



Международная научно-практическая конференция «Материаловедение, формообразующие технологии и оборудование 2026»



Влияние комплексной органо-минеральной добавки на основе метаксаолина, поликарбоксилатного суперпластификатора и наногидратированного силиката кальция на прочность цементного камня

Вороненко Максим Эдуардович

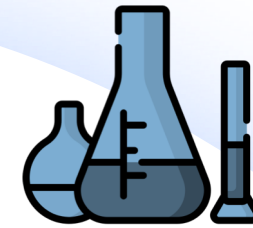
аспирант кафедры «ТСКиМ»

ДОННАСА – филиал НИУ МГСУ

Научный руководитель д.т.н., профессор

Зайченко Николай Михайлович

Органоминеральные добавки (ОМД) для цемента — это многокомпонентные смеси, которые содержат минеральные компоненты и поверхностно-активные вещества (ПАВ). Такие добавки используются для модификации структуры бетона и улучшения его свойств: прочности, морозостойкости, водонепроницаемости и других.



- ❖ Микрокремнезем
- ❖ Метакаолин
- ❖ Зола-унос

- ❖ Пластификаторы
- ❖ Гиперпластификаторы
- ❖ Противоморозные добавки





Проблемы бетонирования при низких температурах



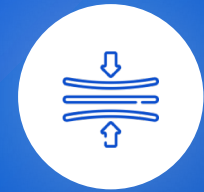
Отсутствие гидратации или ее невысокая скорость



Формирование бетона с невысокими прочностными характеристиками



Образование льда вокруг стержней арматуры



Увеличение внутреннего давления в растворе и его расширение





Ускорители твердения



Ускорители твердения уменьшают средний размер пор; ускоряют связывание воды (это достигается благодаря самопроизвольному повышению концентрации растворенных компонентов); положительно влияют на структуру искусственного материала на всех уровнях (увеличивается количество микропор, уменьшается число макропор). Представители ускорителей твердения:

- ❖ Поташ
- ❖ Хлористый кальций
- ❖ Хлорид натрия
- ❖ Кристаллогидратные растворы



Кристаллогидраты

это кристаллические продукты присоединения воды к неорганическим и органическим веществам, имеющие определённый состав и включающие молекулы воды в виде отдельной структурной единицы

Master X-Seed 45

Добавка на основе суспензии синтетически произведенных зерен кристаллогидратов

ГАД (САК)

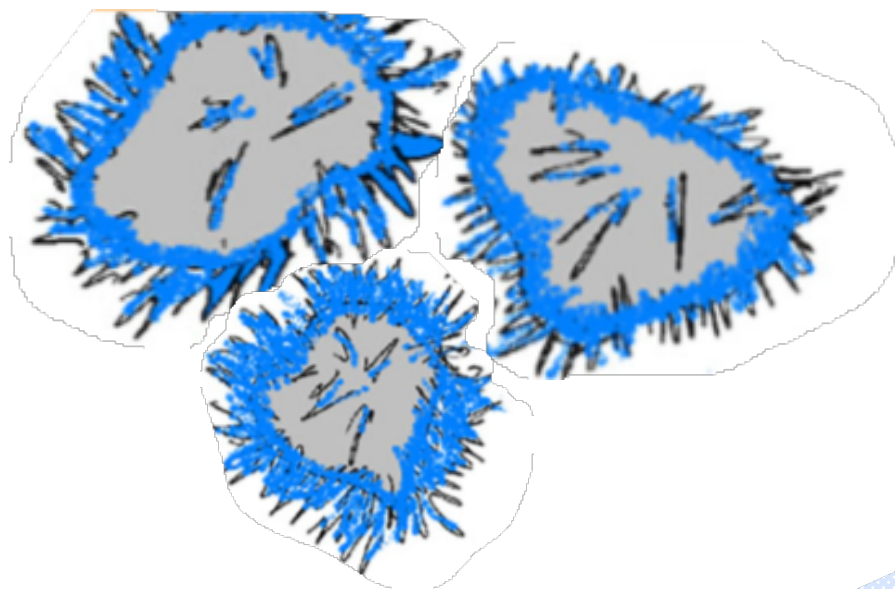
Модифицирующая добавка – микродисперсная добавка кристаллогидратов синтезированная путем активации сульфоалюминатного клинкера

ИСМД

Искусственно синтезированных микродисперсные добавки кристаллогидратов на основе сульфоалюминатов кальция



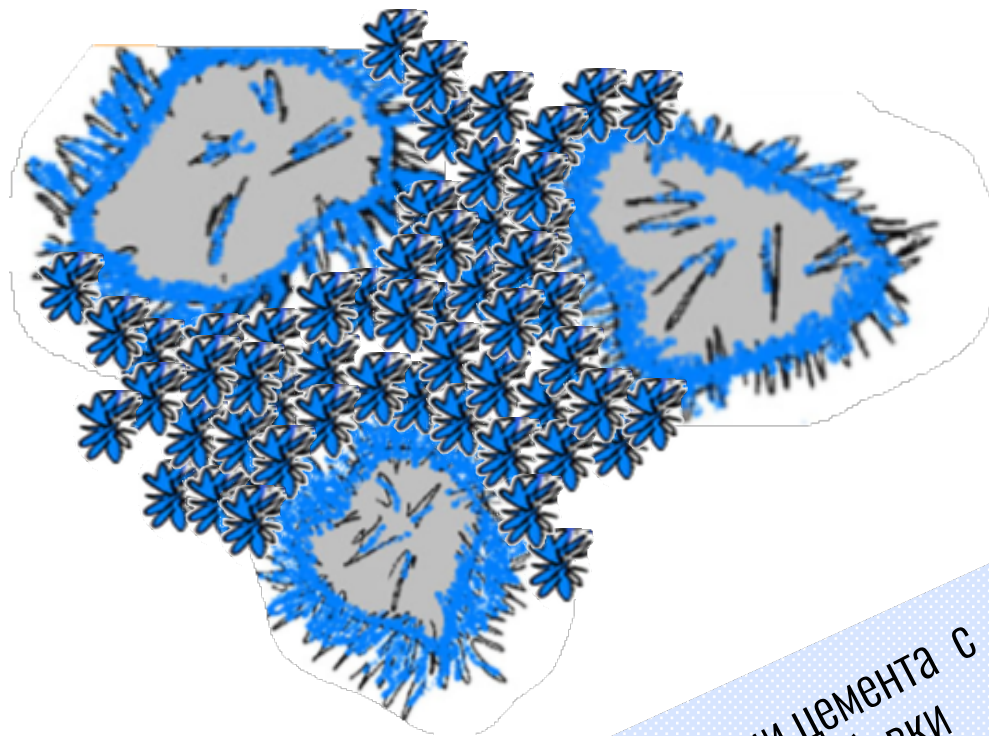
X-Seed в действии



Процесс гидратации цемента без
использования добавки



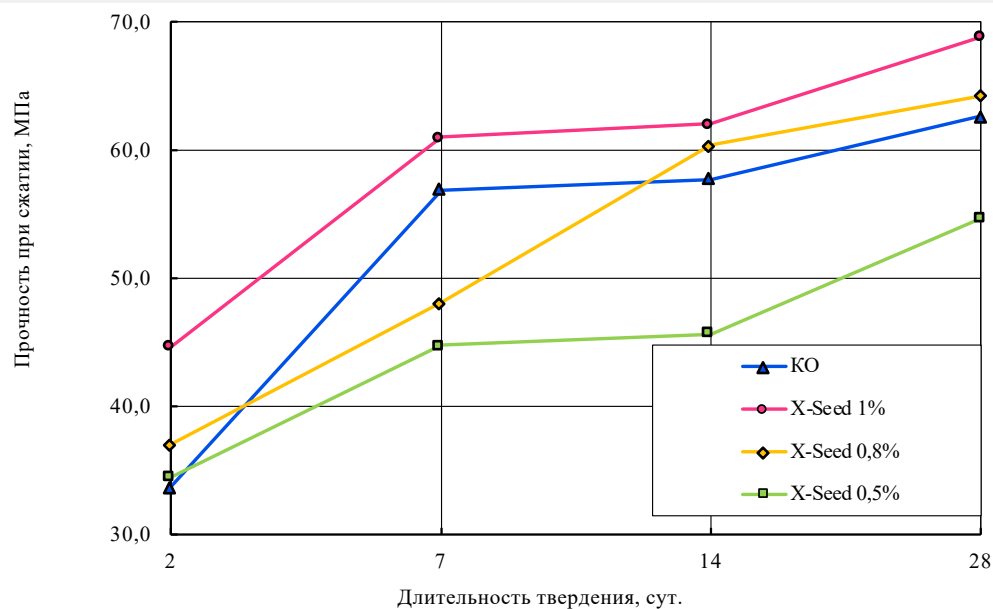
X-Seed в действии



Процесс гидратации цемента с
использованием добавки



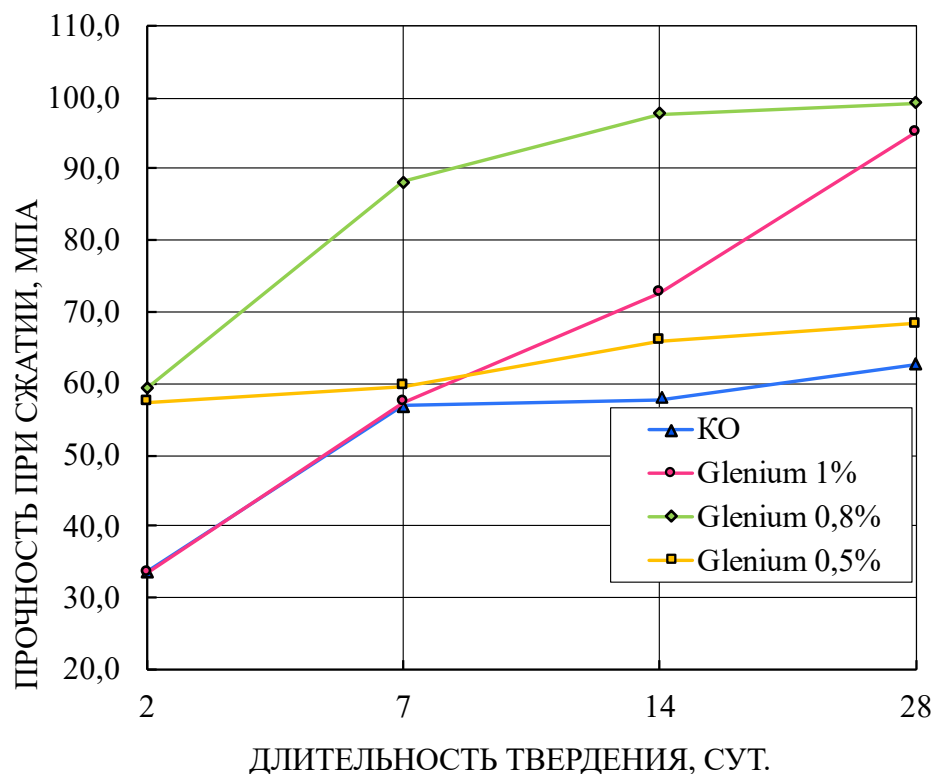
Прочность с X-Seed



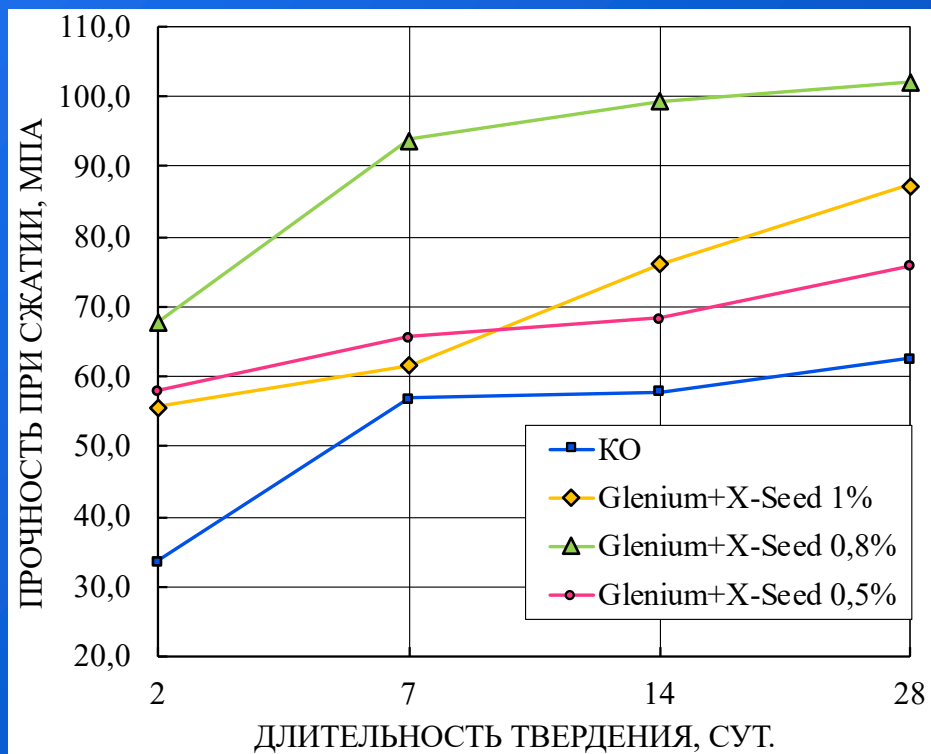
- Значение КО на 2 сутки – 33,72 МПа, плавный подъем до 62,64 МПа
- 0,5% X-Seed на 2 сутки – 34,46 МПа, подъем до 54,65 МПа
- 0,8% X-Seed на 2 сутки – 37,03 МПа, плавный подъем до 64,21 МПа
- 1% X-Seed на 2 сутки – 44,62 МПа, подъем до 68,80 МПа



Прочность с Glenium ACE - 430

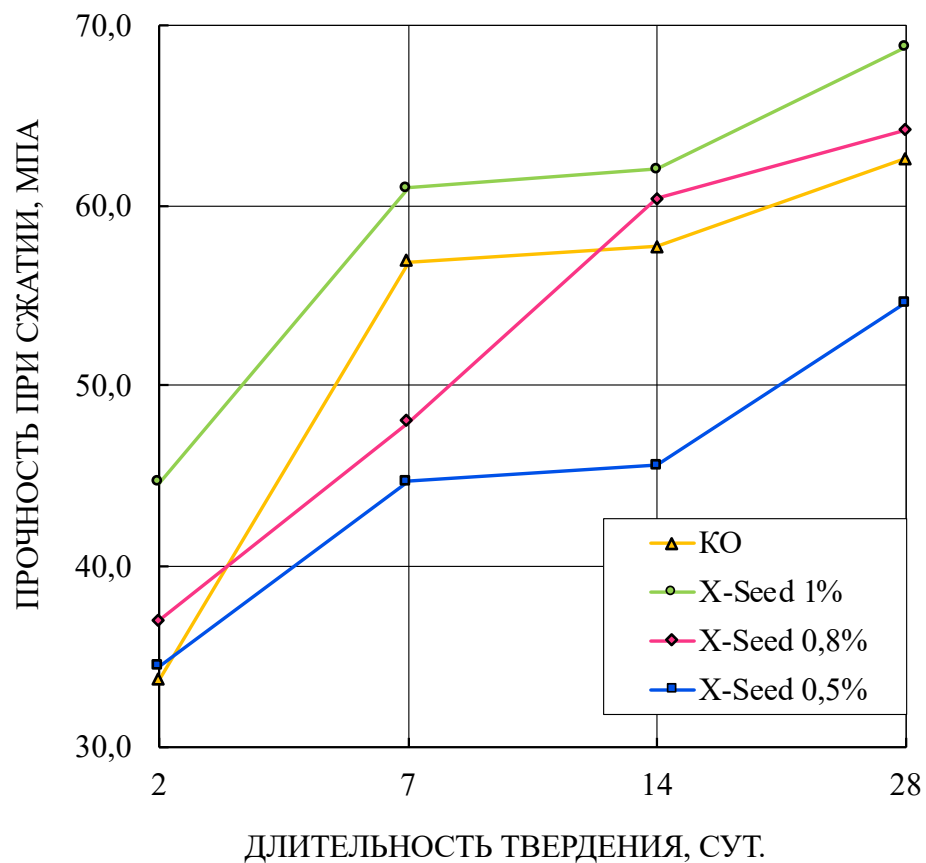


Прочность с Glenium+X-Seed

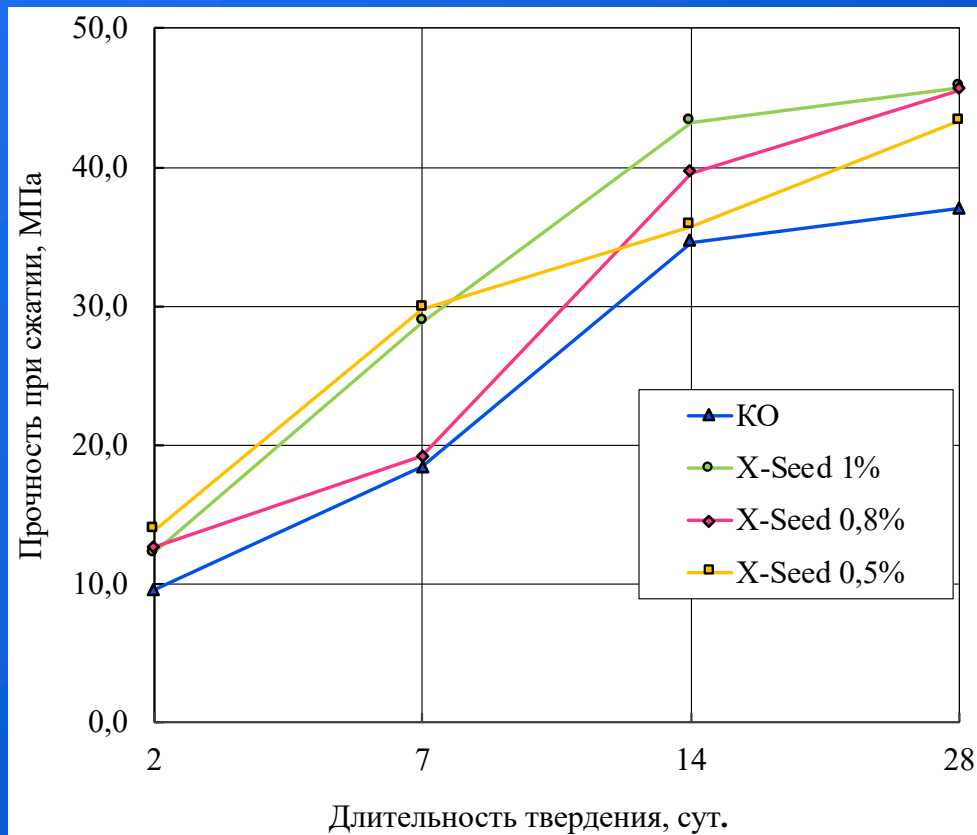




Прочность с X-Seed в нормальных условиях

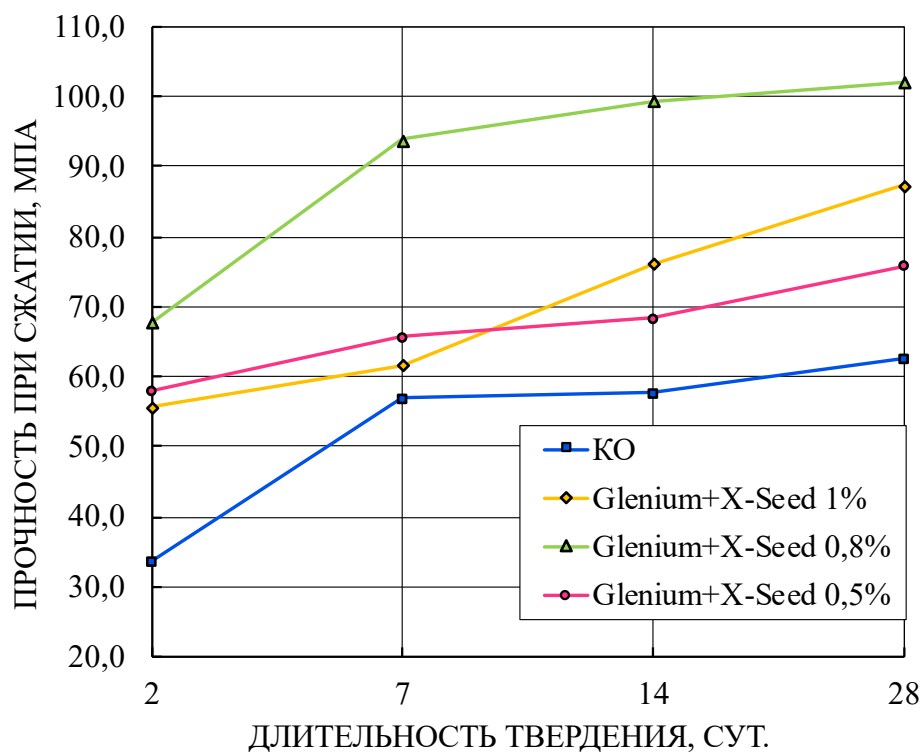


Прочность с X-Seed при низких температурах

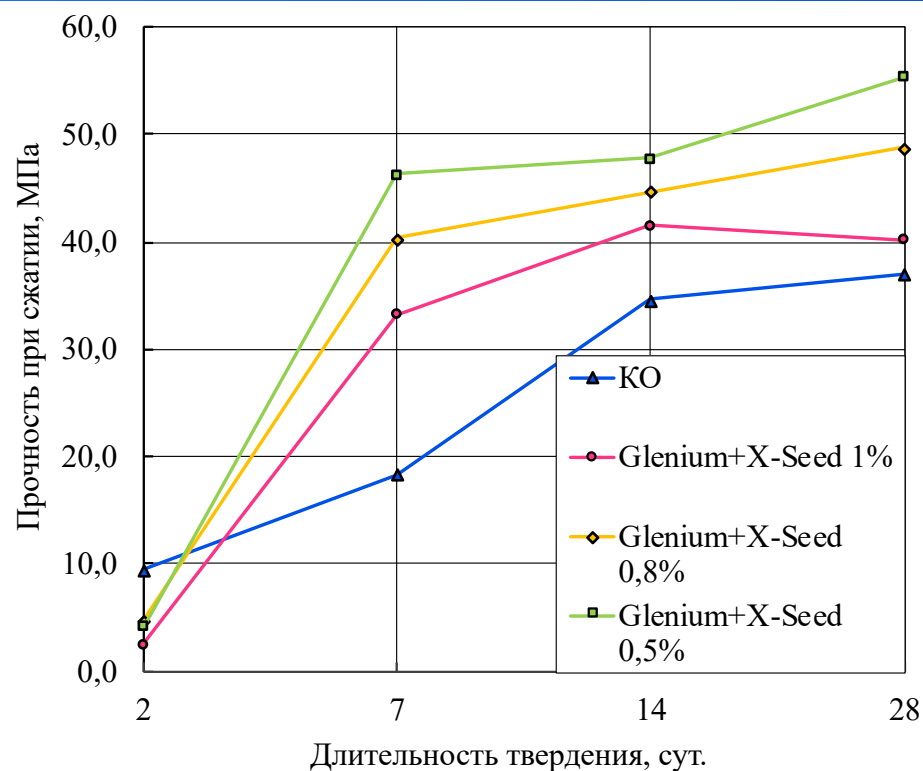




Прочность с Glenium+X-Seed в нормальных условиях



Прочность с Glenium+X-Seed при низких температурах





Роль метакАОлина

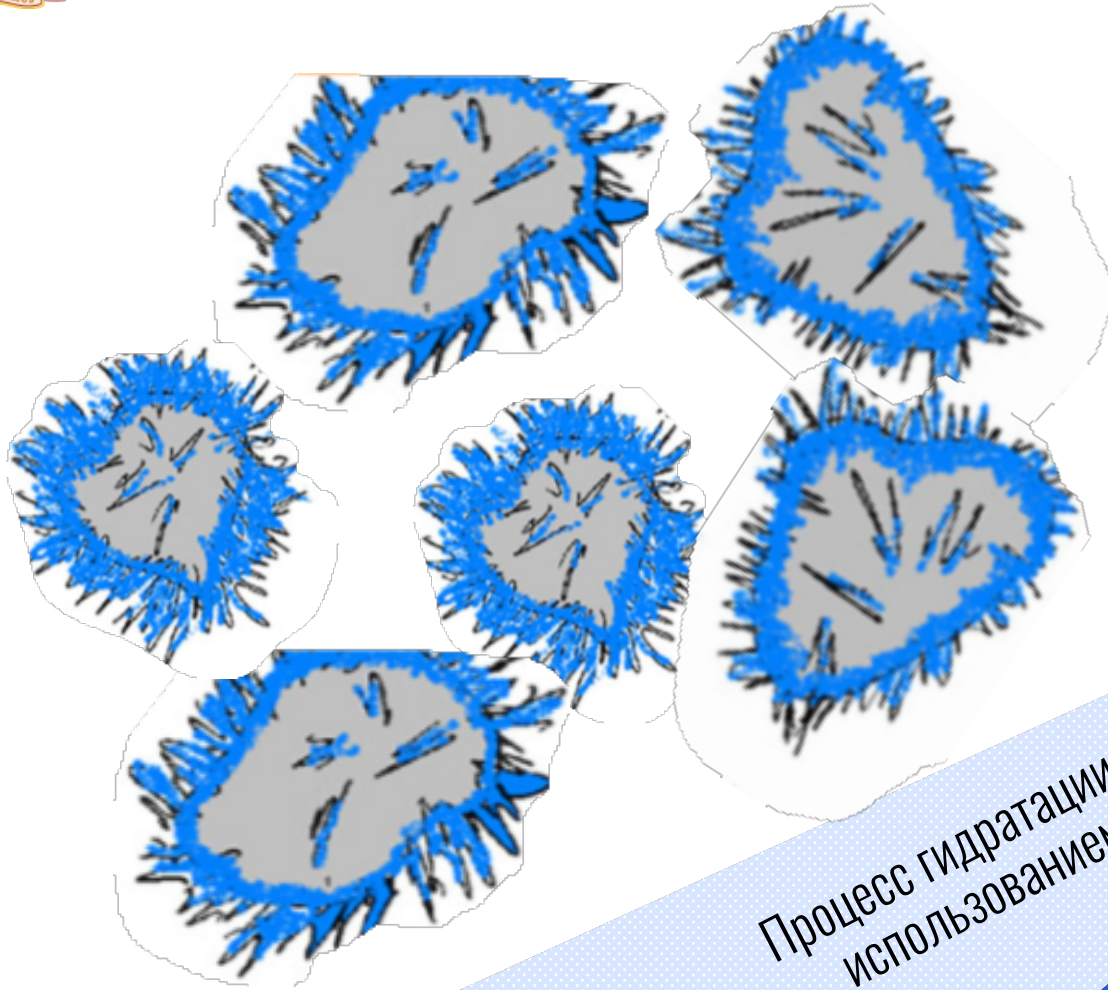
МетакАОлин играет роль активной минеральной добавки в цементном камне. Он модифицирует структуру цементного камня, улучшает его физико-механические свойства. Увеличивает плотность за счёт микронаполнения и связывания гидратной извести (портландита). Повышает прочность на ранних сроках твердения. Снижает пористость и уменьшает проницаемость. Имеет повышенную устойчивость материала к циклическому замораживанию и оттаиванию, а также к коррозионным воздействиям.

Формирование структуры цементного камня в присутствии метакАОлина основано на микронаполняющем, пуццолановом эффектах, и способностью связывать щелочи.

Микронаполняющий эффект заключается в заполнении высокодисперсными частицами метакАОлином пустот между зёрнами цемента. Увеличение концентрации твердой фазы в цементном тесте приводит к улучшению структуры цементного камня и снижению его пористости. Также происходит повышение температуры гидратации портландцемента. Это связано с тем, что метакАОлин ускоряет гидратацию цемента, в ходе которой формируются преимущественно высокоосновные гидратные образования, в том числе метастабильные гидроалюминаты.



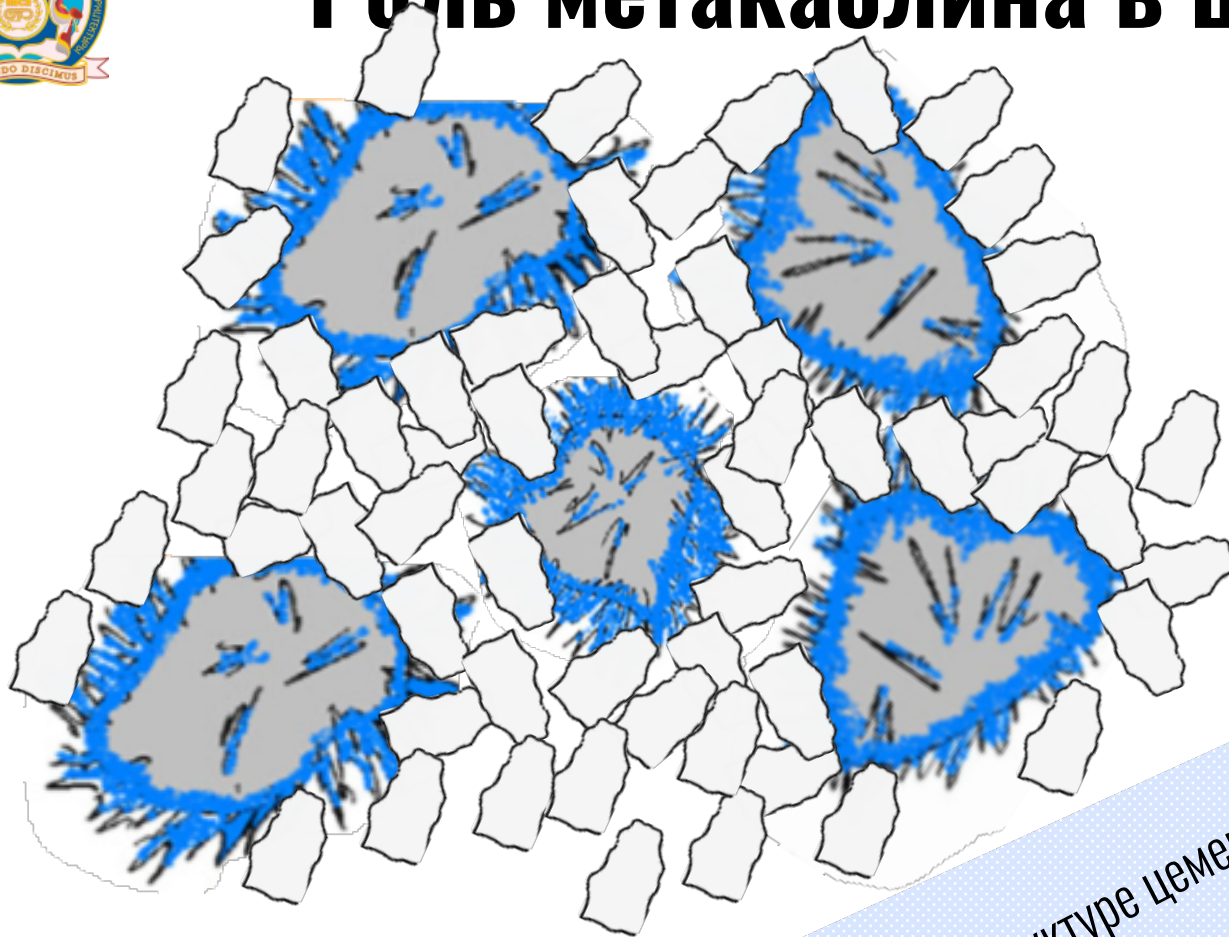
Роль метакаолина в цементе



Процесс гидратации цемента с использованием добавки



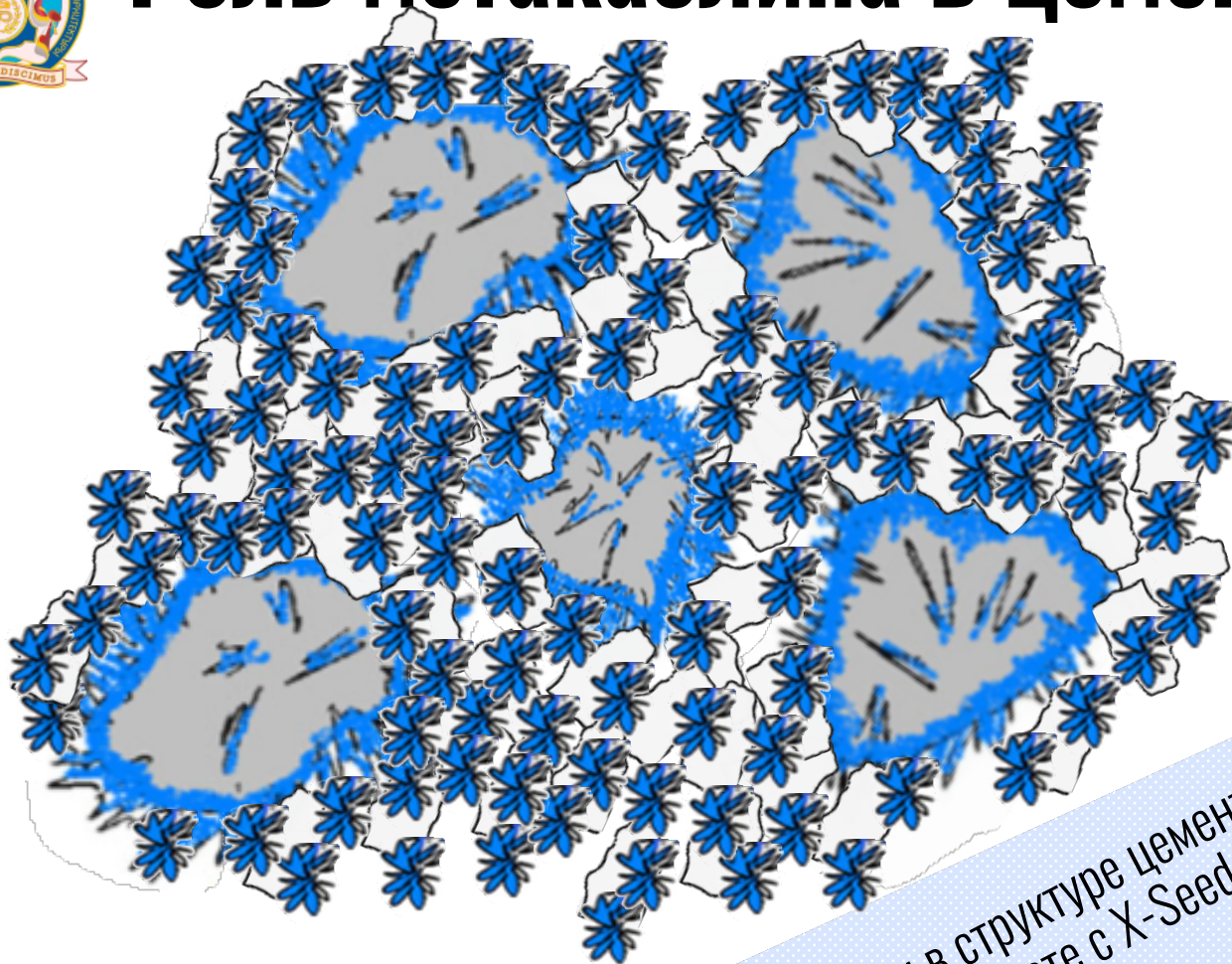
Роль метаксаолина в цементе



Метаксаолин в структуре цементного камня



Роль метаксаолина в цементе с добавкой



Метаксаолин в структуре цементного камня
вместе с X-Seed



Матрица планирования и результаты эксперимента



X ₁ – Расход К (8;10;12%)								
X ₂ – Расход X-Seed 45 (1,2,3%)								
№	Факторы		X ₂	X ₁ X ₂	Y ₁ , МПа	Y ₂ , МПа	Y ₃ , МПа	Y ₄ , МПа
	X ₁	X ₂						
1	-	-	-	+	79,05	87,60	67,19	74,46
2	+	-	-	-	84,52	92,10	71,84	78,29
3	-	+	+	-	83,90	93,70	71,31	79,65
4	+	+	+	+	87,70	96,40	74,55	81,94
5	0	0	0	0	82,60	89,30	70,21	75,91



Оптимизация составов цементного камня



- 1) Уравнение регрессии прочности цементного камня при сжатии в НУ ($R_{сж}$ 2 суток)

$$Y_1 = 87,55 + 4,39X_1 + 6,69X_2 + 0,73X_1X_2$$

- 2) Уравнение регрессии прочности цементного камня при сжатии в НУ ($R_{сж}$ 7 суток)

$$Y_2 = 92,1 + 1,76X_1 + 2,43X_2$$

- 3) Уравнение регрессии прочности цементного камня при сжатии при $t + 10^\circ\text{C}$ ($R_{сж}$ 2 суток)

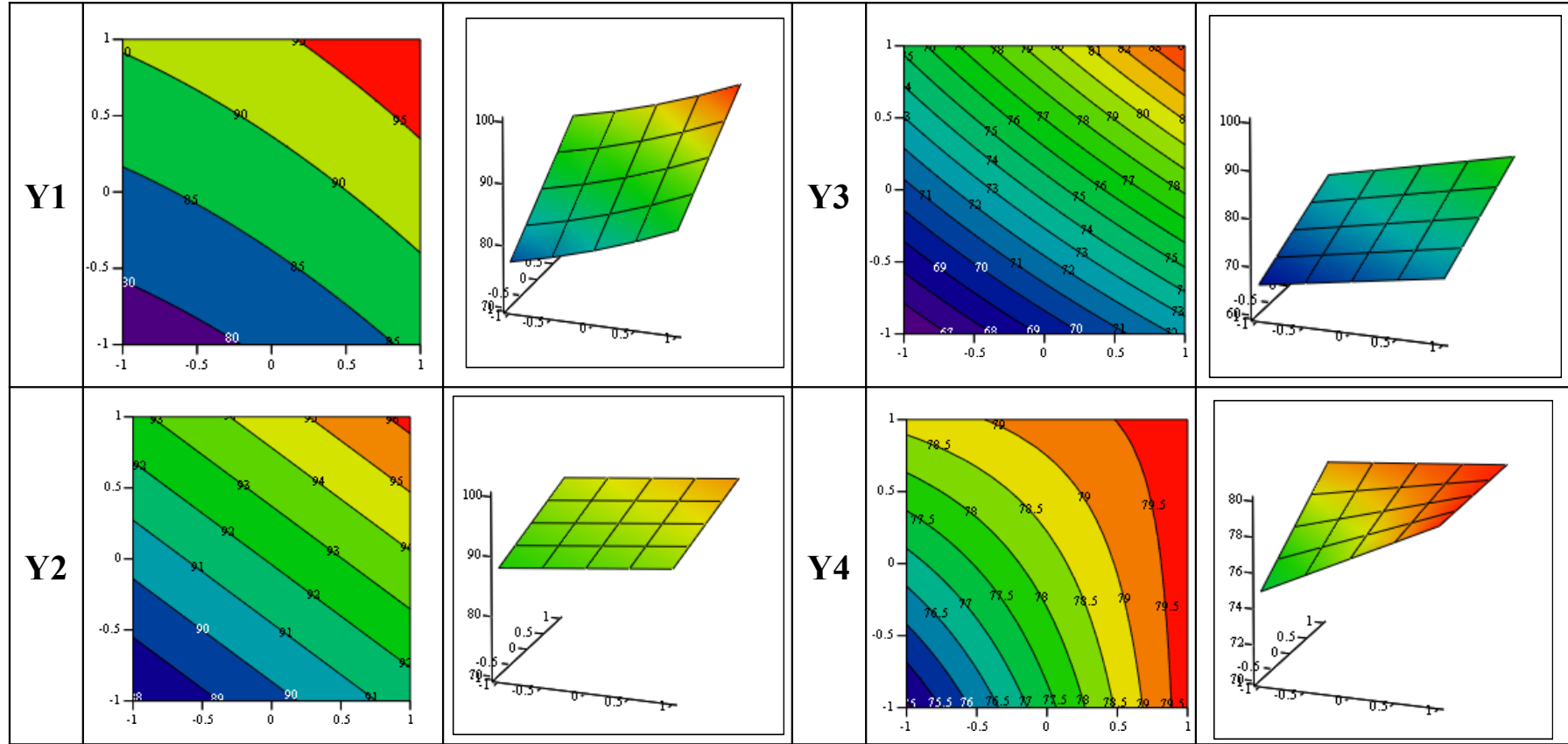
$$Y_3 = 74,41 + 3,75X_1 + 5,26X_2 + 0,62X_1X_2$$

- 4) Уравнение регрессии прочности цементного камня при сжатии $t + 10^\circ\text{C}$ ($R_{сж}$ 7 суток)

$$Y_4 = 78,29 + 1,49X_1 + 0,95X_2 - 0,95X_1X_2$$



Оптимизация составов цементного камня





Спасибо за внимание