

УДК 624.046.4, 624.046.3, 624.071.34

[https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-2\(33\)-32-43](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-2(33)-32-43)

EDN: BRADOF

СРАВНЕНИЕ МЕТОДОВ ИСПЫТАНИЙ НА ПОЛЗУЧЕСТЬ БЕТОНА ПО РОССИЙСКИМ И ЗАРУБЕЖНЫМ НОРМАТИВНЫМ ДОКУМЕНТАМ. ЧАСТЬ 2. ПРОВЕДЕНИЕ ИСПЫТАНИЙ И ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ

П.Д. АРЛЕНИНОВ, канд. техн. наук

Научно-исследовательский, проектно-конструкторский и технологический институт бетона и железобетона (НИИЖБ) им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство», 2-я Институтская ул., д. 6, к. 5, г. Москва, 109428, Российская Федерация

Аннотация

Введение. Анализируются основные подходы к проведению длительных испытаний по определению ползучести бетона, которые регламентирует ГОСТ 24544-2020, действующий на территории РФ, а также зарубежные стандарты ISO, ASTM, EN.

Цель. Определение принципиальных отличий в проведении испытаний по российским и западным стандартам. Такая работа является нужной и актуальной, поскольку для использования на территории РФ результатов испытаний, полученных за рубежом, необходима гармонизация методик проведения испытаний и исходных параметров испытаний (образцы, измерительное и испытательное оборудование и т. д.).

Материалы и методы. В статье рассматривается процесс проведения испытаний, контролируемые параметры и обработка результатов, в первой части статьи были разобраны область применения, испытательное и измерительное оборудование, процесс изготовления, параметры и оснастка образцов, подготовка к испытаниям.

Результаты. ISO, ASTM, EN достаточно близки между собой и по отдельным позициям сильно отличаются от ГОСТ 24544, в частности по параметрам образцов и методам их установки в испытательное устройство.

Выводы. Необходима дополнительная гармонизация ГОСТ 24544 с указанными зарубежными стандартами.

Ключевые слова: бетон, железобетон, ползучесть, релаксация, усадка

Для цитирования: Арленинов П.Д. Сравнение методов испытаний на ползучесть бетона по российским и зарубежным нормативным документам. Часть 2. Проведение испытаний и обработка результатов. Вестник НИЦ «Строительство». 2022;33(2):32–43. [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-2\(33\)-32-43](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-2(33)-32-43)

Вклад авторов

Автор берет на себя ответственность за все аспекты работы над статьей.

Финансирование

Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 16.03.2022

Поступила после рецензирования 30.03.2022

Принята к публикации 05.04.2022

COMPARISON OF CONCRETE CREEP TEST METHODS AS PER RUSSIAN AND FOREIGN NORMATIVE DOCUMENTS.

PART 2. TESTING AND PROCESSING OF RESULTS

P.D. ARLENINOV, Cand. Sci. (Engineering)

Research Institute of Concrete and Reinforced Concrete (NIIZHB) named after A.A. Gvozdev, JSC Research Center of Construction, 2nd Institutskaya str., 6, bld. 5, Moscow, 109428, Russian Federation

Abstract

Introduction. The main approaches to long-term creep tests of concrete regulated by GOST 24544-2020, valid in the Russian Federation, as well as foreign ISO, ASTM, and EN standards, are analyzed.

Aim. In this work, fundamental differences in conducting tests following Russian and foreign standards are determined. These efforts are essential and urgent, since, in order to use test results obtained abroad in Russia, it is necessary to harmonize test methods and initial test parameters (samples, measuring and test equipment, etc.).

Materials and methods. The article reviews testing procedures, controlled parameters, and processing of result; part 1 of the article covered the application, testing and measuring equipment, manufacturing process, sample parameters and fittings, and test preparation.

Results. ISO, ASTM, and EN are comparable; however, they differ greatly from GOST 24544 in some respects, in particular, regarding the sample parameters and the methods of their installation in the testing equipment.

Conclusion. Further harmonization of GOST 24544 with the aforementioned foreign standards is necessary.

Keywords: concrete, reinforced concrete, creep, relaxation, shrinkage

For citation: Arleninov P.D. Comparison of concrete creep test methods as per Russian and foreign normative documents. Part 2. Testing and processing of results. *Bulletin of Science and Research Center of Construction*. 2022;33(2):32–43. (In Russ.) [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-2\(33\)-32-43](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-2(33)-32-43)

Author contribution statement

The author takes responsibility of all aspects of the article preparation.

Funding

No funding support was obtained for the research.

Conflict of interest

The author declares no conflict of interest.

Received 16.03.2022

Revised 30.03.2022

Accepted 05.04.2022

Введение

Данная публикация представляет собой продолжение статьи [2], вышедшей в журнале «Вестник НИЦ «Строительство» в 2020 г., в которой подробно рассмотрены отличия зарубежных стандартов ISO, ASTM, EN от ГОСТ 24544-81* в части области применения, испытательного и измерительного оборудования, процесса изготовления, параметров и оснастки образцов, подготовки к испытаниям. В отличие от зарубежных стандартов [7–19] ГОСТ 24544, с момента разработки практически не изменялся и все основные исследования в этом направлении в нашей стране проводились достаточно давно [1, 3, 4, 5]. За время подготовки статьи вышла новая редакция ГОСТ 24544 от 2020 г., но рассматриваемые в данной публикации разделы нового ГОСТ относительно ГОСТ 24544-81* остались практически без изменений.

По аналогии с первой частью статьи производится сравнение по отдельным позициям ГОСТ 24544-2020 с тремя зарубежными стандартами:

- ISO 1920-9 Testing of concrete. Part 9: Determination of creep of concrete cylinders in compression (Испытания бетона. Часть 9. Определение ползучести бетонных цилиндров при сжатии).
- ASTM C512 Standard Test Method for Creep of Concrete in Compression (Стандарт по методам испытаний. Ползучесть бетона при сжатии).
- EN 12390-17 Testing hardened concrete. Part 17: Determination of creep of concrete in compression (Испытания затвердевшего бетона. Часть 17. Определение ползучести бетона при сжатии).

Требования к испытательным помещениям и возрасту бетона

ISO – регламентирует проведение испытаний бетонных образцов в возрасте более 28 сут в климатических условиях в соответствии с п. 5.1 стандарта ISO 1920-8. В соответствии с этим документом образцы должны испытываться в климатической камере с постоянными параметрами температуры и влажности (22 ± 2) °C и (55 ± 5) % соответственно. В описании параметров климатической камеры приведены требования по циркуляции воздуха – измеряется объем испаряемой воды из тарированной емкости, требования по попаданию солнечного света отсутствуют.

ASTM – регламентирует проведение испытаний затвердевших бетонных образцов в возрасте 28 сут для сравнительных испытаний бетонов разных классов и испытания в возрасте 2, 7, 28, 90, 365 сут для получения полных данных по ползучести испытываемого бетона. Испытания проводятся при постоянной температуре и влажности (23 ± 1) °C и (50 ± 4) % соответственно. Стандарт также регламентирует проведение испытаний по определению базовой ползучести, при которых образцы еще в процессе твердения помещаются в запаянные влагозащитные кожухи (медные или каучуковые) для предотвращения испарения влаги, в которых они остаются в период хранения и последующего испытания.

EN – регламентирует проведение испытаний бетонных образцов в климатической камере с контролируемой температурой и влажностью (20 ± 2) °C и ($50-70 \pm 5$) % соответственно. Регистрация температуры и влажности должна проводиться не реже одного раза в сутки.

Скорость движения воздуха вблизи образцов не должна превышать 0,5 м/с. Возраст образца к началу испытаний не регламентируется.

ГОСТ – регламентирует проведение испытаний на ползучесть затвердевших образцов в возрасте 28 сут в помещении или климатической камере, в которых постоянно поддерживается температура (20 ± 2) °С и относительная влажность воздуха (60 ± 5) %. Попадание прямых солнечных лучей на образцы не допускается.

Величина нагрузки на образец

ISO – регламентирует определение разрушающей нагрузки образцов в тот же день, когда начинаются испытания на ползучесть. Нагрузка, прикладываемая на образец при испытании на ползучесть, составляет $(1/3 \pm 2)$ % от разрушающей нагрузки, допускается испытывать при более низких нагрузках при соответствующей записи в журнале испытаний.

ASTM – регламентирует определение разрушающей нагрузки на образец непосредственно перед установкой образцов на ползучесть в соответствии с C39/C39M (определение прочности на сжатие цилиндрических образцов). Нагрузка, прикладываемая на образец при испытании на ползучесть, составляет $(0,4 \pm 2)$ % от разрушающей нагрузки.

EN – четких указаний, что разрушающая нагрузка должна определяться в день испытаний, нет, но указано, что такая нагрузка (прочность на сжатие) определяется в соответствии с EN 12390-3. Нагрузка, прикладываемая на образец при испытании на ползучесть, составляет $(1/3 \pm 3)$ % от разрушающей нагрузки, допускается испытывать при более низких нагрузках при соответствующей записи в журнале испытаний.

ГОСТ – регламентирует нагрузку на образец, равную $0,3 \pm 0,005$ от призменной прочности бетона, установленную перед началом испытаний. Однозначных указаний, что испытания по определению призменной прочности следует проводить в один день с испытаниями на ползучесть, нет. Допускается другая нагрузка, но при этом должна быть сделана соответствующая запись в журнале испытаний.

Обжатие, выравнивание образцов и режимы нагружения

ISO – регламентирует загрузку образца согласно стандарту ISO 1920-4, в котором указывается, что нагрузка на образец должна прикладываться плавно, без ударов и увеличиваться с постоянной скоростью $(0,15-1,0)$ МПа/с до заданного значения. Величина обжатия не должна превышать 1 МПа. Указывается, что образцы должны быть аккуратно выровнены, чтобы избежать эксцентриситета при приложении нагрузки. Оценка ровности установленных образцов определяется по разнице деформаций по различным граням, в пределах усилия обжатия (конкретных цифр не приводится), далее указывается, что при необходимости нагрузку обжатия можно снять и выровнять образцы.

ASTM – скорость приложения нагрузки не регламентируется (напрямую это не указано, но предполагается монотонное нагружение образца). Величина обжатия не должна превышать 1380 кПа. Оценка ровности установленных образцов определяется по разнице деформаций «вокруг образца» в пределах усилия обжатия (конкретных цифр не приводится), далее указывается, что при необходимости нагрузку обжатия можно снять и выровнять образцы.

EN – регламентирует плавное монотонное нагружение образца с максимально возможной скоростью, но не быстрее 30 с. Для выравнивания образца прикладывается нагрузка, равная 1/4 от испытательной нагрузки (то есть 1/12 от разрушающей нагрузки), если при такой нагрузке деформации по разным граням превышают 20 %, то образец разгружается и центрируется повторно, при невозможности получить меньшую разницу деформаций образец бракуется.

ГОСТ – регламентирует нагружение образца согласно ГОСТ 24452, то есть ступенями по 10 % от разрушающей нагрузки с выдержкой 4–5 мин на каждой ступени, сохраняя в пределах каждой ступени скорость нагружения $(0,6 \pm 0,2)$ МПа/с. Величина обжатия, которую принимают за условный нуль, должна быть не более 2 % от разрушающей нагрузки. При центрировании образцов необходимо, чтобы в начале испытания от условного нуля до полной загрузки отклонения деформаций по каждой грани (образующей) не превышали 15 % их среднего арифметического значения. При несоблюдении этого требования при нагрузке, равной или большей (15 ± 5) % R_p , следует разгрузить образец, сместить его относительно центральной оси разметки плиты пресса в сторону больших деформаций и вновь проверить его центрирование по показаниям приборов. Образец бракуют после пяти неудачных попыток его центрирования.

Контролируемые параметры, журнал испытаний

ISO – бланков для заполнения журнала испытаний в стандарте не приведено, но указан перечень контролируемых параметров при проведении испытания (величины нагрузок, расчетные длины, результаты измерений, результаты расчетов и т. д.), также указано, что при необходимости записывается дополнительная информация с описанием бетонной смеси и ее компонентов.

ASTM – бланков для заполнения журнала испытаний в стандарте не приведено, но указан перечень контролируемых параметров при проведении испытания (тип и характеристики заполнителя, положение образца при заливке, возраст бетона в момент нагружения, результаты измерений, результаты расчетов и т. д.).

EN – бланков для заполнения журнала испытаний в стандарте не приведено, но указан перечень обязательных контролируемых параметров при проведении испытания (характеристики образцов, сведения о хранении, результаты измерений, и т. д.), а также перечень дополнительных параметров, которые могут быть занесены в отчет (способ уплотнения бетона, условия хранения образцов после распалубливания и во время транспортировки, способы герметизации и т. д.).

ГОСТ – регламентирует ведение журнала испытаний, состоящего из двух листов (в стандарте приведены бланки для их заполнения):

- на первом листе (титульном) указываются основные параметры испытания, параметры бетонной смеси (состав бетонной смеси по массе, виды добавок и их количество, подвижность воздуховодящего, вид и марка цемента, тонкость помола цемента, параметры заполнителей и т. д.) и образцов (размеры, возраст, масса в начале и в конце испытаний, прочность и т. д.);
- на втором листе приводится таблица с основными параметрами помещения (температура, влажность и т. д.) для записи показаний с индикаторов, установленных на нагруженных и контрольных образцах (отсчеты и приращения), также в таблице предусмотрены графы для расчета относительных деформаций ползучести и усадки.

Съемка показаний и общий срок испытаний

ISO – регламентирует снятие показаний приборов на нагруженных образцах для определения деформаций ползучести через 2 ч, затем через 6 ч. Последующее снятие отсчетов один раз в день в течение недели, затем один раз в неделю до конца месяца, затем один раз в месяц в течение трех месяцев. Дополнительно указывается возможность определения деформаций в другое время, но это должно быть зафиксировано. Дополнительная информация по снятию показаний с образцов, установленных без нагрузки на усадку, не приведена. Общий срок проведения испытаний – 4 месяца.

ASTM – регламентирует снятие показаний приборов на нагруженных образцах для определения деформаций ползучести непосредственно после загрузки, затем в промежутки времени 2–6 часов. Последующее снятие отсчетов один раз в день в течение недели до конца месяца, затем один раз в месяц до конца года. Общий срок проведения испытаний – 1 год.

EN – регламентирует снятие показаний приборов на нагруженных образцах для определения деформаций ползучести через 2–6 часов после загрузки. Последующее снятие отсчетов три раза в первую неделю, затем раз в неделю до конца месяца, затем один раз в месяц. Общий срок проведения испытаний должен быть не менее 6 месяцев, предпочтительнее 1 год.

ГОСТ – регламентирует снятие показаний приборов на нагруженных образцах для определения деформаций ползучести непосредственно после загрузки (начальный отсчет) и затем через 1 ч. Последующее снятие отсчетов рекомендуется производить через 1, 3, 7, 14 сут, последующие 6 недель – еженедельно, затем в течение 10 недель – один раз в 2 недели и далее до конца испытаний – один раз в 4 недели. Одновременно с определением деформаций ползучести следует проводить определение деформаций усадки на незагруженных образцах с той же периодичностью и продолжительностью. При этом начальный отсчет деформаций усадки следует производить непосредственно после загрузки образцов на ползучесть. Общий срок проведения испытаний – не менее 6 месяцев.

Обработка результатов – определение деформаций ползучести

ISO – регламентирует вначале определить мгновенный модуль упругости, который рассчитывается как приложенное напряжение (МПа), деленное на среднюю деформацию сразу после загрузки; затем определяется деформация ползучести как разница между полной деформацией нагруженных образцов, деформацией контрольных образцов (незагруженных) и средней деформации сразу после загрузки; затем определяется коэффициент ползучести как произведение деформаций ползучести и модуля упругости (формулы в стандарте приведены в представленном ниже виде). База измерения в формулах не фигурирует:

$$\text{Specific creep} = \frac{\text{average loaded strain} - \text{average control strain} - \text{average immediate strain}}{\text{applied stress}}$$

$$\text{Creep coefficient} = \text{specific creep} \times \text{instantaneous elastic modulus}$$

ASTM – регламентирует определение вначале общей деформации на единицу напряжения в любой момент времени как разницу между средними значениями деформаций нагруженных и контрольных образцов, разделенных на среднее напряжение (данные формулы в стандарте отсутствуют и приведены только в виде текста). Для определения деформации ползучести на единицу напряжения в любом возрасте необходимо из общей полученной деформации на единицу напряжения вычесть деформации на единицу напряжения сразу после нагружения.

EN – регламентирует вычисление трех видов ползучести:

полная ползучесть – деформация, измеренная при постоянной нагрузке в определенных условиях температуры и относительной влажности после вычитания деформации сразу после нагружения (упругой деформации) и деформации усадки:

$$\varepsilon_{cc}(t, t_0) = \varepsilon_{cc}(t) - [\varepsilon_{cs}(t, t_0) + \varepsilon_{cc}(t_0)], \quad (1)$$

базовая ползучесть – деформация, измеренная при постоянной нагрузке в изотермических условиях и при отсутствии влагообмена между образцом и окружающей средой:

$$\varepsilon_{bc}(t, t_0) = \varepsilon_{bc}(t) - [\varepsilon_{ca}(t, t_0) + \varepsilon_{bc}(t_0)], \quad (2)$$

ползучесть при высыхании – разница между полной и базовой ползучестью:

$$\varepsilon_{dc}(t, t_0) = \varepsilon_{cc}(t, t_0) - \varepsilon_{bc}(t, t_0), \quad (3)$$

где $\varepsilon_{cc}(t)$ – деформация образца под нагрузкой в момент времени (t) ;

$\varepsilon_{cs}(t, t_0)$ – средняя деформация контрольных образцов (только усадка без нагрузки) в момент времени (t) с момента нагружения (t_0) ;

$\varepsilon_{cc}(t_0)$ – деформация сразу после нагружения (упругая деформация);

$\varepsilon_{bc}(t_0)$ – деформация изолированных (от влагообмена с окружающей средой) образцов под нагрузкой в момент времени (t) ;

$\varepsilon_{ca}(t, t_0)$ – автогенная усадка в момент времени (t) ;

$\varepsilon_{bc}(t_0)$ – деформация сразу после нагружения изолированных образцов.

ГОСТ – по результатам испытаний вычисляют средние значения абсолютных деформаций мм для каждого загруженного и незагруженного образца как среднеарифметическое приращение (по отношению к начальному отсчету) показаний приборов по четырем граням соответствующего образца. По средним абсолютным значениям деформаций вычисляют относительные значения деформаций после полной загрузки образца по формуле:

$$\varepsilon_1(t) = \Delta l_1(t) / l_1.$$

Относительные деформации ползучести каждого образца $\varepsilon_{in}(t)$ вычисляют по формуле, состоящей из двух слагаемых: $\varepsilon_1(t) - \varepsilon_{yc}(t)$ – деформации ползучести во времени, а $\varepsilon_1 - \varepsilon_{1y}$ – учитывает быстронатекающую ползучесть во время нагружения:

$$\varepsilon_{in}(t) = \varepsilon_1 - \varepsilon_{1y} + \varepsilon_1(t) - \varepsilon_{yc}(t),$$

где ε_1 – средние значения полных деформаций, определяемых в процессе ступенчатого нагружения согласно ГОСТ 24452;

ε_{1y} – средние значения упругих деформаций, определяемых в процессе ступенчатого нагружения согласно ГОСТ 24452.

Относительные деформации серии образцов определяются как среднее арифметическое относительных деформаций отдельных образцов.

Обработка результатов – определение дополнительных параметров:

ISO – позволяет определить скорость натекающей деформации ползучести $F(K)$ из уравнения для полной деформации:

$$\varepsilon = 1/E + F(K) \cdot \log_e(t + 1),$$

где E – модуль упругости (МПа);

t – время после загрузки образца (дни).

ASTM – предлагает следующее уравнение, из которого графически (в координатах деформации на единицу напряжения – время) можно определить постоянные величины $1/E$ и $F(K)$. В стандарте отсутствуют уточнения, но, анализируя размерности в формулах ниже, можно предположить, что имеются в виду относительные, а не абсолютные деформации.

$$\varepsilon = (1/E) + F(K) \ln(t+1),$$

где ε – полная деформация на единицу напряжения МПа⁻¹;

E – мгновенный модуль упругости МПа;

$F(K)$ – показатель скорости ползучести, определяемый графически как наклон кривой ползучести на графике;

t – время испытания с момента нагружения, дни.

EN – позволяет определить коэффициент ползучести через уравнение для деформаций полной ползучести:

$$\varepsilon_{cc}(t, t_0) = \left[\frac{\sigma_c(t_0)}{E_c} \right] \varphi(t, t_0),$$

где $\varphi(t, t_0)$ – коэффициент ползучести;

E_c – касательный модуль упругости, который принимается 1,05 от начального модуля упругости, определяемого в соответствии с EN 12390-13.

ГОСТ – позволяет определить предельные значения деформаций ползучести и усадки графически через построение диаграммы. Для этого вычисляют значения приращений по формуле:

$$\Delta t / \varepsilon_{yc}(t), \Delta t / \varepsilon_{ln}(t),$$

где Δt – продолжительность проведения испытаний с момента его начала (снятия начального отсчета), сут.

Затем по диаграмме по оси ординат откладывают значения, вычисленные по формулам выше, а по оси абсцисс – значения Δt , начиная с момента времени Δt , равного 30 сут для усадки и 50 сут для ползучести. По полученным точкам строят прямую регрессии, котангенс угла которой принимают за предельное значение деформаций усадки $\varepsilon_{yc}(\infty)$ или ползучести $\varepsilon_{ln}(\infty)$, а отрезок, отсекаемый этой прямой на продолжении оси абсцисс, за параметр скорости нарастания деформаций a_{yc} или a_{ln} .

Таблица

Переходные коэффициенты для образцов разных размеров

Table

Transition coefficients for samples of different sizes

Размер ребра поперечного сечения образца, см	Переходные коэффициенты при определении	
	усадки	ползучести K_2
7	0,90	0,83
10	0,95	0,90
15	1,0	1,0
20	1,05	1,10

Уникальные разделы по каждому из стандартов

ISO – соответствующая информация отсутствует.

ASTM – в стандарте в виде отдельного раздела приведены основные требования к точности получаемых результатов (нормируется разница в результатах по различным образцам), однородности свойств образцов (коэффициенты вариации) и т. д.

EN – соответствующая информация отсутствует.

ГОСТ – использование переходных коэффициентов при проведении испытаний на образцах, отличных от базовых (базовым считается образец размерами 150 × 150 × 600 мм), предельные значения деформаций усадки и ползучести следует умножать на коэффициенты K_1 и K_2 .

Альтернативные методики проведения испытаний, примеры расчетов, приложения и дополнения к стандартам

ISO – в стандарте имеется примечание, что условия хранения, твердения, времени загрузки и другие параметры могут быть изменены при необходимости получения свойств материалов при различных исходных параметрах, перечисленных ранее. Но при этом также указывается, что такие испытания не будут соответствовать требованиям данного стандарта ISO, и любое отклонение должно быть зафиксировано в протоколе испытаний.

ASTM – стандарт допускает испытание образцов при специальных условиях хранения во время твердения для моделирования наиболее близких условий к реальной конструкции (адиабатические условия твердения и т. д.). Также допускается при испытании бетонных образцов для специфических объектов отступление от требований стандарта и проведение испытаний таким образом, чтобы работа испытываемого образца была максимально приближена к работе конструкции в части термической обработки, вида воздействия, возраста загрузки, конструкции объекта.

EN – соответствующая информация отсутствует.

ГОСТ – позволяет проведение испытаний образцов, насыщенных водой и нефтепродуктами, допускает альтернативный способ (упрощенный) определения ползучести бетона в режиме изгиб (приложение Е) – испытываются образцы балки, шарнирно лежащие на двух опорах, гравитационной нагрузкой, измеряется прогиб в середине пролета и просадки опор. В приложении Д приведена методика определения температурной усадки и ползучести бетона при нагреве. В приложении Е приведен пример обработки результатов испытаний и определения предельных значений деформаций ползучести.

Заключение

Выводы, сделанные в первой части сравнительного обзора испытательного оборудования (статья от 2020 г.), полностью применимы и ко второй части обзора, выполненного в данной статье в части проведения испытаний и обработки результатов.

Все рассмотренные западные стандарты – европейские, американские, международные – в той или иной мере гармонизированы между собой в отличие от действующего в нашей стране ГОСТ 25544. Необходима дальнейшая гармонизация ГОСТ 25544 с западными нормами (частично такая работа была проведена в НИИЖБ им. А.А. Гвоздева при актуализации данного стандарта в 2020 г.).

В первой части обзора обращалось внимание, что при сравнении западных стандартов между собой наиболее четкие и логичные указания по проведению испытаний приведены в американском стандарте ASTM. Развивая данную мысль, необходимо отметить, что американские стандарты являются также и наиболее прагматичными в части удешевления и упрощения процесса проведения испытаний. Так, например, нормируемая влажность в климатической камере при проведении испытаний в ГОСТ составляет 60 %, в EN – 50–70 %, в ISO – 55 %, а в ASTM – 50 %. Создать влажность 50 % быстрее, легче и дешевле относительно более высоких значений; еще одной интересной особенностью является временная вилка снятия показаний в 2–6 часов в американском стандарте, это выглядит правильным, поскольку при проведении настоящих испытаний снять показания точно в срок удастся не всегда.

Список литературы

1. Александровский С.В. Ползучесть и усадка бетона и железобетонных конструкций. Москва: Стройиздат; 1976.
2. Арленинов П.Д., Крылов С.Б., Корнюшина М.П. Сравнение методов проведения длительных испытаний на ползучесть бетона в соответствии с российскими и зарубежными нормативными документами. Часть 1. Образцы и оборудование. Вестник НИЦ «Строительство». 2020;27(4):5–17. [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2020-4\(27\)-5-17](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2020-4(27)-5-17)
3. Арутюнян Н.Х. Некоторые вопросы теории ползучести. Москва: Гостехиздат; 1952.
4. Прокопович И.Е. Основы прикладной линейной теории ползучести. Киев: Вища школа; 1978.
5. НИИЖБ Госстроя СССР. Рекомендации по учету ползучести и усадки бетона при расчете бетонных и железобетонных конструкций. Москва: Стройиздат; 1988. с. 5–15.
6. ГОСТ 24544-2020 Бетоны. Методы определения деформаций усадки и ползучести. Москва: Стандартинформ; 2021.
7. ISO 1920-3 Testing of concrete – Part 3: Making and curing test specimens. Geneva; 2019.
8. ISO 1920-4 Testing of concrete – Part 3: Strength of hardened concrete. Geneva; 2020.
9. ISO 1920-9 Testing of concrete – Part 9: Determination of creep of concrete cylinders in compression. Geneva; 2009.
10. ISO 1920-8 Testing of concrete – Part 8: Determination of drying shrinkage of concrete for samples prepared in the field or in the laboratory. Geneva; 2009.
11. ASTM C512/C512M Standard Test Method for Creep of Concrete in Compression. ASTM International; 2015.
12. ASTM C617/C617M Standard Practice for Capping Cylindrical Concrete Specimens ASTM International; 2015.
13. ASTM C192/ C192M Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Laboratory. ASTM International; 2015.
14. ASTM C39/C39M Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens. ASTM International; 2021.

15. ASTM C470/C470M Specification for Molds for Forming Concrete Test Cylinders Vertically. ASTM International; 2015.
16. ASTM C157/C157M Standard Test Method Length Change of Hardened Hydraulic-Cement Mortar and Concrete. ASTM International; 2017.
17. CEN-EN 12390-2 Testing hardened concrete – Part 2: Making and curing specimens for strength test. European Committee for Standardization; 2019.
18. CEN-EN 12390-3 Testing hardened concrete – Part 3: Compressive strength of test specimens. European Committee for Standardization; 2019.
19. EN 12390-17 Testing hardened concrete – Part 17: Determination of creep of concrete in compression. European Committee for Standardization; 2017.

References

1. *Aleksandrovsky S.V.* Creep and shrinkage of concrete and reinforced concrete structures. Moscow: Stroiizdat Publ.; 1976 (in Russian).
2. *Arel'nikov P.D., Krylov S.B., Korniyushina M.P.* Comparison of methods of conducting long-term tests for concrete creep in accordance with Russian and foreign regulatory documents. Part 1. Samples and equipment. Vestnik NIC Stroitel'stvo = Bulletin of Science and Research Center of Construction. 2020;27(4): 5–17 (in Russian). [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2020-4\(27\)-5-17](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2020-4(27)-5-17)
3. *Arutyunyan N.Kh.* Some questions in creep theory. Moscow: Gostekhizdat Publ; 1952 (in Russian).
4. *Prokopovich I.E.* Fundamentals of applied linear theory of creep. Kyiv: Vishcha shkola Publ.; 1978 (in Russian).
5. NIIZHB Gosstroy USSR. Recommendations for taking into account the creep and shrinkage of concrete in the calculation of concrete and reinforced concrete structures. Moscow: Stroiizdat Publ.; 1988. pp. 5–15 (in Russian).
6. State Standard 24544-2020. Concrete. Methods for determining shrinkage and creep strains. Moscow: Standartinform Publ.; 2021 (in Russian).
7. ISO 1920-3 Testing of concrete – Part 3: Making and curing test specimens. Geneva; 2019.
8. ISO 1920-4 Testing of concrete – Part 3: Strength of hardened concrete. Geneva; 2020.
9. ISO 1920-9 Testing of concrete – Part 9: Determination of creep of concrete cylinders in compression. Geneva; 2009.
10. ISO 1920-8 Testing of concrete – Part 8: Determination of drying shrinkage of concrete for samples prepared in the field or in the laboratory. Geneva; 2009.
11. ASTM C512/C512M Standard Test Method for Creep of Concrete in Compression. ASTM International; 2015.
12. ASTM C617/C617M Standard Practice for Capping Cylindrical Concrete Specimens ASTM International; 2015.
13. ASTM C192/ C192M Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Laboratory. ASTM International; 2015.
14. ASTM C39/C39M Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens. ASTM International; 2021.
15. ASTM C470/C470M Specification for Molds for Forming Concrete Test Cylinders Vertically. ASTM International; 2015.
16. ASTM C157/C157M Standard Test Method Length Change of Hardened Hydraulic-Cement Mortar and Concrete. ASTM International; 2017.
17. CEN-EN 12390-2 Testing hardened concrete – Part 2: Making and curing specimens for strength test. European Committee for Standardization; 2019.
18. CEN-EN 12390-3 Testing hardened concrete – Part 3: Compressive strength of test specimens. European Committee for Standardization; 2019.
19. EN 12390-17 Testing hardened concrete – Part 17: Determination of creep of concrete in compression. European Committee for Standardization; 2017.

Информация об авторе / Information about the author

Петр Дмитриевич Арленинов, канд. техн. наук, заместитель заведующего лабораторией механики железобетона НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство», Москва

e-mail: arleninoff@gmail.com

тел.: +7 (499) 174-74-07

Petr D. Arleninov, Cand. Sci. (Engineering), Deputy chief of the laboratory of reinforced concrete mechanics, NIIZHB named after A.A. Gvozdev, JSC Research Center of Construction, Moscow

e-mail: arleninoff@gmail.com

tel.: +7 (499) 174-74-07