

УДК 624.046.4 + 624.046.3 + 624.071.34  
[https://doi.org/10.37538/2224-9494-2020-4\(27\)-5-17](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2020-4(27)-5-17)

# СРАВНЕНИЕ МЕТОДОВ ПРОВЕДЕНИЯ ДЛИТЕЛЬНЫХ ИСПЫТАНИЙ НА ПОЛЗУЧЕСТЬ БЕТОНА В СООТВЕТСТВИИ С РОССИЙСКИМИ И ЗАРУБЕЖНЫМИ НОРМАТИВНЫМИ ДОКУМЕНТАМИ. ЧАСТЬ 1: ОБРАЗЦЫ И ОБОРУДОВАНИЕ

## COMPARISON OF METHODS FOR CONDUCTING LONG-TERM CONCRETE CREEP TESTS FOLLOWING RUSSIAN AND FOREIGN REGULATORY DOCUMENTS. PART 1: SAMPLES AND EQUIPMENT

П. Д. АРЛЕНИНОВ, канд. техн. наук  
С. Б. КРЫЛОВ, д-р техн. наук  
М. П. КОРНЮШИНА

*Анализируются основные подходы к проведению длительных испытаний по определению ползучести бетона, которые регламентирует ГОСТ 24544-81\*, действующий на территории РФ, а также зарубежные стандарты ISO, ASTM, EN. Рассматриваются применяемые установки, измерительное оборудование, параметры образцов. Во второй части статьи будут разобраны контролируемые параметры проведения испытания и обработка результатов.*

*The article discusses the main approaches to conducting long-term tests to determine the creep of concrete, which are regulated by GOST 24544-81 applicable in the Russian Federation, as well as foreign standards ISO, ASTM and EN. The applied installations, measuring equipment, and sample parameters are considered. In the second part of the article, we will consider the controlled parameters of the test, and the processing of the results.*

### Ключевые слова:

Бетон, железобетон, ползучесть, релаксация, усадка

### Key words:

Concrete, reinforced concrete, creep, relaxation, shrinkage

### **Вводная часть**

ГОСТ 24544-81\* вступил в действие почти 40 лет назад, 1 января 1982 г., это был нормативный документ, опережающий свое время, как писал А. А. Гвоздев в статье, посвященной выходу этого ГОСТ в журнале «Бетон и железобетон» в 1981 г. [1]. Документ был выпущен впервые и позволял проводить испытания на ползучесть по единому стандарту, что чрезвычайно важно, поскольку как 30 лет назад, так и в настоящее время длительные испытания бетонных образцов входят в число самых сложных и дорогостоящих [2-7]. И если полученные результаты и так малочисленных испытаний будут отличаться исходными данными, то это негативно отразится на достоверности результатов таких экспериментов. В рассматриваемый стандарт было внесено только одно изменение с заменой нескольких абзацев и актуализацией ссылочных материалов, утвержденное в апреле 1985 г. С учетом этого изменения ГОСТ был переиздан в ноябре 1987 г., и с того времени он больше не актуализировался и не изменялся. В 2019 г. в НИИЖБ им. А. А. Гвоздева была проведена работа по актуализации стандарта.

Иностранные стандарты по методам проведения испытаний на усадку и на ползучесть бетона выпускаются регулярно. В первую очередь это стандарты промышленно развитых стран (американские, европейские и общемировые):

- 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).

И в настоящее время уже накопились принципиальные отличия в методиках проведения испытаний за рубежом и регламентируемых ГОСТ 24544-81\*.

Интересным моментом является первоочередность появления рассматриваемых стандартов – в европейском документе EN имеется ссылка, что документ разработан на основе американского стандарта ASTM и международного ISO, а учитывая, что стандарты ISO обычно разрабатываются уже на базе европейских, американских или японских документов, то стандарт ASTM можно условно считать базовым.

Гармонизация российского ГОСТ 24544-81\* с актуальными зарубежными стандартами крайне важна, поскольку отличия в проведении испытаний, в обработке и анализе экспериментальных данных затрудняют и не позволяют в полной мере:

- использовать огромный опыт, накопленный по всему миру, в частности, аккумулированный в базах RILEM (результаты испытаний для различных видов бетонов, в различных условиях и под различной нагрузкой);
- участвовать в совместных проектах как в нашей стране (арктическое нефтегазовое строительство), так и за рубежом – гидроэнергетические проекты и проекты Росатома.

### **Сравнение основных требований ГОСТ 24544-81\* и зарубежных стандартов ISO 1920-9, ASTM C512 и EN 12390-17**

Перед проведением детального сравнения указанных стандартов рассмотрим их нумерацию и общую структуру. Европейский стандарт EN и международный стандарт ISO выполнены

в едином ключе – под одним номером скрыто большое число частей, регламентирующих все возможные испытания бетонных образцов, начиная от их изготовления, отбора, ухода за ними и заканчивая проведением непосредственно самих испытаний. Некоторая схожесть американских стандартов ASTM и российских ГОСТ заключается в отсутствии какой-либо структуры нумерации: так, например, стандартные испытания на сжатие регламентирует стандарт ASTM C39/ C39M (если литера М присутствует в названии, то в стандарте применяется метрическая система, при отсутствии ее – американская; если название указано через дробь, то в стандарте присутствует две системы единиц, например, 1780 mm (70 in)), спецификации опалубки – ASTM C470, а сам процесс изготовления образцов – ASTM C192. Буква «С» в обозначении означает «Ceramic, Concrete, and Masonry Materials». В российских государственных стандартах первым в названии после номера помещено слово, относящее данный стандарт к той или иной отрасли: так, например, слово «Бетоны», и далее после точки уже приводится название, из которого понятно основное содержание документа.

Какая-либо структура в нумерации также полностью отсутствует. Однако, учитывая, что стандарты ASTM (American Society for Testing and Materials) относятся только к испытанию материалов, в отличие от наших ГОСТ, и название материала указано в обозначении стандарта, российская система нумерации и обозначения государственных стандартов представляется наиболее сложной и запутанной.

При сравнении стандартов, регламентирующих проведение испытаний ползучести бетона, первое наиболее существенное отличие – это разделение процессов усадки и ползучести по различным документам в зарубежных нормах, в отличие от ГОСТ 24544-81\*, который регламентирует проведение испытаний и на ползучесть, и на усадку. Вообще, усадка (изменение деформаций бетонных образцов во времени без приложения нагрузки) и ползучесть (изменение деформаций бетонных образцов во времени, под постоянно действующей нагрузкой) неразрывно связаны между собой. При испытаниях на ползучесть измеряемые деформации являются суммарными деформациями усадки и ползучести, и чтобы получить истинные деформации ползучести, необходимо из общих деформаций вычесть деформации усадки. Но также испытания на усадку могут проводиться и полностью самостоятельно. Точное понимание и прогнозирование только деформаций усадки крайне важно при бетонировании массивных конструкций, конструкций, в которых не допускается образование трещин, и др. В ГОСТ 24544-81\* проведение самостоятельных испытаний на усадку, а также совместно с испытаниями на ползучесть регламентируется отдельными пунктами. Так, например, п. 4.1 и п. 4.2 регламентируют проведение испытаний на усадку и на ползучесть и предъявляют требования к помещению, температуре, влажности времени начала испытаний и периодичности отсчетов. При испытании только на усадку необходимо воспользоваться п. 4.3, который задает другие временные параметры проведения испытаний.

В зарубежной нормативной базе разработаны (существуют) отдельные стандарты для испытаний на усадку и на ползучесть. И в стандартах, регламентирующих проведение испытаний на ползучесть, добавлено всего несколько фраз о том, что дополнительно изготавливается и устанавливается серия образцов в таких же условиях, как на ползучесть, и испытывается без приложения нагрузки:

ISO 1920 p. 5.2 – «three (specimens) shall remain unloaded for use as controls for deformations from causes other than loads»;

ASTM C512 p. 5.3 – «two shall remain unloaded for use as controls to indicate deformations due to causes other than load».

Причем, как видно из уже приведенных цитат, американский стандарт допускает испытание всего двух образцов.

Далее приведены основные отличия в рассматриваемых стандартах по определению ползучести бетона, сгруппированные по основным этапам проведения испытания.

#### **Область применения:**

ISO регламентирует проведение испытаний стандартных цилиндрических образцов на длительную нагрузку без конкретизации, изготавливается образец или отбирается;

ASTM регламентирует проведение испытаний цилиндрических специально изготовленных образцов на длительную нагрузку. Имеется ограничение по максимальному размеру заполнителя – до 50 мм;

EN регламентирует проведение испытаний образцов из затвердевшего бетона на длительную нагрузку, без конкретизации, изготавливается образец или отбирается. Имеется ограничение по максимальному размеру заполнителя – до 32 мм;

ГОСТ регламентирует проведение испытания специально изготовленных бетонных образцов на длительную нагрузку. Дополнительно имеется фраза, что испытания образцов, отобранных из конструкции, не допускается.

#### **Дополнительные режимы испытания:**

ISO – в стандарте имеется примечание, что условия хранения, твердения, время 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 допускает 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 регламентирует проведение испытаний образцов, насыщенных водой и нефтепродуктами, а также проведение испытаний при нагреве.

#### **Терминология и основные положения:**

ISO – раздел терминологии отсутствует, в разделе по основным положениям (принципам) декларируется, что ползучесть бетона определяется путем определения общей комбинированной ползучести и усадки образцов под нагрузкой и вычитания из этой величины только усадки ненагруженных образцов;

ASTM – раздел терминологии отсутствует, раздел по основным положениям отсутствует, но есть раздел «Значение и использование», описывающий цели и задачи проведения испытаний на ползучесть бетона, а также основные научные гипотезы описания процесса ползучести;

EN – в разделе «Терминология» приведено описание понятий «начальная деформация», «полная деформация», «деформация усадки», «база измерения», указаны точки, в которых проводятся измерения, а также выделяется четыре типа ползучести:

А. Просто ползучесть – деформация от длительно действующей постоянной нагрузки при определенных температурно-влажностных условиях;

Б. Полная ползучесть – деформация ползучести после вычета деформации усадки;

В. Базовая ползучесть – деформация, получаемая при постоянной нагрузке в изотермических условиях и при отсутствии влагообмена между образцом и окружающей средой;

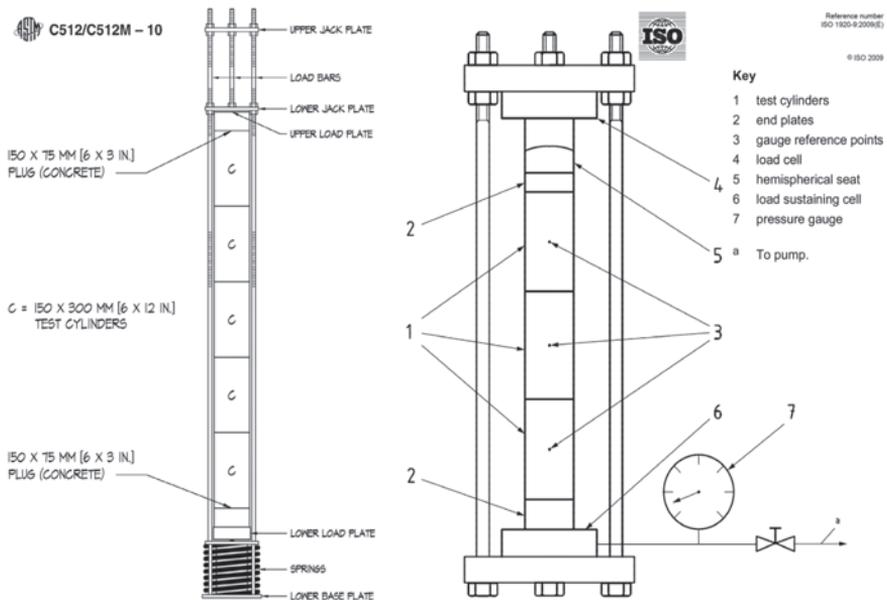
Г. Ползучесть при высыхании – разница между полной и базовой ползучестью.

ГОСТ – в разделе «Терминология» приведено описание линейных относительных деформаций ползучести, усадки, температурного расширения, температурной деформации и температурной деформации усадки. Раздел по основным положениям отсутствует, но суть разделения деформаций ползучести и усадки приведена в разделе по обработке результатов.

### Используемые установки для проведения испытаний на ползучесть бетона

Принципиально все четыре рассматриваемых стандарта регламентируют проведение испытаний в установках рамного типа, которые должны быть достаточно жесткими для обеспечения равномерной нагрузки образца (образцов) и способными поддерживать требуемую нагрузку независимо от любого изменения размеров образца.

Далее приведены уточняющие требования к установкам по каждому из стандартов. Несмотря на различные варианты допускаемых типов установок, наибольшей популярностью во всем мире пользуются установки пружинного типа. Принципиальные схемы установок, приведенные в зарубежных стандартах, показаны на рис. 1. Схема пружинной установки по ГОСТ приведена на рис. 2.



**Рис. 1.** Принципиальные схемы установок для испытания на ползучесть бетона – пружинная по стандарту ASTM (слева) и гидравлическая по стандарту ISO (справа)

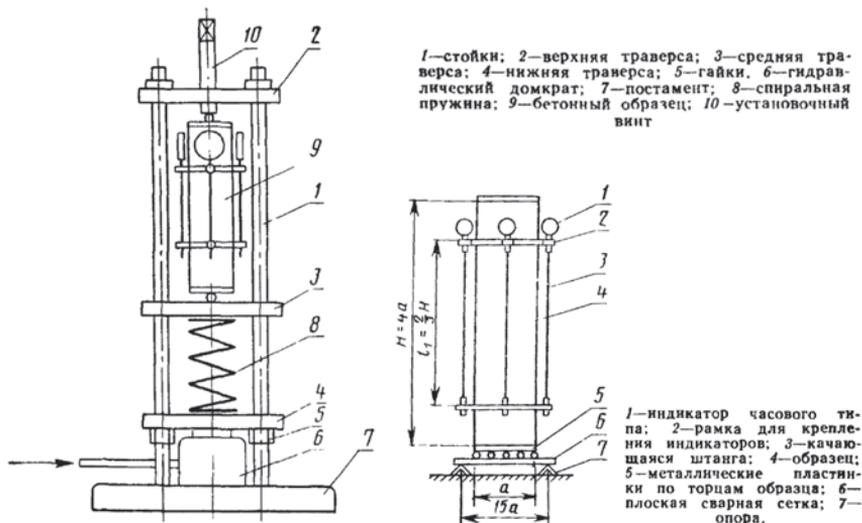


Рис. 2. Пружинная установка (слева) для испытания на ползучесть бетона и устройство для испытания на усадку (справа) в соответствии с ГОСТ

ISO – в стандарте имеется примечание, что средством поддержания нагрузки может быть либо пружина, либо система пружин, либо в качестве альтернативы может применяться гидравлическая система. Также допускается проведение испытаний при расположении образцов и установки в горизонтальном положении. Для центрирования образца (образцов) относительно линии загрузки необходимо использовать полусферическую опору (шаровой шарнир);

ASTM – стандарт предполагает проведение испытаний на пружинных установках или использующих гидравлическую систему нагружения. При использовании пружинных установок также требуется использование шарового шарнира;

EN – конкретизация по типам применяемых установок отсутствует, но в качестве примера указано, что установки могут быть пружинные и гидравлические. Рама, в которой установлен образец, должна поддерживать требуемую нагрузку в пределах  $\pm 3\%$ ;

ГОСТ – регламентирует проведение испытаний на пневмогидравлических, пружинно-гидравлических, рычажных и пружинных установках. Принципиальные схемы всех типов установок приведены в стандарте.

### Передача нагрузки на образец:

ISO – усилие может передаваться от опорной пластины на образец напрямую, в таком случае торец образца заливается специальным составом в соответствии со стандартом ISO 1920-3, или через концевые пластины. В стандарте указано только, что указанные пластины должны быть достаточно жесткими для обеспечения равномерной загрузки образцов. Материал концевых пластин, их толщина и остальные характеристики в стандарте не указаны;

ASTM – усилие от опорных пластин передается на образец через концевые бетонные пластины толщиной не менее половины диаметра образца и диаметром, соответствующим диаметру образца;

ГОСТ – передача усилия с опорной пластины на образец осуществляется не напрямую, а через стальной шарик и приклеенную к образцу стальную пластину с выточкой.

### **Требования к допускам опорных поверхностей:**

ISO – допускаются отклонения от плоскости любых опорных поверхностей, которые контактируют с образцами не более чем на 0,05 мм;

ASTM – допускаются отклонения опорных платин от плоскости не более чем на 0,025 мм;

EN – допускаются отклонения от плоскости любых опорных поверхностей, которые контактируют с образцами не более чем на 0,05 мм;

ГОСТ – параметры опорных пластин не регламентируются, требования к пластине, приклеиваемой к образцу, – твердость стали 55–60 HRC3, отклонение поверхностей пластин от плоскости не более 0,05 мм на 100 мм, толщина не менее 0,25 $a$ , где  $a$  – линейный поперечный размер образца.

### **Допускаемое число образцов в одной установке:**

ISO – допускает испытание одновременно нескольких образцов, какие-либо ограничения по их числу или по высоте «колонны» отсутствуют;

ASTM – допускает испытание одновременно нескольких образцов (до шести), ограничивая при этом максимальную высоту «колонны», с учетом бетонных пластин в 1780 мм;

EN – допускает одновременное испытание в одной установке до трех образцов;

ГОСТ – отсутствует какая-либо информация об одновременном испытании нескольких образцов. Но в инженерной практике на территории РФ такие испытания проводятся, причем установки на один образец встречаются крайне редко, обычно устанавливают 2 или 3 образца в «колонну».

Далее в связи со схожестью иностранных документов сравнение будет производиться между стандартом ISO, ASTM и ГОСТ.

### **Стыковка образцов при их испытании в колонне (одновременное испытание нескольких образцов в одной установке):**

ISO – в стандарте не указан способ стыковки образцов, имеется упоминание, что торцы должны быть изолированы для предотвращения испарения влаги, и для этих целей можно использовать герметик;

ASTM – в стандарте указано, что образцы должны быть изолированы в соответствии с ASTM C617/C617M. Наиболее распространенным способом изоляции торцов в американской практике при проведении испытаний на ползучесть бетона является использование составов на основе затвердевшей серы (рис. 4 и 5). Рекомендации по приготовлению такого состава также приведены в ASTM C617/C617M;

ГОСТ – в стандарте информации о стыковке образцов нет, но в инженерной практике на территории РФ наиболее распространенным способом передачи нагрузки от образца к образцу служит устройство, показанное на рис. 3 и представляющее собой стальной шарик, расположенный в выточках пластин, приклеенных к образцу, а также страховочные устройства, предотвращающие выстреливание шарика и выпучивание всей «колонны» образцов.

**Требования к испытательным устройствам, при определении деформаций контрольных образцов без нагрузки:**

ISO – какие-либо требования отсутствуют. Указывается только, что выполняется определение деформаций на ненагруженных образцах;

ASTM – какие-либо требования отсутствуют. Указывается только, что выполняется определение деформаций на ненагруженных образцах;

ГОСТ – испытание для определения деформаций контрольных образцов без нагрузки в данном документе определяется как проведение испытаний на усадку бетона. На образец наклеиваются торцевые пластины, и он устанавливается на решетчатый подиум из сварной сетки (см. рис. 2).

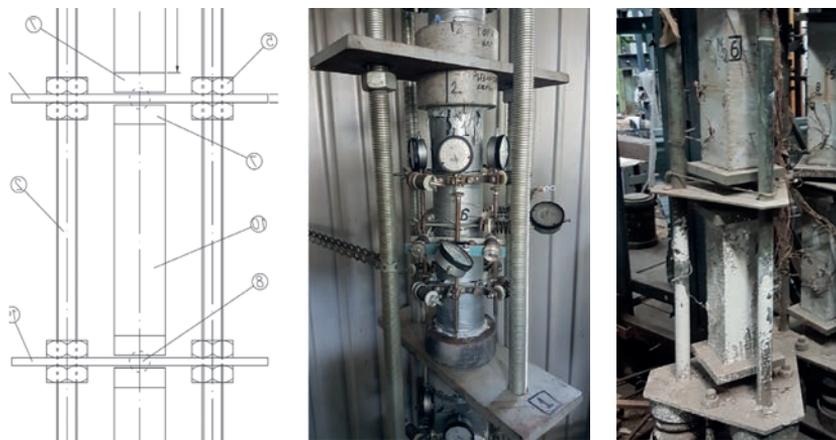


Рис. 3. Применяемая в России конструкция для передачи усилия между образцами при испытании их в колонне

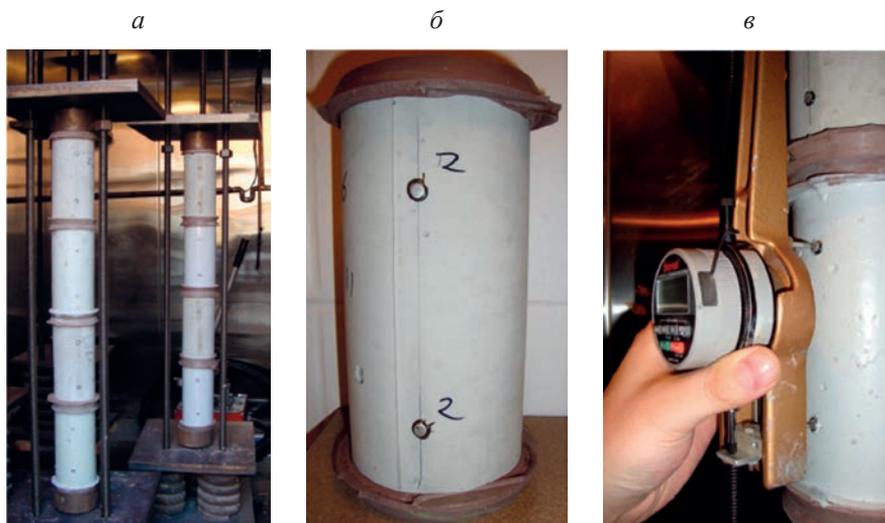
**Требования к форме, размерам и числу образцов в серии:**

ISO – в стандарте отсутствует четкое указание, какие размеры должны быть у образцов, указывается лишь, что допускается испытывать цилиндрические образцы диаметром 100 мм, если выдерживается требование, что диаметр образца должен быть в 4 раза больше максимального размера заполнителя. В разделе 4.2, который определяет требования к базе измерений, указывается, что образцы могут быть большие и малые. Также имеется ссылка, что образцы должны быть изготовлены в соответствии со стандартом ISO 1920-3. В этом документе указаны рекомендуемые размеры цилиндрических образцов 100×200, 125×250 и 150×300 мм. Серия должна состоять из 9 образцов – три для определения призмной прочности, три для контрольных испытаний бетонных образцов без нагрузки (на усадку бетона), три для испытания на ползучесть бетона;

ASTM – регламентирует проведение испытаний цилиндрических образцов размерами 150×300 мм. Минимальное число образцов в серии равно шести – два для определения призмной прочности, два для контрольных испытаний бетонных образцов без нагрузки (на усадку бетона) и два для испытания на ползучесть бетона, но рекомендуется испытывать по три образца, также допускается изготовление дублирующих образцов;

ГОСТ – регламентирует проведение испытаний на призматических образцах с соотношением сторон 1 к 4 и размерами 70×70×280, 100×100×400, 150×150×600, 200×200×800 мм.

При этом в качестве базового принимается образец размерами  $150 \times 150 \times 600$ , а результаты испытаний других образцов корректируются поправочными коэффициентами. Серия должна состоять из 9 образцов (аналогично стандарту ISO).



**Рис. 4.** Применяемое оборудование для измерения деформаций в соответствии с зарубежными стандартами и вариант стыковки образцов для передачи усилия между ними при их одновременном испытании в колонне:  
 а – образцы в испытательной установке; б – образец с реперами для измерения деформаций;  
 в – процесс измерения деформаций

#### **Требования к процессу изготовления образцов:**

ISO – изготовление образцов регламентирует стандарт ISO 1920-3. Положение заливки образцов (вертикальное, горизонтальное) стандартом не регламентируется, но указывается, что торцы должны быть выровнены в соответствии с ISO 1920-4. Допускается шлифовка торцов, выравнивание их цементным составом, составом на основе серы, а также приклеивание металлических пластин;

ASTM – допускается изготовление образцов как в горизонтальном, так и в вертикальном положении (регламентируется стандартом ASTM C192/C192M). Допускается шлифовка торцов, выравнивание их цементным составом, составом на основе серы, а также приклеивание металлических пластин;

ГОСТ – образцы заливаются в горизонтальном положении. Изготовление и хранение образцов до распалубливания регламентирует ГОСТ 10180.

#### **Требования к качеству изготовления образцов:**

ISO – основное требование – перпендикулярность граней образца. При отклонении вертикальной и горизонтальной осей одна от другой более чем на  $\pm 0,5^\circ$  образцы должны быть переделаны;

ASTM – при заливке образцов в вертикальном положении торцы образца должны отвечать требованиям стандарта ASTM C617/C617M;

ГОСТ – требования к перпендикулярности граней образца, а также другие требования по качеству регламентирует ГОСТ 10180.

### **Требования к измерительным устройствам:**

ISO – допускается использование как съемных, так и стационарных измерительных устройств, обеспечивающих точность измерения в 10 микрострейн (т. е.  $\varepsilon = 10^{-5}$ ). Не допускается крепление измерительных устройств только за счет силы трения. Число датчиков должно быть не менее двух для контрольных образцов (при измерении деформации усадки) и не менее трех при измерении деформаций ползучести. Тензометрическое устройство должно быть способно измерять диапазон деформаций в течение одного года без дополнительной калибровки. Предпочтительными считаются системы, в которых изменяющиеся деформации сравниваются с эталонным стержнем постоянной длины (оборудование на основе принципа DEMEC);

ASTM – допускается использование как съемных, так и стационарных измерительных устройств, а также устройств, установленных внутри образца во время бетонирования и обеспечивающих точность измерения перемещений 0,001 мм. При установке внутреннего измерительного устройства его ось должна совпадать с продольной осью цилиндра. При использовании внешнего измерительного оборудования деформации должны измеряться не менее чем на двух участках. Допускается крепление датчиков таким образом, чтобы можно было определить сразу среднюю деформацию по всем датчикам. Не допускается крепление измерительных устройств только за счет силы трения. Тензометрическое устройство должно быть способно измерять диапазон деформаций в течение одного года без дополнительной калибровки. Электрические тензометрические датчики допускаются, но предпочтительным считаются оборудование на основе принципа DEMEC;

ГОСТ – для измерения деформаций предлагается использовать измерительные приборы и приспособления для их крепления в соответствии с ГОСТ 24452 (определение модуля упругости) с точностью измерения 0,001 мм – это механические индикаторы часового типа и металлические рамки (см. рис. 3). Индикаторы должны располагаться на каждой грани образца (4 шт. на образец).

### **Требования к базе измерения:**

ISO – эффективная длина датчика (база измерения) должна не менее чем в три раза превышать максимальный размер заполнителя и не больше 260 мм для больших образцов без концевых пластин; 160 мм – для небольших образцов без концевых пластин; 150 мм – для крупных образцов, имеющих прикрепленные концевые пластины; 100 мм – для небольших образцов, имеющих прикрепленные концевые пластины. Сами датчики должны располагаться в средней части образца;

ASTM – база измерения должна не менее чем в три раза превышать максимальный размер заполнителя;

ГОСТ – база измерения должна быть не более 2/3 высоты образца и располагаться на одинаковом расстоянии от его торцов.

### **Заключение**

Все рассмотренные западные стандарты – европейские, американские, международные – гармонизированы между собой в отличие от действующего в нашей стране ГОСТ 25544. Обобщая результаты выполненного сравнения, можно сделать вывод, что во многом проводимые в соответствии с различными стандартами длительные испытания по определению

ползучести бетона схожи, но имеющиеся принципиальные отличия не позволяют в настоящее время сделать такие длительные испытания по-настоящему массовыми (см. рис. 5), поскольку в соответствии с российскими нормативными документами требуется больше дорогостоящего измерительного оборудования, также предполагающего его более сложный монтаж. Увеличенные размеры образцов не позволяют установить в одну установку более 3 штук. При этом в ГОСТ вообще нет указаний по одновременному испытанию нескольких образцов. Установка образцов непосредственно друг на друга в соответствии с зарубежными стандартами значительно более простая, чем используемая в российской практике.



Рис. 5. Лабораторные испытания на ползучесть бетона в соответствии с западными стандартами

Проведенная в НИИЖБ им. А. А. Гвоздева работа по актуализации ГОСТ 24544-81\* позволила снять часть ограничений. Для полноценной гармонизации отечественных и зарубежных норм необходимо выполнить значительное количество испытаний, в том числе на современных бетонах, проведение которых в нашей стране в настоящее время, к сожалению, практически прекратилось.

Если проводить сравнение западных стандартов между собой, то необходимо отметить, что наиболее четкие и логичные указания по проведению испытаний приведены в американском стандарте ASTM. В частности, детально описаны принципы испытания нескольких образцов с установкой их друг на друга, измерительное оборудование также четко регламентировано, допускается испытание образцов только одного типоразмера и т. д. Требования в европейских и международных нормативных документах, регламентирующие проведение испытаний на ползучесть, несколько более размыты, что в первую очередь связано с большим числом стран, которые этими стандартами пользуются.

## Библиографический список

1. *Гвоздев А.А.* Методы определения усадки и ползучести бетона / А.А. Гвоздев, Е.Н. Щербаков, Е.С. Одинцов, Р.О. Красновский, В.А. Богославский // Бетон и железобетон. – 1981. – №7. – С. 38-39.
2. *Александровский С.В.* Ползучесть и усадка бетона и железобетонных конструкций / С.В. Александровский. – М.: Стройиздат, 1976.
3. *Арутюнян Н.Х.* Некоторые вопросы теории ползучести / Н.Х. Арутюнян. – М.: Гостехиздат, 1952.
4. *Крылов С.Б.* Совершенствование существующих математических выражений для характеристик ползучести / С.Б. Крылов, П.Д. Арленинов / Санкт Петербург: Международная конференция «Проблемы долговечности зданий и сооружений в современном строительстве». Сборник трудов МКДЗК-07 – 2007. С. 95-97.
5. *Крылов С.Б.* Проверка совместимости уравнений линейной теории ползучести и предложение ряда более точных зависимостей / С.Б. Крылов, П.Д. Арленинов / Москва. ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко: Международная конференция «Актуальные проблемы исследований по теории расчета сооружений». Сборник научных статей в двух частях. Часть 2 – 2009. – С. 245-252.
6. *Прокопович И.Е.* Основы прикладной линейной теории ползучести / И.Е. Прокопович. Киев: Вища школа, 1978.
7. Рекомендации по учету ползучести и усадки бетона при расчете бетонных и железобетонных конструкций. – М.: НИИЖБ, 1988. – С. 5-15.
8. ГОСТ 24544-81\* Бетоны. Методы определения деформаций усадки и ползучести.
9. ISO 1920-3 Testing of concrete – Part 3: Making and curing test specimens (Испытания бетона. Часть 3. Изготовление и твердение образцов).
10. ISO 1920-4 Testing of concrete – Part 3: Strength of hardened concrete (Испытания бетона. Часть 4. Прочность затвердевшего бетона).
11. 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).
12. ASTM C512/C512M Standard Test Method for Creep of Concrete in Compression (Стандарт по методам испытаний. Ползучесть бетона при сжатии).
- ASTM C617/C617M Standard Practice for Capping Cylindrical Concrete Specimens (Стандарт по укупорке торцов цилиндрических образцов).
13. ASTM C192/ C192M Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Laboratory (Стандарт по изготовлению и выдерживанию образцов в лабораторных условиях).
14. ASTM C39/C39M Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens (Стандарт по определению прочности на сжатие цилиндрических бетонных образцов).
15. ASTM C470/C470M Specification for Molds for Forming Concrete Test Cylinders Vertically (Спецификации опалубки для цилиндрических образцов, заливаемых вертикально).
16. ASTM C157/C157M Standard Test Method Length Change of Hardened Hydraulic-Cement Mortar and Concrete (Стандарт по методам испытаний изменения длины цементных и бетонных образцов).

17. EN 12390-2 Testing hardened concrete – Part 2: Making and curing specimens for strength test (Испытания затвердевшего бетона. Часть 2. Изготовление и твердение образцов для прочностных испытаний).

18. EN 12390-3 Testing hardened concrete – Part 3: Compressive strength of test specimens (Испытания затвердевшего бетона. Часть 3. Определение прочности на сжатие тестируемых образцов).

19. 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).

## Авторы:

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

Peter ARLENINOV, Ph. D. (Engineering), Deputy head of the laboratory of reinforced concrete mechanics of NIIZHB named after A. A. Gvozdev JSC Research Center of Construction, Moscow

e-mail: arleninoff@gmail.com

тел.: +7 (499) 174-74-07

Сергей Борисович КРЫЛОВ, д-р техн. наук, член-корреспондент РААСН, заведующий лабораторией механики железобетона НИИЖБ им. А. А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство», Москва

Sergey KRYLOV, Dr. Sci. (Engineering), corresponding member of RAASN, Head of the laboratory of reinforced concrete mechanics of NIIZHB named after A. A. Gvozdev JSC Research Center of Construction, Moscow

e-mail: niizhb\_lab8@mail.ru

тел.: +7 (499) 174-74-07

Марина Петровна КОРНЮШИНА, младший научный сотрудник лаборатории механики железобетона, НИИЖБ им. А. А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство», Москва

Marina KORNYUSHINA, junior researcher of the laboratory of reinforced concrete mechanics, NIIZHB named after A. A. Gvozdev JSC Research Center of Construction, Moscow

e-mail: 1747134@mail.ru