

## ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ УКРЕПЛЕНИЯ ГРУНТОВ ПОРТЛАНДЦЕМЕНТОМ СО СТАБИЛИЗИРУЮЩЕЙ ДОБАВКОЙ

Чудинов С.А.

*ФГБОУ ВПО «Уральский государственный лесотехнический университет», Екатеринбург, Россия (620100, Екатеринбург, ул. Сибирский тракт, 37), e-mail: [serg-chudinov@yandex.ru](mailto:serg-chudinov@yandex.ru)*

**В настоящей работе рассмотрены вопросы повышения эффективности формирования структуры грунтов, укрепленных портландцементом с водорастворимой стабилизирующей добавкой на основе гидропропилена. Формирование кристаллизационной структуры грунтов, укрепленных портландцементом, при соблюдении оптимальных дозировок минерального вяжущего, максимальном уплотнении и организации требуемых условий твердения определяет высокие прочностные показатели, водо- и морозостойкость цементогрунтов. Однако кристаллизационные пространственные структуры таких материалов отличаются жесткостью и обладают низкими деформативными свойствами и трещиностойкостью. Использование стабилизирующей добавки при укреплении грунтов портландцементом позволяет формировать комплексную структуру цементогрунтов – кристаллизационно-коагуляционную, характеризующую не только высокой прочностью, водо- и морозостойкостью, но и пластичностью и трещиностойкостью. Данные характеристики материалов являются важными при использовании в дорожном строительстве.**

Ключевые слова: цементогрунт, комплексное вяжущее, стабилизирующая добавка, структура материала, пластичность, трещиностойкость.

## INCREASE PRODUCTIVITY SOIL REINFORCEMENT OF PORTLAND CEMENT WITH A STABILIZING ADDITIVE

Chudinov S.A.

*Ural State Forest Engineering University, Ekaterinburg, Russia (620100, Sibirsky tract, 37), e-mail: [serg-chudinov@yandex.ru](mailto:serg-chudinov@yandex.ru)*

**In this paper, the issues of improving the efficiency of formation of the structure of the soil, fortified Portland cement with water-soluble stabilizing additive based gidropropilen. Formation of crystal structure of soil, fortified Portland cement under optimal dosages mineral binder, the maximum compaction and curing conditions required organization defines high strength characteristics, water and frost soil reinforcement. However, crystallization spatial structure of these materials are different stiffness and have low fracture toughness and deformation properties. Use of stabilizing additives in strengthening ground portland cement allows you to create complex structure soil reinforcement - coagulation of crystallization, is not only characterized by high strength, water and frost, but ductility and fracture. These characteristics are important materials for use in road construction.**

Keywords: soil reinforcement, complex binder, stabilizing additive, material structure, plasticity, fracture.

Актуальность использования укрепленных грунтов в настоящее время обусловлена увеличивающимися объемами строительства автомобильных дорог и дефицитом, либо высокой стоимостью каменных материалов. Месторождения каменных материалов, пригодных для строительства дорожных одежд автомобильных дорог, на территории России размещены весьма неравномерно. Большая часть территории страны находится в условиях недостатка каменных материалов, доставляемых на нужды дорожного строительства из горных ее частей. Значительные затраты на транспортирование материалов вызывают увеличение общей стоимости строительства автомобильных дорог. Поэтому на территориях с дефицитом местных каменных материалов целесообразно применять грунты, укрепленные вяжущими веществами.

К настоящему времени в России и зарубежных странах накоплен значительный опыт по применению технологии укрепления грунтов для строительства конструктивных слоев дорожных одежд автомобильных дорог. Данный способ хорошо себя зарекомендовал как эффективный, экономичный и универсальный метод строительства дорожных одежд в местах, где отсутствуют запасы каменных материалов.

Портландцемент является одним из самых распространенных, универсальных и дешевых минеральных вяжущих, применяемых для укрепления грунтов. В портландцементе заложены те потенциальные вяжущие свойства, при максимальной реализации которых обеспечивается коренное изменение первоначальных свойств, присущих грунту, с приданием ему новых качеств: постоянной и необратимой прочности, связности (монолитности) и морозостойкости. Поэтому повышение эффективности укрепления грунтов портландцементом с заданными структурно-механическими свойствами является актуальной задачей [1, 5].

### **Цель исследования**

Целью исследования является изучение физико-механических свойств грунта, укрепленного портландцементом со стабилизирующей добавкой, повышающей эффективность формирования структуры материала, для использования в строительстве дорожных одежд автомобильных дорог.

### **Материал и методы исследования**

Для проведения исследований использовались образцы естественного грунта – супеси песчанистой, укрепленной портландцементом М400, производства ООО «Завод сухих строительных смесей «Врозах», с водорастворимой стабилизирующей добавкой на основе гидропропилена с агломерационным воздействием. Характеристика укрепляемого грунта представлена в таблице 1.

Таблица 1

Характеристика грунта, укрепленного портландцементом со стабилизирующей добавкой

Наименование грунта	Содержание фракций грунта, %, размерами, мм	Плотность сухого грунта, г/см <sup>3</sup>	Влажность, %	Число пластичности	Оптимальная влажность, %;	рН грунта	Содержание гумусовых веществ, %
---------------------	---	--	--------------	--------------------	---------------------------	-----------	---------------------------------

	Более 10																		
	10-5																		
	5-2																		
	2-1																		
	1-0,5																		
	0,5-0,25																		
	0,25-0,1																		
	0,1-0,05																		
	0,05-0,01																		
	0,01-0,002																		
	Менее 0,002																		
	ρ																		
	W <sub>L</sub>																		
	W <sub>p</sub>																		
	I <sub>p</sub>																		
	W <sub>опт</sub>																		
	pH																		
Суесь песчанистая	5,1	4,6	5,3	8,5	10,2	13,3	15,5	17,9	11,2	7,0	1,4	1,47	21	17	4	9	6,3	1,3	

Лабораторные исследования по определению водонасыщения и предела прочности при сжатии водонасыщенных образцов укрепленного грунта проводились в соответствии с требованиями ГОСТ 23558-94: Смеси щебеночно-гравийно-песчаные и грунты, обработанные неорганическими вяжущими материалами, для дорожного и аэродромного строительства. Технические условия. Перед испытаниями образцы укрепленного грунта подвергались полному водонасыщению. Математическая обработка полученных результатов эксперимента проводилась с помощью программного комплекса STATISTICA.

### Результаты исследования

Процессы, происходящие при укреплении грунтов портландцементом, весьма разнообразны, находятся в тесной взаимосвязи и включают:

- химические процессы – гидратация цементных зерен, твердение продуктов гидратации и их новообразований, возникающих при взаимодействии с частицами грунта и тонкодисперсной его частью;

- физико-химические процессы – обменное поглощение отдельных составных частей продуктов гидратации цемента тонкодисперсной частью грунта. При этом может иметь место молекулярная сорбция веществ из растворов на поверхности раздела фаз, а также необратимая коагуляция глинистых и коллоидных веществ, их микроагрегирование и прочное цементирование;

- физические и механические процессы – тонкое размельчение грунтовых агрегатов, точное дозирование минерального вяжущего, равномерное перемешивание его с грунтом, оптимальное увлажнение смеси и уплотнение ее до максимальной плотности с последующим длительным обеспечением требуемого режима твердения готового слоя укрепленного грунта [2].

В результате указанных взаимодействий укрепленные грунты должны приобретать заданные структурно-механические свойства и сохранять их длительное время в сухом и во влажном состоянии. Значительную роль при этом играют процессы, определяющие формирование структуры материала.

Принято различать три типа пространственных структур дисперсных систем (материалов): кристаллизационные конденсационные и коагуляционные. Кристаллизационные структуры являются наиболее прочными и формируются при укреплении грунтов портландцементом. Они возникают в результате сращивания кристалликов новой твердой фазы, возникающей из перенасыщенного раствора при гидратационном твердении минерального вяжущего (рис. 1, а). Конденсационные структуры характеризуются тем, что возникают при небольших сил сцепления – химических (рис. 1, б). Коагуляционные структуры характеризуются тем, что частицы дисперсной фазы образуют беспорядочную пространственную сетку (рис. 1, в). Коагуляционные структуры отличаются от структур других типов следующими свойствами: относительно малой прочностью; предельной тиксотропностью; ярко выраженной пластичностью и способностью к ползучести; высокой эластичностью [1].

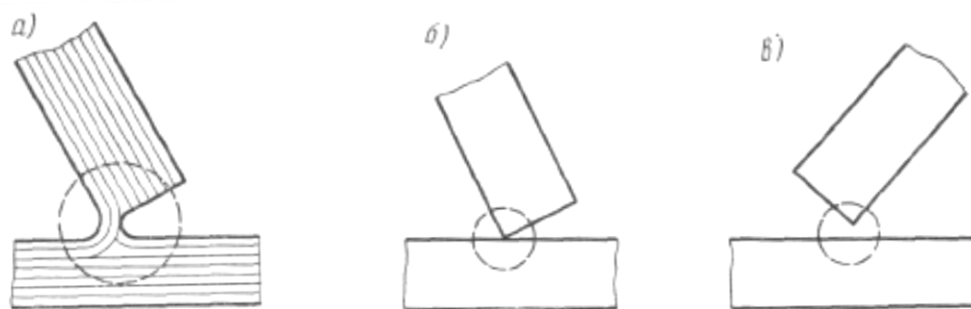


Рис.1. Типы контактов: а) конденсационно-кристаллизационный контакт срастания или спекания; б) псевдоконденсационный контакт; в) коагуляционный контакт (с тонкой равновесной прослойкой дисперсионной среды).

Формирование кристаллизационной структуры грунтов, укрепленных портландцементом, при соблюдении оптимальных дозировок минерального вяжущего, максимальном уплотнении и организации требуемых условий твердения определяет высокие прочностные показатели, водо- и морозостойкость цементогрунтов. Однако кристаллизационные пространственные структуры таких материалов отличаются жесткостью, обладают низкими деформативными свойствами и трещиностойкостью. Данные характеристики материалов являются важными при использовании в дорожном строительстве [3, 4].

В целях целенаправленного регулирования процессов, определяющих формирование структуры и свойств цементогрунтов, были проведены исследования по укреплению грунтов портландцементом с водорастворимой стабилизирующей добавкой на основе гидропропилена. Использование стабилизирующей добавки при укреплении грунтов портландцементом позволяет формировать комплексную структуру цементогрунтов –

кристаллизационно-коагуляционную, характеризуемую не только высокой прочностью, водо- и морозостойкостью, но и пластичностью и трещиностойкостью.

Как показывают результаты проведенных исследований зависимости водонасыщения и предела прочности при сжатии водонасыщенных образцов супеси песчанистой, укрепленной портландцементом со стабилизирующей добавкой, в зависимости от количества вяжущих компонентов, цементогрунт обладает высокими прочностными характеристиками и низким водонасыщением (рис. 2, 3).

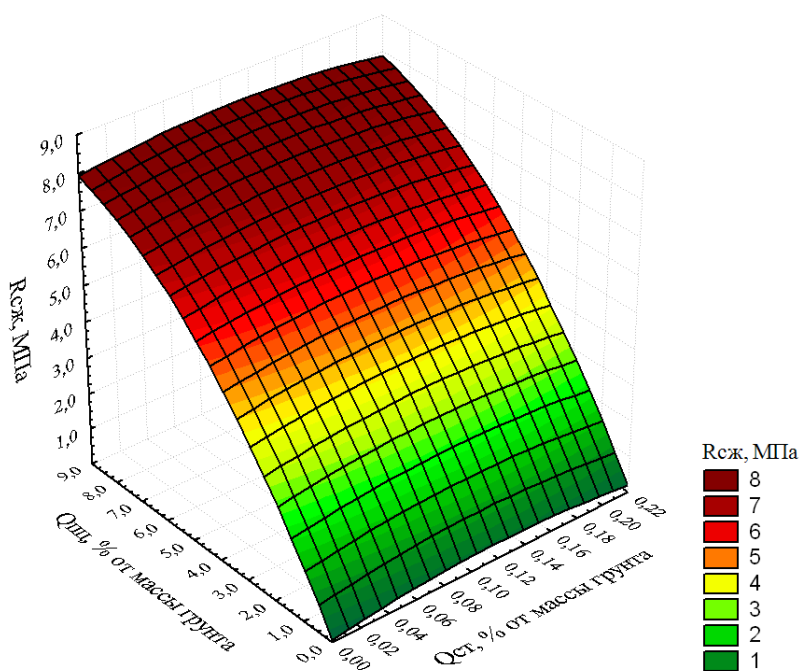


Рис. 2. Поверхность отклика для предела прочности при сжатии ( $R_{сж}$ ) водонасыщенных образцов укрепленного грунта в зависимости от количества портландцемента ( $Q_{пц}$ ) и содержания стабилизирующей добавки ( $Q_{ст}$ )

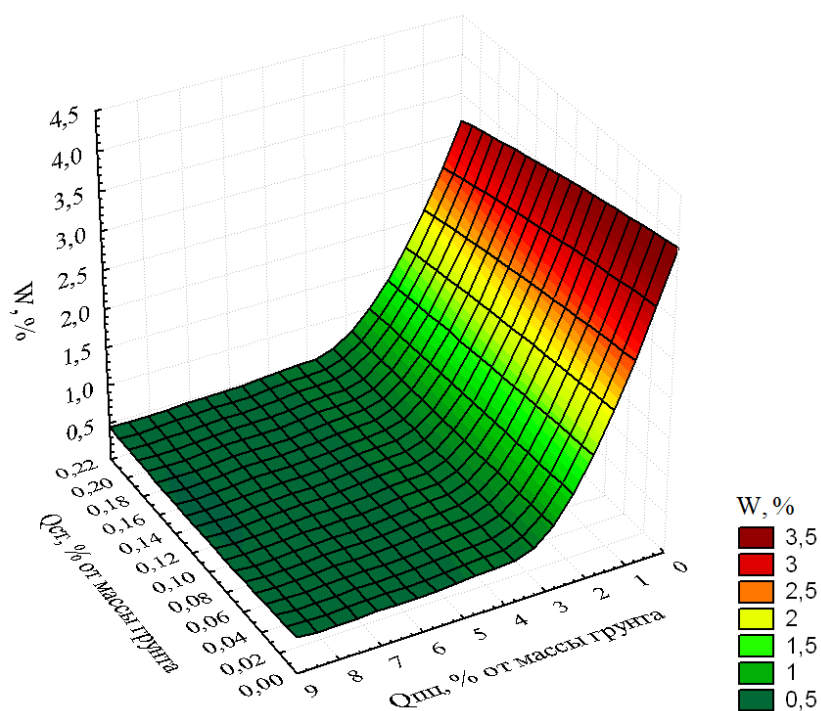


Рис. 3. Поверхность отклика для водонасыщения ( $W$ ) образцов укрепленного грунта в зависимости от количества портландцемента ( $Q_{пц}$ ) и содержания стабилизирующей добавки ( $Q_{ст}$ )

Введение стабилизирующей добавки без портландцемента позволяет формировать коагуляционную структуру укрепленного грунта, обладающей упруго-вязко-пластичными свойствами, низкой прочностью и водонасыщением. Укрепление грунта портландцементом и стабилизирующей добавкой позволяет сформировать комплексную кристаллизационно-коагуляционную структуру материала, обладающую высокой прочностью и низким водонасыщением, и силу особенностей своих структурных связей – пластичностью и трещиностойкостью.

Высокие физико-механические и деформативные свойства грунтов, укрепленных портландцементом со стабилизирующей добавкой, могут быть обеспечены оптимальным сочетанием дозировок вяжущих компонентов с учетом характеристик исходных грунтов. Результаты исследований показали, что при укреплении супеси песчанистой портландцементом, оптимальной дозировкой стабилизирующей добавки является 0,06 – 0,10 % от массы грунта. Уравнение регрессии в натуральном выражении, адекватно описывающее влияние количества портландцемента ( $Q_{пц}$ ) и содержания стабилизирующей добавки ( $Q_{ст}$ ) на предел прочности при сжатии  $R_{сж}$  супеси песчанистой, имеет вид:

$$R_{сж} = 0,0513 + 6,4876Q_{ст} + 1,4959Q_{пц} - 26,9174(Q_{ст})^2 - 0,0754Q_{ст}Q_{пц} - 0,0692(Q_{пц})^2$$

Таким образом, результаты проведенных лабораторных исследований показывают эффективность применения стабилизирующей добавки водорастворимого гидропропилена при укреплении грунтов портландцементом для формирования кристаллизационно-

коагуляционной структуры материала, обладающего высокими прочностными показателями, низким водонасыщением, пластичностью и трещиностойкостью.

### **Выводы**

1. При укреплении грунтов портландцементом происходит формирование кристаллизационной структуры материала, обладающей высокими прочностными показателями, водо- и морозостойкостью, а также жесткостью, низкими деформативными свойствами и трещиностойкостью. Целенаправленное формирование у укрепленных грунтов кристаллизационно-коагуляционной структуры позволяет придать материалу высокие прочностные свойства, морозостойкость, а также пластичность и трещиностойкость.
2. Применение стабилизирующей добавки водорастворимого гидропропилена при укреплении грунтов портландцементом позволяет формировать кристаллизационно-коагуляционную структуру материала, обладающего высокими прочностными показателями и низким водонасыщением, и в силу особенностей своих структурных связей – пластичностью и трещиностойкостью.
3. Высокие физико-механические и деформативные свойства грунтов, укрепленных портландцементом со стабилизирующей добавкой, могут быть обеспечены оптимальным сочетанием дозировок вяжущих компонентов с учетом характеристик исходных грунтов. При укреплении супеси песчанистой портландцементом, оптимальной дозировкой стабилизирующей добавки является 0,06–0,10 % от массы грунта.

### **Список литературы**

1. Безрук В.М. Укрепленные грунты. (Свойства и применение в дорожном и аэродромном строительстве). – М.: Транспорт, 1982. – 321 с.
2. Ребиндер П.А. Физико-химическая механика дисперсных структур // Физико-химическая механика дисперсных структур. – М.: Наука, 1966. – С.3-28.
3. Чудинов С.А. Производственные испытания грунтов, укрепленных портландцементом с добавкой полиэлектролита // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. – 2011. – № 6/324. – С. 58–61.
4. Чудинов С.А. Повышение эффективности укрепления глинистых грунтов портландцементом с добавкой полиэлектролита // Актуальные вопросы проектирования автомобильных дорог: сб. науч. тр. – 2013. – № 4(63) – С. 121-129.
5. Чудинов С.А. Теоретические исследования укрепления грунтов // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. – 2010. – № 5. – С. 82–88.

**Рецензенты:**

Силуков Ю.Д., д.т.н., профессор кафедры транспорта и дорожного строительства Уральского государственного лесотехнического университета, г. Екатеринбург.

Кошкарлов Е.В., д.э.н., к.т.н., старший научный сотрудник, ООО «Научно-исследовательский центр ГИПРОДОРНИИ», г. Екатеринбург.