



Укрепление грунтов комплексными минеральными вяжущими

Анна Ружицкая

Менеджер по продуктам, цементные материалы
LafargeHolcim (Russia)

+7 964 787 72 68

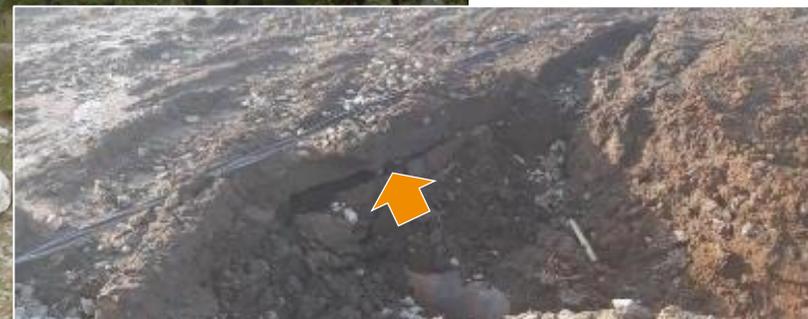
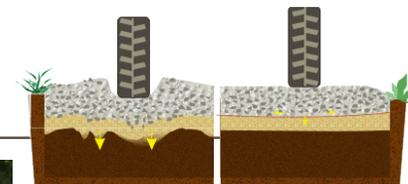
Anna.Ruzhitskaya@lafargeholcim.com



LafargeHolcim

Технология плоскостного укрепления грунта

Повышение несущей способности слоя грунта



Укрепленный слой грунта превращается в «грунтобетонную плиту» и максимально эффективно перераспределяет нагрузку

Технология вертикального укрепления грунта

Создание свайного поля / стен в грунте



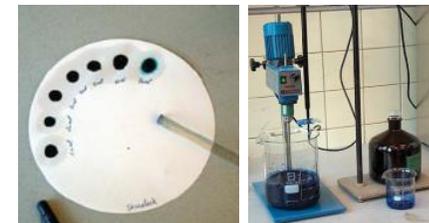
Перемешанный с вяжущим грунт формирует колонны / сваи на заданную глубину (свойства зависят от технологии)

Классификация связных грунтов

Содержание вредных примесей и органических соединений, pH

Емкость катионного обмена (по ГОСТ 21283-93 или EN 933-9)

Определение активности глинистых минералов и органических примесей и потенциала негативного воздействия на гидравлические вяжущие



Органика (по ГОСТ 33063–2014)

Разделение грунтов на органические и минеральные определяется содержанием органических соединений, определяемое сжиганием

Менее 3%

Минеральный грунт

3-50%

Органо-минеральный грунт

Более 50%

Торф

Примесные соединения

Основными соединениями, содержание которых регламентируется и действуют негативно на гидравлическую активность / долговечность вяжущих:

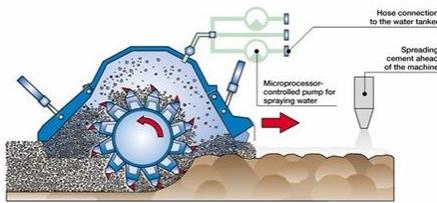
- Гипс
- Прочие легкорастворимые соли сульфатов
- Хлориды

Водородный показатель - pH (по ГОСТ 27753.3–88)

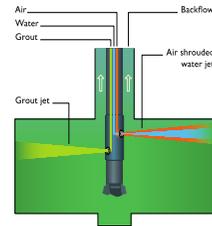
Показатель кислотности / щелочности грунта определяет необходимость дополнительного подщелачивания грунта для обеспечения протекания процессов гидратации портландцементной составляющей и/или использования минеральных компонентов кислой природы обладающие пуццолановой

Специальные продукты для технологий укрепления грунта

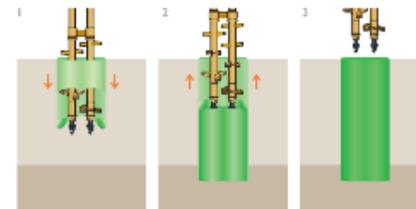
Плоскостное укрепление
грунта и холодная
регенерация



Струйная цементация
(Jet-grouting)



Глубинное
перемешивание (DSM)



Обеззараживание
грунтов



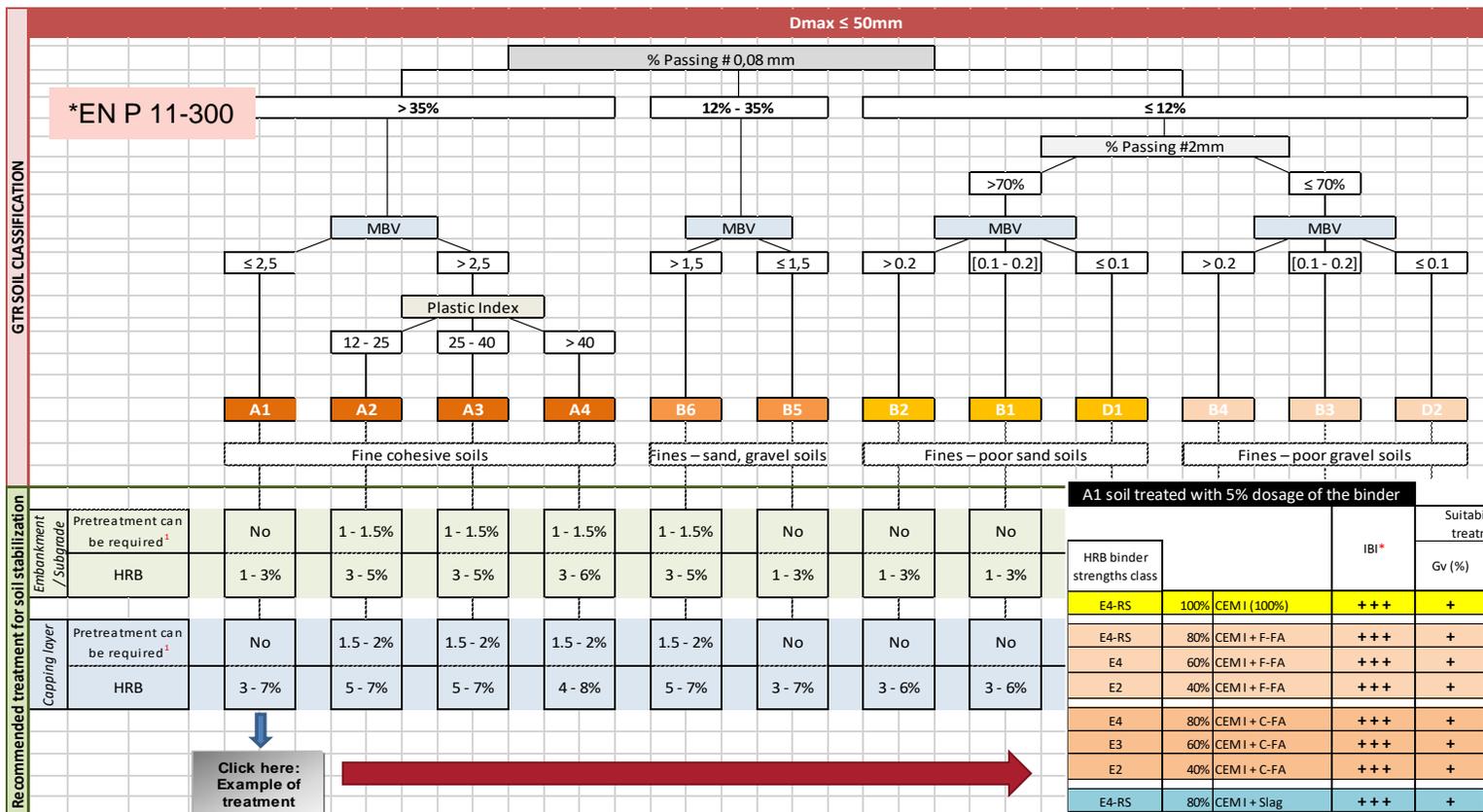
Страна	Минеральные продукты
Франция	ROLAC
Австрия	HRB
Румыния	Roadmix DOROPORT, DOROSOL
Германия	Lafarge SOL HRB



**INNERCEM
HRB**

Подход к выбору материалов для стабилизации и укрепления грунта

EN 13282-1 Hydraulic road binders– Part 1: Rapid hardening hydraulic road binders
 EN 13282-2 Hydraulic road binders– Part 2: Normal hardening hydraulic road binders



****LH LCR**

A1 soil treated with 5% dosage of the binder

HRB binder strengths class	IBI*	Suitability for treatment*		Trafficability*				Moisture resistance*
		Gv (%)	ITS (MPa)	Rc2	Rc7	Rc28	Rc60	Rci/Rc60
E4-RS 100% CEM I (100%)	+++	+	+	+	++	+	+	+
E4-RS 80% CEM I + F-FA	+++	+	+	=	=	+	+	+
E4 60% CEM I + F-FA	+++	+	+	-	=	+	+	+
E2 40% CEM I + F-FA	+++	+	=	-	-	=	=	+
E4 80% CEM I + C-FA	+++	+	+	=	+	+	+	+
E3 60% CEM I + C-FA	+++	+	+	=	=	+	+	+
E2 40% CEM I + C-FA	+++	+	+	-	=	+	+	+
E4-RS 80% CEM I + Slag	+++	+	+	=	+	+	+	+
E4-RS 60% CEM I + Slag	+++	+	+	=	=	+	+	+
E4 40% CEM I + Slag	+++	+	+	-	=	+	+	+
E3 60% CEM I + Pozzolan Luk	unmeasured	+	+	=	=	+	+	+
E4-RS 60% CEM I + Pozzolan Rad	unmeasured	+	+	=	unmeasured	+	+	+
E3 60% CEM I + Limestone	unmeasured	+	+	=	=	+	+	+

EN 13282-1 и EN 13282-2

Hydraulic road binders

	EN 13282-1 быстрого твердения	EN 13282-2 нормального твердения	
Основные компоненты	Клинкер (K), шлак (S), натуральная пуццолана (P) и обожжённая (Q), золы-уноса (V & W with LOI ≤ 9%), обожжённый сланец (T) и известняковая мука (L & LL) в соответствии с EN 197-1		
	Известь CL-S и NHL согласно EN 459-1	Известь CL-S и NHL согласно EN 459-1; золы (Va), кальцинированные золы (Wa), BOF шлак (Sb)	
Количество клинкера	≥ 20%	Нет требований	
Другие	-	Sb < 40%	
Вспомогательные компоненты	≤ 10% по массе		
	-	Должно иметь > 5%	
Сульфат кальция	Гипс, полугидрат, природный ангидрит		
Добавки	≤ 1% сухой массы (или состав + процесс должны быть отмечены > 1%)		
Характеристики	Остаток на сите 90 μm	≤ 15%	
	Сроки схватывания	E ≥ 90 мин; RS (быстрый процесс) ≤ 90 мин	≥ 150 мин
	РИО	E ≤ 10 мм; RS ≤ 30 мм	≤ 30 мм
	CS 7d	E2 ≥ 5 МПа; E3 ≥ 10 МПа; E4 and E4-RS ≥ 16 МПа	Нет требований
	CS 28d	12.5 ≤ E2 ≤ 32.5 МПа; 22.5 ≤ E3 ≤ 42.5 МПа; 32.5 ≤ E4 ≤ 52.5 МПа и E4-RS ≥ 32.5 МПа	Нет требований
	CS 56d	Нет требований	5 ≤ N1 ≤ 22.5 МПа; 12.5 ≤ N2 ≤ 32.5 МПа; 22.5 ≤ N3 ≤ 42.5 МПа и 32.5 ≤ N4 ≤ 52.5 МПа
	Содержание SO ₃	≤ 4% ; если SO ₃ > 4% → тест стабильности EN 459-2	

Нормативно-техническая база

Требуется актуализация существующей базы и разработка новой НТД

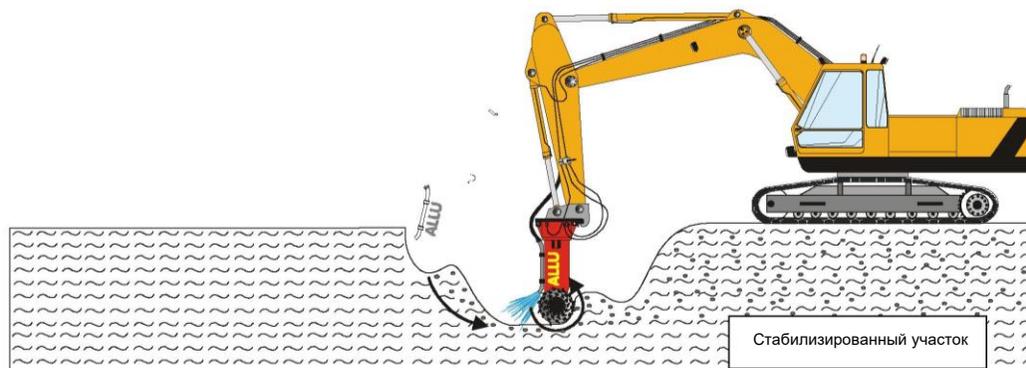
- ОДМ 218.1.004-2011 «Классификация стабилизаторов грунтов в дорожном строительстве»
- **ГОСТ Р 55224-2012** «Цементы для транспортного строительства. Технические условия»
- ОДМ 218.3.076-2016 «Методические рекомендации по подбору стабилизаторов грунтов и грунтовых смесей для дорожного строительства»
- **ГОСТ 30491-2012** «Смеси органоминеральные и грунты, укрепленные органическими вяжущими, для дорожного и аэродромного строительства. Технические условия»
- **ГОСТ 23558-94** «Смеси щебеночно-гравийно-песчаные и грунты, обработанные неорганическими вяжущими материалами, для дорожного и аэродромного строительства. Технические условия»
- СТО НОСТРОЙ 2.25.30-2011 «Строительство оснований из укрепленных грунтов»
- СТО 26233397 МОСАВТОДОР.1.1.1.01-2013 «Правила по строительству оснований и покрытий дорожных одежд местных (сельских) автомобильных дорог Московской области с использованием укрепленных грунтов»
- ОДМ 218.2.017-2011 Методические рекомендации «Проектирование, строительство и эксплуатация дорог с низкой интенсивностью движения»
- ОДМ 218.5.007-2016 «Методические рекомендации по определению модуля упругости статическим штампом»

- ПНСТ «Дороги автомобильные общего пользования. Грунты, стабилизированные неорганическими вяжущими. Технические условия»
- ПНСТ «Дороги автомобильные общего пользования. Метод определения Калифорнийского числа (СВР) для оценки несущей способности грунта»
- ПНСТ «Дороги автомобильные общего пользования. Грунты. Определение оптимальной влажности и максимальной плотности методом Проктора»
- **Разработка ГОСТ Р «Комплексные минеральные вяжущие для укрепления грунтов»**

СТО СРО 083-029EN-2011 EuroSoilStab и ОДМ 218.2.063–2015

«Рекомендации по применению технологии глубинного смешивания для укрепления слабых грунтов оснований земляного полотна»

прочность при
неограниченном сжатии по
истечении 28 дней
выдержки



Вязущий материал	Ил	Глина	Органо-минеральные грунты, например, сапропель, органическая глина	Торф
	Содержание органических веществ 0-2%	Содержание органических веществ 0-2%	Содержание органических веществ 2-30%	Содержание органических веществ 30-100%
Цемент	xx	x	x	xx
Цемент + гипс	x	x	xx	xx
Цемент + шлак	xx	xx	xx	xxx
Известь + цемент	xx	xx	x	-
Известь + гипс	xx	xx	xx	-
Известь + шлак	x	x	x	-
Известь + гипс + шлак	xx	xx	xx	-
Известь + гипс + цемент	xx	xx	xx	-
Известь	-	xx	-	-

xxx очень хороший вяжущий материал для большинства видов применения
 xx хороший для большинства видов применения
 x хороший для некоторых областей применения
 - применение не допускается

Свойства минеральных компонентов

Компонент	Химический состав, %										Минералогический состав	Суд, см ² /г
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	Fe ₂ O ₃	MgO	SO ₃	Na ₂ O	K ₂ O	Cl	ППП		
Портландцемент	21.1	4.8	59.3	2.9	4.1	2.8	0.14	0.57	0.01	1.5	Клинкерные минералы + МИК	3900
Негашеная известь	1.12	0.12	92.6	0.21	0.64	0.14	0.06	0.03	н/о	5.7	СаОсв - подавляющее кол-во	4500
Зола уноса (К)	47.3	33.5	4.1	8.9	0.6	0.08	0.17	0.6	0.007	3.7	Стекло (Al-Si) - 95%	2700
ДГШ (К)	38.26	9.73	35.77	0.77	11.5	1.1	0.25	0.45	0.04	0.0	Стекло (Ca-Mg-Al-Si) - 95-96%	гранулированный
Золо-шлаковая смесь	48.2	33.8	3.2	9.6	0.6	0.00	0.19	0.69	н/о	2.25	Муллит - 26%, стекло - 56.5%	1800
Пыль-уноса	7.6	2.9	46.9	1.7	2.0	0.2	0.07	0.29	0.20	38.5	СаОсв - 4%, кальцит - 25%, стекло	7400

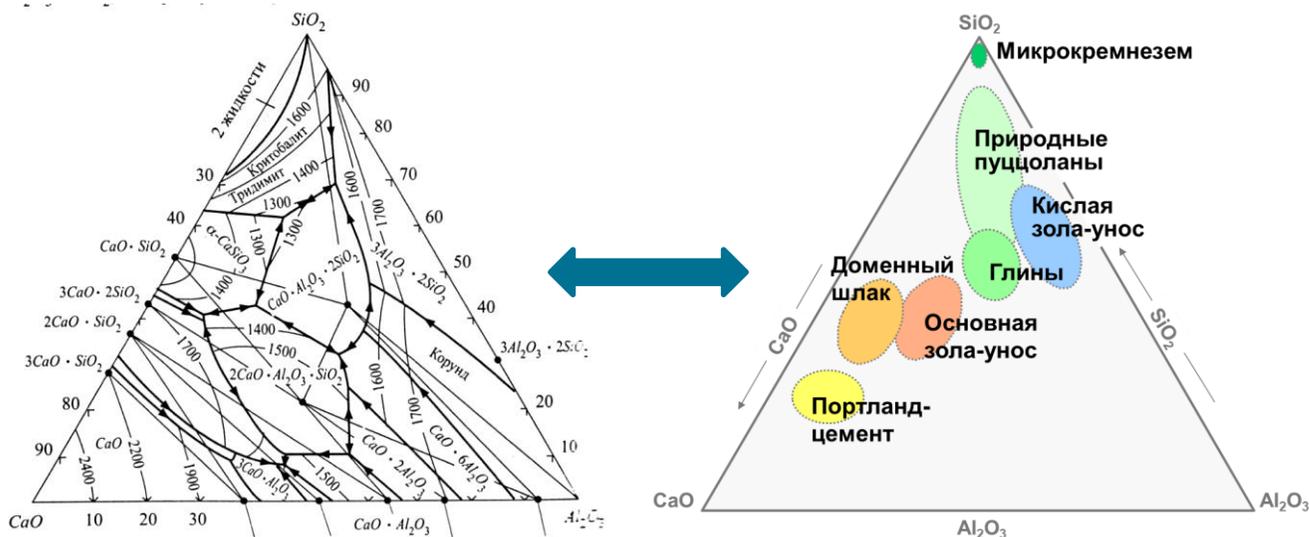


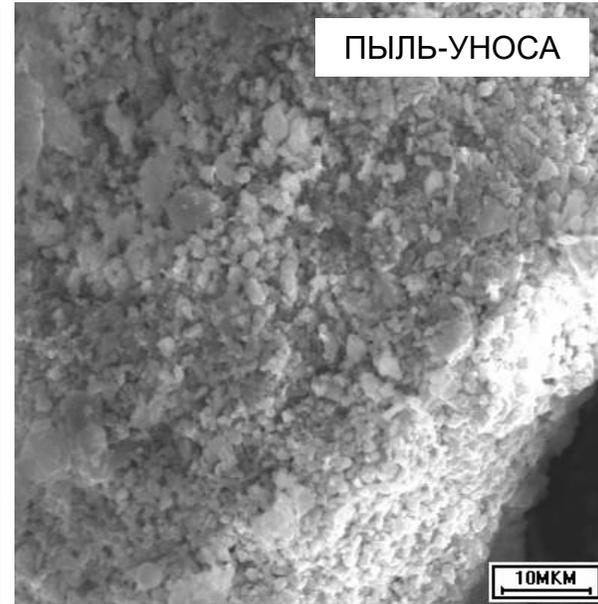
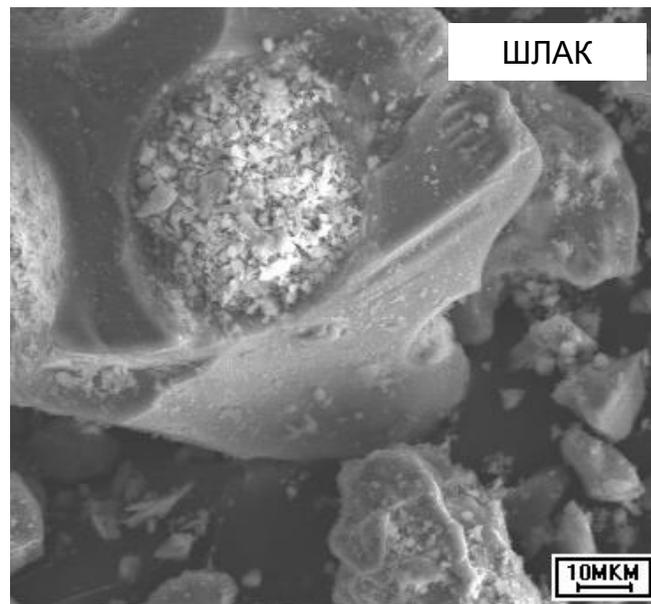
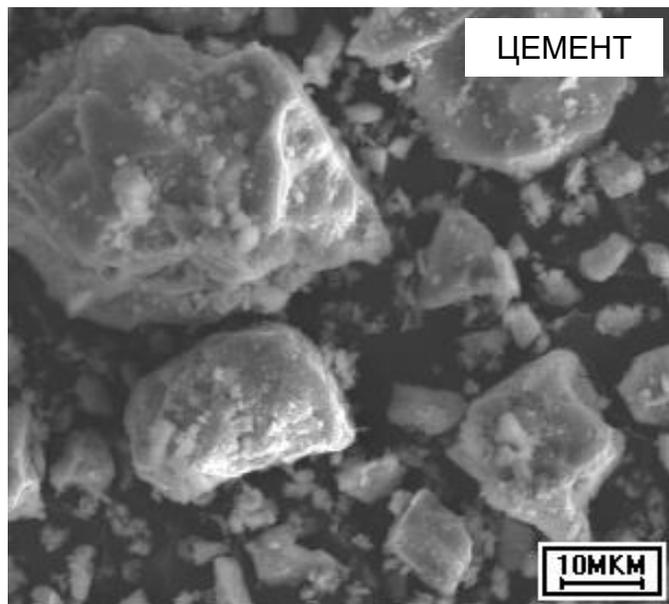
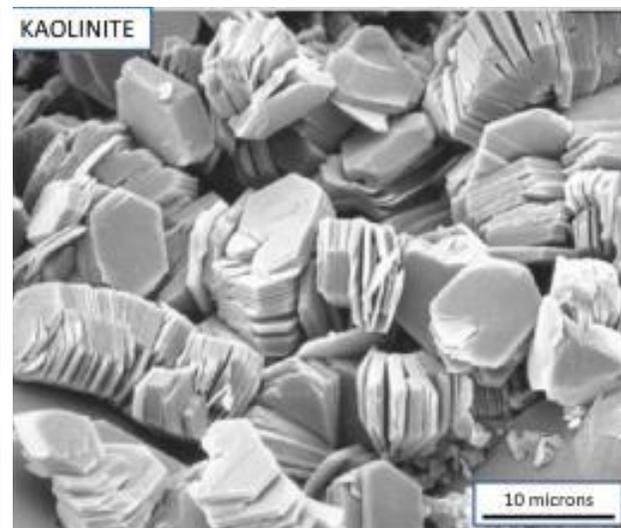
Диаграмма состояния системы SiO₂-Al₂O₃-CaO

Все материалы в системе **CaO-Al₂O₃-SiO₂**, прошедшие термическую обработку характеризуются минералогическим составом, имеющим потенциал к проявлению вяжущих свойств по реакциям:

- Гидравлическая
- Скрытогидравлическая
- Пуццоланистическая

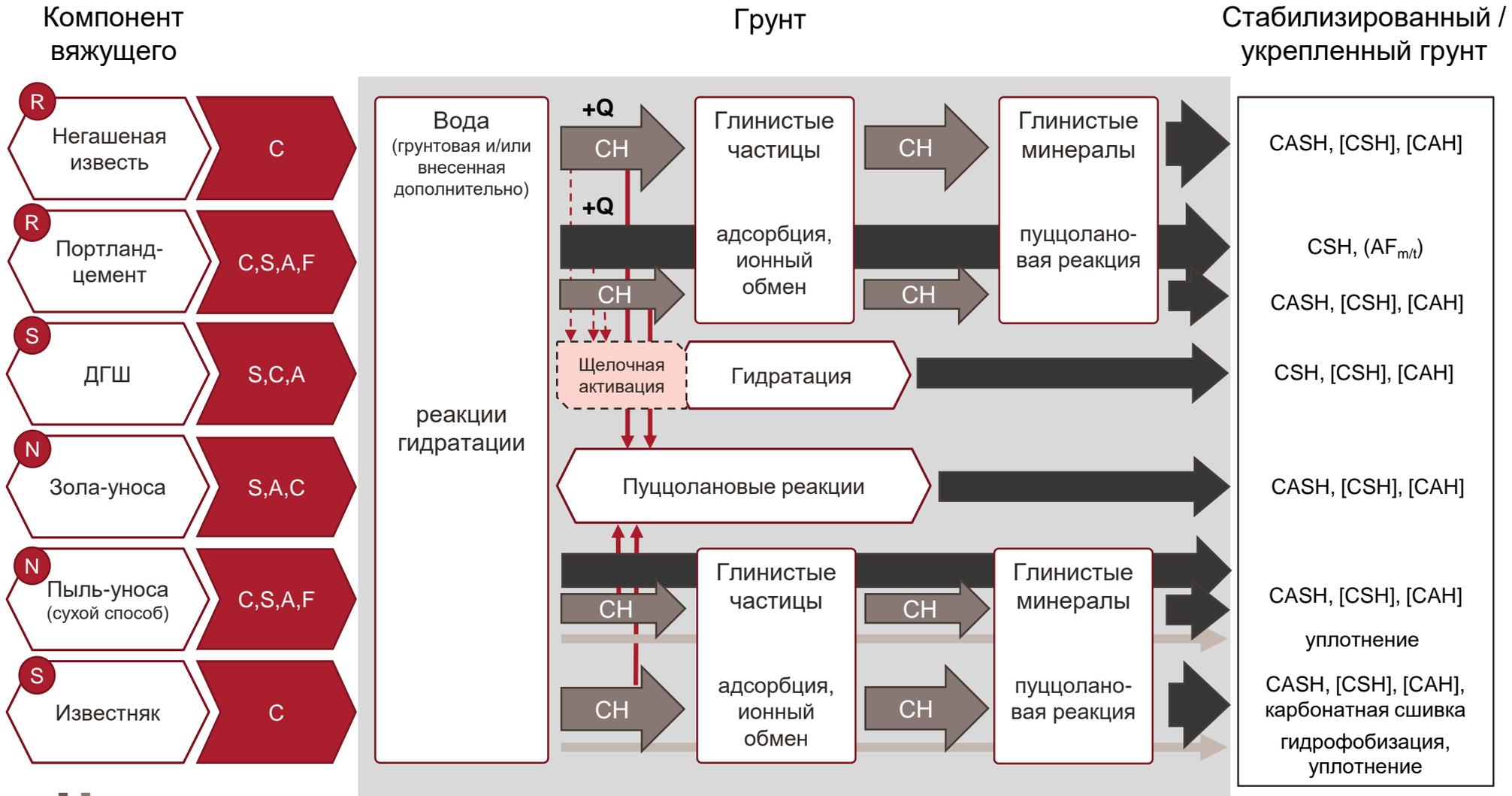
Микроуровень

Физическое взаимодействие – проникновение сквозь структуру грунта

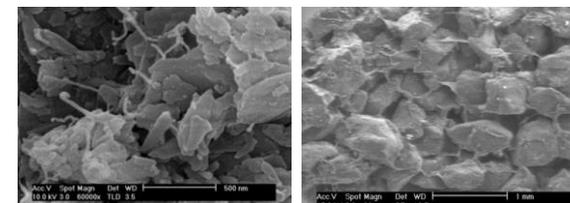


Выбор компонентов для минеральных вяжущих

химическое взаимодействие = использование потенциала грунта, как вяжущего компонента



Химические добавки



ОДМ 218.1.004-2011 «Классификация стабилизаторов грунтов в дорожном строительстве»

водно-физические свойства грунта: свойства грунта, определяющие его водопроницаемость (ГОСТ 25584), пучинистость (ГОСТ 28622), набухаемость (ГОСТ 24143), высоту капиллярного поднятия (ГОСТ 25100) и размокаемость (ГОСТ 5180), оптимальную влажность при максимальной плотности (ГОСТ 22733)

физико-механические свойства грунта: свойства грунта, определяющие его модуль деформации (ГОСТ 12248), прочность на раздавливание (ГОСТ 26447), величину структурного сцепления и угла внутреннего трения

Стабилизация грунта

Kat, An, Univ, Bio, Nano

Стабилизаторы в зависимости от pH

Комплексная стабилизация грунта

Структурированные [+ <2%]
Kat, An, Univ, Bio, Nano

Комплексное укрепление грунта

Структурированные [+ >2%]
Kat, An, Univ, Bio, Nano

структурообразователи: вяжущие вещества (цемент, известь, битум, смола и т.п.) или минеральные добавки

Стабилизация грунта

Цементация грунта

Силикатизация грунта

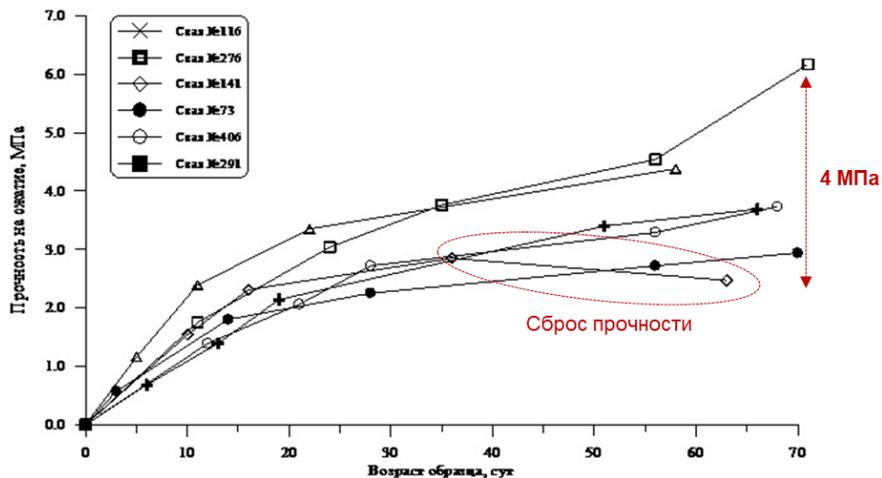
Смолизация грунта

- Гидрофобизация грунта
- Повышение морозо- и трещиностойкости
- Структуризация грунта

Что бывает, если материалы для укрепления грунта выбраны неправильно



1 – торф; 2 – заторфованные органо-минеральные грунты; Ц – цемент; Ц+Ш – цемент и шлак; Ц+И – цемент и известь; Ц+Г – цемент и перемешанный связный грунт; Ц+И+Ш – цемент, известь и шлак
 Рисунок 1 – Зависимость предела прочности при одноосном сжатии грунта, укрепленного глубинным смешиванием, от количества вяжущего минеральных грунтов (а), органических и органо-минеральных грунтов (б)

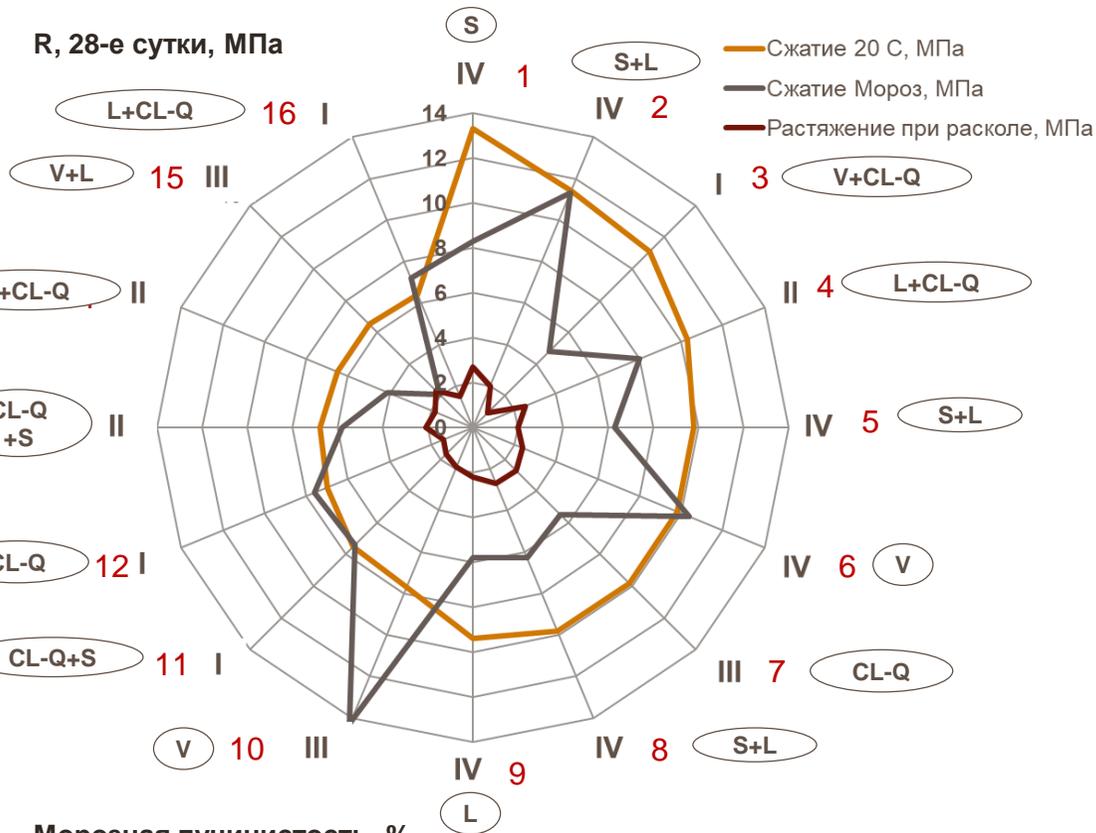


Сравнительные испытания минеральных смесей

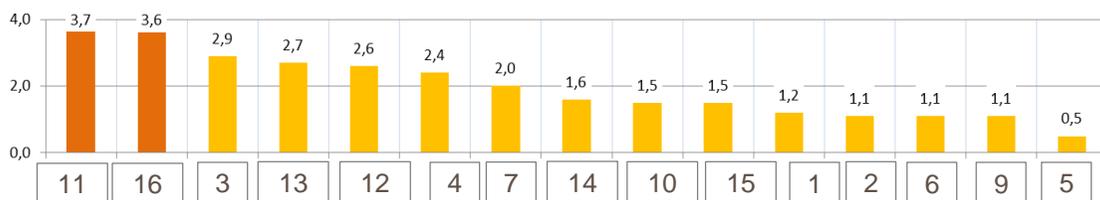
пример с суглинком легким песчанистый твердым, низкой плотности и оптимальной влажности

$pH = 8.3$, MBV (EN 933-9, ГОСТ 21283-93) = 2.5, общее содержание органики = 1.33%, дозировка вяжущих 5% от ρ_{max}

R, 28-е сутки, МПа



Морозная пучинистость, %



Характеристики минеральных смесей DOROMIX СТО 23.64.10 - 00281298 - 01.15 – 2018

- Доменный гранулированный шлак (S)
- Природные пуццоланы и природные обожженные пуццоланы (P)
- Зола-уноса кислая или основная (V)
- Обожженный сланец (Bs)
- Известняк (L)
- Пыль-уноса вращающихся печей цементного производства (D)
- Клинкерная пыль из циклонов клинкерного холодильника (KD)
- Кальцинированная известь негашеная (CL-Q)
- Кальцинированная известь гашеная (CL-S)
- Природная гашеная известь (NHL)

Класс прочнос ти	Прочность на сжатие в возрасте 28/56 суток, МПа	
	не менее	не более
I	5.0	22.5
II	12.5	32.5
III	22.5	42.5
IV	32.5	52.5

- Начало схватывания:
Не ранее 120/90 минут
- Равномерность изменения объема:
Не более 10/30 мм
- Содержание SO₃:
Не более 4%
- Содержание Cl-:
Не более 0.2%
- Аэфф:
Не более 740 Бк/кг

* X/Y – для смесей с содержанием негашеной извести менее/более 10%

Выводы

- Для каждой задачи и каждой технологии требуются специализированные продукты
- Подбор продуктов должен осуществляться исходя из требований проекта, свойств материалов (грунтов) с которыми придется работать и применяемой технологии
- Эффективность каждого решения должна быть подтверждена лабораторными и/или полевыми испытаниями (в том числе и по долговечности)
- Необходима современная специализированная нормативная база (ГОСТы) на технологии, материалы и продукты для них

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!

Анна Ружицкая

Менеджер по продуктам, цементные материалы
LafargeHolcim (Russia)

+7 964 787 72 68

Anna.Ruzhitskaya@lafargeholcim.com

