

УДК 691

**ОБЗОР СТАТЬИ "ВЛИЯНИЕ ВНУТРЕННЕГО ВОССТАНОВЛЕНИЯ НА
СВОЙСТВА ПРОЧНОСТИ ТЯЖЕЛОГО БЕТОНА"**

Иванов И.А.

д-р тех. наук

*Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления
г. Улан-Удэ, Россия*

Цыренжапов Е.Б.

аспирант

*Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления
г. Улан-Удэ, Россия*

Аннотация

В статье содержится обзор на англоязычную статью из журнала «Cement and Concrete Research» № 42(2012)20-26, авторов Семен Жуковский и Константин Ковлер.

Внутреннее восстановление тяжелого бетона (НРС) по насыщенным легким заполнителям является признанным методом противодействия его высыханию и автогенной усадке. Тем не менее, путем введения внутренних хранилищ для воды, такие свойства как прочность и долговечность могут быть повреждены. Испытания общепринятых методов оценки прочности, таких как сопротивление проникновению хлорида, воздухопроницаемости, водопоглощению, автогенной усадки при высыхании и потере массы, были проведены на смесях тяжелом бетоне. Смеси были изготовлены при водоцементном соотношении в диапазоне 0.21-0.33. Описанное влияние внутреннего ухода на прочностные свойства, было связано со свойствами высокопроизводительных бетонов в зависимости от водоцементного соотношения.

Ключевые слова: тяжелый бетон, внутреннее восстановление, бетонные смеси, капиллярное поглощение

ARTICLE REVIEW “EFFECT OF INTERNAL CURING ON DURABILITY-RELATED PROPERTIES OF HIGH PERFORMANCE CONCRETE”

Ivanov I.A.

Doctor of Technical Sciences,

East-Siberian State University of Technology and Management

Ulan-Ude, Russia

Tsyrenzhapov E.B.

graduate student

East-Siberian State University of Technology and Management

Ulan-Ude, Russia

Annotation

The article contains a review of an English-language article from the journal Cement and Concrete Research No. 42 (2012) 20-26, by the authors Semen Zhukovsky and Konstantin Kovler.

Internal restoration of heavy concrete (HPC) on saturated lightweight aggregates is a recognized method of counteracting its drying and autogenous shrinkage. However, by introducing internal water storage facilities, such properties as strength and durability can be damaged. Tests of conventional strength evaluation methods, such as resistance to chloride penetration, air permeability, water absorption, autogenous shrinkage during drying and loss of weight, were carried out on mixtures of heavy concrete. Mixtures were made at water-cement ratio in the range of 0.21-0.33. The described influence of internal care on the strength properties, was associated with the properties of high-performance concretes, depending on the water-cement ratio.

Keywords: heavy concrete, internal curing , concrete mixtures, capillary absorption

1. Введение

Тяжелый бетон приобрел свою популярность благодаря его превосходным механическим свойствам и долговечности[2]. Тяжелый бетон снижает затраты на техническое обслуживание и повышает срок службы[3]. Улучшенная прочность тяжелого бетона делает его использование привлекательным в условиях, когда свойств обычного бетона не достаточно. Тяжелый бетон широко применяется в морском строительстве, в строительстве высотных зданий, мостов и пирсов, оштукатуриванию, взлетных полосах аэропорта и т.д. Однако, более широкому распространению тяжелого бетона препятствует его чувствительность к появлению трещин[5,6].

Тяжелый бетон изготовлен с недостаточным водоцементным соотношением и склонен к самостоятельному высыханию, что приводит к автогенной усадке, которая ведет к растрескиванию соседних конструктивных элементов и даже разрушению[1,4]. Очевидно, что из-за трещин в бетоне снижаются механические свойства и долговечность, которые имеют особое значение. Для того, чтобы уменьшить усадку тяжелого бетона и предотвратить раннее появление трещин было предложено ввести в бетон предварительно насыщенную (Абсорбентом с малым весом)LWA смесь. Насыщенный (Абсорбент с малым весом)LWA служит как внутреннее «водохранилище», которое поставляет воду, чтобы противодействовать собственному высыханию. Этот подход был назван внутреннее восстановление.

Внутреннее восстановление привлекло широкое внимание исследователей, которые путем проведения экспериментов доказали, что оно способно устранить или значительно уменьшить автогенную усадку. Исследователи доказали, как внутреннее восстановление может быть успешно применено для получения улучшенного тяжелого бетона с пониженной чувствительностью к растрескиванию. Позже, для внутреннего восстановления было предложено использовать дополнительные материалы, названные агентом внутреннего восстановления. *Сверхпоглощающий* полимер(SAP),

переработанный и полученный из дерева был представлен как соответствующие отвердитель для внутреннего восстановления.

2. Материалы и методы

2.1. Пропорции

Исследователями проведены испытания, в которых бетонные смеси были показаны в водоцементном соотношении 0,33, 0,25 и 0,21. Состав смеси регулярно смешивали с суперпластифицирующей добавкой с целью сохранить удобоукладываемость в диапазоне 110-160 мм. Тип цемента СЕМ I 52.5N с дисперсностью по Блейну 421,7 м² / кг, а в роли суперпластификатора использовался кальций типа нафталинсульфоната (Rheobuild-2000). «Внутреннее восстановление» было обеспечено с помощью пемзы с горы Гекла, Исландия. Использовалась только одна доля песка из пемзы между 2,36 и 4,75 мм. Водопоглощение пемзы в вакууме через 1 час было 73,1% по массе, а удельный вес в абсолютно сухом состоянии был 782 кг / м³. Для того чтобы компенсировать собственное высыхание, количество воды, доступное для внутреннего восстановления должно быть равно химической усадке. По этой причине дозировка абсорбента с малым весом LWA была добавлена в бетонную смесь. Дозировку доводили до величины поглощенной воды для «внутреннего восстановления», которая была равна экспериментально измеренной химической усадке цементного теста с тем же водоцементном соотношении в течении 7 дней. Смеси с тем же водоцементным соотношением были использованы в качестве ссылок из литературы. Состав смесей на 1 м³ и измеренной удобоукладываемости представлены в таблице 1 (вес всех наполнителей является абсолютно сухим). Доля крупного заполнителя, дробленного доломита 2,36 мм- 9,5 мм, со способом поглощения воды 1,5% от веса. Содержание крупного заполнителя поддерживается постоянным, с тем,

чтобы исключить его влияние на свойства бетона. Мелким наполнителем был морской песок гранулы 0.6 мм и с водопоглощением 0,4% от массы.

Табл. 1
Пропорции суперпластифицирующей добавки

Обозначение смеси	Цемент	Вода в смеси	Вода для вн. восп.	Мелкий заполнитель	Крупный заполнитель	Абсорбент с малым весом	Супер-пластификатор	Удобукладываемость, мм
21 L	667	140	40.0	348	1145	54.7	4.2%	104
25 L	600	150	36	396	1145	49.2	3.4%	108
33 L	506	167	30.4	432	1145	41.5	2.6%	152
21	667	140	-	532	1145	-	4.2%	102
25	600	150	-	562	1145	-	3.2%	112
33	506	167	-	572	1145	-	2.6%	164

% вес цемента

2.2. Процедура тестирования

2.2.1. Свойства

Капиллярное поглощение измерялось на цилиндрических образцах диаметром 200 мм и высотой 50 мм. Объем воздуха в емкости тяжелого бетона измеряют на тех же цилиндрических образцах, используемых для измерения капиллярного поглощения. Образцы выдерживали в герметичных условиях при 30 ± 2 ° С и затем подвергали сушке в возрасте от 1, 7 и 28 дней. Сушку проводили в термостате при 60 ° С до постоянного веса, который длился, как правило, 7-8 дней. Такая умеренная сушка была выбрана, чтобы избежать трещин в процессе сушки. После охлаждения, был измерен поток воздухопроницаемости. После этого образцы были запечатаны сверху и по краям, затем помещены в водяную баню, так что открытый нижний край постоянно погружен на глубину 3-5 мм. Были записаны данные об изменении веса, рассчитано капиллярное поглощение, как описано в общем обзоре, который предлагает метод расчета воды при капиллярном поглощении для растворов и бетонов и интерпретации экспериментальных результатов. Сопротивление бетона проникновению хлорида измеряли в соответствии со стандартным тестом электрической индикации. Минимальное количество номеров между двумя образцами для каждого типа теста составляло 3.

2.2.2. Автогенная усадки.

Автогенную усадку измеряли на длине образца с пучком 1000 мм, начиная с заливки использования аппарата аналогичного описанному в статье 1994 года К. Ковлера тестирование на ранней стадии бетона, но с большим поперечным сечением (70 × 70 мм). Образцы для автогенной усадки были восстановлены в запечатанных условиях при 30 ± 2 ° С.

2.2.3. Усадка и потеря массы

Усадку и потерю массы измеряли на призмах размером 70 × 70 × 280 мм. Образцы извлекаются из формы через 24 ч после отливки и хранятся в помещении с контролируемым климатом при температуре 20 ± 2 ° С и относительной влажности $50 \pm 4\%$. Изменения длины были измерены с помощью компаратора по стандартной методике, описанной в стандартном методе измерения 2008 года. Для измерения общей усадки и потери массы образцов были использованы 4 двойных образца. Суммарные измерения усадки характеризовали стандартное отклонение 5-15% в раннем возрасте (2-3 дня), и 1-7% на более поздних стадиях.

2.2.4. Прочность и модуль упругости

Прочность на сжатие и расщепление измеряли на 50 мм кубиках. Динамический модуль упругости измеряли с помощью ультразвукового импульса скорости на верхней поверхности образцов с размерами 70 × 70 × 280 мм. Использовались резонансные ультразвуковые преобразователи 60 кГц. Оба типа образцов (кубы и призмы) были извлечены из формы на 1 день, и набирали прочность в герметичных условиях при 30 ± 2 ° С. Пять и четыре двойных образца были использованы для проверки прочности и динамической упругости. Стандартное отклонение 4-10% и 3- 7% разделения для прочности

на расщепление и сжатие. Для ультразвукового импульса максимальное отклонение 5%, хотя на более позднем возрасте она не превышала 1%.

3. Результаты

3.1. Капиллярное поглощение влаги

Результаты испытаний представлены на рис. 1. Видно, что поглощение бетона с «внутренним восстановлением» в 1 день на 20% выше по сравнению с эталонным бетоном для всех водоцементных соотношений. Поглощение постепенно уменьшается с возрастом. Для бетона с в/ц соотношением 0,33, внутреннее поглощение затвердевшего бетона немного приближается к поглощению из ссылки и на 28 дней он по-прежнему на 10% выше. Для бетона с водоцементным коэффициентом 0.25 и 0.21, разница в поглощении даже увеличивается достигая 44 и 54% соответственно. Таким образом, можно увидеть, что «Внутреннее восстановление» увеличивает капиллярное поглощение, и этот эффект более выражен при меньших водоцементных соотношениях.

3.2. Воздухопроницаемость

Воздухопроницаемость бетона без «внутреннего восстановления» остается на том же уровне, кроме небольшого снижения в бетоне с в/ц соотношением 0,33 от 1 до 7 дней (рис. 2). С другой стороны, воздухопроницаемость бетона с «Внутренним Восстановлением», которая старше на 1 день, значительно снижается и достигает уровня 50-60% ниже, чем у эталонного бетона. Воздухопроницаемости бетона с в/ц соотношением 0,21 и 0,25 практически равна.

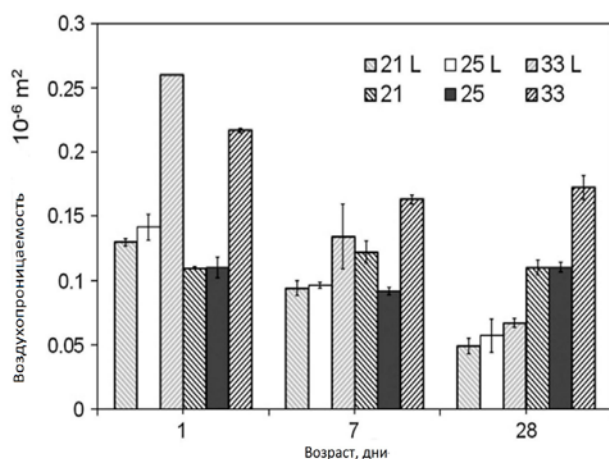


Рис.2 Воздухопроницаемость бетона в зависимости от времени, после внутреннего восстановления.

3.3. Стойкость к проникновению хлоридов

Результаты ускоренного испытания бетона на стойкость к проникновению хлоридов приведены на рис. 3. Как видно из графика, для бетона с в/ц отношением 0,33. Диффузия хлора уменьшается, когда применяется «внутреннее восстановление». Для бетона с в/ ц соотношением 0,25 диффузия хлора приблизительно та же. В бетоне с в/ц соотношением 0,21, диффузия хлора незначительно увеличен путем введения абсорбента с малым весом LWA. В целом устойчивость к проникновению хлоридов достаточно низкая, учитывая тот факт, что не использовались микро-наполнители. В / ц соотношение имеет отличный эффект на устойчивость к проникновению хлора в смеси. Тем не менее, этот эффект незначителен внутри бетона после «внутреннего восстановления».

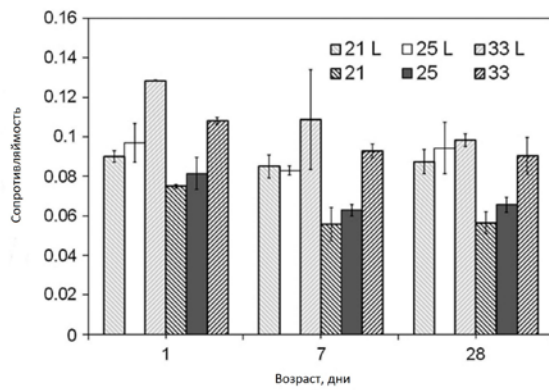


Рис.1 Сопrotивляемость проникновению после внутреннего восстановления, в зависимости от времени

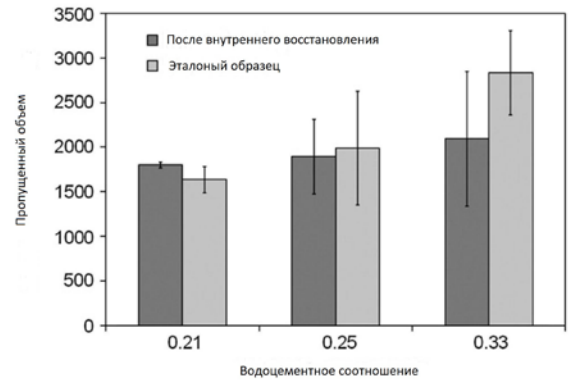


Рис.3 Сопrotивление проникновению хлоридов

3.4. Усадка и потеря массы

Потеря массы и общая усадка, показаны на рис. 4 и 5. Смеси изначально содержащие насыщенные абсорбенты с малым весом LWA имеют более высокую потерю массы. Кроме того, ниже чем в /ц соотношение, тем чем ниже потери массы. Для определения исходных смесей, чем ниже соотношение в/ ц, тем выше общая усадка. Как наблюдалось из графика, для бетона с в/ц соотношением 0,33 и 0,25 общая усадка выше при «внутреннем восстановлении», при меньшем различие при более низком водоцементном соотношении. Для бетона с в/ ц соотношением 0,21. Общая усадка немного уменьшается путем введения (Абсорбент с малым весом) LWA. Общая усадка внутри восстановленных смесей показана на рис. 6.

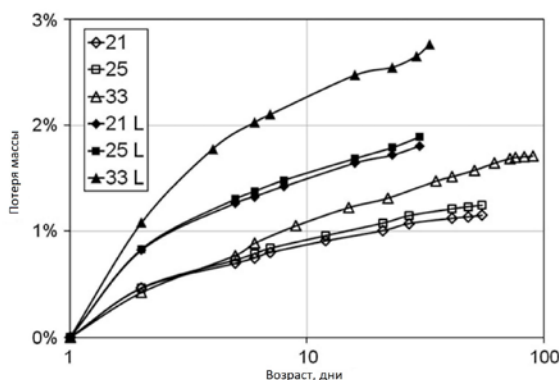


Рис.4 Потери массы в зависимости от времени после внутреннего восстановления

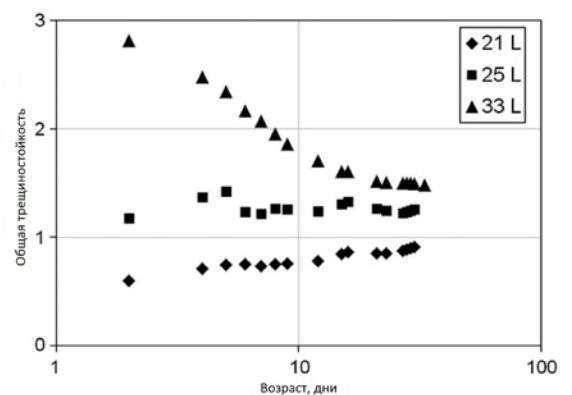


Рис.6 Общая трещиностойкость в зависимости от времени после внутреннего восстановления

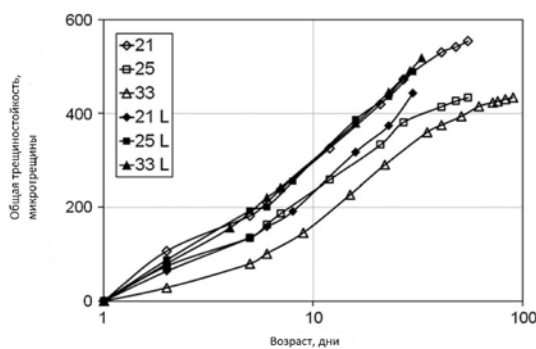


Рис. 5 Общая трещиностойкость в зависимости от времени

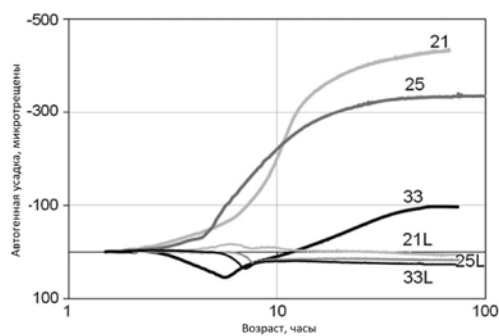


Рис.7 Трещины вызванные автогенной усадкой

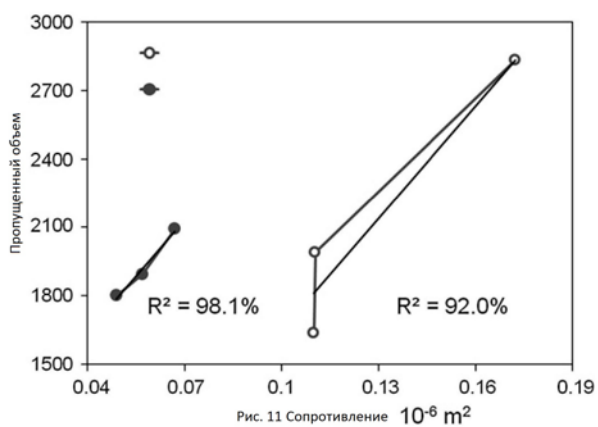
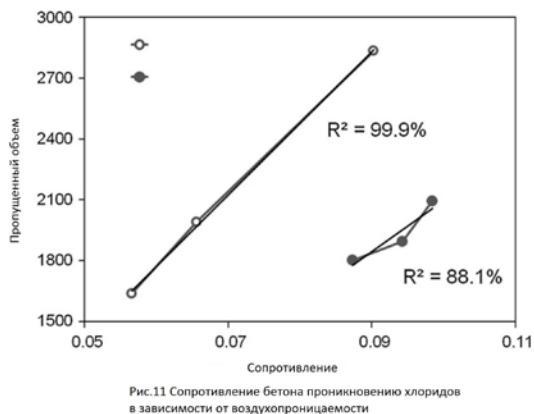
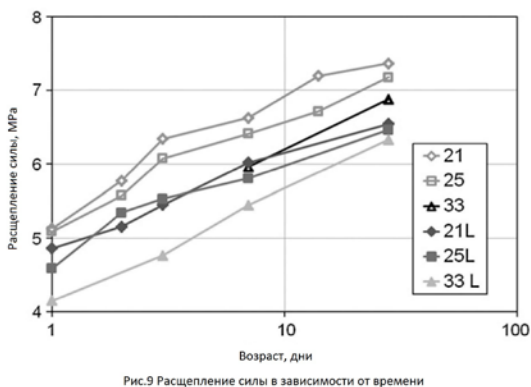
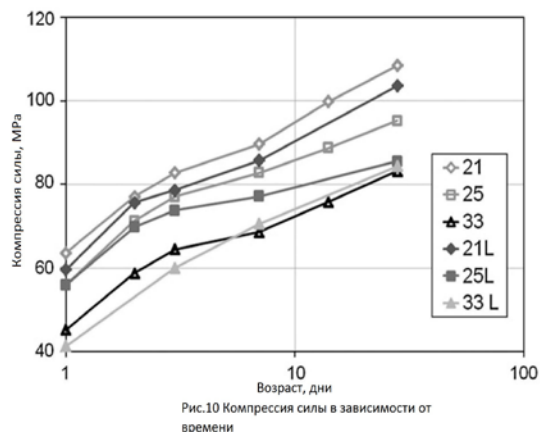
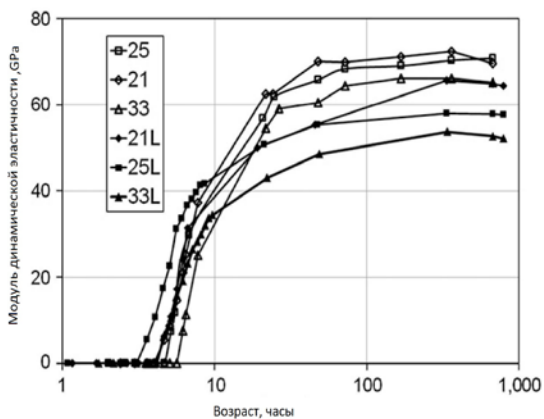
3.5. Автогенная усадка

Данные автогенной усадки приведены на рис. 7. Начало возрастной шкалы соответствует добавлению воды к цементу, так как измерение автогенной усадки началось сразу после заливки. Видно, что автогенная усадка полностью устраняется посредством внутреннего отверждения. Усадки не наблюдалось в бетоне со всеми пропорциями в/ц, также как и в бетоне с в/ц соотношением 0,21 не выявлено автогенной усадки.

3.6. Прочность и модуль упругости

Динамический модуль упругости, рассчитанный из измерений скорости ультразвуковых импульсов, показан на рис. 8. Как и ожидалось, модуль упругости уменьшается путем введения пористого (Абсорбента с малым весом)LWA. Самое низкое снижение в возрасте 28 дней было 6,6% при в/ц соотношении 0,21. Снижение модуля упругости при в / ц соотношениях 0,25-0,33 было 18,3%- 19,2% соответственно. Сравнение динамического и статического модуля для этих бетонов в возрасте 28 дней, показало, что статический модуль составляет около 65%, 71% и 66% от динамического модуля для смесей С33L, С25L С21L. Прочность на расщепление и прочность на сжатие приведены на рис. 9 и 10 соответственно. Видно, что прочность была снижена на 8-11% в внутри бетона. Прочность на сжатие почти та же самая, что

и с в/ц соотношении 0,33, но снижается на 10% и 4% в смесях с в/ц соотношением 0,25 и 0,21 соответственно.



4. Выводы

Видно, что эффект внутреннего восстановления на транспортные свойства бетона не всегда является отрицательным. В некоторых случаях производительность тяжелого бетона улучшается с помощью «внутреннего восстановления». Тем не менее, результаты влияния «внутреннего восстановления» были различными для тяжелого бетона и сделаны с различными соотношениями в /ц. Кроме того, были получены следующие результаты:

- Не было выявлено никаких серьезных ухудшение свойств прочности.
- Воздухопроницаемость бетона была снижена, за исключением ранних возрастов.
- Капиллярное поглощение и потеря массы были увеличены, в связи с увеличением общей пористости на 3-4%.
- Влияние «Внутреннего восстановления» на устойчивость к проникновению хлоридов колебалась с в/ц соотношением. При в/ ц соотношении 0,33 наблюдалось улучшение, при низких в / ц соотношениях эффект был незначительным.
- Внутреннее восстановление бетона с низким в/ ц соотношением не привел к заметному улучшению прочности. Требуются дальнейшие исследования влияния «внутреннего восстановления» на прочности бетона с микро-наполнителем.
- Снижение в/ ц соотношения восстанавливает сопротивление усадки при высыхании тяжелого бетона.
- Вероятно, что использование пемзы, которая имеет очень высокую открытую пористость, в сочетании с вакуумным поглощением очень эффективно для устранения автогенной усадки.

Библиографический список:

[1] Бенц Д.П., Снайдер К.А., Штуцман Р.Е., Перссон Б., Фагерлунд Г. Микроструктурное моделирование автогенной усадки во время гидратации. Ред.: Лунд, Швеция, Семинар по автогенной усадке. Бетонные технологии, 1997. - 132-140 с.

[2] Миикс К.Б., Карино Н.Я. Отверждение высокопроизводительного бетона. Ред.: отчет о состоянии дел, НИСТИР-6295, 1999. -125 с.

[3] Тазава Е. Отчет комитета «JCI» по автогенной усадке бетона. Ред.: Семинар по автогенной усадке бетона «JCI», Хиросима, Япония, 1998, - 5-28 с.

[4] Тазава Е., Матсуока Я., Миязава С., Окамото С., Спрингшмидт Р., Влияние автогенной усадки на напряжение в твердеющем бетоне. Ред.: Мюнхен, Германия, симпозиум РИЛЕМ, 1994. - 220-228 с.

[5] Шраге И., Лето Т., Факторы, влияющие на раннее растрескивание бетона высокой прочности. Ред.: Мюнхен, Германия, симпозиум РИЛЕМ. Термическое разрушение в бетоне в раннем возрасте, 1994. - 237-244 с.

[6] Юстнес Х., Даль Х.А., Тяжелый бетон: раннее изменение объема и тенденция к трещиностойкости. Ред.: Мюнхен, Германия, симпозиум РИЛЕМ 1994.- 229-236 с.

[1] Bentz D.P., Snyder K.A., Stutzman P.E., Persson B., Fagerlund G., Microstructural Modeling of Self-Desiccation During Hydration. Ed.: Lund, Sweden, Proceeding of an Int. Research Seminar Self-Desiccation and Its Importance in Concrete Technology, 1997. - 132–140 pp.

[2] Meeks K.W., Carino N.J. Curing of High-Performance Concrete. Ed.: Report of the State-of-the-Art: NISTIR-6295, 1999.-125 pp.

[3] Tazawa E. Report of «JCI» committee on autogenous shrinkage of concrete. Ed.: Proc. of Int. Workshop on Autogenous Shrinkage of Concrete, «JCI», Hiroshima, Japan, 1998. -5–28 pp.

[4] Tazawa E., Matsuoka Y., Miyazawa S., Okamoto S., Springenschmidt R. Effect of Autogenous Shrinkage on Self Stress in Hardening Concrete. Ed.: Munich, Germany, Proc. of Int. RILEM Symp., 1994. - 220–228 pp.

[5] Schrage I., Summer T., Springenschmidt R. Factors Influencing Early Cracking of High Strength Concrete. Ed.: Munich, Germany, Proc. of Int. RILEM Symp. Thermal Cracking in Concrete at Early Ages, 1994. - 237–244 pp.

[6] Justnes H., Dahl P.A., Springenschmidt R.. High Performance concrete: Early Volume Change And Cracking Tendency. Ed.: Munich, Germany, Proc. of Int. RILEM Symp. 1994. - 229–236 pp.