

М. М. ЗАСТАВА

СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ СООТНОШЕНИЯ  
 МЕЖДУ ДЕФОРМАЦИЯМИ УСАДКИ И ПОЛЗУЧЕСТИ  
 ТЯЖЕЛОГО БЕТОНА

В литературе имеется большое число аналитических выражений, связывающих предельные или текущие величины усадочных деформаций бетона с его деформациями ползучести в определенный момент времени [1, 2, 3, 4]. В общем виде все эти формулы имеют вид

$$\epsilon_{II} = \epsilon_{I,C} \Phi \quad (1)$$

где  $\Phi$  — функция, зависящая от величины напряжения, при котором определяется деформация ползучести, и ряда структурных характеристик бетона и цементного камня. Число последних у различных авторов различно и включает иногда такие трудно определяемые параметры, как относительное содержание воздуха в порах цементного камня к моменту схватывания цемента [3] или предельную усадку бетона при относительной влажности 9% [4].

Несмотря на относительную сложность функции  $\Phi$ , приведенный в упомянутых работах анализ указывает на наличие прямой пропорциональной зависимости между усадкой и ползучестью бетона.

Автором статистическим анализом большого числа отечественных и зарубежных опытов получены «стандартные» кривые относительной усадки и меры ползучести эталонного тяжелого бетона в условной линейной области сжимающих напряжений. В качестве эталонного принят бетон М400, изготовленный на портландцементе М500 стандартной тонкости помола и гранитном щебне при  $v/c = 0.55$  с содержанием цементного теста  $\rho_c = 20\%$ , уплотненный вибрированием, естественного твердения. Бетонные образцы сечением  $20 \times 20$  см хранятся до начала измерения усадки 7 сут во влажных условиях. В возрасте 28 сут образцы нагружаются сжимающими напряжениями  $\sigma = 0.4 K_{sp}$  и выдерживаются при относительной влажности воздуха 70% и температуре 20 С. Стандартные кривые меры ползучести и относительной усадки бетона могут быть с достаточной точностью описаны математическими выражениями

$$C(t, 28) = 0.49(1 - 0.28e^{-0.0019(t-28)} - 0.57e^{-0.0011(t-28)}) 10^{-6} (\text{кгс/см}^2)^{-1} \quad (2)$$

$$\epsilon_{II}(t, 7) = 373(1 - 0.25e^{-0.0011(t-7)} - 0.55e^{-0.0019(t-7)}) 10^{-6} \text{ мм/мм} \quad (3)$$

Вычисление относительных координат кривых (2) и (3) показывает, что величина  $C(t, 28) = \epsilon_{II}(t, 7)$  с возрастанием длительности наблюдений  $t$  — стремится к некоторому пределу, приблизительно равному 0.0173. При этом

близость отношения к указанной асимптоте наблюдается уже с  $t - \tau = 40$  сут.

Анализ формул для определения предельных меры ползучести и относительной усадки в рекомендациях ЦНИИС [5] дает, применительно к эталонному бетону, близкую величину отношения  $C(t, 28)/\varepsilon_{\text{ср}}(t, 7) = 0.0159$ . При этом нужно обратить внимание на то обстоятельство, что согласно исследованиям Е. Н. Щербакова, величина меры ползучести пропорциональна содержанию воды в смеси  $B$  и обратно пропорциональна марке бетона  $R_{28}$ , а усадка пропорциональна  $1/R_{28}$ . Несмотря на различную зависимость характеристик деформативности от водосодержания смеси, наличие множителя  $1/R_{28}$  в выражении для меры ползучести, как показывает анализ, практически уравнивает различие во влиянии величины  $B$  на  $C$  и  $\varepsilon_{\text{ср}}$  бетона.

Для выяснения тесноты связи  $\varepsilon_{\text{п}}$  и  $\varepsilon_{\text{ср}}$  проведен корреляционный анализ результатов 17 опытов, взятых из различных литературных источников. Оказалось, что корреляционное отношение  $\gamma_{\varepsilon_{\text{п}}, \varepsilon_{\text{ср}}}$ , отражающее тесноту связи процессов усадки и ползучести бетона, с самого начала или через некоторое время после начала испытаний оказывается близким к единице. Это указывает на наличие довольно тесной корреляционной связи между рассматриваемыми процессами. Наличие устойчивой положительной корреляции между  $\varepsilon_{\text{п}}$  и  $\varepsilon_{\text{ср}}$  с физической точки зрения объясняется тем, что большинство факторов, обуславливающих рост деформаций ползучести, вызывают и увеличение усадочных деформаций [6]. Все сказанное относится к негидратированным образцам, испытываемым при слабе переменном температурно-влажностном режиме.

Для получения уравнения регрессии меры ползучести по деформациям усадки выполнен статистический анализ результатов 107 опытов различных авторов с тяжелыми бетонами, как пропаренными, так и естественного твердения. Учитывая, что ползучесть бетона зависит от некоторых факторов, не влияющих на его усадочное деформирование [6], при вычислении отношения  $C(t, \tau)/\varepsilon_{\text{ср}}(t, \tau_0)$  величины меры ползучести приводились к возрасту загрузки  $\tau = 28$  сут, относительному напряжению  $\sigma/R_{\text{пр}} = 0.4$  и марке бетона 400. Усадка принималась для образцов с длительностью влажного хранения  $\tau_0 = 7$  сут и началом замера деформаций сразу после его окончания.

Представленные на фиг. 1 результаты статистической обработки данных показывают следующее.

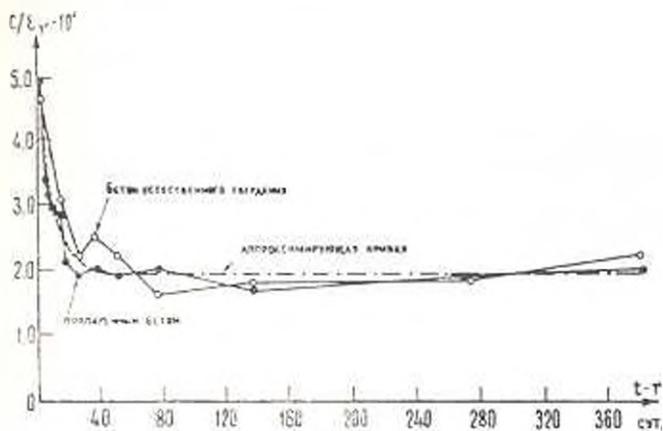
1. Зависимости между мерой ползучести и усадкой для бетонов естественного твердения и пропаренными можно считать одинаковыми.

2. В качестве уравнения регрессии можно принять при  $t - 28 \geq 45$  сут следующее простое выражение:

$$C(t, 28) = 0.02\varepsilon_{\text{ср}}(t, 7) \quad (4)$$

Величина 0.02 служит, следовательно, для пересчета ординат кривой усадки эталонного бетона при  $t \geq 73$  сут на ординаты кривой меры ползучести этого бетона. Для предельных деформаций ( $t \rightarrow \infty$ ) рекомендуется использовать полученное выше отношение  $C(t, 28)/\varepsilon_{\text{ср}}(t, 7) = 0.0175$ . Если состав, условия изготовления и эксплуатации бетона отличаются от соответ-

ствующих параметров эталонного бетона, нужно к подсчитанной мере ползучести вводить систему поправочных коэффициентов, приведенную в работе [6].



Фиг. 1.

Для подтверждения приемлемости формулы (4) и выяснения границ ее применения предпринято сравнение опытных величин мер ползучести бетона с рассчитанными по выражению (4) с использованием корректирующих коэффициентов [6]. Сопоставление проведено по результатам 85 опытов с тяжелыми бетонами разных составов, включая песчаные бетоны (растворы); в них менялось от 0.32 до 0.75. Цемент в рассматриваемых опытах применялся различный: обычный портландцемент, пуццолановый портландцемент; крупный заполнитель плотных пород: гранит, базальт, кварц, известняк, гранодиорит, диабаз. Марки испытанных бетонов находились в пределах от 150 до 800 кг/см<sup>2</sup>. Возраст загрузки образцов — от 1 до 184 сут. Среднеквадратичная ошибка предсказания  $C(t, \tau)$  по (4) получена равной = 14.1%. Это приблизительно соответствует ошибке при расчетном определении меры ползучести по ранее предложенным рекомендациям [6].

Таким образом, полученную зависимость (4) можно использовать в широких пределах для прогнозирования деформаций тяжелых бетонов.

Одесская Высшая партийная школа

Поступила 11 VII 1975

И. И. ДУДИСЬКО

ՄԱՆՐ ԲԵՏՈՆԻ ԿՈՏՎՈՐՄԱՆ ԵՎ ՍՈՂԵՐ ԳԵՖՈՐՄԱՑԻԱՆԵՐԻ ՄԻՋԵԿ ԱՌՆՁՈՒԹՅԱՆ ԱՏԱՏՐՈՒԿԱՆ ԱՆԱԼԻԶԸ

И д ф и н и ц и т

Գոյություն ունի Բևտոնի նստավածրալին և սողրի գեֆորմացիաների միջև ուղիղ համեմատական կապակցություն: Բևտոնի երկարատե դեֆորմացիալի

սուսման ասիմետրիայի ուղղությամբ փորձնական սովորելների անսյուրբ բացահայտում է նստվածքային և սողրի ընթացքների միջև սեղմ համահարաբերակցական կապի գոյությունը: Մեծ թվով փորձնական արդյունքների ստատիստիկական մշակումը թույլ է տալիս որոշել այդ ղեֆորմացիաների միջև գոյություն ունեցող անհրաժեշտ տեսքը:

## STRUCTURAL ANALYSIS OF DEPENDENCE BETWEEN DEFORMATIONS OF SHRINKAGE AND CREEP IN HEAVY CONCRETE

M. M. ZASTAVA

### S u m m a r y

There exists a directly proportional dependence between the values of deformation of shrinkage and creep in concrete. The analysis of experimental data on prolonged deformation of concrete reveals the existence of close correlational dependence between the processes of shrinkage and creep. The statistical treatment of a large number of experimental results allows to find out the analytical nature of dependence between the values of these deformations.

### ЛИТЕРАТУРА

1. *Lysse I.* The shrinkage and creep of concrete. Bulletin RILEM № 3, 1959.
2. *Alt L., Kesler C. E.* Mechanisms of creep in concrete. Symposium on creep of concrete. ACT Special Publication, № 7, 1962.
3. *Neettle A. M.* Creep of concrete: Plain, Reinforced and Prestressed. North Holland Publishing Company—Amsterdam, 1970.
4. *L'Hermite* What do we know about the plastic deformation and creep of concrete. Bulletin RILEM, № 1, 1957.
5. *Щербаков Е. П.* О прогнозе величины деформаций ползучести и усадки тяжелого бетона в стадии проектирования конструкций. Труды ЦНИИС, вып. 70. Изд-во «Транспорт», М., 1969.
6. *Проконисич И. А., Застава М. М.* О расчетном определении предельных значений деформации тяжелого бетона. Бетон и железобетон. № 5, 1972.