

МОНИТОРИНГ ДЛИТЕЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ В БЕТОНЕ НА НАПРЯГАЮЩЕМ ЦЕМЕНТЕ В РАННЕМ ВОЗРАСТЕ

А. И. Пикула

Аннотация

Приведен вариант алгоритма определения ползучести расширяющихся бетонов в раннем возрасте (до 28 суток). Описано выбранное и разработанное аппаратное обеспечение в плане его возможностей. Приведены примеры получаемых необработанных данных и их особенностей при данном виде контроля.

Abstract

A variant of the algorithm for determining the creep of expanding concrete at an early age (up to 28 days) is given. The selected and developed hardware is described in terms of its capabilities. Examples of the obtained raw data and their features with this type of control are given.

Введение

В настоящее время в практике различных видов строительства (в том числе высотного) начинают находить всё более широкое применение самонапряжённые бетоны, а также бетоны с компенсированной усадкой на напрягающем цементе. Они могут использоваться как для вертикальных несущих конструкций зданий (колонн, ядер жёсткости), что позволяет уменьшить размеры и процент армирования сечений конструкций и тем самым увеличить полезную площадь сооружения, так и для горизонтальных длинномерных несущих и ограждающих конструкций, повышая их трещиностойкость, водонепроницаемость и другие значимые эксплуатационные характеристики.

Бетон на напрягающем цементе также применяем для:

- сборно-монолитных каркасов жилых зданий при замоноличивании стыков между сборными элементами каркаса;
- изготовления монолитных несущих ригелей перекрытия;
- полов из напрягающего бетона;
- восстановления эксплуатационной пригодности строительных конструкций методом инъецирования;
- в любых строительных изделиях и конструкциях, где необходимо предотвратить развитие напряжений, вызванных усадкой, и (или) создать предварительное напряжение.

В мире бетонные расширяющиеся композитные системы являются приоритетным направлением изучения, так как предполагаемый потенциал их обоснованного (изученного) применения может дать значимый экономический и экологический эффект в масштабах всей планеты. Данное направление совпадает с основной концепцией экологического менеджмента бетона и бетонных конструкций [1] и требует значительных научных исследований и квалифицированного подхода.

Также в настоящее время, благодаря расширению исследовательской составляющей и успешной практике применения бетонов на напрягающем цемен-

те, увеличилось количество видов выпускаемых добавок и модифицикаторов, превращающих обычный бетон в расширяющийся. Обратной стороной данного процесса являются попытки переноса свойств одних модификаторов на другие, объединение несовместимых результатов применения, что в купе с многофакторной составляющей конкурирующих процессов формирования структуры приводит не к улучшению свойств бетона, а порой к значительному ухудшению (повышенному трещинообразованию, снижению модуля упругости бетона и т. д.).

В настоящее время наименее изученными и при этом определяющими с точки зрения качества и долговечности расширяющихся бетонов являются длительные процессы усадки и ползучести данных композитов. В принципе изучение данных процессов и для обычных бетонов является достаточно трудоёмким и затратным, а при добавлении в систему ещё одной неопределённости в виде распределённой расширяющейся субстанции ещё более повышает вариабельность и соответственно трудоёмкость изучения этих процессов.

Развитие технологии и оборудования для строительных работ позволило значительно ускорить возведение зданий и сооружений, в результате чего нагружение железобетонных конструкций происходит в «молодом» возрасте бетона. Однако физико-механические и реологические (усадка, ползучесть) характеристики таких бетонов в различном возрасте нагружения остаются ещё слабо исследованными и, соответственно, методы их компенсации (при негативном влиянии) недостаточно проработанными.

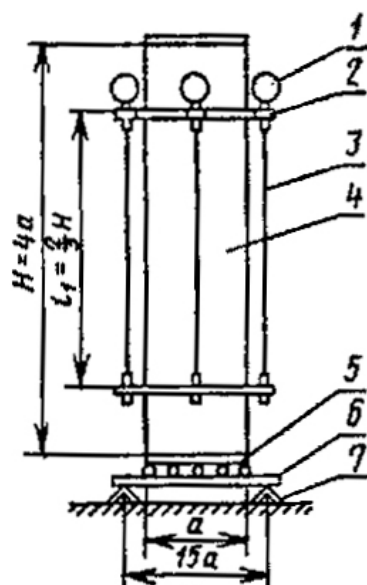
Перечисленные аспекты требуют постоянного совершенствования и разработки методик испытаний, которые бы позволили с наименьшими затратами получать необходимую информацию для обоснованного применения таких специальных бетонов, как напрягающие, требующих особого внимания и культуры производства.

Расширяющиеся бетоны (особенно 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 данной статье.

Основная часть

В общем виде определение ползучести любого бетона нормируется ГОСТ 24544 [2], 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.

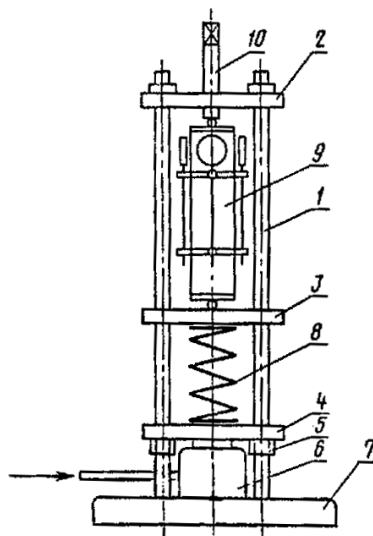
В соответствии с данным нормативным документом деформации ползучести определяют одновременно с определением деформаций усадки, при этом перед испытаниями определяют прочность бетона на сжатие по ГОСТ 10180 и призмную прочность по ГОСТ 24452. Схема установки для определения деформаций усадки по [2] приведена на рисунке 1.



- 1 – индикатор часового типа; 2 – рамка для крепления индикаторов; 3 – качающаяся штанга;
4 – образец; 5 – металлические пластинки по торцам образца;
6 – плоская сварная сетка; 7 – опора

Рисунок 1 – Схема устройства для определения деформаций усадки образцов с размерами поперечного сечения более 40x40 мм

Вариант установки для определения деформаций ползучести по [2] приведён на рисунке 2.



- 1 – стойки; 2 – верхняя траверса; 3 – средняя траверса; 4 – нижняя траверса; 5 – гайки;
7. – гидравлический домкрат; 7 – постамент; 8 – спиральная пружина; 9 – бетонный образец; 10 – установочный винт

Рисунок 2 – Схема пружинного устройства для определения деформаций ползучести

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) авто-

матически 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.

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 тяжа(ей). То есть испытываемый образец устанавливается между траверсами 2 и 4, без средней траверсы 3 и пружины 8 в установку, показанную на рис. 2. В этом случае стойки 1 и будут играть роль внешнего ограничения, через которое будет происходить самонагружение расширяющегося бетона образца. 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. Так же при данном контроле деформаций необходимо обеспечить их непрерывный мониторинг с целью повышения точности измерений в \sqrt{n} раз, исключить вибрации и перемещения образцов.

Для обеспечения микронной точности измерений был проанализирован ряд датчиков перемещений, использующих различные методы и подходы к измерению деформаций: ёмкостные, оптические, индуктивные, вихретоковые, ультразвуковые, магниторезистивные, потенциометрические, тензометрические, магнитострикционные, на основе эффекта Холла и др.

Наиболее подходящими по ряду параметров и применяемыми в настоящее время являются датчики перемещений, использующие следующие методы:

- ёмкостные;
- оптические;
- индуктивные;
- потенциометрические;
- тензометрические.

Из вышеперечисленных 5 видов датчиков 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 ± 1 мкм. Принцип действия данного датчика в соответствии с [3] приведён на рисунке 3.

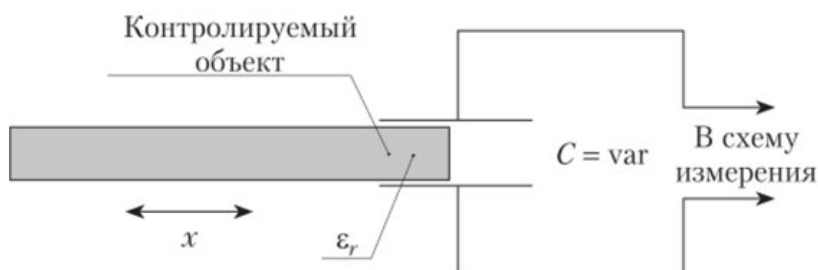


Рисунок 3 – Принцип действия ёмкостного датчика

Внешний вид многоканальной, изготовленной и апробированной установки для непрерывного мониторинга деформаций бетонных образцов приведён на рисунке 4. Данная установка имеет блочный принцип организации и позволяет подключить до 135 цифровых датчиков перемещений, при этом располагая образцы в стойках по 9 штук. Таким образом, одновременно может быть получен значительный массив данных для полной либо частичной оценки.



Рисунок 4 – Вид изготовленной и апробированной установки для контроля деформаций усадки и ползучести

Пример получаемых диаграмм при автоматическом непрерывном мониторинге деформирования образцов с разными ограничениями в возрасте от 12 часов до 6 суток приведён на рисунке 5. На данном графике показаны результаты более 71 тысячи единичных измерений, произведенных в автоматическом режиме при помощи разработанной системы мониторинга и логирования любых данных [4].

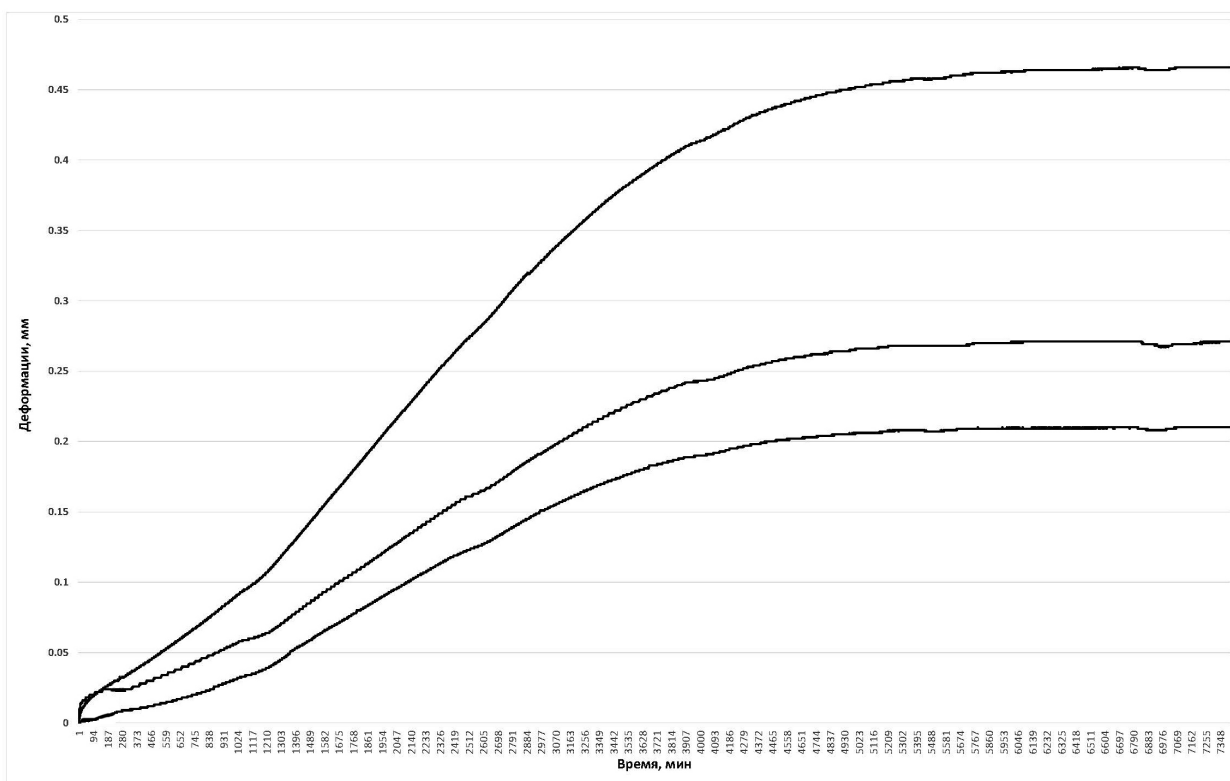


Рисунок 5 – Пример получаемых данных при автоматическом непрерывном мониторинге деформирования образцов за 6 суток (верхняя кривая - свободные образцы, нижние кривые - образцы с ограничением)

При данном виде аппаратного обеспечения испытаний (при дискретности наблюдений в 1мкм и отсутствии процедуры установки и снятия образцов) становится возможным отслеживание релаксационных перераспределений напряжений, микротрещинообразований и т. д., которые выражаются в значительном изменении угла наклона касательной к оси в некоторые промежутки времени (рис.6).

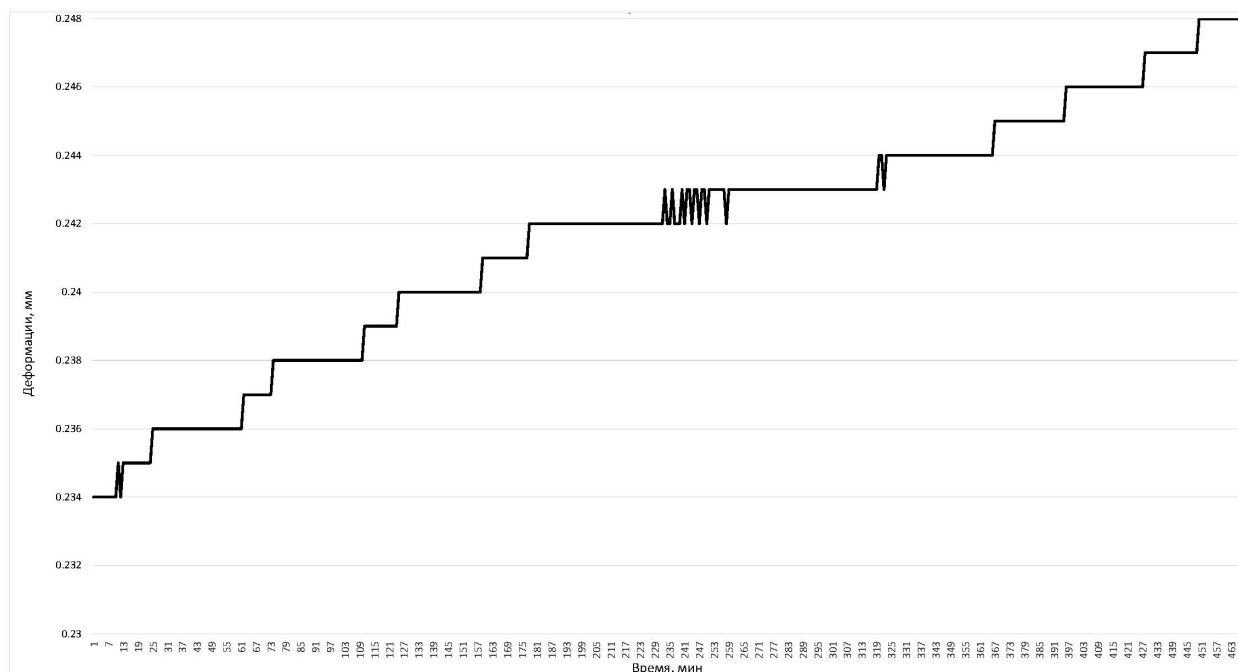


Рисунок 6 – Релаксационная ступенька на увеличенном участке диаграммы образца с ограничением

Так же значительно повышается точность и достоверность получаемых данных при расширении количества возможных видов математических моделей для их анализа.

Заключение

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, которая проходит апробацию. 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 [2]. Однако несомненен факт её высокой практической ценности для эффективного проектирования составов, а также строительных конструкций с применением расширяющихся бетонов.

Список использованных источников

1. ISO 13315-1:2012 Environmental management for concrete and concrete structures -- Part 1: General principles
2. Бетоны. Методы определения деформаций усадки и ползучести: ГОСТ24544.
3. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://studopedia.info/5-80109.html> – Дата доступа: 10.01.2020 г.
4. Сайт кафедры ТБиСМ УО БрГТУ [Электронный ресурс]. – Брест, 2019. – Режим доступа : http://tbsm.bstu.by/?page_id=320 – Дата доступа: 10.01.2020 г.