

# КОНТРОЛЬ ПОЛЗУЧЕСТИ БЕТОНОВ НА НАПРЯГАЮЩЕМ ЦЕМЕНТЕ В РАННЕМ ВОЗРАСТЕ

**А.И. Пикула старший преподаватель УО БрГТУ Московская 267, 224017, Брест, Республика Беларусь (alexandr.pikula@gmail.com +375336081436)**

**Предмет исследования:** новая методика определения показателей ползучести бетонов на напрягающем цементе в раннем возрасте.

**Цели:** разработать и проверить вариант алгоритма определения ползучести расширяющихся бетонов в раннем возрасте.

**Материалы и методы:** современная установка с круглосуточным логированием и модель MSDM [2].

**Результаты:** Приведен вариант алгоритма определения ползучести расширяющихся бетонов в раннем возрасте (до 28 суток). Описано выбранное и разработанное аппаратное обеспечение в плане его возможностей. Приведены определенные параметры длительных процессов и их особенностей при данном виде контроля.

**Выводы:** использованный программно-аппаратный комплекс для испытаний и предложенный алгоритм позволили определить функцию и коэффициенты ползучести бетона в раннем возрасте для любого временного интервала.

## ВВЕДЕНИЕ

Наименее изученными, и при этом определяющими с точки зрения качества и долговечности расширяющихся бетонов, являются длительные процессы усадки и ползучести данных композитов.

Расширяющиеся бетоны (при наличии внешних ограничений) подвергаются нагружению и включаются в работу с первых суток своего твердения. Вопрос корректного определения и правильного учёта деформаций усадки и ползучести расширяющихся бетонов в настоящее время является актуальным, но в силу ряда причин остаётся открытым и малоизученным. Отдельным вопросом расширяющихся бетонов является ползучесть в раннем возрасте (до 28 суток), методическому обеспечению контроля которой и уделено внимание в данном материале.

## ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

В общем виде определение ползучести любого бетона нормируется ГОСТ24544 [1], который распространяется на все виды цементных, а также силикатных бетонов, применяемых в промышленном, энергетическом, транспортном, водохозяйственном, жилищно-гражданском и сельскохозяйственном строительстве, в том числе на бетоны, подвергающиеся в процессе эксплуатации нагреву, насыщению водой или нефтепродуктами.

В соответствии с данным нормативным документом деформации ползучести определяют одновременно с определением деформаций усадки, при этом перед испытаниями определяют прочность бетона на сжатие по ГОСТ 10180 и призменную прочность по ГОСТ 24452.

Очевидно, что такой метод контроля не подходит для определения деформаций ползучести бетонов (особенно расширяющихся) в раннем возрасте,

так как предполагает постоянный режим нагружения образцов фиксированной нагрузкой, соответствующей напряжению в образце  $0,3 \pm 0,005$  от призменной прочности бетона, установленной перед началом испытаний. Установка для контроля таких видов деформаций должна обеспечивать переменный (возрастающий, либо другой в соответствии с условиями эксплуатации бетона) автоматически создаваемый режим нагружения в зависимости от моделируемой или экспериментально контролируемой прочности бетона. Создание такой установки возможно, однако дорого и сложно с точки зрения определения необходимого уровня напряжений в каждый промежуток времени.

В случае же с расширяющимися бетонами и другими аналогичными композитами возможен более простой и менее затратный вариант за счёт самонагружения бетона при расширении через ограничивающие связи достаточной жёсткости, которые можно подбирать в зависимости от условий эксплуатации бетона, либо целей исследования.

## **МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ**

Для изучения ползучести расширяющихся бетонов особенно в раннем возрасте предлагается контроль деформирования образцов осуществлять в аналогичных условиях, но за счёт самонагружения образца через приложенное внешнее ограничение в виде одного или нескольких тяжей. Характеристики внешнего ограничения необходимо определять с учётом будущих условий эксплуатации данного бетона. При этом на образцах без ограничения будут определяться деформации свободного расширения и усадки, а на образцах с внешним ограничением деформации – связанного расширения и ползучести. Параллельно с этим за счёт определения модуля упругости бетона становится возможным выделение упругих и пластических деформаций бетона, что является основополагающим для проектирования железобетонных конструкций.

В связи с тем, что ползучесть бетонов в раннем возрасте характеризуется небольшими уровнями нагружения бетона и, соответственно, небольшими приращениями деформаций, аппаратное обеспечение процессов контроля развития деформирования должно обеспечивать прецизионный (микронный) контроль точности перемещений.

С точки зрения доступности, точности и стабильности показаний, а также энергопотребления, были выбраны ёмкостные датчики перемещений SYNS2-QK-V66 с индикаторами, которые были модифицированы аппаратным и программным путем для повышения температурной и механической стабильности показаний в пределах  $\pm 1\text{ мкм}$ . Так же для них были разработаны и изготовлены контроллеры для непрерывного (1 раз в минуту) логирования деформаций и температуры среды проведения испытаний [2].

При данном виде аппаратного обеспечения испытаний [2] (при дискретности наблюдений в 1 мкм и отсутствии процедуры установки и снятия образцов) становится возможным отслеживание релаксационных перераспределений напряжений, микротрецинообразований и т.д. которые выражаются в значительном изменении угла наклона касательной к оси в некоторые промежутки времени. А так же появляется возможность контроля деформаций начиная непосредственно с первых часов твердения (времени окончания процессов схватывания).

Для проверки данного варианта определения показателей ползучести бетона

в раннем возрасте были изготовлены образцы 5x5x20см из бетонной смеси следующего состава: цемент 600 кг/м<sup>3</sup>, песок 600 кг/м<sup>3</sup>, щебень 960 кг/м<sup>3</sup>, расширяющаяся добавка «Denka csa 20» 60 кг/м<sup>3</sup>, вода 230 кг/м<sup>3</sup>.

Алгоритм проведения таких испытаний приведен на рисунке 3.

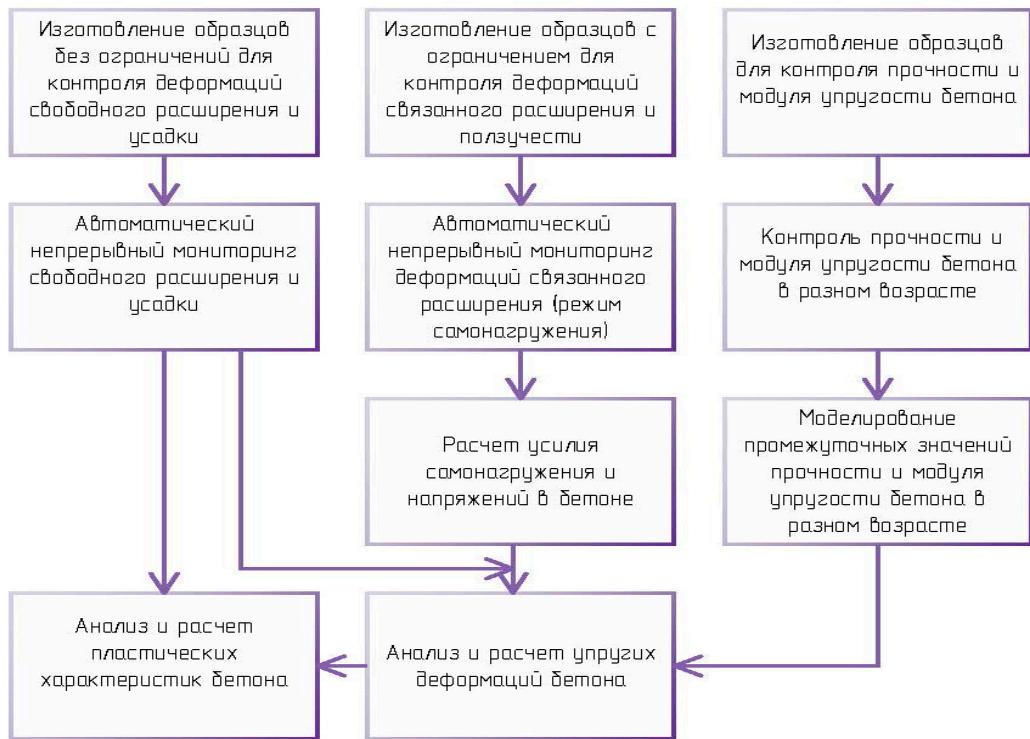


Рис. 3. Блок-схема контроля показателей ползучести расширяющихся бетонов в раннем возрасте.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Наиболее перспективной для анализа получаемых таким образом данных является модель MSDM [3] в соответствии с которой при симметричном расположении ограничивающих связей конечной жесткости приращение связанный относительной деформации расширения ( $\Delta\epsilon_r$ )<sub>*i*</sub> на произвольном *i*-ом элементарном временном интервале представлено алгебраической суммой:

$$(\Delta\epsilon_r)_i = (\Delta\epsilon_{CE,f})_i + (\Delta\epsilon_{c,el})_i + (\Delta\epsilon_{c,pl})_i + \frac{\sum_{j=1}^{i-1} \left[ \frac{(\Delta\sigma_c)_j}{E_c(t_j)} \right] \cdot E_{c,aw}(t_{(i-1)+1/2})}{E_c(t_{(i-1)+1/2})} \quad (1)$$

где  $(\Delta\epsilon_{CE,f})_i$  - приращение относительной деформации свободного расширения напрягающего бетона на рассматриваемом *i*-ом элементарном временном интервале;

$(\Delta\epsilon_{c,el})_i$  - приращение упругой составляющей относительной деформации напрягающего бетона в условиях ограничения на рассматриваемом *i*-ом элементарном временном интервале;

$(\Delta\epsilon_{c,pl})_i$  - приращение пластической составляющей относительной деформации напрягающего бетона в условиях ограничения на рассматриваемом *i*-ом элементарном временном интервале, обусловленное ползучестью напрягающего бетона в раннем возрасте от действия постоянных по величине приращений самонапряжения, возникших на предыдущих по отношению к рассматриваемому временных интервалах;

$\sum_{j=1}^{i-1} \left[ \frac{(\Delta\sigma_c)_j}{E_c(t_j)} \right]$  - суммарная упругая относительная деформация сжатия напрягающего бетона, накопившаяся к началу рассматриваемого  $i$ -го временного интервала, представляющая собой сумму приращений упругих относительных деформаций сжатия напрягающего бетона в условиях ограничения на элементарных временных интервалах от 1-ого до  $(i-1)$ -ого;

$E_{c,av}(t_{(i-1)+1/2})$  - средневзвешенный модуль упругости напрягающего бетона в модифицированном возрасте, соответствующем реальному возрасту напрягающего бетона  $t_{(i-1)+1/2}$ , который соответствует началу рассматриваемого  $i$ -го элементарного временного интервала;

$E_c(t_{(i-1)+1/2})$  - модуль упругости напрягающего бетона в модифицированном возрасте, соответствующем реальному возрасту напрягающего бетона  $t_{(i-1)+1/2}$ , который соответствует началу рассматриваемого  $i$ -го элементарного временного интервала.

Сумма приращений упругой  $(\Delta\epsilon_{c,el})_i$  и пластической  $(\Delta\epsilon_{c,pl})_i$  составляющих относительной деформации напрягающего бетона на  $i$ -ом элементарном временном интервале, согласно этой же модели [5] может быть представлена в следующем виде:

$$(\Delta\epsilon_{c,el})_i + (\Delta\epsilon_{c,pl})_i = (\Delta\sigma_c)_i \cdot J(t_{i+1/2}; t_i) + \sum_{j=1}^{i-1} \left[ (\Delta\sigma_c)_j \cdot \frac{\Delta\phi(t_i; t_j)}{E_{cm,t28}} \right]$$

$$\Delta\phi(t_i; t_j) = \phi(t_{i+1/2}; t_j) - \phi\left(t_{(i-1)+\frac{1}{2}}; t_j\right) \quad (2)$$

где  $(\Delta\sigma_c)_i$  - приращение самонапряжения на рассматриваемом  $i$ -ом элементарном временном интервале;

$J(t_{i+1/2}; t_i)$  - функция ползучести напрягающего бетона в раннем возрасте;

$E_{cm,t28}$  - модуль упругости напрягающего бетона, соответствующий 28-и суткам реального возраста;

$\phi(t_{i+1/2}; t_j)$  - коэффициент ползучести в реальном возрасте напрягающего бетона  $t_{i+1/2}$  от постоянного по величине приращения самонапряжения, приложенного в реальном возрасте напрягающего бетона  $t_j$ ;

$\phi(t_{(i-1)+1/2}; t_j)$  - коэффициент ползучести в реальном возрасте напрягающего бетона  $t_{(i-1)+1/2}$  от постоянного по величине приращения самонапряжения, приложенного в реальном возрасте напрягающего бетона  $t_j$ ;

Из совместного решения (1) и (2), зная точные значения деформаций свободных и ограниченных образцов, значения модуля упругости бетона в каждом временном интервале, возможно определение функции и коэффициентов ползучести бетона в раннем возрасте в любом временном интервале.

Результаты расчетов показателей ползучести по модели MSDM [3] для результатов мониторинга с 1,5% и 0,82% ограничением, представлены на рисунках 5 и 6.

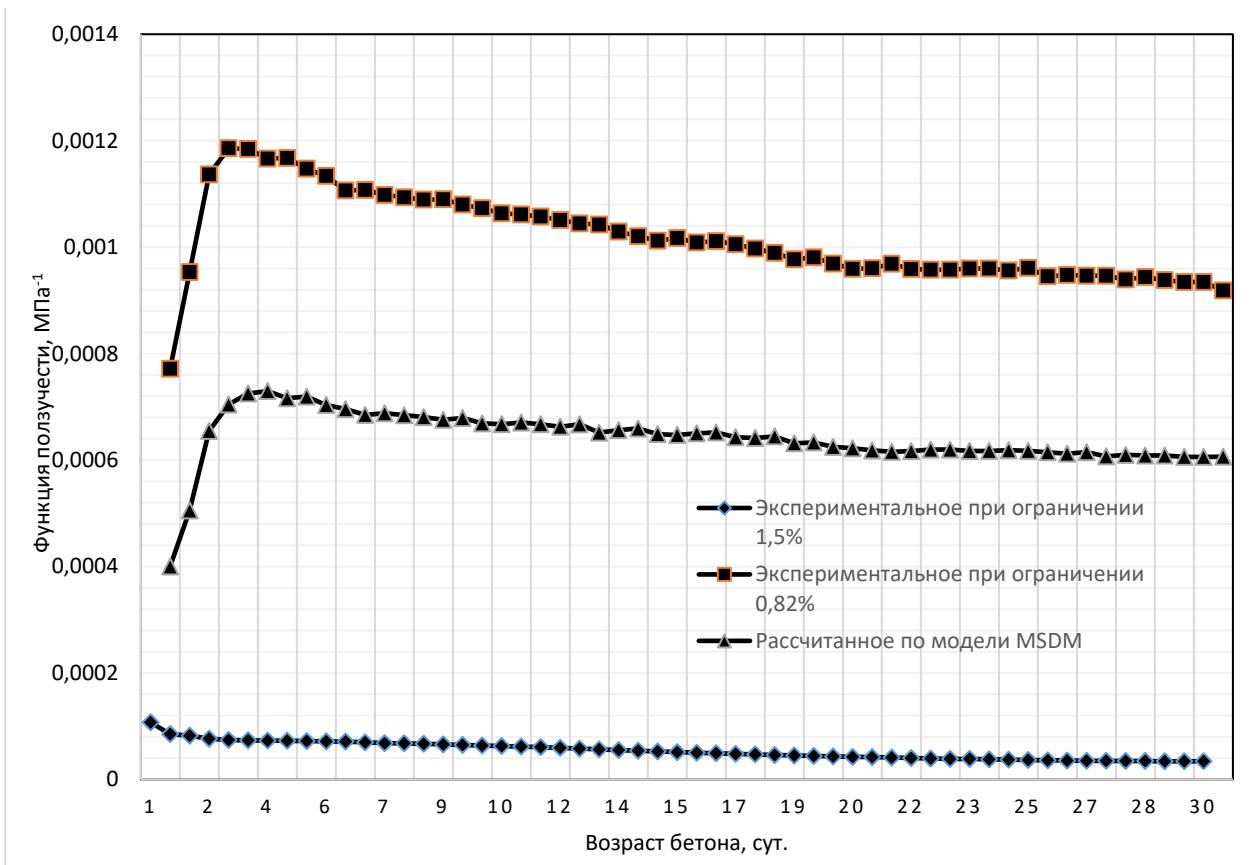


Рис. 5. Значения функции ползучести исследованного состава бетона в раннем возрасте (1- ограничение 0,83%, 2- ограничение 1,5%)

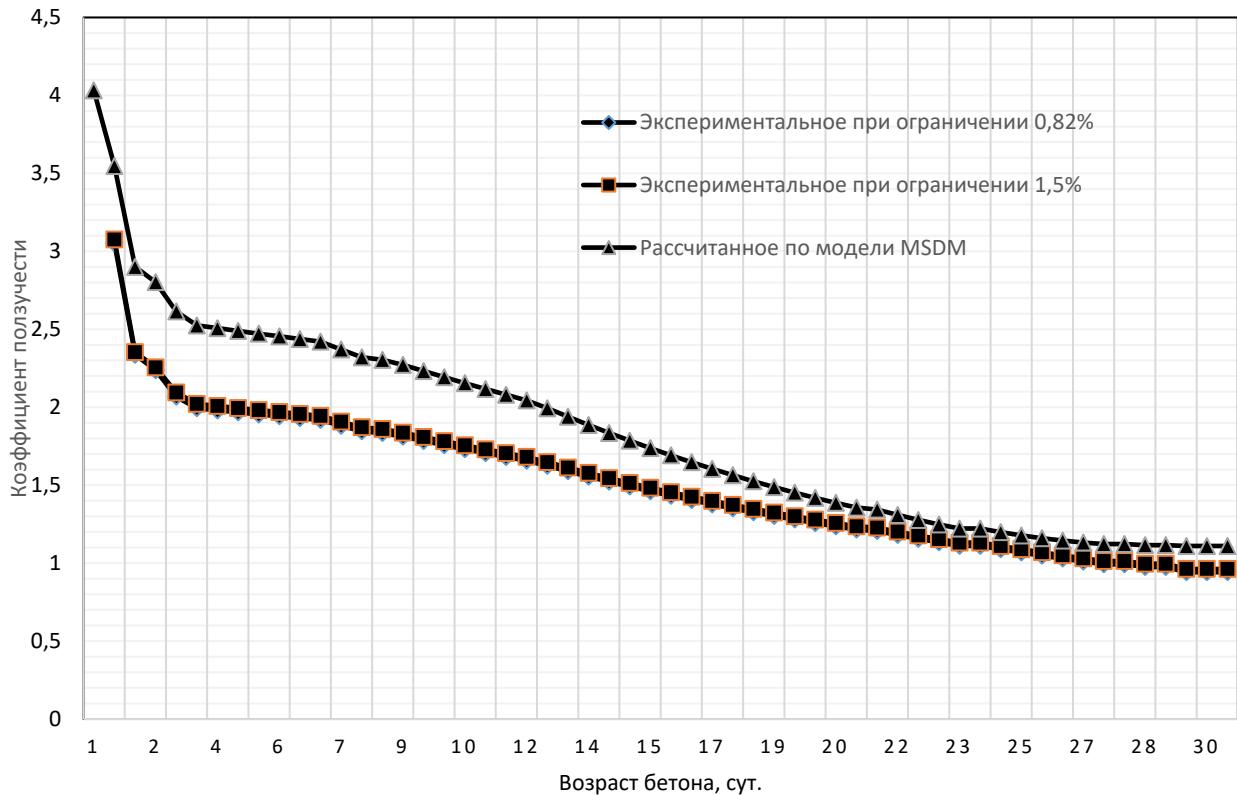


Рис. 6. Значения коэффициента ползучести исследованного состава бетона в раннем возрасте.

## **ВЫВОДЫ**

В результате выполненной работы был проработан вариант методики контроля ползучести расширяющихся бетонов в раннем возрасте. Проработаны основные методические аспекты необходимых экспериментальных исследований, подобраны аппаратные средства и изготовлена экспериментальная установка, получены и обработаны данные испытаний для выбранного состава бетона. Интерпретация полученных таким образом результатов требует дополнительной проработки и должна осуществляться в совокупности с остальными характеристиками данного вида бетонов, что значительно сложнее по сравнению с обычным методом контроля по [1]. Однако несомненен факт её высокой практической ценности для эффективного проектирования составов и применения расширяющихся бетонов.

## **ЛИТЕРАТУРА**

1. ГОСТ24544 «Бетоны. Методы определения деформаций усадки и ползучести»
2. Сайт кафедры ТБиСМ УО БрГТУ [Электронный ресурс]. – Брест, 2019. – Режим доступа : [http://tbsm.bstu.by/?page\\_id=320](http://tbsm.bstu.by/?page_id=320) – Дата доступа: 10.10.2025г.
3. V.Semianik, V.Tur, M.F.Herrador, G.M.Paredes, Early age strain and self-stressed of expansive concrete members under uniaxial restraint conditions, Construction and buildings materials 131 (2017) с. 39-49