

УСАДОЧНЫЕ ДЕФОРМАЦИИ БЕТОНА В УСЛОВИЯХ ЗНАКОПЕРЕМЕННЫХ ТЕМПЕРАТУР

С.Б. Коваль, М.В. Молодцов

Рассмотрены результаты исследований бетонных образцов, подверженных влиянию реальной знакопеременной температуры наружного воздуха. Температура образцов фиксировалась в процессе всего исследования. Она с небольшой задержкой и меньшей амплитудой повторяла изменения температуры наружного воздуха. Из полученных экспериментальных данных отдельно выделены величины усадочных деформаций и определены интенсивности их развития в процессе выдерживания. Показан характер зависимости усадочных деформаций бетона от наличия противоморозных добавок в бетоне и величины начальной прочности бетона. У бетонов с противоморозной добавкой (в отличие от бетонов без добавки) наблюдается увеличение интенсивности деформаций усадки в начальный период. Это связано с тем, что низкие положительные температуры способствуют протеканию процессов твердения бетона. Интенсивность протекания деформаций усадки у бетона с меньшей прочностью в начальный момент была выше. Далее интенсивность деформаций усадки резко снижается и усадочные деформации бетона полностью повторяют колебания естественной (уличной) температуры.

Ключевые слова: температура бетона, усадочные деформации бетона, интенсивность деформаций, набор прочности бетона.

В ходе эксперимента определялись относительные деформации контрольных (не нагруженных) образцов, подверженных влиянию реальной переменной температуры наружного воздуха и усадке бетона в процессе его твердения.

Температура бетонных образцов фиксировалась в процессе всего исследования. Очевидно, что она с небольшой задержкой и меньшей амплитудой повторяла изменения температуры наружного воздуха. Разница температур бетона и наружного воздуха в определенный момент в процессе всего выдерживания не превысила 5 °С. Наиболее характерные отклонения показаний температуры образцов от температуры наружного воздуха представлены на рис. 1.

При этом не наблюдалось подъема температуры бетонных образцов, вызванных вследствие экзотермических реакций твердения бетона, а также явно выраженных горизонтальных температурных площадок, характерных для протекания интенсивных процессов льдообразования или таяния жидкой составляющей бетона, которые сопровождаются, соответственно, выделением или поглощением тепла.

Изменение температуры бетона в процессе его выдерживания оказывает существенное влияние на его деформации [1–5]. При этом, как было показано в предыдущих статьях [6], прочность бетона является определяющим технологическим фактором, влияющим на величину температурных

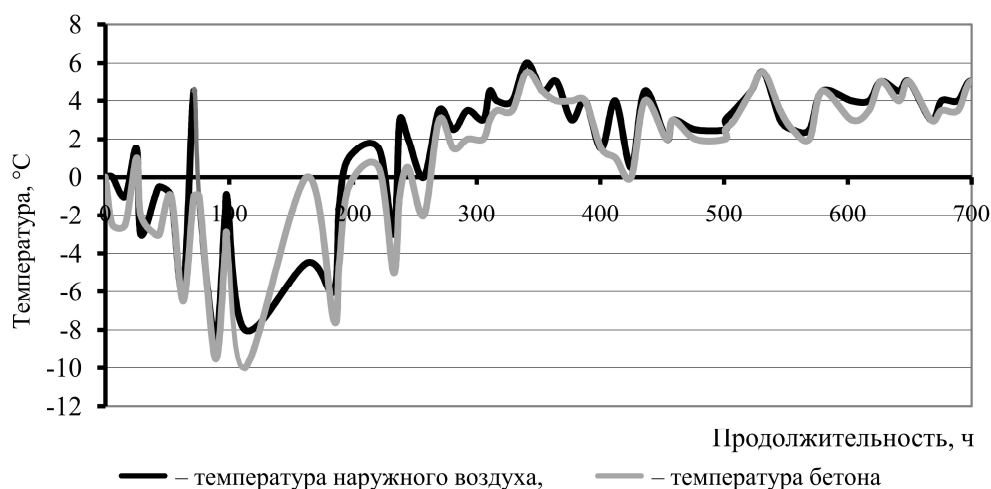


Рис. 1. Отклонения температуры бетонных образцов от температуры наружного воздуха в процессе проведения эксперимента

деформаций и направление их развития. Кроме того, было доказано, что температурные деформации образцов, которые фиксируются в лабораторных условиях при ступенчатом понижении температуры, практически не проявляются в реальных условиях в случае значительного суточного изменения температуры.

В то же время в деформациях бетонных образцов в процессе выдерживания в реальных условиях переменных температур присутствуют усадочные деформации, возникающие вследствие твердения бетона. Из полученных экспериментальных данных были выделены величины усадочных деформаций и определены интенсивности их развития в процессе выдерживания бетонных образцов.

Для этого были сгруппированы деформации, возникающие при одинаковых значениях температуры, которая периодически повторялась в процессе выдерживания бетона. Далее определялась относительная величина их изменения для разных временных интервалов, через которые повторялась температура выдерживания бетона. Для определения величины интенсивности протекания усадочных деформаций, их относительная величина делилась на соответствующий временной интервал.

Интенсивность протекания деформаций усадки от времени представлена на рис. 2 и имеет высокую величину в течение непродолжительного периода выдерживания. В дальнейшем интенсивность относительных деформаций не превышает значения $-0,01 \cdot 10^{-5}$ в час.

Интенсивность протекания деформаций усадки у бетона с меньшей прочностью в начальный момент была выше, так как в нем более интенсивно проходят процессы структурообразования. Далее интенсивность деформаций усадки резко снижается. Причиной этого является то, что в это время температура бетона опускается ниже значений основных фазовых превращений жидкой составляющей и соответствует -3°C , что приводит к снижению реакций гидратации цемента. Практиче-

ски полное прекращение развития деформаций усадки происходит при 20 часах с начала выдерживания, когда температура бетона достигает $-7,5^\circ\text{C}$.

В процессе дальнейшего выдерживания интенсивное протекание деформаций усадки не возобновляется, даже когда температура выдерживания бетонных образцов становится положительной и достигает значений $+5,5^\circ\text{C}$.

Причиной такого протекания деформаций усадки является:

1. В процессе замерзания жидкой составляющей образуется более пористая структура бетона и после оттаивания пористый материал меньше подвержен процессам усадки;

2. После прекращения интенсивного набора прочности в результате замерзания жидкой составляющей ее рост возобновляется медленнее, чем у бетонов, не подвергнутых замораживанию, и для увеличения интенсивности необходим определенный толчок, которым может выступить его термообработка.

В статье [3] приведены данные исследований нарастания прочности бетона после его непродолжительного замораживания. Экспериментально подтверждено, что при определенных условиях термообработка замерзшего бетона способствует интенсивному набору прочности бетона и не снижает её конечную величину.

Кинетика изменения величины относительной интенсивности усадочных деформаций бетона с добавкой NaNO_2 при различной прочности представлена на рис. 3.

В начальный момент времени у бетонов с противоморозной добавкой (в отличие от бетонов без добавки) наблюдается период увеличения интенсивности деформаций усадки. В этот момент температура бетона составляла $-2...-3^\circ\text{C}$. Это связано с тем, что низкие положительные температуры способствуют протеканию реакций выделения ионов цемента в раствор с одновременным формированием новообразований, а представлен-

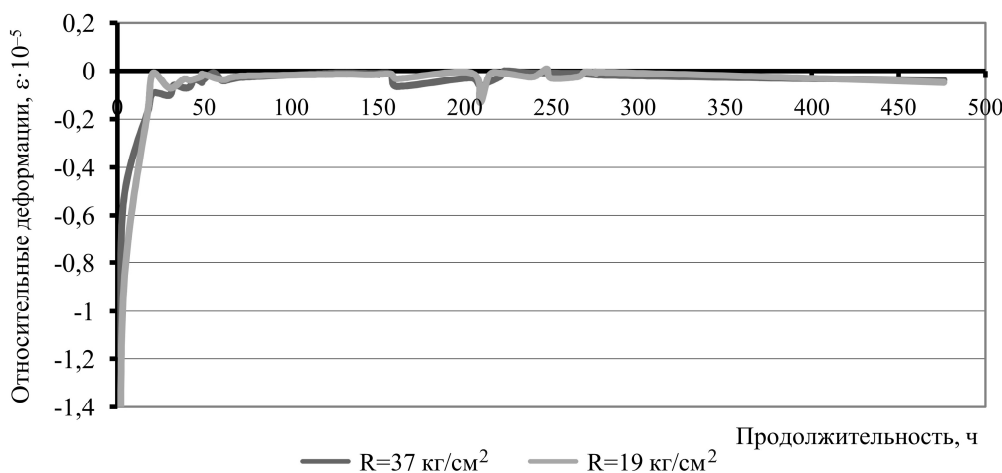


Рис. 2. Изменение величины интенсивности относительных деформаций в процессе выдерживания бетонных образцов без добавки

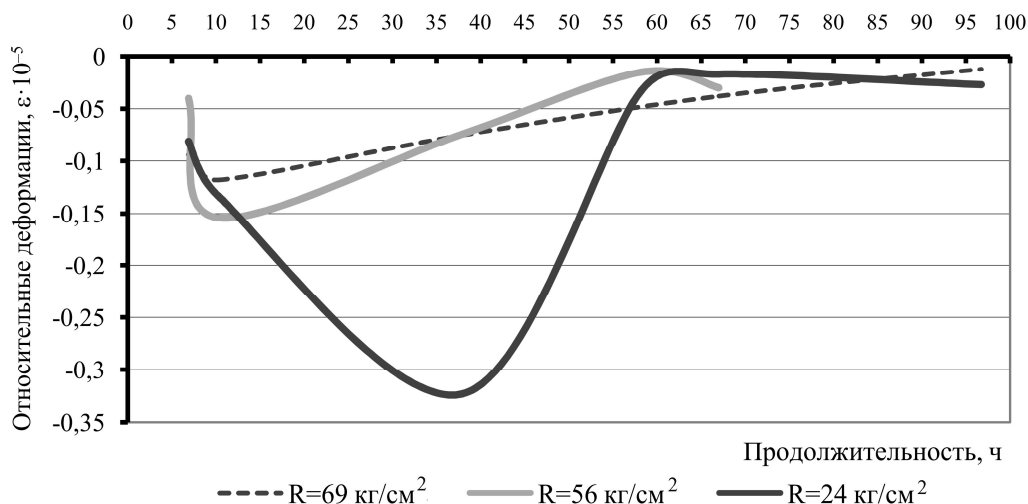


Рис. 3. Изменение величины интенсивности относительных деформаций в процессе выдерживания бетонных образцов с добавкой NaNO_2

ные выше температуры как раз и являются таковыми для бетона с добавкой, содержание которой рассчитано на -5°C , причем величина интенсивности и время наступления максимального значения находятся в зависимости от прочности бетона перед началом выдерживания (см. таблицу).

Максимальная интенсивность усадки

| Прочность бетона, кг/см ² | Максимальная интенсивность усадки | | Время прекращения интенсивной усадки, ч |
|--------------------------------------|-----------------------------------|--|---|
| | Время с начала выдерживания, ч | Значение, $\Delta\varepsilon \cdot 10^{-5}/\text{ч}$ | |
| 69 | 10,25 | -0,118 | 96,75 |
| 56 | 10,25 | -0,154 | 67,00 |
| 24 | 37,92 | -0,323 | 58,21 |

Для бетонов с прочностью 69 кг/см^2 и 56 кг/см^2 время наступления и величина максимальной интенсивности усадки имеют практически одинаковые значения. Для бетона с меньшей прочностью она наступает позднее и имеет более высокое значение, что объясняется большим содержанием не вступивших в реакцию гидратации жидкой составляющей и цемента.

Наступление периода прекращения интенсивной усадки происходит в более ранние сроки с понижением прочности бетона перед началом выдерживания.

Время, когда температура бетона становится ниже температуры фазовых превращений, составляет 56 часов с начала выдерживания (см. рис. 1), и в этот же момент прекращаются процессы интенсивной усадки бетона с прочностью 24 кг/см^2 . С увеличением же прочности этот момент наступает в более поздние сроки. Это говорит о том, что с повышением прочности происходит процесс перераспределения пор по объему бетона в сторону

увеличения микропор и большее количество воды находится в химически связанном состоянии, поддерживая до определенного момента процессы структурообразования и усадки бетона. Кроме этого, у бетона с повышением прочности более развиты центры кристаллизации новообразований по его объему и процесс замедления твердения (усадки) происходит медленнее.

Так же, как и в случае бетонов без добавки, после наступления периода прекращения интенсивной усадки, величина интенсивности усадочных деформаций не увеличивается даже при повышении температуры бетона до положительных значений. В результате можно сделать вывод о том, что усадочные деформации бетона в процессе его твердения при естественной (уличной) температуре полностью повторяют колебания температуры. То есть, бетон ведет себя как материал с жесткой сформировавшейся кристаллической решеткой.

Литература

1. Головнев, С.Г. *Технология зимнего бетонирования. Оптимизация параметров и выбор методов* / С.Г. Головнев. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 1999. – 156 с.
2. Ахвердов, И.Н. *Основы физики бетона* / И.Н. Ахвердов. – М.: Стройиздат, 1981. – 464 с.
3. Миронов, С.А. *Теория и методы зимнего бетонирования* / С.А. Миронов. – М.: Госстройиздат, 1956. – 700 с.
4. Сизов, В.Н. *Строительные работы в зимних условиях* / В.Н. Сизов. – М.–Л.: Госстройиздат, 1961. – 512 с.
5. *Второй международный симпозиум по зимнему бетонированию*. – М., Стройиздат, 1978. – 266 с.
6. Коваль С.Б., Молодцов М.В. *Температурные деформации бетона* // Вестник ЮУрГУ. Се-

рия «Строительство и архитектура». – 2012. – Вып. 15. – № 38 (297). – С. 23–25

7. Головнев, С.Г. Исследования прочности бетона после раннего замораживания и после-

дующей термообработки / С.Г. Головнев, С.Б. Коваль, А.А. Мельник // Вестник УГТУ–УПИ. Серия «Строительство и образование». – 2004. – Вып. 7. – № 11 (41). – С. 136–140.

Коваль Сергей Борисович, кандидат технических наук, доцент кафедры «Технология строительного производства», Южно-Уральский государственный университет (Челябинск), ksbumu@susu.ac.ru

Молодцов Максим Вилленинович, кандидат технических наук, доцент кафедры «Технология строительного производства», Южно-Уральский государственный университет (Челябинск), molodcovmv@mail.ru

Поступила в редакцию 24 октября 2014 г.

Bulletin of the South Ural State University
Series “Construction Engineering and Architecture”
2015, vol. 15, no. 1, pp. 14–17

SHRINKAGE CONCRETE STRAIN UNDER ALTERNATING TEMPERATURES

S.B. Koval, South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation, ksbumu@susu.ac.ru

M.V. Molodtsov, South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation, molodcovmv@mail.ru

The article focuses on the results of the research on concrete samples exposed to actual alternating outdoor temperature. The temperature of concrete samples is measured during the research process. It repeats the outdoor temperature with a short delay and smaller amplitude.

Shrinkage strains and intensity of their development in the process of aging are presented separately. The dependence of the shrinkage on concrete antifreeze admixtures and values of the initial strength of concrete is shown.

The intensity of the development of shrinkage strains of concrete with antifreeze admixtures increases at the beginning phase, small positive temperatures contribute to the concrete hardening. The intensity of the development of shrinkage strains of concrete with lower initial strength is higher. Further intensity of the shrinkage strains development decreases and shrinkage strains repeat the outdoor temperature change.

Keywords: concrete temperature, shrinkage concrete strain, the intensity of shrinkage, curing of concrete.

References

1. Golovnev S.G. *Tekhnologiya zimnego betonirovaniya. Optimizatsiya parametrov i vybor metodov* [Technology Winter Concreting. Optimization Parameters and Selection Methods]. Chelyabinsk, South Ural St. Univ. Publ., 1999. 156 p.
2. Akhverdov I.N. *Osnovy fiziki betona* [Fundamentals of Physics Concrete]. Moscow, Stroyizdat, 1981, 464 p.
3. Mironov S.A. *Teoriya i metody zimnego betonirovaniya* [Theory and Methods of Winter Concreting]. Moscow, Gosstate Building Publ., 1956, 700 p.
4. Sizov V.N. *Stroitel'nye raboty v zimnikh usloviyakh* [Construction Work in Winter Conditions]. Moscow, Gosstate Building Publ., 1961. 512 p.
5. Vtoroy mezhdunarodnyy simpozium po zimnemu betonirovaniyu [Second International Symposium on winter concreting]. Moscow, State Building Publ., 1978. 266 p.
6. Koval' S.B., Molodtsov M.V. [Temperature deformation of concrete]. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Construction Engineering and Architecture*, 2012, vol. 15, no. 38 (297), pp. 23–25 (in Russ.).
7. Golovnev S.G., Koval' S.B., Mel'nik A.A. [Studies of Early Strength of Concrete after Freezing and Subsequent Heat Treatment]. *Vestnik UGTU-UPI № 11 (41) Stroitel'stvo i obrazovanie: Sbornik nauchnykh trudov* [Bulletin USTU, no. 11 (41). Construction and Education. Collection of scientific papers]. Ekaterinburg, UGTU-UPI Publ., 2004, vol. 7, pp. 136–140.

Received 24 October 2014