

УДК 693.547.3

ТЕМПЕРАТУРНЫЕ И УСАДОЧНЫЕ ДЕФОРМАЦИИ БЕТОНА В УСЛОВИЯХ СТРОИТЕЛЬНОЙ ПЛОЩАДКИ TEMPERATURE AND SHRINKAGE STRAIN OF CONCRETE IN A CONSTRUCTION SITE

Коваль С.Б., Молодцов М.В.

ФГБОУ ВПО «Южно-Уральский государственный университет» (национальный исследовательский университет)

Аннотация. Рассмотрены результаты исследований бетонных образцов, подверженных влиянию реальной знакопеременной температуры наружного воздуха. Из полученных экспериментальных данных отдельно выделены величины температурных и усадочных деформаций и определены интенсивности их развития в процессе выдерживания. Показан характер зависимости деформаций бетона от наличия противоморозных добавок в бетоне и величины начальной прочности бетона.

Abstract. The article focuses on the results of the research on concrete samples exposed to actual alternating outdoor temperature. Temperature and 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.

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

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

Экспериментальные исследования по определению различных технологических параметров выдерживания бетонов, как правило, выполняются при постоянной температуре воздуха искусственно создаваемой в лабораторных условиях. Однако реальные условия строительной площадки постоянно меняются. Поэтому в нашем эксперименте определялись относительные деформации контрольных (не нагруженных) образцов, подверженных влиянию реальной переменной температуры наружного воздуха и усадке бетона в процессе его твердения $\varepsilon_k = \varepsilon_T + \varepsilon_{yc}$.

Температура бетонных образцов фиксировалась в процессе всего исследования. 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°C , которая наблюдалась при существенных суточных колебаниях температуры.

При этом не наблюдалось подъема температуры бетонных образцов, вызванных вследствие экзотермических реакций твердения бетона, а так же 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. Наиболее наглядно это влияние проявляется при значительных колебани-

ях его температуры. При этом прочность бетона может являться определяющим технологическим фактором, влияющим на величину деформаций и направление их развития - сжатие или растяжение.

Как видно из данных рисунка 1, деформации бетонных образцов с добавкой нитрита натрия, имеющие в начале эксперимента прочность 56 и 69 кг/см^2 , полностью подчинены колебаниям температуры и ведут себя как обычные твердые тела, у которых сформировалась кристаллическая решетка. Другими словами, при понижении температуры происходит сжатие бетонных образцов, а с повышением температуры возникают деформации расширения.

В тоже время, изменения деформаций бетона при меньшей прочности ($R = 24 \text{ кг/см}^2$), говорят о наличии в его составе большого количества свободной жидкой составляющей. Содержание добавки NaNO_2 в составе бетонных образцов рассчитано на температуру фазовых превращений минус 5°C , поэтому при колебании температуры выше минус пяти градусов, характер деформаций ничем не отличался от деформаций других образцов, имеющих большую прочность. Однако при более низких значениях температуры наблюдаются деформации расширения бетона соответствующие процессам интенсивного льдообразования (см. рис. 1 - 60, 85 и 110 часов с начала выдерживания). В тоже время при повышении температуры, и переходе ее выше температуры основных фазовых превращений бетона, наблюдаются деформации сжатия, характерные процессам таяния льда в бетоне (см. рис. 1 - 70 и 95 часов).

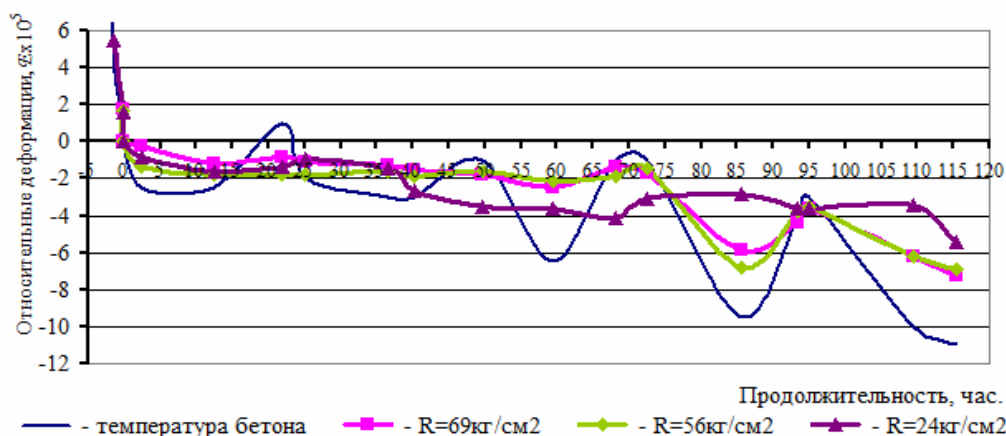


Рис.1. - Деформации бетонных образцов с добавкой NaNO_2 при изменении температуры в процессе выдерживания.

Эти процессы продолжают при выдерживании бетона в течение первых 110 часов. В дальнейшем, за счет проходящих в нем процессов структурообразования (набора прочности и снижение количества свободной химически несвязанной воды), деформации этих образцов соответствуют направлению колебаний температуры идентично

образцам, имеющим более высокую начальную прочность.

У бетонных образцов, твердеющих без противоморозной добавки, даже при небольших значениях прочности, при переходе температуры через область основных фазовых превращений деформаций связанных с образованием льда или его таянием не наблюдалось (рис. 2).

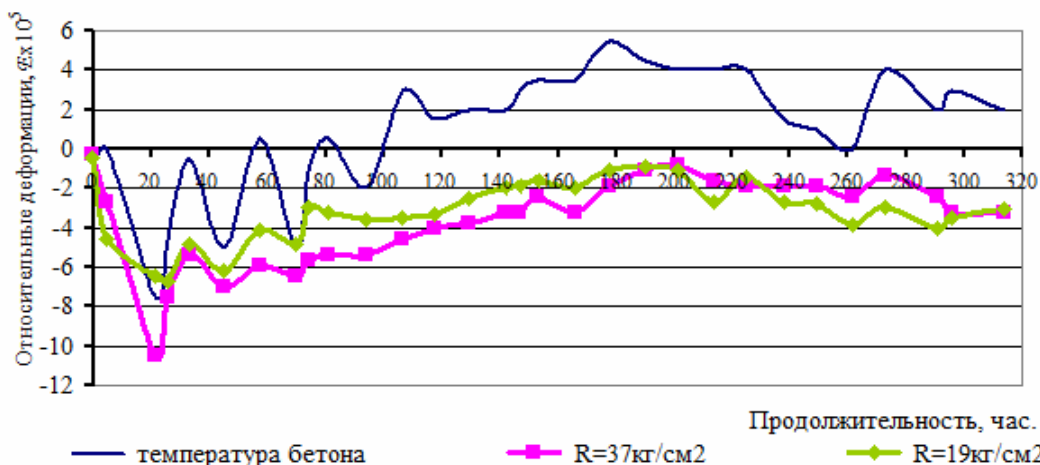


Рис. 2. - Зависимость деформаций бетона от его начальной прочности и изменения температуры в процессе выдерживания.

В составе этих образцов содержится большое количество свободной воды, которая при отрицательных температурах неминуемо переходит в лед. Однако отсутствие деформаций расширения бетона в этот момент можно объяснить тем, что параллельно при понижении температуры интенсивно протекают деформации сжатия воды, образовавшихся кристаллов льда и твердых компонентов бетона.

В лабораторных условиях при ступенчатом понижении температуры образцов на $1...2^\circ\text{C}$ с последующим выдерживанием деформации расширения при образовании льда отчетливо фиксируются [1,2]. В реальных же условиях, когда температура за счет суточного колебания существенно понижается (см. рис. 2 - 21 час с начала выдерживания), вышеперечисленные деформации сжатия составляющих бетона, превосходят деформации расширения, вызванные образованием льда в его

объеме. Наличие протекания процессов перехода воды в лед в этот момент времени проявляется в том, что деформации сжатия образцов, имеющих меньшую прочность (19 kg/cm^2), протекают менее интенсивно с тенденцией к затуханию по сравнению с образцами, начальная прочность которых составляла 37 kg/cm^2 .

В то же время, при температурах соответствующих процессам таяния льда, у бетона с меньшей прочностью деформации расширения так же протекают с меньшей интенсивностью (см. рис.2 - 106 и 177 часов с начала выдерживания). Отличия в протекании деформаций исследуемых образцов, имеющих низкие значения прочности с добавкой нитрита натрия и без добавки можно объяснить тем, что температура бетона без добавки в ходе эксперимента в относительно непродолжительный промежуток времени резко понижается с 0°C до -7°C , и не задерживается в области основных фа-

зовых превращений (0...-2°C). Это приводит к тому, что деформации расширения бетонных образцов в этот период не наблюдаются за счет интенсивного протекания процессов сжатия его составляющих.

В это же время, температура бетонных образцов с добавкой нитрита натрия в ходе эксперимента не на много отличалась от температуры основных фазовых превращений жидкой составляющей содержащей соли NaNO_2 , процентное содержание которой рассчитано на температуру заморозания минус 5°C. В результате чего деформации расширения бетона при образовании льда превосходят деформации сжатия его компонентов.

Отсутствие деформаций расширения у бетона без добавки ни в коей мере не говорит о том, что исключено негативное влияние на бетон жидкой составляющей при её переходе в лед. Просто это влияние в реальных условиях выдерживания, в случае резкого понижения температуры и переходе её через область основных фазовых превращений, менее выражено и, как следствие, труднее контролируемо.

Очевидно, что такой же эффект наблюдался бы и у бетонов с противоморозными добавками, если бы его температура резко понизилась, пройдя в непродолжительные сроки через температуру на которую рассчитано содержание добавки, а не колебалась бы около неё.

Из вышесказанного следует вывод о том, что деформации образцов в процессе замораживания или оттаивания бетона, которые фиксируются в лабораторных условиях при ступенчатом понижении температуры, практически не проявляются в реальных условиях в случае значительного суточного изменения температуры.

В деформациях бетонных образцов в процессе выдерживания в реальных условиях переменных температур рассмотренных ранее, присутствуют и усадочные деформации, возникающие вследствие твердения бетона. Чтобы выделить величину усадочных деформаций и определить интенсивность их развития 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 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 были выше, так как в нем более интенсивно протекают 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 составляет -3°C, что приводит к сниже-

нию реакций гидратации цемента. Практически полное прекращение развития деформаций усадки происходит при 20 часах с начала выдерживания, когда температура бетона достигает -7,5°C.

В процессе дальнейшего выдерживания интенсивное протекание деформаций усадки не возобновляется, даже когда температура выдерживания бетонных образцов становится положительной и достигает значений +5,5°C.

Причиной такого протекания деформаций усадки является то, что в процессе заморозания жидкой составляющей образуется более пористая структура бетона и после оттаивания пористый материал меньше подвержен процессам усадки. Кроме этого после прекращения интенсивного набора прочности в результате заморозания жидкой составляющей ее рост возобновляется медленнее, чем у бетонов не подвергнутым замораживанию, и для увеличения интенсивности необходим определенный «толчок», которым может выступить его термообработка [3-5]

В статье "Исследования прочности бетона после раннего замораживания и последующей термообработки" [6] приведены данные исследований нарастания прочности бетона после его непродолжительного замораживания. Экспериментально подтверждено, что при определенных условиях термообработка заморозшего 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 представлен на рисунке 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°C. Это связано с тем, что низкие положительные температуры способствуют протеканию реакций выделения ионов цемента в раствор с одновременным формированием новообразований, а представленные 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.

Для бетонов с прочностью 69 кг/см² и 56 кг/см² время наступления и величина максимальной интенсивности усадки имеют практически одинаковые значения. В то время как для бетона с меньшей прочностью она наступает позднее и имеет более высокое значение, что объясняется большим содержанием не вступившего 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. 2), и в этот же момент прекращаются процессы интенсивной усадки бетона с прочностью 24 кг/см². С увеличением же

прочности этот момент наступает в более поздние сроки. Это говорит о том, что с повышением прочности происходит процесс перераспределения пор по объёму 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 объёму 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 после приобретением температуры бетона положительных значений.

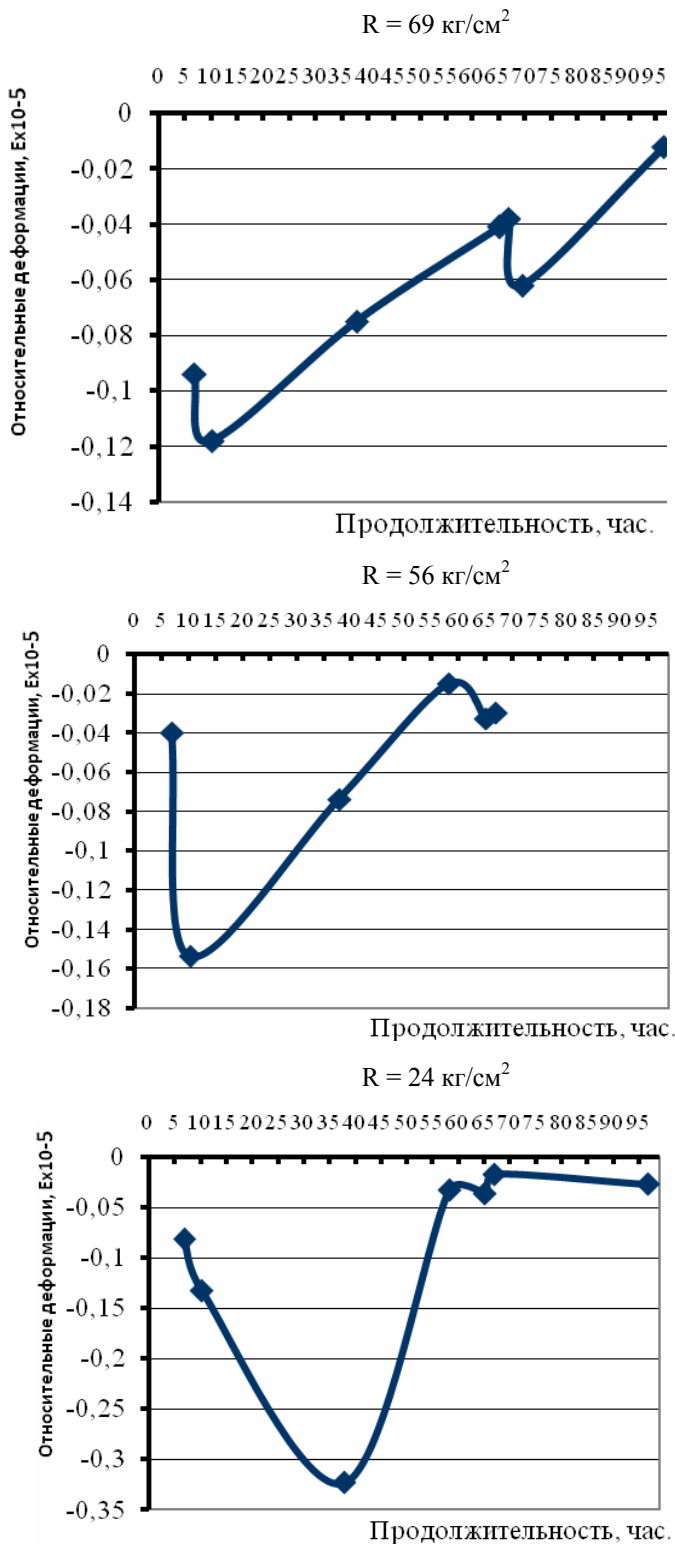


Рис. 3. - Изменение величины интенсивности относительных деформаций в процессе выдерживания бетонных образцов с добавкой NaNO_2 .