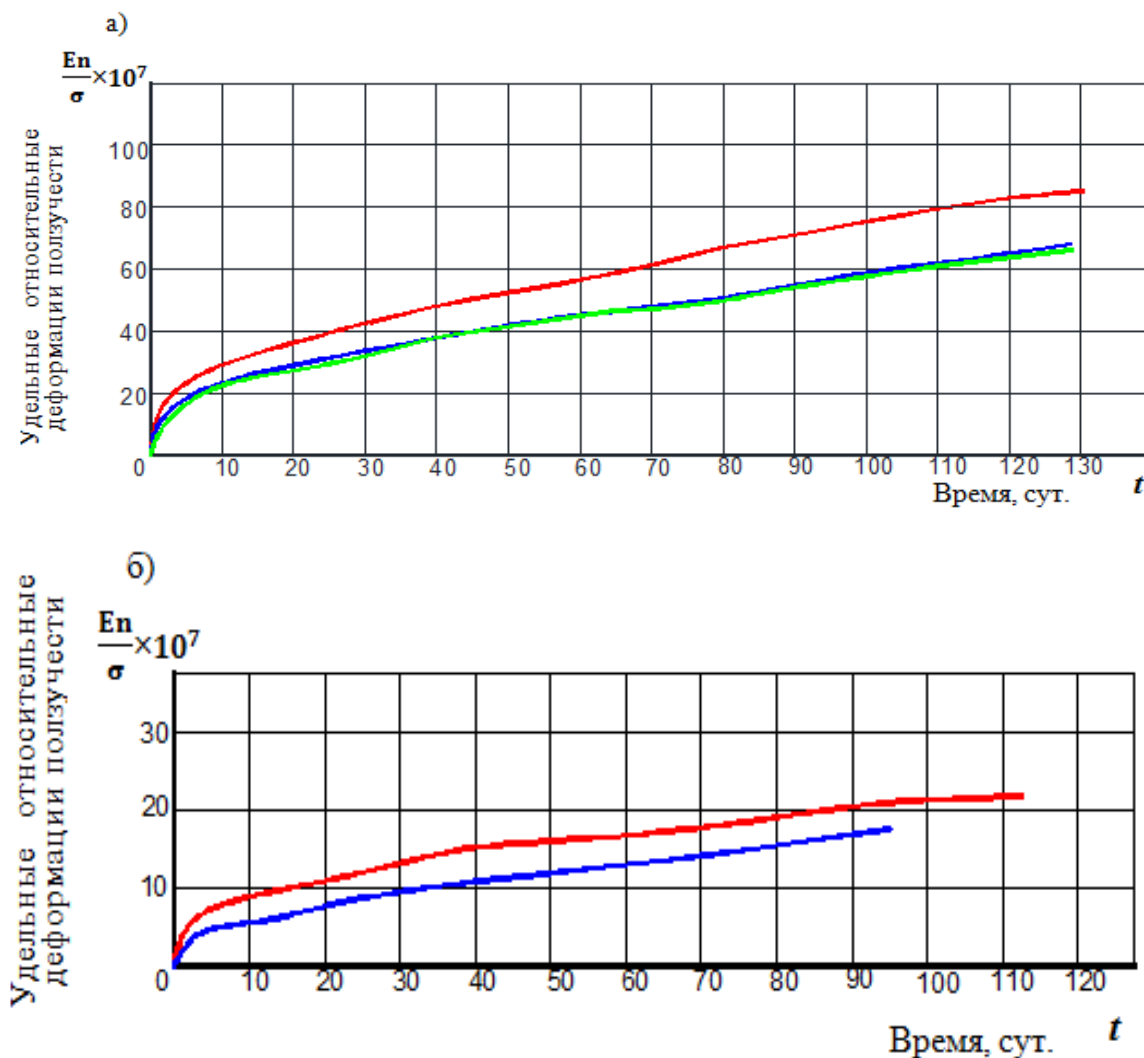


Рис.2. Влияние количества крупного заполнителя на ползучесть бетона при  $\sigma = 0,75 R_{пр}$ :

а) загрузка в возрасте 42 сут;

б) загрузка в возрасте 200 сут

Кривые ползучести:

— состав №1, — состав №2, — состав №3

При нагрузках, когда в бетоне еще нет микроразрушений, ползучесть находится в

прямой зависимости от количества цементного камня или в обратной зависимости от количества крупного заполнителя в бетоне.

При нагрузках, порядка  $0,75 R_{пр}$  и выше, когда в бетоне возникают и развиваются микроразрушения, наблюдается обратная картина: неупругие его деформации находятся в обратной зависимости от количества цементного камня или в прямой зависимости от количества крупного заполнителя на  $1\text{ м}^3$  бетона.

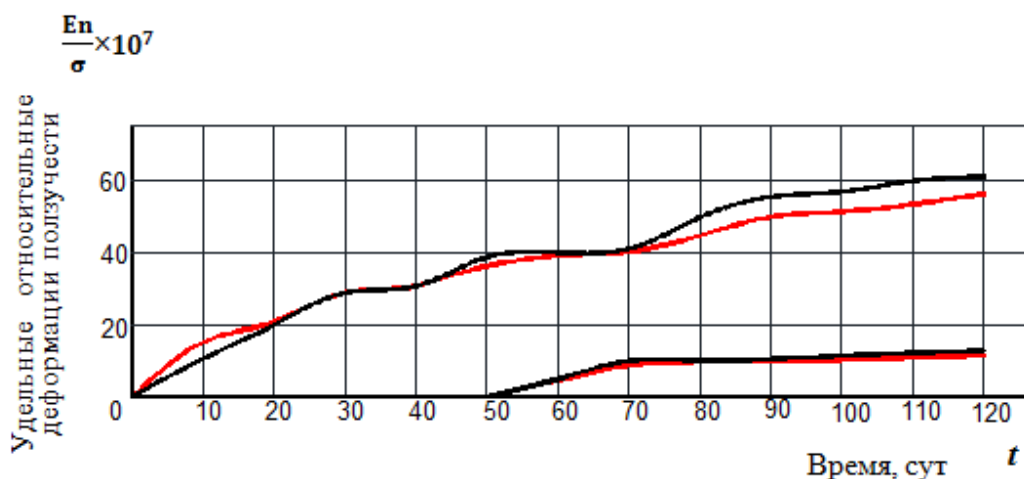


Рис.3. Влияние количества крупного заполнителя на ползучесть бетона при постоянном качестве и количестве цементного камня.

Кривые ползучести:

— состав №1, — состав №4

Из рис. 3 видно, что при постоянном качестве и количестве цементного клея и  $E_3/E_p > 1,2$ , уменьшение количества крупного заполнителя в бетоне увеличивает его ползучесть независимо от возраста при загрузке. В наших опытах это увеличение при уменьшении расхода крупного заполнителя с  $450\text{ л/м}^3$  до  $350\text{ л/м}^3$  составило 16...30 %.

Крупный заполнитель в процессе ползучести претерпевает обратную деформацию, т.е. часть неупругой деформации цементного камня компенсируется обратной упругой деформацией крупного заполнителя. Чем больше последнего в бетоне, тем больше обратная его деформация, тем большая часть неупругой деформации цементного камня ею компенсируется, а, следовательно, тем меньше будет ползучесть цементной части бетона и бетона в целом.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Берг О.Я. Физические основы теории прочности бетона и железобетона. М.: Госстройиздат, 1962. 98 с.
2. Невилль А.М. Свойства бетона. - М.: Стройиздат, 1972. 344 с.

Также было изучено влияние количества крупного заполнителя на ползучесть бетона при постоянном качестве и количестве цементного клея. Длительной постоянной нагрузкой  $0,4 R_{пр}$  в возрасте 42 и 93 суток загружались изолированные призмы из бетона составов №1 и №4, отличающихся только количеством заполнителей. Результаты испытаний призм, изготовленных при постоянном качестве и количестве цементного камня, представлены на рис. 3.

3. Берг О.Я., Щербаков Е.Н. К учету нелинейной связи напряжений и деформаций ползучести бетона в инженерных расчетах // Известия Вузов. Строительство и архитектура, 1973. №12. С.14–21.

4. Шейкин А.Е., Чеховский Ю.В., Бруссер М.И. Структура и свойства цементных бетонов. М.: Стройиздат, 1979. 344 с.

5. Rossi P. Une nouvelle approche concernant le fluage et la relaxation propres du beton. //Bull. Liais. Lab. ponts et chaussees. 1988. №153. pp.73–76.

6. Берг О.Я., Щербаков Е.Н., Писанко Г.Н. Высокопрочный бетон. М.: Стройиздат, 1971. 196 с.

7. Гладков Д.И., Сулейманова Л.А. Поведение бетона под нагрузкой и оценка его потенциальных возможностей // В сб.: Эффективные конструкции и материалы зданий и сооружений. Белгород, БелГТАСМ, 1999. С. 13–21.

8. Гладков Д.И., Сулейманова Л.А. Закономерности сопротивления бетона различным разрушающим факторам // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2003. №5. Ч.1. С. 254–262.

9. Гладков Д.И., Сулейманова Л.А. Прочность – интегральная характеристика бетона // В сб.: Бетон и железобетон в третьем тысячелетии. Р-н/Дону: РГСУ, 2004. Т.2. С. 113–118.

10. Гладков Д.И. Физико-химические основы прочности бетона и роль технологии в ее обеспечении. Белгород: Изд-во БГТУ, 2004. 293 с.

11. Gladkov D.I., Suleimanova L.A., Nesterov A.P. Strength as an integral characteristic of concrete // Proceedings of the International Conference on Cement Combinations for Durable Concrete 2005 International Congress - Global Construction: Ultimate Concrete Opportunities. Ser. "Cement Combinations for Durable Concrete - Proceedings of the International Conference" sponsors: Institution of Civil Engineers, American Concrete Institute, Japan Society of Civil Engineers,

University of Dundee, UK; editors: Dhir R.K., Harrison T.A., Newlands M.D., University of Dundee, Concrete Technology Unit. Dundee, Scotland, 2005. С. 701–707.

12. Сулейманова Л.А. Энергия связи – основа конструктивных и эксплуатационных характеристик бетонов // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2007. № 9. С. 91–99.

13. Сулейманова Л.А. Энергия внутренних связей в материале – основа его прочности, деформативности и сопротивляемости различным факторам // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2015. № 6. С. 154–159.

14. Сулейманова Л.А. Поведение бетона под нагрузкой, механизм его разрушения и оценка этого процесса // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2016. № 1. С. 68–75.

---

**Suleymanova L.A., Pogorelova I.A., Suleymanov K.A., Bazhenova O.O.**  
**THE IMPACT OF COARSE AGGREGATE ON CREEP OF CONCRETE**

*There were made researches on studying of influence of number of coarse aggregate on creep of concrete under his long uploading with a constant load. The coarse aggregate in the process of creep undergoes opposite deformation, i.e. part of inelastic deformation of cement rock is compensated by reverse elastic deformation of coarse aggregate. The more the last one in the concrete, the more its reverse deformation, the greater part of the inelastic deformation of cement stone is compensated by it, and therefore, the smaller will be the creep of cement part of concrete and concrete in general.*

**Key words:** coarse aggregate, creep, concrete, prisms, load, long loading.

---

**Сулейманова Людмила Александровна**, доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой строительства и городского хозяйства.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.

Адрес: Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

E-mail: ludmilasuleimanova@yandex.ru

**Погорелова Инна Александровна**, кандидат технических наук, доцент кафедры строительства и городского хозяйства.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.

Адрес: Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

E-mail: innapogorelova@yandex.ru

**Сулейманов Карим Абдуллаевич**, студент кафедры строительства и городского хозяйства.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.

Адрес: Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

E-mail: karimsuleymanov@mail.ru

**Баженова Оксана Олеговна**, студентка кафедры строительства и городского хозяйства.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.

Адрес: Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

E-mail: li.ox2011@yandex.ru