

## ПРИМЕНЕНИЕ КОМПЛЕКСНОЙ СИСТЕМЫ ДОБАВОК ДЛЯ КОМПЕНСАЦИИ УСАДКИ БЕТОНА

**Дорофеев В.С.<sup>1</sup>**, *д.т.н., профессор*, **Заволока М.В.<sup>1</sup>**, *к.т.н., профессор.*, **Заволока Ю.В.<sup>1</sup>**, *доцент*, **Заволока Ю.М.<sup>1</sup>**, *инженер.*,  
**Яценко Е.С.<sup>2</sup>**, *технолог*

<sup>1</sup> *Одесская государственная академия строительства и архитектуры.*

<sup>2</sup> *Компания МАРЕІ Украина, г.Киев*

Главный недостаток бетона и, соответственно, железобетона – низкая трещиностойкость. Арматура, как показали многочисленные исследования, незначительно повышает растяжимость бетона. Растягивающие напряжения в бетоне железобетонных конструкций, вызванные усадкой, снижают трещиностойкость армированных элементов, так как уменьшают предельную растяжимость бетона при нагружении. Поэтому повышение трещиностойкости бетонных и железобетонных конструкций – одна из важных проблем.

Твердение бетона осуществляется через протекание сложных химических реакций, поэтому качество бетона существенно зависит от качества использованных для его приготовления исходных материалов. Следовательно необходим строгий контроль свойств всех исходных сырьевых компонентов и технологических переделов.

Усадка бетона (англ. *concreteshrinkage*) – уменьшение его объема при твердении в обычной воздушной среде.

От усадочных деформаций бетона в значительной степени зависит его плотность, стойкость в различных средах, прочность (особенно при растяжении) и сопротивляемость образованию трещин, т.е. в итоге, зависит его долговечность.

Усадку принято подразделять на две составляющие: химическую усадку и физическую усадку.

При *химической усадке* происходит уменьшение в геле свободной воды, часть которой уходит на гидратацию цемента, затем начинает расходоваться окружающая кристаллы гидросиликатов кальция слабосвязанная пленочная вода, что вызывает сближение таких кристаллов и дальнейшую усадку.

На стадии формирования структуры необходимо также учитывать капиллярное давление в порах цементного камня. При контакте жидкости, расположенной в порах, со стенками капилляра силы притяжения, действующие между молекулами скелета цементного

камня и жидкости, заставляют ее подниматься по стенкам капилляра, что приводит к искривлению поверхности жидкости – образованию менисков. В результате создается капиллярное давление, которое оказывает стягивающее действие на ограничивающие жидкость стенки (рис. 1).

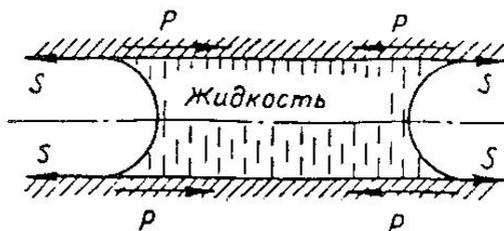


Рис.1. Схема сил, обусловленных поверхностным натяжением менисков. [3]

Это так называемая аутогенная усадка, связанная с действием поверхностного натяжения воды в порах и капиллярах. Капиллярное давление в порах и капиллярах весьма значительно и возрастает с уменьшением размеров.

Поверхностные натяжения менисков, как уже отмечалось, вызывают давление на стенки капилляров, из-за чего происходят объемные деформации.

При *физической усадке* происходит потеря части свободной влаги бетона в результате ее испарения из открытых пор и капилляров (при сухих условиях эксплуатации).

Усадка бетона происходит наиболее интенсивно в начальный период твердения бетона – за первые сутки она составляет до 60-70% от месячной усадки.

Если затвердевший бетон поместить в сухие атмосферные условия (т.е. создать условия высыхания бетона), проявляется физическая усадка, которую часто называют усадкой при высыхании (англ. *dryingshrinkage*).

Полная (конечная) усадка цементного камня, высушенного до абсолютно сухого состояния, зависит только от усадки геля, поскольку усадка, вызванная действием капиллярных сил, полностью обратима [3,4].

Как показывают опыты, усадка бетона зависит от следующих основных факторов:

- количества, вида цемента и его активности – чем больше цемента на единицу объема бетона, тем больше усадка; высокоактивные и глиноземистые цементы имеют большую усадку; бетоны,

приготовленные на специальном цементе (расширяющемся или безусадочном), усадки не дают;

- количества воды затворения, т.е. водоцементного отношения W/C, чем больше W/C, тем больше усадка;

- температурно-влажностных условий окружающей среды; чем меньше влажность окружающей среды, тем больше усадочные деформации и выше скорость их роста;

- крупности заполнителей и их физико-механических свойств (как фактор, определяющий задерживающее влияние по отношению к свободным деформациям усадки цементного камня); усадке цементного камня в начальный период твердения препятствуют заполнители, которые становятся внутренними связями, вызывающие в нем начальные растягивающие напряжения. Чем выше способность заполнителей сопротивляться деформированию, т.е. чем выше модуль упругости, тем усадка меньше; при мелкозернистых песках и пористом щебне усадка больше; при разной крупности зерен заполнителей и меньшем объеме пустот будет меньше и усадка;

- объемного содержания цементного камня в бетоне;

- присутствия различных гидравлических добавок и ускорителей твердения (например, хлористый кальция) – они как правило, увеличивают усадку.

Неравномерное высыхание бетона по толщине элемента приводит к неравномерной его усадке, что также ведет к возникновению начальных усадочных напряжений. Открытые, быстрее высыхающие поверхностные слои бетона, испытывают растяжение, в то время как внутренние, более влажные зоны, препятствующие усадке поверхностных слоев, оказываются сжатыми. В результате таких растягивающих напряжений в бетоне появляются усадочные трещины.

По данным опытов для тяжелого бетона деформации вызванные усадкой находятся в пределах  $\epsilon_{sh, lim} = 0,3 \dots 0,5$  мм/м и более.

Согласно норм [1,2] полная деформация усадки  $\epsilon_{sh}^1$  состоит из двух компонентов: деформации усадки при высыхании (физическая усадка) -  $\epsilon_{cd}$  деформации внутренней усадки (химическая усадка) -  $\epsilon_{ca}$ , т.е.

$$\epsilon_{cs} = \epsilon_{cd} + \epsilon_{ca} \quad (1)$$

Развитие деформаций усадки высыхания во времени:

$$\epsilon_{cd}(t) = \beta_{ds}(t, t_s) \cdot K_h \cdot \epsilon_{cd,0} \quad (2)$$

---

<sup>1</sup>  $\epsilon_{cs}$  – concreteshrinkage – усадкабетона;  $\epsilon_{cd}$  – dryingconcrete – усадка при высыхании;  $\epsilon_{ca}$  – autogenousconcrete – собственная усадка (химическая усадка).

где  $\varepsilon_{cd}(t)$  – часть усадки бетона к моменту времени  $t$ , обусловленная испарением из него влаги (физическая усадка);  $K_h$  – коэффициент, зависящий от условного размера  $h_0$  в соответствии с табл.1.

Таблица 1

Значения коэффициентов  $K_h$

$h_0$	$K_h$
100	1,0
200	0,85
300	0,75
$\geq 500$	0,70

$$\beta_{ds}(t, t_s) = \frac{(t - t_s)}{(t - t_s) + 0,04 \sqrt{h_0^3}} \quad (3)$$

где  $\beta_{ds}$  – функция развития усадки во времени;  $t$  – возраст бетона на момент исследования в сутках;  $t_s$  – возраст бетона на момент начала усадки высыхания;  $h_0$  – условный размер, мм, поперечного сечения, который равен  $2A_c/u$ , где  $A_c$  – площадь поперечного сечения бетона;  $u$  – периметр той части сечения, которая подвергнута высушиванию.

Деформацию внутренней (химической) усадки определяют из уравнения:

$$\varepsilon_{ca}(t) = \beta_{ds}(t) \cdot \varepsilon_{ca}(\infty), \quad (4)$$

$$\varepsilon_{ca}(\infty) = 2,5(f_{ck} - 10)10^{-6}, \quad (5)$$

где  $f_{ck}$  – характеристическая (нормативная) прочность бетона на сжатие,

$$\beta_{as}(t) = 1 - \exp(-0,2t^{0,5}), \quad (6)$$

где  $t$  – время в часах, в сутках.

Для предотвращения усадки и соответственно, возникновения трещин предусматривается ряд мероприятий:

- технологическими – подбором состава бетона, увлажнением среды при тепловой обработке твердеющего бетона, увлажнением поверхности бетона, применение специальных цементов (расширяющихся или безусадочных).

- конструктивными–армирование элементов и устройство усадочных швов в конструкциях.

Уход за бетоном (англ. curingofconcrete) в раннем возрасте, до вызревания, представляет собой комплекс мероприятий, обеспечивающих благоприятные условия твердения уплотненной бетонной смеси, а также способы, предохраняющие бетон от повреждения его структуры. Организация ухода за бетоном должна быть проведена сразу после укладки и уплотнения бетонной смеси. Выдерживание и уход за бетоном состоит в том, что после окончания бетонирования элемента конструкции открытая поверхность свежееуложенного бетона должна быть защищена от попадания атмосферных осадков или потерь влаги с помощью пленки, мешковины, брезента и т.д. с периодическим увлажнением поверхности в течение 7 дней. При среднесуточной температуре воздуха 5-15°С поливку начинать через 10-12 часов после укладки бетона при постоянном поддержании бетона и опалубки во влажном состоянии: при температуре воздуха свыше 15°С поливку производить в первые трое суток – днем, через каждые 3 часа и один раз ночью, а в последующие дни – не реже трех раз в сутки (утром, днем и вечером). При среднесуточной температуре плюс 5°С и ниже поливка бетона не производится. Поливку производить так, чтобы вода падала на бетон в виде дождя. Традиционный уход за бетоном мероприятие достаточно трудоемкое.

Рациональный метод ухода за бетоном, не требующий внешней обработки и дополнительного увлажнения поверхности основан на введении в бетонную смесь водорастворимых химических соединений, уменьшающих испарение воды при выдерживании бетона в сухих условиях, а также миграцию воды в нижерасположенные слои.

Компания MAPEI разработала целую серию добавок, представляющих комплекс материалов, используемых для приготовления бетонов на уровне высоких технологий со всеми необходимыми характеристиками, отвечающими современным требованиям.

Компания MAPEI провела исследования системы Mapecrete для снижения усадочных деформаций.

Для исследований были выбраны три добавки:

1. Добавка из серии *Dynamon* – водоредуцирующая/суперпластифицирующая добавка;
2. *Expacrete*- расширяющая добавка;
3. *MapecureSRA* – добавка для внутреннего ухода, уменьшает скорость испарения влаги из бетона и ускоряет реакции гидратации в бетонах и растворах.

Добавки серии Dynamon – суперпластифицирующие добавки нового поколения на основе акриловых полимеров, представляющие собой водный раствор акриловых полимеров (без формальдегидов). Полимеры диспергируют цементные гранулы и способствуют медленному росту кристаллов при гидратации бетона.

Exhpancrete – порошок с расширяющим эффектом, применяется для приготовления бетона с компенсированной усадкой.

MarisureSRA – жидкая добавка, обеспечивающая снижение поверхностного натяжения воды в капиллярных порах. Состав позволяет уменьшать трещинообразование на начальном этапе и обеспечить низкий уровень окончательной усадки. Добавка снижает карбонизацию бетона и интенсивность проникновения ионов хлора, повышая таким образом долговечность железобетонных конструкций.

Детальное исследование эффекта усадки проводилось на образцах в возрасте 90 суток на 3-х различных составах бетонной смеси: самоуплотняющийся бетон (SCC) (англ. concreteself-consolidation), высокопрочный бетон (HSC) (англ. high-strengthconcrete), водонепроницаемый бетон (W) (англ. watertinghtconcreteилиconcretewaterproof).

Экспериментально установлено, что комплексная система добавок значительно влияет на снижение усадки бетонов для всех трех исследуемых бетонных смесей (см. Таблицу 1).

Таблица 1

Результаты испытаний компенсации усадки бетонов  
в возрасте 90 дней [5]:

Тип бетона	Без Marcrete	С Marcrete	Разница
Бетон с высокой водонепроницаемостью (W)	0,27%	0,14%	0,13%
Высокопрочный бетон (HSC)	0,36%	0,22%	0,14%
Самоуплотняющийся бетон (SCC)	0,42%	0,11%	0,31%

В ходе испытаний было установлено, что механизм компенсации усадки для различных видов бетонов имеет одну и ту же природу. Однако темпы и масштабы усадки существенно зависят от фактических составов бетонов. Так, в бетоне с высокой водонепроницаемостью компенсация усадки была незначительной благодаря пониженному содержанию цемента. В возрасте 90 дней усадка бетона была снижена до 0,14%.

В высокопрочном бетоне (HSC) наблюдается высокая ранняя прочность и снижение компенсации усадки до пятого дня. В итоге нет первоначального расширения, нет снижения прочности к 90 суткам, а усадка составляет 0,22%.

В самоуплотняющемся бетоне (SCC) гранулированный известняк обеспечивает самоуплотнение смеси, что дает возможность компенсировать усадку расширением на протяжении длительного времени.

Исследованиями также установлено, что прочность бетона с системой Mapecrete выше, чем у бетонов без компенсированной усадки, но уступает бетону, который прошел комплекс мероприятий по традиционному уходу за бетоном, с обязательным увлажнением поверхности бетона (т.е. подвергся водному кьюрингу, т.е. от англ. curing - уход).

Следовательно, при использовании добавок Mapecrete System (добавок, разработанных компанией MAPEI) обязательно рекомендуется водный уход за бетоном хотя бы на протяжении первых 7 суток.

Результаты исследований дают возможность компании MAPEI успешно использовать систему Mapecrete в реальном строительстве. Так, например, компания MAPEI систему Mapecrete рационально использует в технологии устройства бесшовных промышленных полов высокого качества на больших площадях (до 1200м<sup>2</sup>), что дает возможность получать: пол идеально ровный с прекрасными прочностными и визуальными характеристиками; избежать последующего ухода и реставрации швов в процессе эксплуатации; предотвращает скопление грязи, пыли, бактерий, которые попадают в швы в обычных полах (особенно актуально при производстве фармацевтических, косметологических препаратов, пищевой промышленности) [5].

### ***Вывод***

Комплексное применение в современном строительстве добавок нового поколения на основе акрилового полимерасистемы Mapecrete дает возможность эффективно компенсировать усадку бетона в конструктивных элементах и исключает достаточно трудоемкий традиционный уход за бетоном, а также обеспечивает экологическую безопасность.

## Summary

The article is devoted to the actual theme – the application of complex admixers for compensation of concrete shrinkage. The explanations of physical – chemical processes of concrete shrinkage. The results of researches and practical applications are present by Italian company MAPEI the system of admixtures Mapecrete, directed to reduction of shrinkage deformations.

## *Литература*

1. ДБНВ.2.6-98:2009, Конструкції будинків і споруд. Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення проектування. Київ. Мінрегіонбуд України, 2009-71с.
2. ДСТУ Б В.2.6-156:2010. Конструкції будинків і споруд. Бетонні та залізобетонні конструкції з важкого бетону. Правила проектування. Київ. Мінрегіонбуд України, 2011 – 118с.
3. Гольшев А.Б., Бачинский В.Я., Полищук В.П. Железобетонные конструкции (под редакцией д-ра техн. наук А.Б. Гольшева) Том I. Соппротивление железобетона. «Логос», Киев-2001, - 417с.
4. Железобетонные конструкции. Основы теории, расчета и конструирования//Учебное пособие. Подред. проф. Т.М.Пецольдаи проф. В.В.Тура – Брест, БГТУ, 2003-380с.
5. Академія будівництва України, Асоціація «Українське об'єднання проектних організацій» «ПРОЕКТАНТ» - інформаційний збірник №12, вересень 2014 року, стаття-«Компенсация усадки бетона с комплексной системой добавок», с.16-19.