

### Список цитированных источников

1. Технический кодекс установившейся практики. Еврокод 1. Воздействия на конструкции. Часть 1-3. Общие воздействия. Снеговые нагрузки : ТКП EN 1991-1-3-2009\*. – Введ. 01.01.2010. – Минск : Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь, 2010. – 50 с.
2. Строительные нормы и правила. Нормы проектирования. Нагрузки и воздействия : СНиП 2.01.07-85. – М. : Госстрой СССР : ЦНИТП, 1986. – 36 с.
3. Основы проектирования конструкций. Определение снеговых нагрузок на крыши : СТБ ISO 4355-2009 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://ледибосс.рф/wpcontent/uploads/2011/01/ISO\\_4355-2009.pdf](http://ледибосс.рф/wpcontent/uploads/2011/01/ISO_4355-2009.pdf)
4. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Навантажені і впливи. Норми проектування : ДБН В.1.2-2:2006 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.poolsgallery.com.ua/files/snip/dbn-V.1.2-2-2006.pdf>
5. Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85\* : СП 20.13330.2011 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://gidfundament.ru/wp-content/uploads/2017/06/sp\\_20.13330.2011.pdf](http://gidfundament.ru/wp-content/uploads/2017/06/sp_20.13330.2011.pdf)
6. 建筑结构荷载规范. Load code for the design of building structures : GB50009-2012 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ru.scribd.com/doc/312547595/Chinese-Code-GB-50009-2012-Load-Code-for-the-design-of-building-structures-pdf>
7. Справочник по проектированию стальных конструкций в соответствии с требованиями еврокодов / А.Б. Шурин, В.И. Драган, В.В. Тур [и др.]; под ред. А.В. Шурина, В.И. Драгана. – Брест : Издательство БрГТУ, 2016. – 194 с.

УДК 666.972:666.913.35

**Белецкий Д. С.**

*Научный руководитель: д.т.н., профессор Тур В. В.*

### ВЛИЯНИЕ СУПЕРАБСОРБИРУЮЩЕГО АГЕНТА SAP НА СОБСТВЕННЫЕ ДЕФОРМАЦИИ ЦЕМЕНТНЫХ СИСТЕМ

Целью данной работы является определение влияния агента SAP на собственные деформации различных цементных систем их прочностные характеристики, структуру порового и степень гидратации.

Благодаря относительно высокому содержанию цемента, использованию микрокремнезема и низкому водоцементному отношению высокопрочные бетоны при затвердевании развивают следующие качества (в сравнении с традиционными бетонами):

- более быстрое нарастание температуры в строительной конструкции;
- повышенная скорость потребления и связывания воды в процессе гидратации;
- ускоренное нарастание прочности в первые дни.

Недостатком подобных бетонов по сравнению с традиционными бетонами является их более интенсивная аутогенная усадка. Понятием «аутогенная усадка» обозначают изменение объема, которое под влиянием изотермических условий происходит в бетонном образце, помещенном в герметичное пространство. Она является результатом химической усадки и, в общих чертах, ассоциируется с «внутренним высыханием» цементного камня (при отношении В/Ц ниже 0,4 содержание воды недостаточно для обеспечения полноценной гидратации цемента). Аутогенная усадка уже в первые дни после бетонирования может привести к возникновению сильного напряжения на растяжение и, следовательно, к трещинообразованию. В отличие от сухой усадки аутогенную усадку невозможно уменьшить путем внешнего ухода за бетоном.

Наиболее эффективным средством борьбы с трещинообразованием в высокопрочных бетонах, вызванным аутогенной усадкой, является внутренний уход путем введения равномерно распределенных по всему объему бетона микровключений, содержащих свободную воду. Перспективным представляется использование полимеров SAP (рисунок 1), обладающих высокой абсорбирующей способностью и играющих роль накопителей. Полимеры SAP добавляются в бетон в виде порошка и в процессе перемешивания поглощают воду, образуя, таким образом, микроскопические водяные поры. Впервые полимеры SAP были применены для внутреннего ухода в 2006 г.

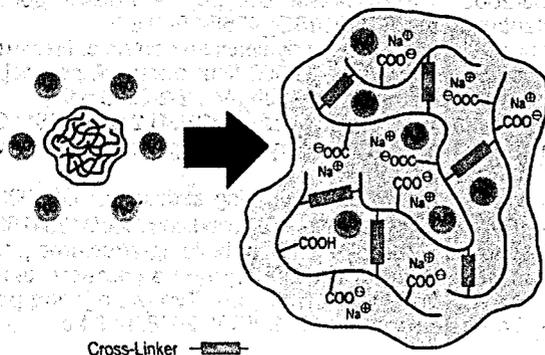


Рисунок 1 - SAP на основе полиакриловой кислоты [рисунок BASF]

Когда цементная паста самовысушивается из-за гидратации, в бетоне образуется градиент в водной активности между водой в SAP и пористой жидкостью

[50]. Часть этого градиента водной активности определяется капиллярным давлением, развивающимся в пористой жидкости вследствие опорожнения пор из-за гидратации или внешней сушки [51,52]. Дополнительным вкладом может быть осмотическое давление из-за того, что состав пористого раствора в цементной пасте при времени схватывания и позже может отличаться от состава раствора, поглощенного в SAP. Процесс десорбции SAP можно описать как конкуренцию за воду между SAP и цементной пастой [30].

Вода, выделяемая из SAP, имеет функцию для продолжения гидратации цемента в герметичном состоянии. Скорость изменения степени гидратации зависит от нескольких параметров материала, таких как размер и количество SAP в смеси, исходное соотношение вода-цемент и процедура добавления SAP в смесь бетона или раствора [72]. Механизмы поглощения воды SAP в цементной пасте и скорость выделения воды из SAP непосредственно контролируют дальнейшую гидратацию цемента.

По сравнению с обычным бетоном или высокоэффективным бетоном присутствие SAP, безусловно, изменяет микроструктуру в бетоне. Основными причинами, вызывающими изменение микроструктуры, особенно структур пор в бетоне, содержащих SAP, могут быть:

- когда SAP полностью заполнен водой, он действует как мягкий агрегат;
- когда он пуст, SAP действует как пустота в бетоне;
- неравномерность дисперсии SAP при перемешивании;
- водопоглощение SAP меняет эффективный вес / час на стадии ранней гидратации, а выделение воды из SAP влияет на дальнейшую гидратацию цемента;
- интерфейс между SAP и матрицей цементной пасты может вызывать некоторые дополнительные поры;
- влияние SAP на структуру пор зависит не только от общей пористости, но также от размера пор;

SAP увеличивает общую пористость бетона из-за полых пустот, вводимых частицами SAP.

Для исследования первой системы был использован цемент марки ШПЦ500, песок с  $M_k=2,88$ , SAP с сорбцией в 90 раз больше собственной массы и поликарбоксилатный пластификатор I группы – «Стахемент 3000».

Данная система была изолирована от массообмена с окружающей средой, т. е. подвержена только аутогенной усадке. Главным контролируемым фактором была температура среды, в которой находились испытываемые образцы. Для упрощения эксперимента образцы были помещены в камеру с постоянной температурой, равной  $20 \pm 2^\circ\text{C}$ .

Состав №1: Ц=1500 г, П=500 г, В/Ц=0,4; Пл-р=1%; SAP=0%

Состав №2: Ц=1500 г, П=500 г, В/Ц=0,4; Пл-р=1%; SAP=0,4%

Результаты прочностных характеристик испытываемых составов представлены в таблицах 1 и 2, и рисунках 2,3. Изменение собственной относительной деформации представлено на рисунке 4.

Таблица 1 – Прочностные показатели составов в возрасте 14 суток

Результаты испытаний в возрасте 14 сут.							
№ состава	№ образца	Масса, г	Изгиб, Мпа	Сжатие, Мпа			
1	1	602	7,9	7,855	51,22	47,16	48,555
	2	598	7,81		49,46	46,38	
2	1	585,2	6,98	7,38	43,65	44,22	43,94
	2	605,8	7,77		43,92	43,96	

Таблица 2 – Прочностные показатели составов в возрасте 28 суток

Результаты испытаний в возрасте 28 сут.							
№ состава	№ образца	Масса, г	Изгиб, Мпа	Сжатие, Мпа			
1	3	599,4	8,35	8,16	52,9	52,27	52,98
	4	599,2	8,1		52,53	53,97	
	5	599,6	8,21		51,5	52,2	
	6	614,6	7,99		53,47	54,97	
2	3	604,2	7,9	8,13	51,88	48,09	51,12
	4	605	8,46		57,08	52,36	
	5	599	7,96		52,81	47,26	
	6	599,2	8,19		49,76	49,72	

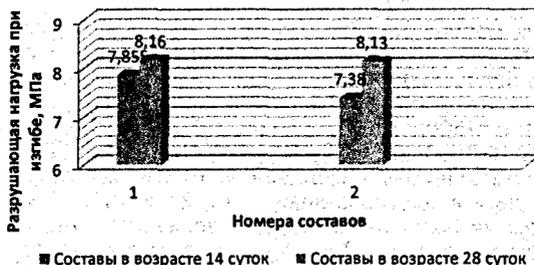


Рисунок 2 – Прочность на изгиб испытываемых образцов составов с различным содержанием SAP: 1) 0% - контрольный состав; 2) 0,4%

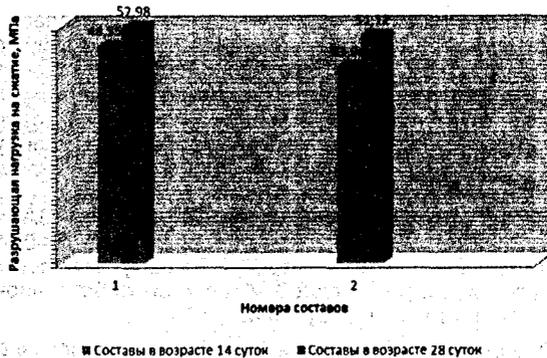


Рисунок 3 – Прочность на осевое сжатие испытываемых образцов составов с различным содержанием SAP: 1) 0% - контрольный состав; 2) 0,4%

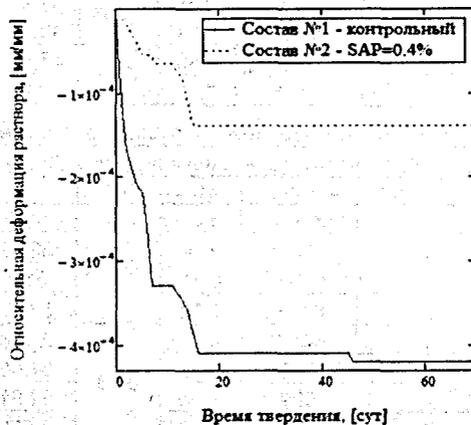


Рисунок 4 –Изменение собственной относительной деформации составов с различным содержанием SAP: 1) 0% - контрольный состав; 2) 0,4%

Для исследования второй системы был использован цемент марки ПЦ500ДО, метакаолин (25% от массы цемента), песок с  $M_k=2,27$ , SAP с сорбцией в 90 раз больше собственной массы и поликарбоксилатный пластификатор I группы – «Стахемент 3000».

Состав №1: Ц=1500г; П=500 г; В/Ц=0,4; Мет-н =25%; Пл-р=1%; SAP=0%

Состав №2: Ц=1500 г; П=500 г; В/Ц=0,4; Мет-н =25%; Пл-р=1%; SAP=0,4%

Данная система не была изолирована от массообмена с окружающей средой, а находилась в воздушно-влажностных условиях. Главными контролируемыми факторами были температура и влажность среды, в которой находились испытываемые образцы. Для упрощения эксперимента образцы были помещены в камеру с постоянной температурой, равной  $20 \pm 2^\circ\text{C}$  и влажностью воздуха 100%.

Результаты прочностных характеристик испытываемых составов представлены в таблицах 3 и 4, и рисунках 5,6. Изменение собственной относительной деформации представлено на рисунке 7.

Таблица 3 – Прочностные показатели составов в возрасте 14 суток

Результаты испытаний в возрасте 14 сут.						
№ состава	№ образца	Масса, г	Изгиб, Мпа	Сжатие, Мпа		
				42,58	41,35	
1	1	595	6,28	40,12	41,35	
2	1	578,6	5,82	40,4		
				41,2	40,80	

Таблица 4 – Прочностные показатели составов в возрасте 28 суток

Результаты испытаний в возрасте 28 сут.							
№ состава	№ образца	Масса, г	Изгиб, Мпа	Сжатие, Мпа			
				47,62	44,9	45,8175	
1	1	603,8	6,9	7,035	45,32	45,43	45,8175
	2	583	7,17				
2	1	573,6	6,32	6,44	47,18	44,88	45,26
	2	585,6	6,55				

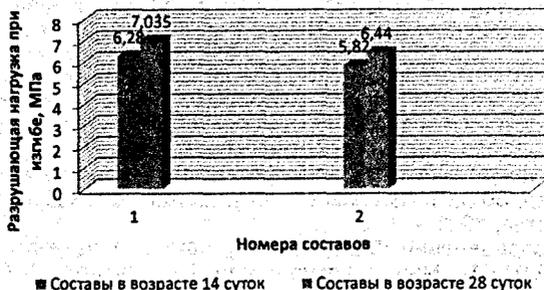


Рисунок 5 – Прочность на изгиб испытываемых образцов составов с различным содержанием SAP: 1) 0% - контрольный состав; 2) 0,4%



Рисунок 6 – Прочность на осевое сжатие испытываемых образцов составов с различным содержанием SAP: 1) 0% - контрольный состав; 2) 0,4%

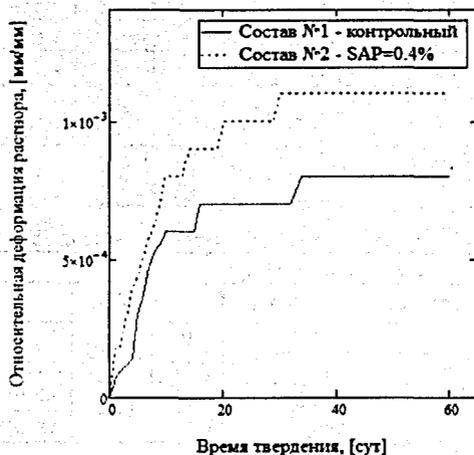


Рисунок 7 – Изменение собственной относительной деформации составов с различным содержанием SAP: 1) 0% - контрольный состав; 2) 0,4%;

#### Список цитированных источников

1. Цемент напрягающий. Технические условия: СТБ 1335-2002. – Введ. 01.01.2003 – Минск: Минстройархитектуры, 2002. – 11 с.
2. Методы определения предела прочности при изгибе и сжатии: ГОСТ 310.4-81. – Введ. 30.06.1983 – Минск: Государственный комитет СССР по делам строительства, 1981. – 11 с.
3. Методы определения деформаций усадки и ползучести: ГОСТ 24544-81. – Введ. 1982.01.01 – Минск: Государственный комитет СССР по делам строительства, 1980. – 27 с.

УДК 624.014.2

Бобко Е. А.

Научный руководитель: старший преподаватель Жданов Д. А.

### ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ СТАЛЬНЫХ БЕСКАРКАСНЫХ АРОЧНЫХ ЗДАНИЙ НА ТЕРРИТОРИИ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Развитие рынка металлических зданий привело к появлению новых типов профилей и конструкций. Одним из направлений в строительстве легких металлоконструкций из тонкостенных холодногнутых профилей являются бескаркасные конструкции, которые могут производиться как на заводе, так и непосредственно на строительной площадке [1]. Применяются при строительстве овощехранилищ, в виде ангаров для хранения военной техники и так далее.

Целью данной работы является анализ и последующий расчет применяемых на территории Республики Беларусь стальных дугообразных профилей с учетом поперечного гофрирования в составе бескаркасных арочных зданий.

Одной из основных причин, ограничивающих широкое применение бескаркасных арочных покрытий из стальных холодногнутых профилей с поперечно-гофрированными гранями, является отсутствие государственных нормативных