

*С.Ф. Власов, д.т.н., профессор
Н.А. Максимова – Гуляева, к.т.н., доцент
Э.А. Максимова, к.г.-м.н., доцент
Национальный горный университет, г. Днепропетровск*

МОДИФИЦИРОВАНИЕ ЦЕМЕНТОЛЕССОВЫХ СМЕСЕЙ В СТРУЙНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ПРИ ОСВОЕНИИ ПОДЗЕМНОГО ПРОСТРАНСТВА

Приведены результаты экспериментальных исследований использования цементолессовых смесей в струйной технологии закрепления при освоении подземного пространства.

Ключевые слова: *цементолессовые смеси, струйное закрепление, прочность.*

*С. Ф. Власов, д.т.н., профессор
Н.О. Максимова – Гуляева, к.т.н., доцент
Е.О. Максимова, к.г.-м.н., доцент
Національний гірничий університет, м. Дніпропетровськ*

МОДИФІКУВАННЯ ЦЕМЕНТО-ЛЕСОВИХ СУМІШЕЙ У СТРУМІННІЙ ТЕХНОЛОГІЇ ПРИ ОСВОЄННІ ПІДЗЕМНОГО ПРОСТОРУ

Наведено результати експериментальних досліджень використання цементолесових сумішей у струмінній технології закріплення при освоєнні підземного простору.

Ключові слова: *цементолесові суміші, струмінне закріплення, міцність.*

*S. Vlasov, Sr.Dr., Prof.
N. Maksymova-Gulyaeva, Ph.D
E. Maksymova, Ph.D
Dnipropetrovsk National Mining University*

MODIFICATION OF CEMENT-LOESS MIXTURES IN JET TECHNOLOGY DURING MASTERING UNDERGROUND AREA

The results of experimental researches of cement-loess mixtures are shown to develop methods of bearing capacity of strengthening engineering structures increase.

Keywords: *cement-loess mixtures, jet technology, durability.*

Введение. Интенсивная урбанизация, характерная для большинства регионов Украины, обусловила увеличение техногенной нагрузки на территории, из-за чего обострились негативные последствия хозяйственной деятельности человека. Особую актуальность приобрела проблема подтопления территорий. В прямой зависимости от него находятся увеличение деформируемости и снижение прочности лессовых массивов и, как следствие, активизация процессов оползнеобразования. Существуют различные способы повышения устойчивости грунтовых массивов. Одним из таких способов, разработанных в Национальном горном университете, является струйная технология. Результатам исследований повышения эффективности струйной технологии закрепления лессовых грунтов посвящена данная статья.

Обзор последних источников исследований и публикаций.

Вопросами струйной технологии закрепления грунтов в разное время на постсоветском пространстве занимались С.Ф. Власов, И.И. Бройд, Х.Ф. Джатимиров, С.О. Зеге, М. Томаш и другие [1].

Следует обратить особое внимание на то, что лессовые грунты являются как вмещающей средой для подземных сооружений, так и строительным материалом. Это обуславливает экологическую чистоту и экономичность способа устройства цементолессовых структур с помощью струйной технологии закрепления грунтов.

Выделение не решенных ранее частей общей проблемы.

Усовершенствование струйной технологии заключается в регулировании свойств цементолессовых смесей за счет ресурсосберегающих технологических приемов. Это определяет научную направленность работы. Комплекс технологических средств модифицирования смесей весьма широк – это использование добавок, виброактивация, армирование и т.д. Одним из наиболее эффективных и универсальных способов является введение добавок. В данном конкретном случае для усиления их несущей способности используются свойства самих лессовых грунтов.

Поэтому **целью настоящей статьи** является исследование модифицирования цементолессовых смесей за счет использования добавок в цементный раствор при применении струйной технологии закрепления.

Основной материал и результаты. Учитывая специфические особенности лессовых грунтов, при выборе добавок исследовался процесс взаимодействия грунтов с цементом, используемым в качестве вяжущего вещества. Поскольку крупные фракции грунтов на него влияния не оказывают, было принято решение использовать способность тонкодисперсной составляющей к активному химическому и физико-химическому взаимодействию с вяжущими материалами. Эти явления играют решающую роль и обуславливают прочность закрепленных грунтов.

Для цементолессовых структур характерны три стадии формирования. На первой происходит разрушение неравновесных контактов между частицами. На второй – при взаимодействии цемента с водой в сольватных оболочках, окаймляющих зерна цемента, возникают наиболее благоприятные условия для формирования кристаллогидратов. По мере роста их концентрации вокруг негидратированных цементных ядер образуются гелиевые оболочки. Далее в стадии твердения, которая характеризуется контракцией объема геля вокруг цементных ядер, возникают реакционные каемки, связывающие отдельные цементные ядра между собой. Наряду с этим, вследствие способности лессовых грунтов к взаимодействию (адсорбционному, химическому, адгезионному) с продуктами гидратации цемента, объемная структура, в основном коагуляционная, развивается значительно быстрее, чем у обычных бетонов, и обладает небольшой прочностью. Таким коагуляционным

структурам присущи тиксотропные свойства, т.е. способность к обратному восстановлению после механического разрушения. Основным видом взаимодействия частиц друг с другом являются силы Вандер-Ваальса. На третьей стадии происходит нарастание числа прочных контактов, обусловленное срастанием кристаллов в беспорядочную пространственную структуру – кристаллизационную структуру твердения, которая затем уплотняется и упрочняется в результате обрастания кристаллами. Можно предположить, что в системе постоянно происходят процессы гидратации, коагуляции и постепенно начинается кристаллизационное структурообразование. Выделить четкую временную грань между стадиями не представляется возможным. Речь может идти только о преобладании одного процесса над другим (рис. 1).

В конечном итоге в смеси возникает сложный и весьма разветвленный сетчатый каркас, прочность которого несравнимо выше прочности отдельных грунтовых микроагрегатов, вкрапленных в этот каркас. Сцепление между частицами в грунтовых останцах следует рассматривать как слабое звено в системе [2].

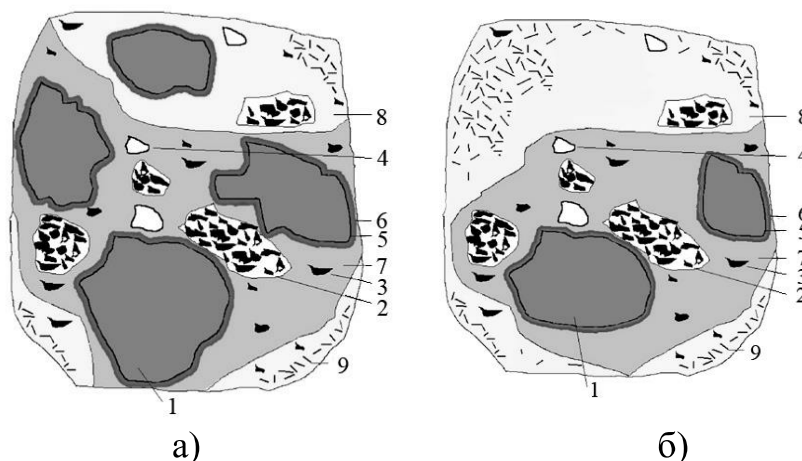


Рис. 1. Фрагмент-схема структурообразования цементолессовой смеси: а – ранняя стадия; б – поздняя стадия; 1 – негидратированные цементные частицы; 2 – грунтовые микроагрегаты; 3 – грунтовые частицы; 4 – структурные макро- и микропоры; 5 – сольватные оболочки; 6 – гелевые оболочки; 7 – реакционная кайма; 8 – коагуляционная структура; 9 – кристаллизационная структура

Прочность цементолессовых смесей в основном зависит от сцепления цементного камня с лессовыми грунтами в качестве заполнителя. Оно обусловлено физико-химическим взаимодействием (за счет адгезионных свойств заполнителя) и химическим (его химической активностью по отношению к продуктам гидратации цемента).

Основной прочностной параметр цементолессовой смеси, как и бетона, – прочность при сжатии – определялся при одноосном сжатии через разные промежутки времени (рис. 2).

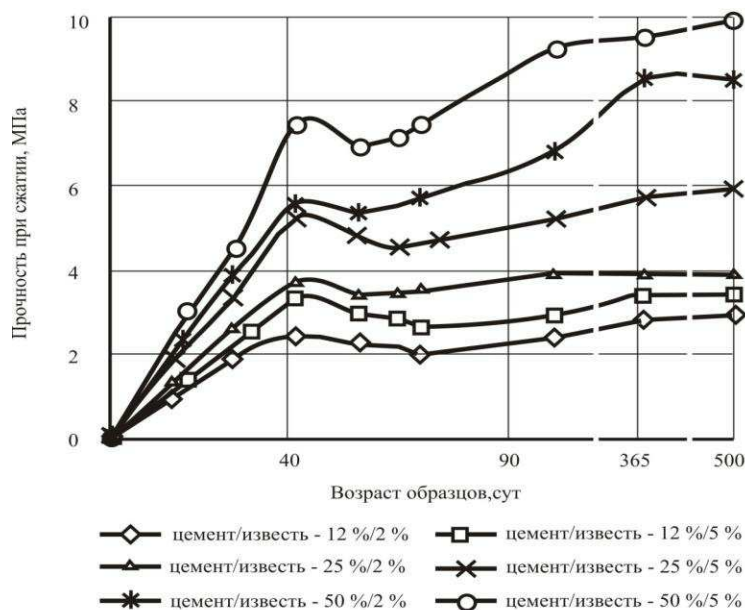


Рис. 2. Зависимость прочности при сжатии от рецептуры смеси и сроков твердения

После 42-х суток на всех кривых наблюдается спад прочности, максимальная продолжительность которого около 28-ми суток для соотношения цемент/известь 12/2%, а минимальная – 14 суток – для соотношения 50/5%. В дальнейшем прочность постепенно нарастает, т.к. химические процессы в системе идут длительное время [3]. Наибольшее значение показателя 3,0 МПа для соотношения цемент/известь 12/2% и 10,0 МПа – для соотношения 50/5% зафиксированы через 500 суток.

Явление снижения прочности объясняется тем, что на ранних стадиях процесса гидратации, когда только начинается образование кристаллизационной структуры, прежде всего формируются хрупкие достаточно крупные кристаллы гидроалюминатов и гидратов окиси кальция. В этот период отдельные кристаллы без труда сдвигают элементы коагуляционной структуры, препятствующие их росту. Возникающие при этом напряжения незначительны и не оказывают практически никакого влияния на прочность структуры. На более поздних стадиях, при формировании мелкокристаллической структуры гидросиликатов кальция – основных носителей прочности, растет жесткость структуры. За счет увеличения кристаллизационных контактов, по данным А.П. Ребиндера, происходит развитие высоких внутренних напряжений, вызывающих расширение, микротрещинообразование и как следствие – снижение прочности.

Исследования влияния различного количества цемента и извести на прочность смеси показывают, что независимо от процентного содержания цемента, внесение 2% извести (количество, необходимое для насыщения поглощающей способности грунтов) увеличивает прочность образцов в среднем на 11,9% по сравнению с безизвестковистыми. Добавка еще 3% извести увеличивает их прочность в среднем на 36,5%.

При постоянном же содержании извести и увеличении содержания цемента в два раза (от 12 до 25% и от 25 до 50%) прирост прочности составляет 48,7 – 50,9% .

Анализ полученных результатов показывает, что внесение извести ощутимо влияет на прирост прочности цементолессовой смеси. По нашим данным, добавка 3% извести эффективнее, чем увеличение содержания цемента, в два раза. Исходя из этого и учитывая незначительную разницу в цене 1 т цемента и извести, можно рассчитывать на экономическую эффективность и ресурсосбережение при устройстве цементолессовых структур с добавкой извести.

Анализ результатов определения прочности цементолессовых смесей при изгибе показал, что характер зависимостей прочности при изгибе от рецептуры смесей и сроков твердения подобен зависимостям прочности при сжатии от тех же параметров. С увеличением времени твердения прочность образцов закономерно возрастает, но с более низким уровнем значений (рис. 3).

Следует отметить, что при внесении небольшого количества извести (2%) прочность при изгибе изменяется относительно больше, чем прочность при сжатии. Прирост показателя составляет 71 – 75% против 10 – 13,6%. С увеличением количества извести до 5% разница в приросте нивелируется.

Прочность при срезе является еще одной важной механической характеристикой.

При одноосном сжатии образцов материала наибольшие касательные напряжения возникают в площадках, наклоненных к оси сжимающих нагрузок под углом 45 градусов, и равны $\tau = \frac{\sigma}{2}$ [4].

Для сравнительного анализа мы выполнили экспериментальные исследования методом косого среза со сжатием [5 – 7]. Результаты исследований и расчетов представлены на рис. 4.

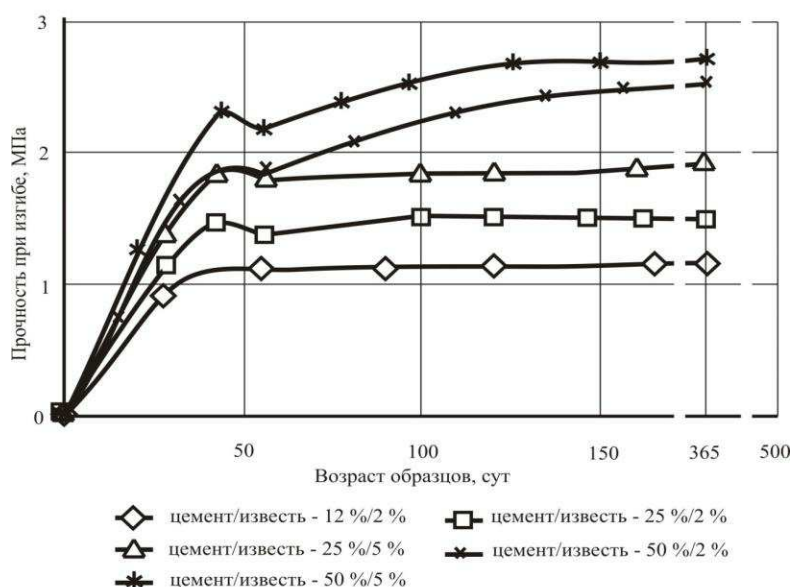
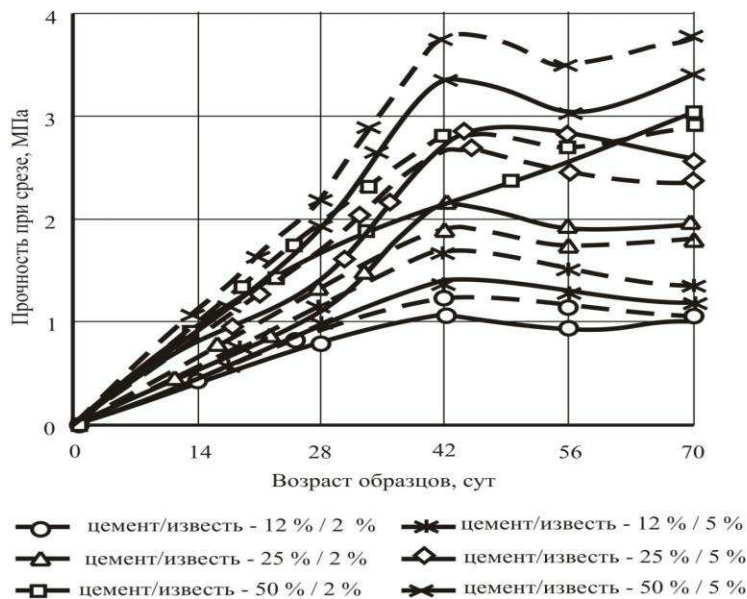


Рис. 3. Зависимость прочности при изгибе от рецептуры смеси и сроков твердения



Условные обозначения показанные штриховой линией относятся к расчетным данным

Рис. 4. Зависимость прочности при срезе от рецептуры смеси и сроков твердения

Сравнительный анализ результатов испытаний и расчетов свидетельствует, что расхождение составляет около 20%. Эта величина находится в допустимых пределах погрешности технических расчетов и измерений при проведении испытаний. При подготовке образцов к испытаниям незначительные неточности их линейных размеров и углов между гранями могут привести к искажениям результатов.

Выводы:

1. Впервые получены закономерности изменения механических свойств (пределы прочности при сжатии, изгибе и срезе) цементолессовых смесей при различных количествах извести и цемента в зависимости от сроков твердения.

2. Добавка извести к цементолессовым смесям в пределах 5% при содержании цемента от 12 до 50% позволяет увеличить прочность при сжатии этих смесей на 42-ые сутки твердения в 1,5 раза по сравнению с безызогностивыми. Максимальное значение составляет 7,5 МПа.

При тех же соотношениях компонентов цементолессовых смесей и извести предел прочности при изгибе возрастает в 2 раза, максимальное значение составляет 2,3 МПа. Предел прочности при срезе за период твердения до 42-х суток при увеличении содержания цемента от 12 до 50% и извести от 2 до 5% возрастает в 3 раза. Максимальное ее значение – 3,3 МПа.

3. В процессе исследования прочностных показателей цементолессовых смесей зафиксировано снижение прочности в 1,05 – 1,3 раза в зависимости от процентного содержания цемента и извести. Явление обусловлено развитием высоких внутренних напряжений, вызывающих расширение, микротрещинообразование и как следствие – снижение прочности в период

начала интенсивного формирования мелкокристаллической жесткой структуры.

Работа авторов представляет собой научные результаты исследований, позволяющих обосновать способы усовершенствования струйной технологии. Она является логическим продолжением научного направления, которое активно развивается в лаборатории специальных способов закрепления дисперсных пород на кафедре подземной разработки в Национальном горном университете.

Литература

1. Власов, С.Ф. Повышение устойчивости оползнеопасных склонов с помощью струйной технологии закрепления грунтов / С.Ф. Власов, Н.А. Максимова-Гуляева // Монография. – Д.: НГУ, 2010. – 143 с.

2. Максимова-Гуляева, Н.А., Основы теории структурообразования цементолессовых смесей / Н.А. Максимова-Гуляева, Л.П. Налбандян, Н.Д. Солопов // Сб. науч. тр. НГУ. – 2005. – № 22. – С. 64-69.

3. Байков, В.Н. Строительные конструкции / В.Н. Байков, С.Г. Строгин. – М.: Стройиздат, 1980. – 365 с.

4. Беляев, Н.М. Сопротивление материалов / Н.М. Беляев. – М.: Высшая школа, 1969. – 734 с.

5. Кацауров, И.Н. Механика горных пород / И.Н.Кацауров. – М.: Изд-во МГИ, 1966. – 126 с.

6. Максимов, А.П. Горное давление и крепь выработок / А.П. Максимов. – М.: Недра, 1973. – 288 с.

7. Баклашов, И.В., Механика горных пород / И.В. Баклашов, Б.А. Картозия. – М.: Недра, 1975. – 272 с.

Надійшла до редакції 23.09.2013

© С. Ф. Власов, Н.О. Максимова – Гуляева, Е.О. Максимова