

## Актуальность задачи

Промышленно-гражданская, транспортная и энергетические инфраструктуры относятся к важнейшему и дорогостоящему стратегическому ресурсу государства.

Актуальной задачей при их строительстве и эксплуатации, под воздействием внешних и внутренних агрессивных факторов, является обеспечение максимального срока службы при минимальных затратах на поддержание в рабочем состоянии.



# Механизм щелочносиликатной реакции (ASR) условия возникновения щелочной коррозии

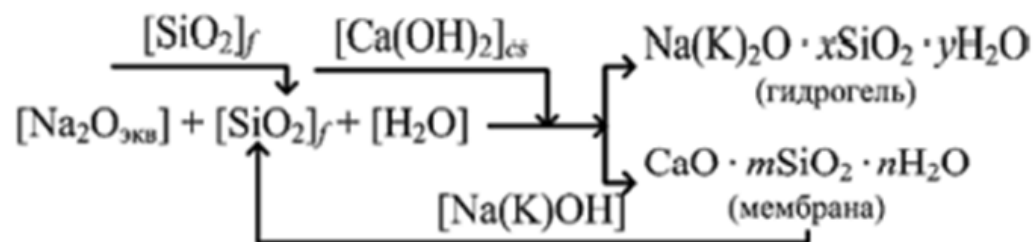


Схема щелочесиликатной реакции

обозначения: «f» – дисперсная фаза; «cs» – цементный камень  
(источник: [Е.В.Королев](#), [А.И.Альбакасов](#), [М.И.Вдовин](#), [А.С.Иноземцев](#))

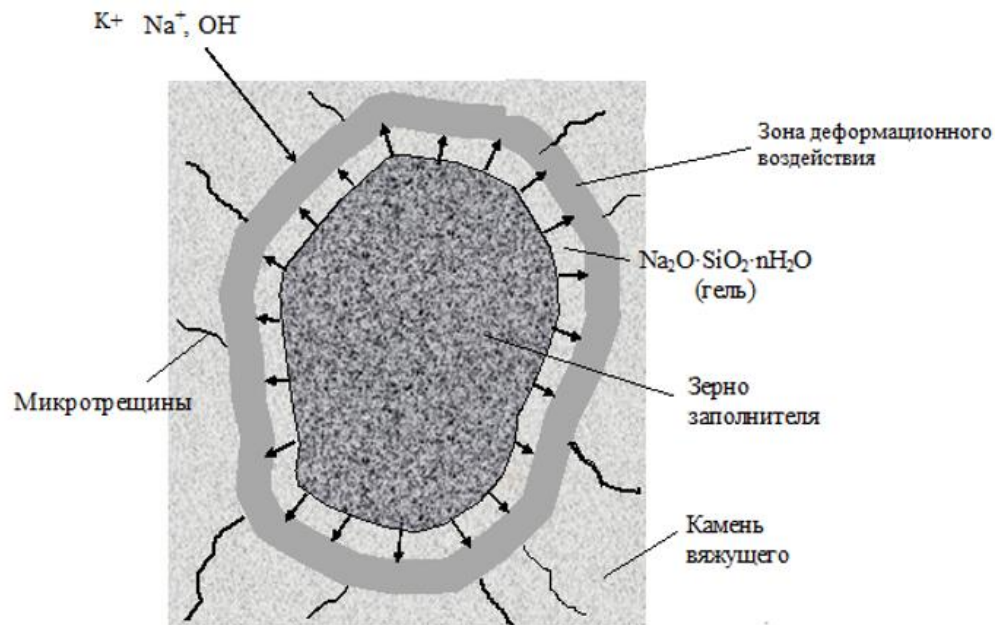


Схема образования геля и микротрещин

Источник компонента	Компонент ЩСР	Образующееся соединение	Результат
Портландцемент; минеральные компоненты; химические добавки; ПАВ; реагенты	→[Na <sub>2</sub> O <sub>экв</sub> ]	→ Na(K) <sub>2</sub> O · xSiO <sub>2</sub> · yH <sub>2</sub> O (+) (гидрогель)	Торможение ЩСР
		→ CaO · mSiO <sub>2</sub> · nH <sub>2</sub> O (+++)	
Минеральные компоненты	→[SiO <sub>2</sub> ] <sub>f</sub>	→ Na(K) <sub>2</sub> O · xSiO <sub>2</sub> · yH <sub>2</sub> O (++) (гидрогель)	Щелочная коррозия
Вода затворения; гигроскопическая влага; фильтрат	→[H <sub>2</sub> O]	→ CaO · mSiO <sub>2</sub> · nH <sub>2</sub> O (++) (мембрана)	
Портландцемент	→[Ca(OH) <sub>2</sub> ] <sub>cs</sub>	→ Na(K) <sub>2</sub> O · xSiO <sub>2</sub> · yH <sub>2</sub> O (+++) (гидрогель)	Выделение гидрогеля
		→ CaO · mSiO <sub>2</sub> · nH <sub>2</sub> O (+)	

## Сценарии развития щелчносиликатных реакций

обозначения: «+++» – большая концентрация соединения; «++» – средняя концентрация соединения; «+» – низкая концентрация соединения

(источник: [Е.В.Королев](#), [А.И.Альбакасов](#), [М.И.Вдовин](#), [А.С.Иноземцев](#))

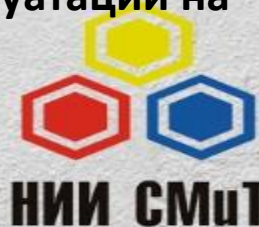
## Способы защиты

1. Совершенствование методик и критериев, позволяющих адекватно прогнозировать риски развития щелочной коррозии в бетонах и оценивать поведение заполнителей.
2. Применение специальных полифункциональных химических добавок обладающих несколькими эффектами основного действия.
3. Применение специальных химических добавок совместно с минеральными добавками.

### Предложения «Научно-исследовательского института Современных материалов и технологий»

#### **ПФМ-21**

повышение долговечности бетона - снижение риска развития щелочной коррозии (при обеспечении прочих характеристик долговечности) и, соответственно, уменьшение издержек при эксплуатации на ремонтные и восстановительные работы



**1. Совершенствование методик и критериев, позволяющих адекватно прогнозировать риски развития щелочной коррозии в бетонах и оценивать поведение заполнителей:**

**Проблема дефицита качественных заполнителей**

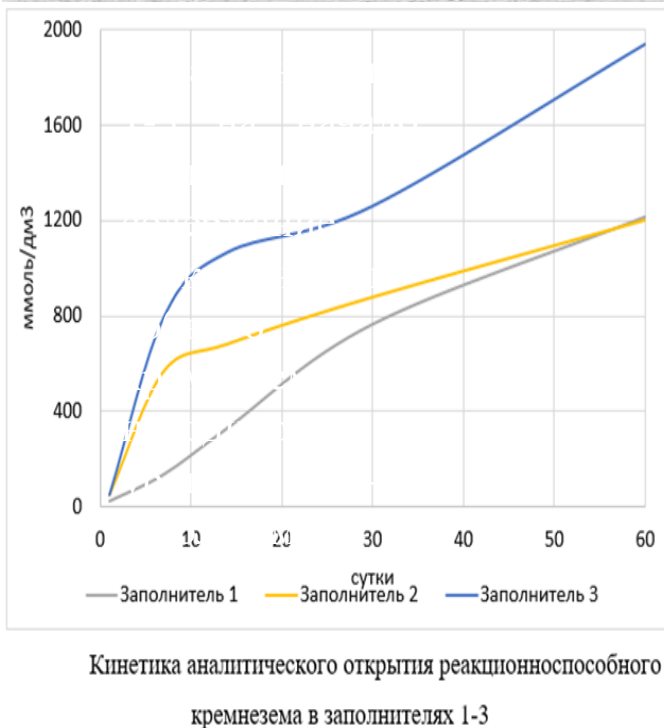
**Результаты химического анализа некоторых песков применяемых в различных регионах РФ в настоящее время для строительных работ (пески, прошедшие через Испытательный центр «НИИ СМиТ»)**

Регион	Содержание аморфных разновидностей диоксида кремния, растворимого в щелочах, ммоль/л	Содержание растворимого кремнезема, ммоль/л	
		Получено при испытании	Требования по ГОСТ
Татарстан, г. Казань	45,6-249,1	135,0	50,0
Удмуртия, г.Ижевск	131	137,0	-«-
Пермская область, г.Пермь	26,8-120,7	112,0	-«-
Ивановская область, Фурмановский район	14,6	139,0	-«-
Камчатка	121-250	158,0	-«-
Челябинская область	29,6	207,0	-«-
Башкортостан, Абзелиловский район	43,9	159,0	-«-
Башкортостан, г. Уфа	114,3	152,0	-«-
Башкортостан, Дюртюлинский район	166,6-217	119,0	-«-
Чеченская республика	34,8-121,6	129,0	-«-
Тульская область	11-64	143,0	-«-
		197,0	-«-
		183,0	-«-
		120,0	-«-
		179,0	-«-
		229,0	-«-
		191,4	-«-
		254,0	-«-
		254,0	-«-

## Проблема необъективности оценки качества заполнителей, с точки зрения риска развития деформаций расширения

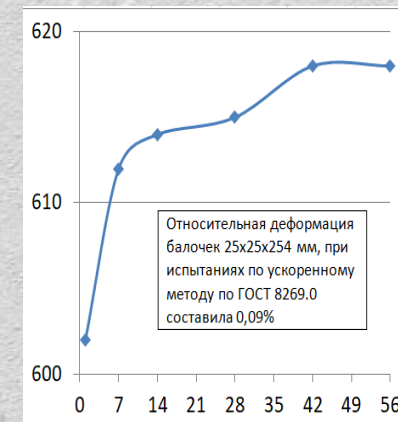
Песок	Содержание реакционноспособного кремнезема, определенное химическим методом, ммоль/дм <sup>3</sup>	Относительные деформации по ускоренному методу ГОСТ 8269.0, %
<b>Пески с содержанием реакционноспособного кремнезема до 50 ммоль/л</b>		
I	39	0,10
II	42	0,04
III	45	0,02
IV	48	0,18
<b>Пески с содержанием реакционноспособного кремнезема 50-100 ммоль/л</b>		
V	58	0,20
VI	72	0,03
VII	96	0,42
<b>Пески с содержанием реакционноспособного кремнезема 100-150 ммоль/л</b>		
VIII	122	0,10
IX	120	0,22
X	146	0,50
<b>Пески с содержанием реакционноспособного кремнезема более 150 ммоль/л</b>		
XI	236	0,80
XII	250	0,61
XIII	252	0,20
XIV	602	0,09

Многokратно показано, что мелкие заполнители, отвечающие критерию 50 ммоль/дм<sup>3</sup> по содержанию реакционноспособного кремнезема, при испытаниях на реакционную способность с измерением деформаций (ГОСТ 8269.0) показывают отрицательные результаты и наоборот, заполнители в которых этот параметр превышал установленную норму проходят испытания с положительным результатом.



Испытания на реакционную способность ускоренным методом с измерением деформаций (п. 4.22.3 ГОСТ 8269.0)

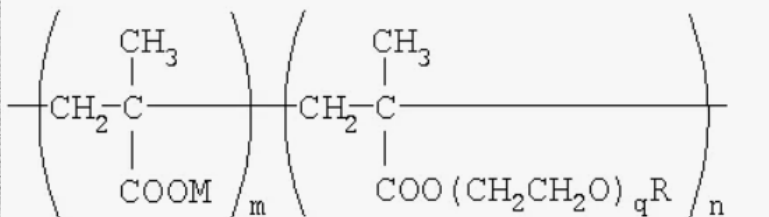
Измеряемый показатель по ГОСТ 8269.0	Заполнитель		
	1	2	3
Величина деформации расширения образца, %	0,045	0,072	0,156



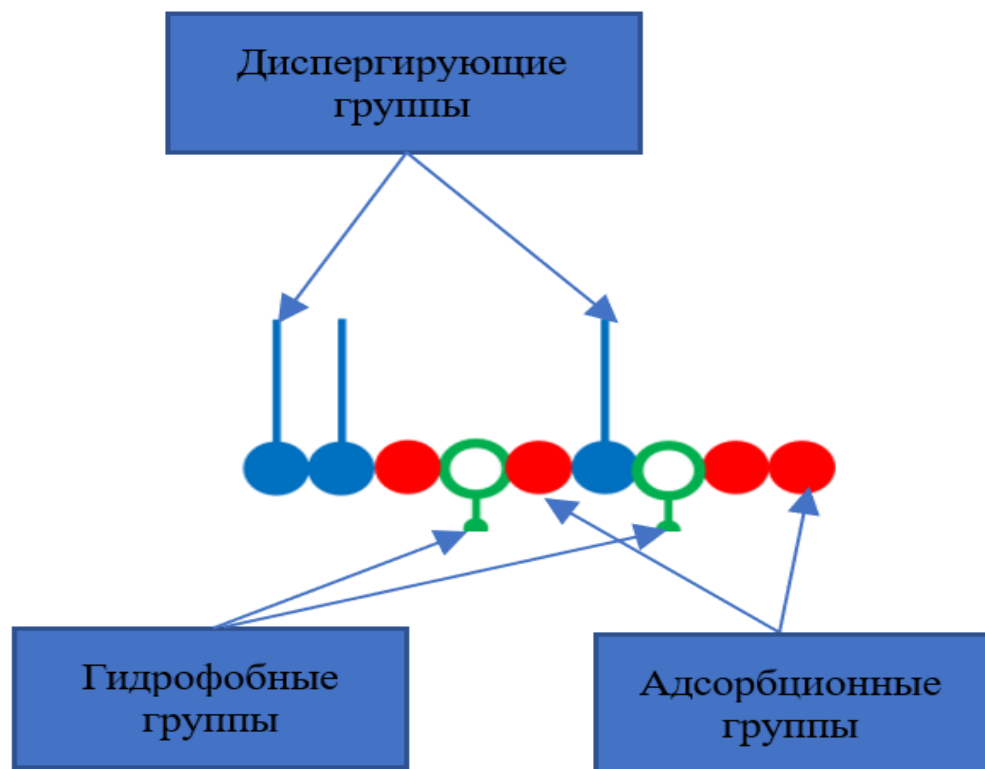
## 2. Применение специальных полифункциональных химических добавок обладающих несколькими эффектами основного действия:

### Новое направление развития полимерных суперпластификаторов - амфифильные поликарбоксилатные эфиры – ПФМ-21

Стандартный поликарбоксилатный эфир

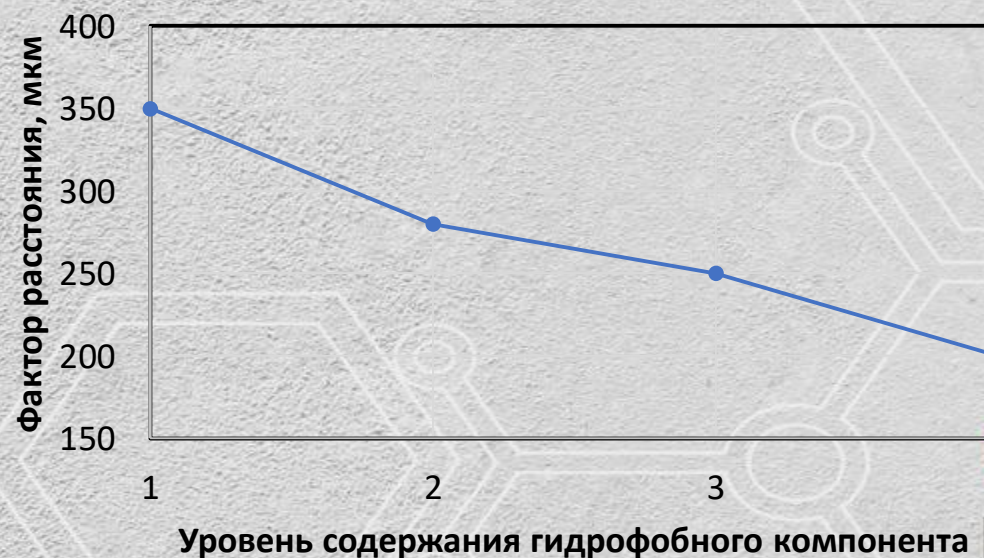


Амфифильный поликарбоксилатный эфир



Достоинство амфифильных суперпластификаторов:

- отсутствие «вредных» щелочей;
- наличие гидрофобных фрагментов;
- отсутствие конкурентного взаимодействия между пластификатором и воздухововлекающей добавкой, а также возможность прогнозируемо формировать поровую структуру бетона



НИИ СМчТ

## Технические эффекты и классификация ПФМ-21

№	Показатели качества при испытаниях в оптимальной дозировке	Норма				Методы испытаний
		в форме водного раствора		в форме порошка		
		Тип 1	Тип 2	Тип 1	Тип 2	
1	Повышение марки бетонной смеси по удобоукладываемости	с П1 до П5				п. 6.8 настоящих ТУ
2	Сохраняемость подвижности бетонной смеси, часов	Не менее 3				п. 6.9 настоящих ТУ
3	Уменьшение количества воды затворения, %	Более 20				п. 6.10 настоящих ТУ
4	Повышение объема воздуха в бетонной смеси, %	На 2-5				п. 6.11 настоящих ТУ
5	Повышение марки бетона по водонепроницаемости, марок	Не менее 3				п. 6.12 настоящих ТУ
6	Повышение морозостойкости бетона, марок	Не менее 3				п. 6.13 настоящих ТУ
7	Снижение деформаций расширения в сульфатсодержащих средах, $K_{\text{сульф}}$ , %	Не менее 30	-	Не менее 30	-	п. 6.14 настоящих ТУ
8	Снижение деформаций расширения при использовании заполнителя с содержанием растворимого кремнезема 50-250 ммоль/л, $K_{\text{щелоч}}$ %	-	Не менее 30	-	Не менее 30	п. 6.15 настоящих ТУ

					<b>ТУ 20.59.59-139-58042865-2021</b>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		4

## 2. Применение специальных полифункциональных химических добавок обладающих несколькими эффектами основного действия

Добавка - Поликарбоксилат					Добавка - ПФМ 21						
№ образ-ца	Длина образца, мм				№ образ-ца	Длина образца, мм					
	Вода 80°C	8 изм.	9 изм.	10 изм.		11 изм.	Вода 80°C	8 изм.	9 изм.	10 изм.	11 изм.
Средн. знач.	268,45	268,64	268,65	268,69	268,69	Средн. знач.	267,37	267,47	267,48	267,49	267,49
Относительная деформация, %	0,077	0,079	0,094	<b>0,096 (0,1)</b>	Относительная деформация, %	0,042	0,046	0,049	<b>0,049</b>		

## 3. Применение специальных химических добавок совместно с минеральными добавками

Добавка - Поликарбоксилат + МК (10% взамен цемента)					Добавка - ПФМ 21 + МК (10 % взамен цемента)						
№ образ-ца	Длина образца, мм				№ образ-ца	Длина образца, мм					
	Вода 80°C	8 изм.	9 изм.	10 изм.		11 изм.	Вода 80°C	8 изм.	9 изм.	10 изм.	11 изм.
Средн. знач.	266,46	266,57	266,59	266,65	266,67	Средн. знач.	267,5	267,56	267,56	267,57	267,57
Относительная деформация, %	0,043	0,05	0,075	<b>0,083</b>	Относительная деформация, %	0,025	0,026	0,028	<b>0,029</b>		



#### 4. Дополнительные возможности ПФМ 21 – повышение группы сульфатостойкости

Группа сульфатостойкости по ГОСТ Р 5687-2015 п. 8.4

Относительная деформация, %	Группа сульфатостойкости цемента	Оценка
> 0,10 за 6 мес	I	Несульфатостойкий
≤ 0,10 за 6 мес	II	Умеренно сульфатостойкий
≤ 0,05 за 6 мес	III	Сульфатостойкий

Состав смесей для сравнительных испытаний по определению сульфатостойкости

Состав №3	Состав №5 (контрольный)
ЦЕМ I 42,5Н	ЦЕМ I 42,5Н
ООО «Хайдельбергцемент»	ООО «Хайдельбергцемент»
монофракционный песок по ГОСТ 6139-2020	монофракционный песок по ГОСТ 6139-2020
Добавка ПФМ-21	Добавка ПК стандартный

Результаты испытаний на сульфатостойкость состава №3 (ПФМ-21) – умеренно сульфатостойкий

Продолжительность испытаний	7 сут.	14 сут.	1 мес.	2 мес.	3 мес.	4 мес.	5 мес.
Средняя относительная деформация, %	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07

Продолжительность испытаний	6 мес.	7 мес.	8 мес.	9 мес.	10 мес.	11 мес.	12 мес.
Средняя относительная деформация, %	0,08	0,09	0,10	0,11	0,11	0,12	0,12

Результаты испытаний на сульфатостойкость состава №5 (ПК стандартный) несульфатостойкий

Продолжительность испытаний	7 сут.	14 сут.	1 мес.	2 мес.	3 мес.	4 мес.	5 мес.
Средняя относительная деформация, %	0,03	0,05	0,07	0,09	0,10	0,12	0,14

⊕

Продолжительность испытаний	6 мес.	7 мес.	8 мес.	9 мес.	10 мес.	11 мес.	12 мес.
Средняя относительная деформация, %	0,15	0,16	0,17	0,18	0,19	0,19	0,19

Группа сульфатостойкости по ГОСТ Р 5687-2015 п. 8.4

Относительная деформация, %	Группа сульфатостойкости цемента	Оценка
> 0,10 за 6 мес	I	Несульфатостойкий
≤ 0,10 за 6 мес	II	Умеренно сульфатостойкий
≤ 0,05 за 6 мес	III	Сульфатостойкий

Состав смесей для испытаний по определению сульфатостойкости

Состав №4 (контрольный)	Состав №6
ЦЕМ I 42,5Н СС АО «Мордовцемент»	ЦЕМ I 42,5Н СС АО «Мордовцемент»
монофракционный песок по ГОСТ 6139-2020	монофракционный песок по ГОСТ 6139-2020
Добавка ПК стандартный	Добавка ПФМ-21

Результаты испытаний на сульфатостойкость состава №4 (ПК стандартный)

умеренно сульфатостойкий

Продолжительность испытаний	7 сут.	14 сут.	1 мес.	2 мес.	3 мес.	4 мес.	5 мес.
Средняя относительная деформация, %	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07

Продолжительность испытаний	6 мес.	7 мес.	8 мес.	9 мес.	10 мес.	11 мес.	12 мес.
Средняя относительная деформация, %	0,07	0,09	0,10	0,11	0,11	0,12	0,12

Результаты испытаний на сульфатостойкость состава №6 (ПФМ-21)

сульфатостойкий

Продолжительность испытаний	7 сут.	14 сут.	1 мес.	2 мес.	3 мес.	4 мес.	5 мес.
Средняя относительная деформация, %	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02

Продолжительность испытаний	6 мес.	7 мес.	8 мес.	9 мес.	10 мес.	11 мес.	12 мес.
Средняя относительная деформация, %	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02

## Преимущества и достоинства ПФМ 21

- **Сохранение удобоукладываемости бетонной смеси до 3-8 часов.**
- **Позволяет снижать расход цемента при сохранении высоких показателей по прочности, морозостойкости, водонепроницаемости.**
- **Снижает риск развития щелочной коррозии.**
- **Позволяет повышать группу по сульфатостойкости.**
- **Способствует снижению издержек при эксплуатации на ремонтные и восстановительные работы.**

**СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!**

