



Ускорение кинетики твердения

растворов и мелкозернистых бетонов на основе белого цемента



Возможные направления подбора добавок-ускорителей твердения растворов и мелкозернистых бетонов

Соли-электролиты

- Не вступают в реакцию с компонентами цемента, но повышают их растворимость и снижают температуру замерзания воды
- Хлорид кальция, хлорид-нитрит-нитрат кальция, формиат кальция, хлорид алюминия, сульфат натрия

Поверхностно-активные вещества

- Активизируют процессы гидратации цемента посредством диспергации его зерен и повышения их растворимости в воде
- Гиперпластификаторы на основе меламинасульфонатов, эфиров поликарбоксилатов, комплексных добавок

Специальные вяжущие

- Ускоряют процессы гидратации цемента посредством обменных реакций, которые приводят к образованию этtringита
- Глиноземистые цементы

Готовые центры кристаллизации

- Иницируют начало роста кристаллогидратов не только на поверхности растворяющихся зерен цемента, но и между ними
- Силикаты кальция

Выбор системы для подбора добавок-ускорителей твердения



- **Вяжущее:** белый цемент, глиноземистый цемент, гипс, известь...
- **Заполнитель/ наполнитель:** кварцевый песок, известняк, мел, доломит, керамзит, перлит, каолин, микрокремнезем...
- **Химические добавки:** пластификаторы, водоудерживающие, полимеры, воздухововлекающие, регуляторы схватывания, ускорители, загустители, гидрофобизаторы...



- **Вяжущее:** белый цемент
- **Заполнитель:** кварцевый песок
- **Химические добавки:** ускорители, пластификаторы, комплексы...

- Простая/ базовая растворная система, которая может служить основой для разработки рецептур
- Нет дополнительных факторов, влияющих на гидратацию цемента

Опыт Holcim (Rus) СМ по ускорению кинетики твердения мелкозернистого бетона на основе белого цемента

Почему возникла потребность повысить прочность мелкозернистого бетона в ранние сроки твердения?

- Снижение себестоимости готовой продукции за счет уменьшения расхода белого цемента
- Сокращение продолжительности производственного цикла за счет оборачиваемости форм

Расход - 18%



Прочность + 45%



Этап I – Сравнительный анализ базовых составов + введение ГЦ

- Провести сравнительные испытания контрольного состава и базового состава с пониженным расходом цемента
- Ввести в базовый состав 1.5% ГЦ от веса цемента с целью ускорения кинетики твердения в ранние сроки (12-24 ч)

Приготовление раствора в соответствии с рецептурой клиента



Определение расплыва кольца на встряхивающем столике



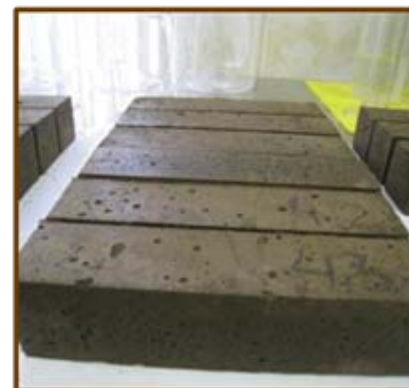
Этап I – Состав исследуемых растворов [кг/м³]

No	В/Ц	Вода [л]	Белый цемент [кг]	Глино-земистый цемент [кг]	Пигмент [кг]	СПЛ FT30LV [л]	Песок [кг]
Контрольный	0.52	224	435	-	26	2.6	1533
Базовый	0.65	237	369	-	22	2.2	1560
1.5% ГЦ	0.65	236	368	5.5	22	2.2	1557

Формование образцов призм на вибростоле



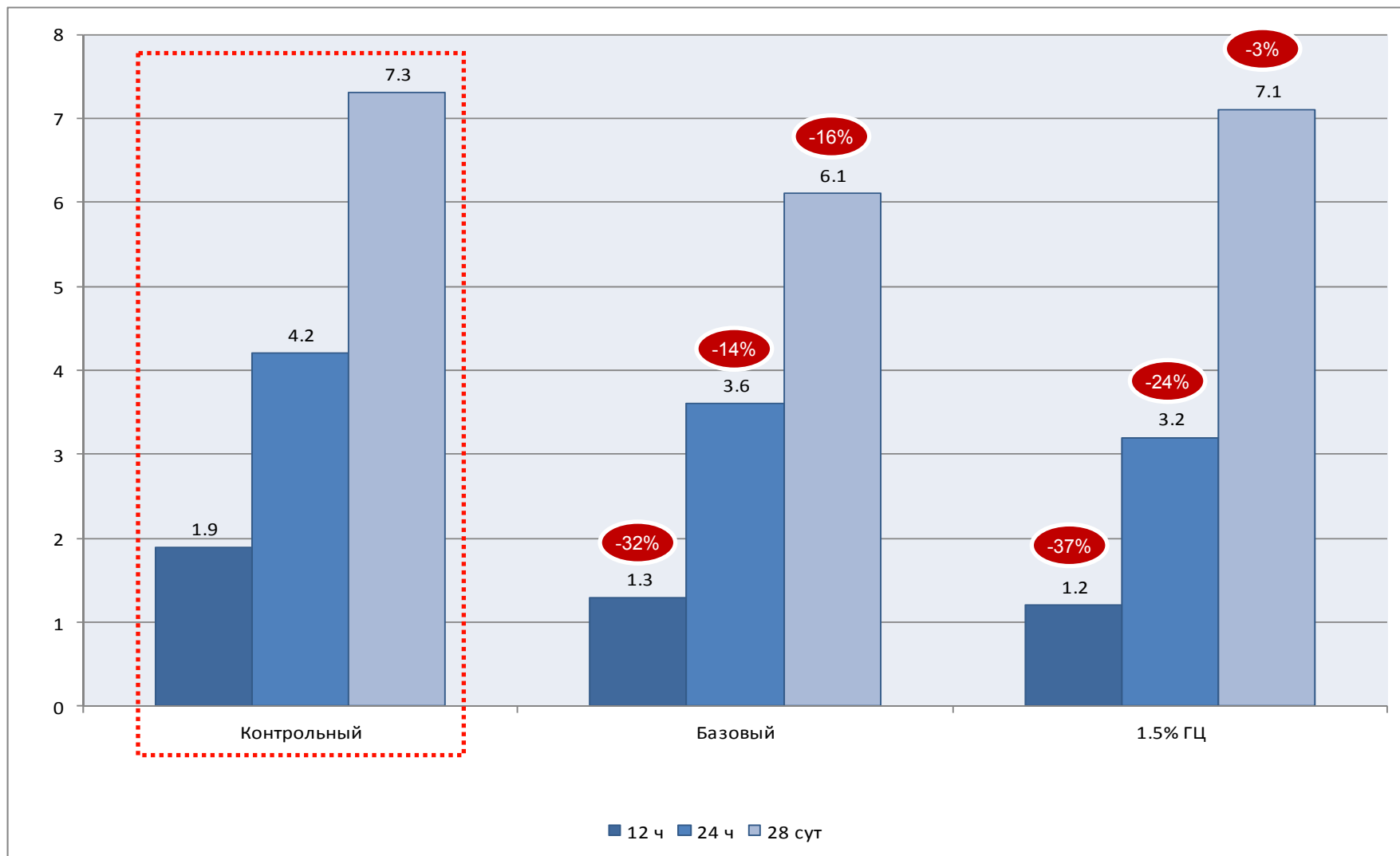
Твердение образцов призм в воздушно-сухих условиях



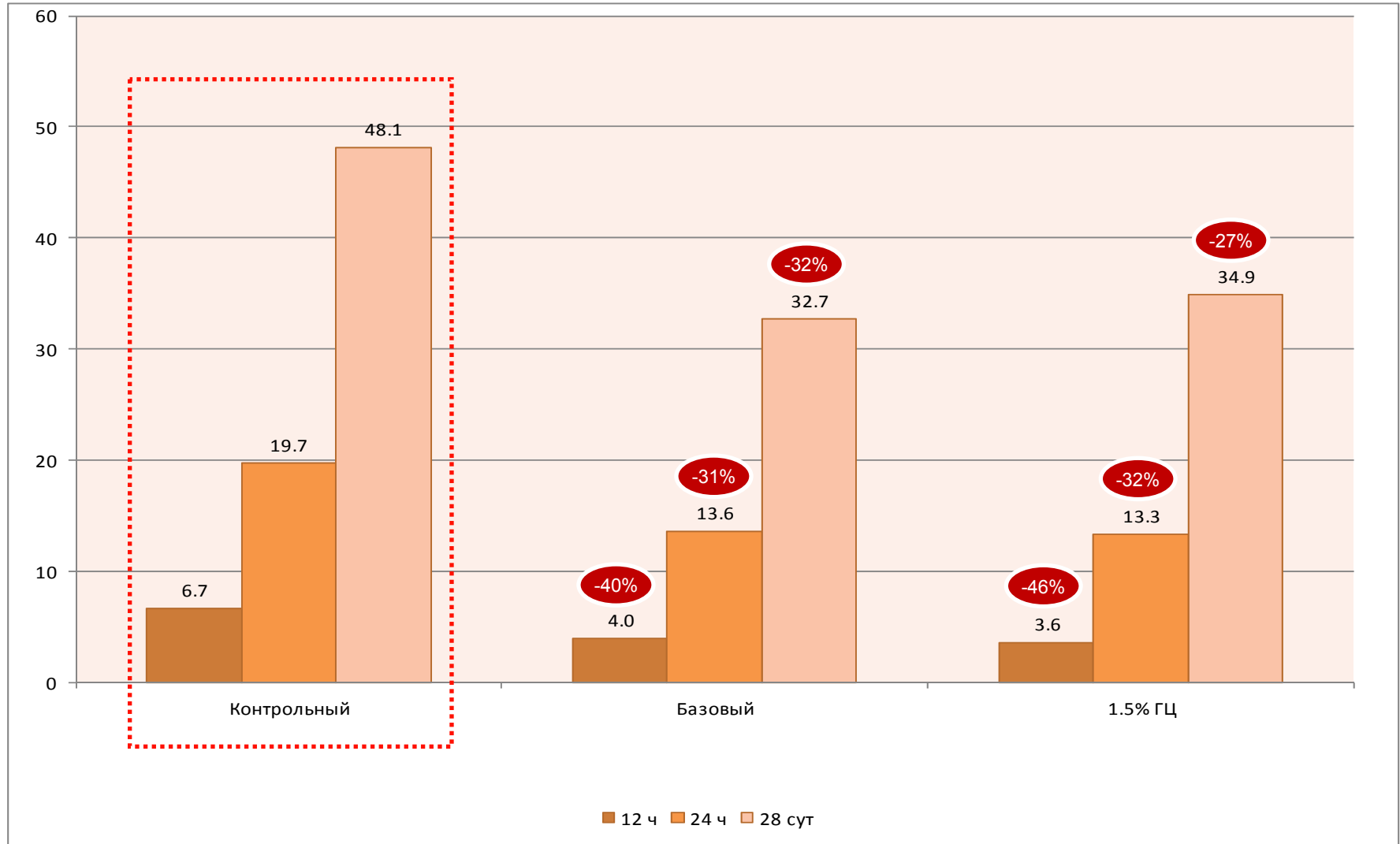
Определение прочности при изгибе и сжатии



Этап I – Результаты определения прочности при изгибе [МПа]



Этап I – Результаты определения прочности при сжатии [МПа]



Выводы по этапу I – Сравнительный анализ базовых составов + результаты введения ГЦ

- Базовый состав с пониженным расходом цемента предсказуемо продемонстрировал более низкие прочностные показатели по сравнению с контрольным
- Сокращение расхода цемента приводит к увеличению В/Ц с 0.52 до 0.65, что отрицательно сказывается на прочностных показателях
- Введение 1.5% ГЦ без активатора твердения Li_2CO_3 отрицательно сказывается на прочностных показателях

Состав химических добавок, выбранных для проведения испытаний

Производитель добавки	Название добавки	Функционал	Вводимая концентрация [% от веса цемента по товарному веществу]	Химическая основа	Цена добавки [руб/т]
White Hills	WH	Пластификатор	0.5	НСФ + ЭПК	24'000
Rhein Chemotechnik	FT 30 LV	Пластификатор	0.5	НСФ + ЭПК	24'000
BASF	Glenium ACE 430	Пластификатор	0.3 и 0.6	ЭПК	125'000
Полипласт	Реламикс Тип 2	Комплексная	2.0	НСФ, тиосульфат и роданит натрия	65'000
Полипласт	Реламикс ПК	Комплексная	1.25	ЭПК, тиосульфат и роданит натрия	60'000
MC Bauchemie	Rapid 675	Ускоритель	2.0	Неорганические соли	32'000
Sika	Rapid 21	Ускоритель	2.0 и 4.0	Неорганические соли	Пилот
	Жидкое стекло	Ускоритель	5.0	Силикат натрия	26'500
BASF	X-Seed 100	Модификатор	0.3	Центры кристаллизации	86'000
Номитек Kemira	ALG	Ускоритель-модификатор	1.0	Сульфат алюминия	5'700
Аэромикс	Аэромикс-М	Модификатор	2.5	Механоактивированный песок, НСФ, метакаолин	20'000

Этап II – Проведение испытаний набора химических добавок

Испытать химические добавки и их комбинации:

- Суперпластификаторы FT 30 LV (0.5%), WH (0.5%) и Glenium ACE 430 (0.3%)
- Ускорители Rapid 675, Реламикс Тип 2 и Реламикс ПК
- Модификатор X-Seed 100

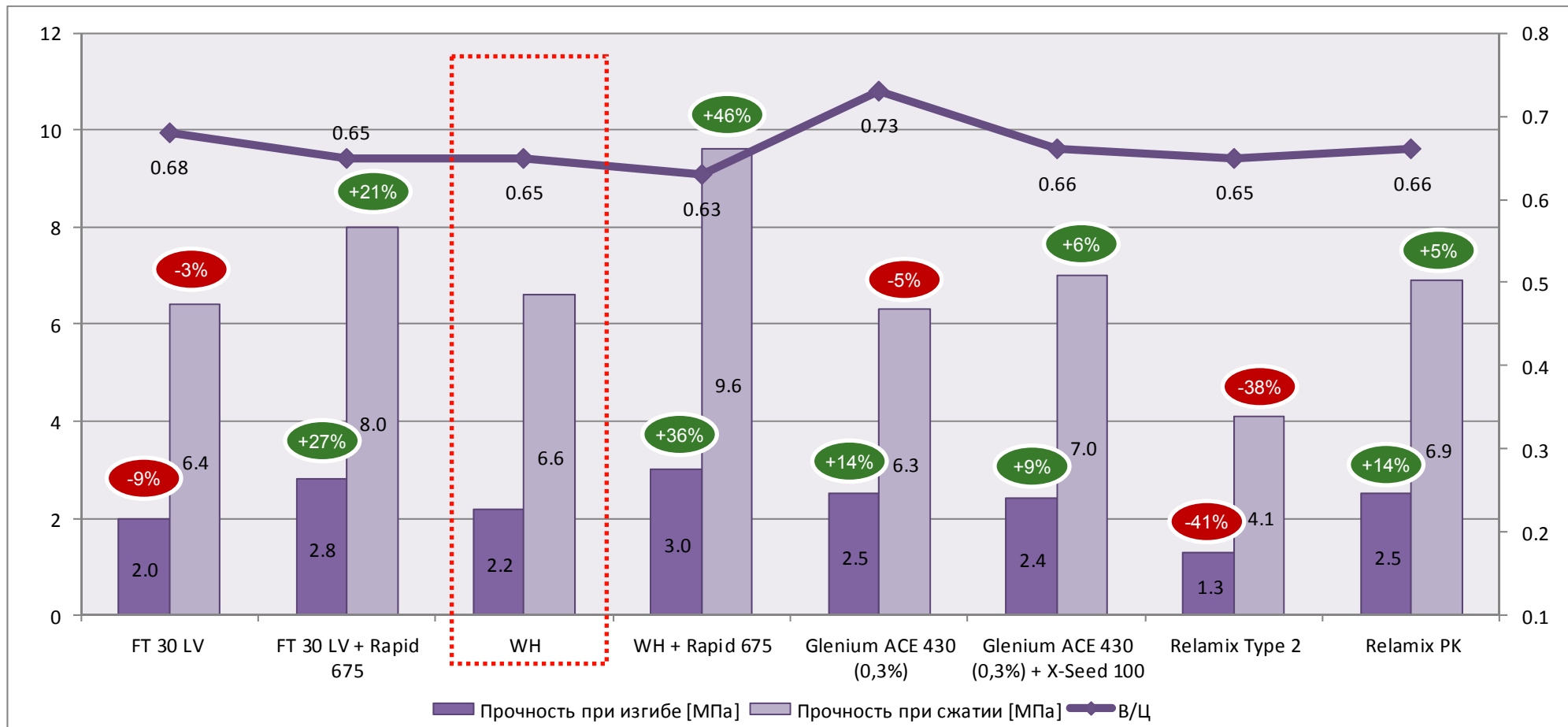
Первая часть испытаний химических добавок проводилась на Песке 1, предоставленном клиентом (используется в производстве)



Этап II – Состав исследуемых растворов [кг/замес]

Добавка	В/Ц	Вода [л]	Белый цемент [кг]	Пигмент [кг]	Химическая добавка [л]	Песок 1 [кг]
FT 30 LV	0.68	34.0	50	3	0.3	216
FT 30 LV + Rapid 675	0.65	32.5	50	3	0.3 + 0.62	216
WH	0.65	32.5	50	3	0.22	216
WH + Rapid 675	0.63	31.5	50	3	0.22 + 0.62	216
Glenium ACE 430	0.73	36.3	50	3	0.14	216
Glenium ACE 430 + X-Seed 100	0.66	32.8	50	3	0.14 + 0.13	216
Реламикс Тип 2	0.65	32.5	50	3	0.82	216
Реламикс ПК	0.66	32.9	50	3	0.53	216

Этап II – Результаты определения прочности при изгибе и сжатии через 12 ч твердения



Выводы по этапу II – Результаты введения химических добавок

- ▶ Суперпластификатор WH немного более эффективен по сравнению с FT 30 LV
- ▶ Введение Rapid 675 в количестве 2% способствует увеличению прочности при изгибе и сжатию на 27% и 21% соответственно на составе с FT 30 LV; на составе с WH прирост прочности составляет 36% и 46% соответственно
- ▶ Glenium ACE 430 в количестве 0.3% демонстрирует результаты, сопоставимые с FT 30 LV
- ▶ Дополнительное введение 0.3% X-Seed приводит к увеличению прочности при сжатию на 6%
- ▶ Реламикс Тип 2 в количестве 2% демонстрирует наихудшие результаты, приводя к снижению прочности в среднем на 40%
- ▶ Реламикс ПК в количестве 1.25% приводит к увеличению прочности при сжатию и изгибе на 14% и 5% соответственно

Этап III – Корректировка и испытание дополнительных химических добавок

Испытать дополнительные потенциальные варианты:

- Увеличить дозировку Glenium ACE 430 с 0.3% до 0.6%
- Испытать ускоритель Rapid 21 с дозировкой 2% и 4%
- Испытать ускоритель ALG
- Испытать модификатор Aeromix-M
- Испытать жидкое стекло

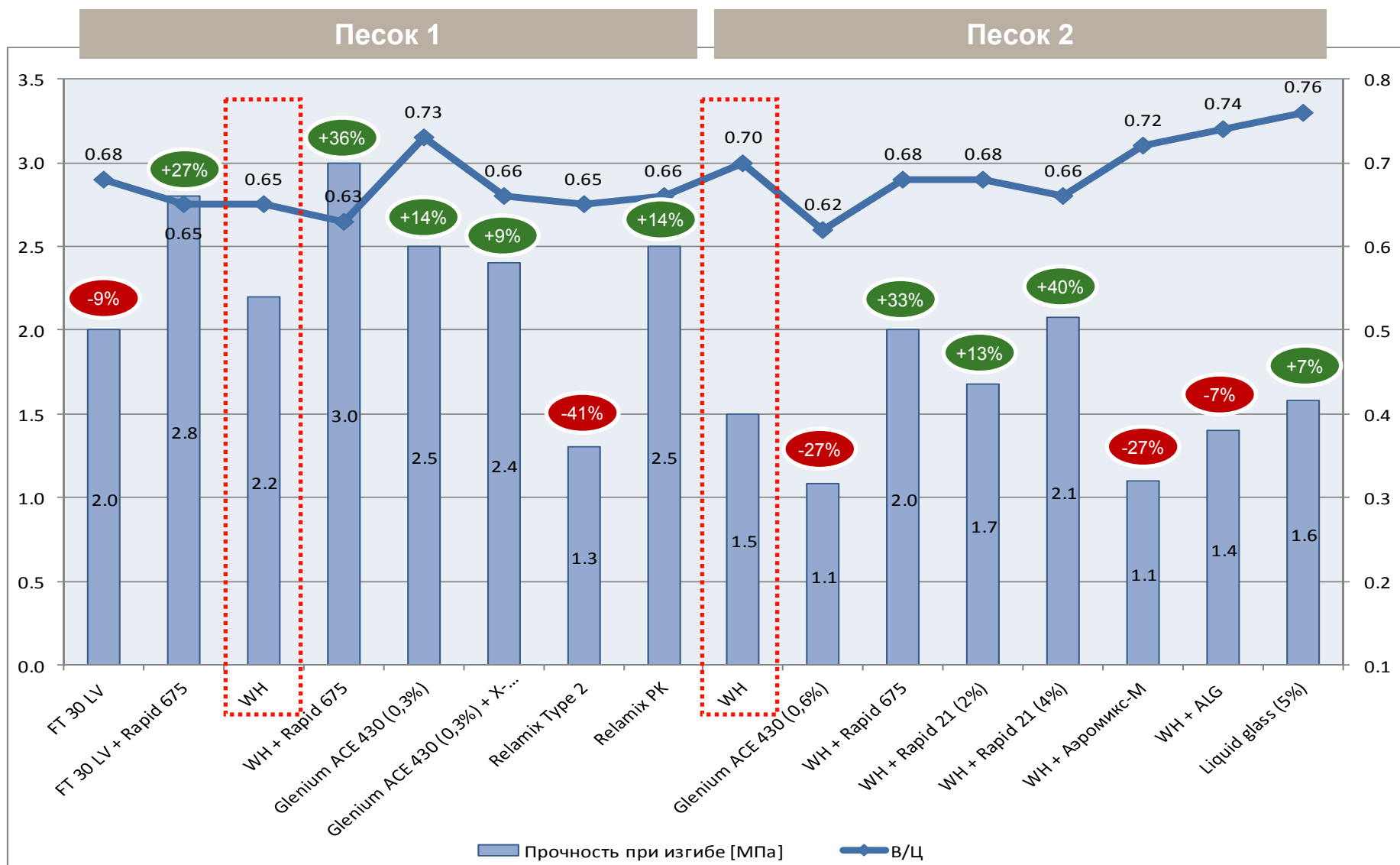
Вторая часть испытаний химических добавок проводилась на Песке 2, обладающем большей водопотребностью (предоставлен клиентом, используется в производстве)



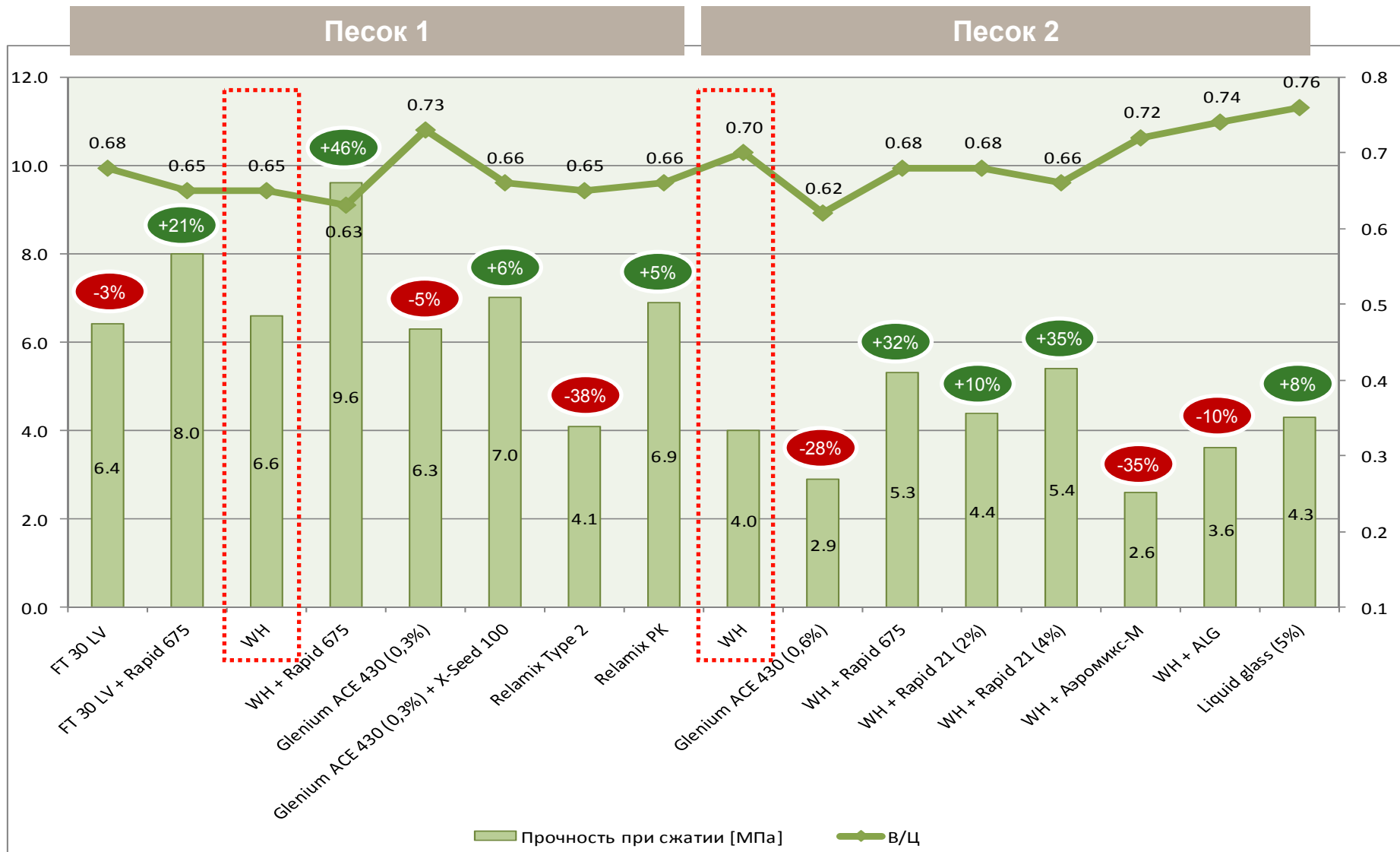
Этап III – Состав исследуемых растворов [кг/замес]

Добавка	В/Ц	Вода [л]	Белый цемент [кг]	Пигмент [кг]	Химическая добавка [л]	Песок 2 [кг]
WH	0.70	35.0	50	3	0.22	216
Glenium ACE 430 (0.6%)	0.62	30.9	50	3	0.3	216
WH + Rapid 675	0.68	34.0	50	3	0.22 + 0.62	216
WH + Rapid 21 (2%)	0.68	34.1	50	3	0.22 + 0.82	216
WH + Rapid 21 (4%)	0.66	33.0	50	3	0.22 + 1.64	216
WH + Aeromix-M	0.72	36.0	50	3	0.22 + 2.5 (сухой)	216
WH + ALG	0.74	37.2	50	3	0.22 + 1.0 (сухой)	216
WH + Жидкое стекло (5%)	0.76	38.1	50	3	0.22 + 1.83	216

Этапы II и III – Результаты испытаний прочности при изгибе через 12 ч твердения



Этапы II и III – Результаты испытаний прочности при сжатии через 12 ч твердения



Выводы по этапу III – Корректировка и испытание дополнительных химических добавок

- ▶ Составы с Rapid 675 продемонстрировали самые лучшие рабочие свойства – прирост прочности при изгибе на 36%, при сжатии – на 46%
- ▶ Rapid 21 демонстрирует сравнимые результаты, но расход добавки слишком большой (4%), что делает раствор неэкономичным
- ▶ Состав Rapid 21 сопоставим по показателям с составом на жидком стекле: прирост прочности при изгибе и сжатии около 10%
- ▶ Составы с Glenium ACE 430 имеют самые низкие результаты – сброс прочности при изгибе и сжатии на 26%, при этом наблюдается сильное водоотделение
- ▶ Aeromix-M приводит к спаду прочности при сжатии на 35%, при изгибе – на 27%, ALG приводит к снижению прочностных показателей на 10% и 7% соответственно

Выводы по работе – Подбор эффективной добавки-ускорителя твердения для раствора на белом цементе

- На основании достигнутых результатов лабораторных испытаний **Rapid 675** (MC Bauchemie) был выбран в качестве наиболее эффективного ускорителя твердения:

- ✓ *Расход добавки 2% от веса цемента*
- ✓ *Прирост прочности в возрасте 12 ч:
изгиб + 45%, сжатие + 35%*
- ✓ *Не влияет на сохраняемость подвижности*
- ✓ *Не влияет на цвет конечного продукта*
- ✓ *Не обладает сильным запахом*
- ✓ *Нет необходимости менять поставщика добавок*



Расчет выгоды, созданной для конечного потребителя

- Годовое потребление белого цемента 6'000 [т]
- Экономия на расходе цемента 80 [кг/м³]
- Сокращение затрат на цемент 495 [руб/м³]
- Расход добавки 7 [кг/м³]
- Затраты на добавку 225 [руб/м³]
- Выгода на 1 м³ бетона 270 [руб/м³]
- Выгода на 1 т цемента 760 [руб/т]
- Годовая выгода 4'560'000 [руб/год]



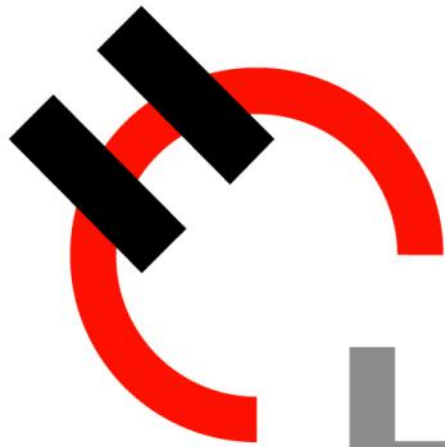
Продолжение проекта Холсим (Рус) СМ по подбору добавок-ускорителей твердения



Комплексная система оценки эффективности (СРТС)



**Спасибо за
внимание!**



Holcim