

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СОСТАВОВ ГРУНТА С ЗАКРЕПЛЕНИЕМ ВЯЖУЩИМИ И ДОБАВЛЕНИЕМ СТАБИЛИЗИРУЮЩИХ ДОБАВОК НА ПРОЧНОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ГРУНТА

М. А. Ковалева, С. А. Ананьев, А. В. Плешков

Алтайский государственный технический университет
им. И.И. Ползунова, г. Барнаул

В статье описывается исследование влияния стимулирующих добавок (буроугольная зола) и стабилизирующих добавок (щебень) на прочностные и деформационные характеристики грунта в лабораторных условиях.

Ключевые слова: лессовый просадочный грунт, буроугольная зола, щебень, композит, прочностные и деформационные характеристики грунта

На территории Алтайского края широко распространены лессовые породы. Такие грунты обладают просадочными свойствами, проявляющиеся не только при замачивании дополнительными нагрузками, но и под действием бытового давления. Такие грунты оснований вызывают трудности при проектировании, возведении и эксплуатации зданий и сооружений. По оценкам специалистов, почти половина стоимости работ по строительству зданий и сооружений на просадочных грунтах тратится на комплекс мероприятий, предотвращающих деформацию сооружений из-за просадочности оснований. Поэтому использование местных грунтов, закрепленных вяжущими, имеет большое практическое значение. При проектировании зданий необходимо обеспечить их прочность и нормальную эксплуатацию.

Мощность просадочных слоев может достигать нескольких десятков метров. При этом очень часто приходится применять длинные железобетонные сваи для того чтобы прорезать слабый слой и передать нагрузку на более прочные, глубоко залегающие слои грунта. При этом свайный фундамент проектируется со значительным запасом.

Улучшение свойств грунтовых оснований может быть достигнуто осуществлением ряда мероприятий, к которым можно отнести: конструктивные методы, замена, уплотнение, закрепление, армирование грунтов и устройство грунтовой подушки.

Возможно применение более дешевого способа строительства. Когда природный слабый (просадочный) грунт смешивается непосредственно на строительной площадке со стабилизирующими добавками. В итоге

получается более прочное основание, прочность и деформативность которого существенно отличается от природного грунта из которого сложена площадка строительства. На таком основании можно применять менее дорогой ленточный фундамент мелкого заложения.

В качестве стабилизирующих добавок, предлагается применять доступные местные материалы, такие как щебень из низкопрочных каменных материалов, золы ТЭЦ от сжигания бурых углей. Применение местных материалов, не требующих больших затрат на их обработку, переработку или доставку, при устройстве оснований зданий и сооружений имеет высокую технико-экономическую целесообразность.

Познание природы просадочности лессовых пород позволило разработать эффективные инженерные методы борьбы с этим грозным явлением. В основном эти методы сводятся к воздействию на неустойчивую специфическую структуру лёсса и трансформации ее в устойчивое недеформируемое состояние. При этом, исходя из описанного механизма просадки, стремятся повысить плотность лессового грунта (снизить его активную пористость) и увеличить прочность контактов между минеральными частицами (перевести менее прочные, обратимые по отношению к воде, переходные контакты в более прочные – фазовые).

Существует несколько способов борьбы с просадкой лессов. Наиболее распространенным является механическое уплотнение лессовых грунтов тяжелыми трамбовками, вес которых может достигать 10 т, а иногда и более. Обычно трамбовки многократно (до

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СОСТАВОВ ГРУНТА С ЗАКРЕПЛЕНИЕМ ВЯЖУЩИМИ И ДОБАВЛЕНИЕМ СТАБИЛИЗИРУЮЩИХ ДОБАВОК НА ПРОЧНОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ГРУНТА

10-16 раз) сбрасываются на уплотняемый участок грунта с высоты 4-8 м. Данный метод позволяет уплотнить толщу лессового грунта на глубину до 3,5 м. Если необходимо ликвидировать просадочные свойства лессовых грунтов на глубину до 25 м, то проводят их глубинное уплотнение грунтовыми набивными сваями или энергией взрыва.

Иногда для ликвидации просадочных свойств производят предварительное замачивание лессового массива. При этом происходит спровоцированная просадка грунта, после чего он уплотняется, теряет просадочность и переходит в стабильное состояние. Одним из способов борьбы с просадочностью является термическое закрепление лессовых грунтов, при котором через грунт с помощью специальных приспособлений пропускают раскаленный воздух или газы при температуре 300-800°C. Под действием высокой температуры происходит оплавление и спекание минералов на контактах между отдельными частицами и агрегатами частиц, и формируются прочные фазовые контакты кристаллизационного типа, устойчивые по отношению к воздействию воды. В результате существенно повышается прочность лессового грунта, и он становится непросадочным.

Просадочность многих типов лессовых отложений может быть также существенно уменьшена с помощью метода силикатизации. При этом в грунт через перфорированные трубы с одной стороны нагнетают раствор силиката натрия (жидкого стекла), а с другой – раствор хлористого кальция. При соединении обоих растворов в порах просадочного грунта образуется водонерастворимый гель кремниевой кислоты, который цементирует грунт и делает его непросадочным. К сожалению, данный метод в некоторых случаях может приводить к сильному химическому загрязнению закрепляемых пород, и поэтому в настоящее время он применяется очень редко.

В настоящее время создается совместное научное направление по разработке специальных растворов для применения на территории региона одного из наиболее эффективных, экологически чистых и современных методов устранения просадочности лессовых оснований – метода «Геокомпозит».

Метод «Геокомпозит» или метод армирования грунтового массива основан на управляемом инъецировании под давлением расчетных объемов твердеющих растворов по специально расчетной объемно-планировочной схеме.

Образовавшиеся при этом включения в радиусе 1,5-2,0 м от инъектора формируют при твердении жесткий армирующий каркас.

Фрагменты грунтового массива, расположенные между включениями, уплотняются давлением инъецируемого раствора, действующим как внутримассивный домкрат, приобретая существенно улучшенные механические характеристики.

Результат: жесткий каркас из затвердевшего раствора дополнительно армирует уплотненный грунтовой массив.

Укрепленный таким образом грунтовой массив является принципиально новым природно – техногенным образованием – геотехногенным композитом или «Геокомпозитом», обладающим высокой степенью жесткости и хаотической структурой (напоминающей корни дерева), в котором «матрицей» является уплотненный грунт, а армирующим скелетом – затвердевший раствор.

В работе предполагается провести исследование влияния состава грунта, смеси грунт – щебень и грунт – щебень – бурого угольная зола ТЭЦ на прочностные параметры, методами одноплоскостного среза и компрессионного сжатия. Исследования проводились в соответствии с требованиями и рекомендациями ГОСТ 12248-2010 «Грунты. Методы лабораторного определения характеристик прочности и деформируемости», ГОСТ 23161-2012. «Грунты. Метод лабораторного определения характеристик просадочности».

Также были определены физические характеристики грунта и каменных материалов в соответствии с ГОСТ 5180-84 «Грунты. Методы лабораторного определения физических характеристик» и ГОСТ 8269.0-97 «Щебень и гравий из плотных горных пород и отходов промышленного производства для строительных работ. Методы физико-механических испытаний».

Работа выполнена в лаборатории и на оборудовании кафедры ОФИГиГ АлтГТУ им. И.И. Ползунова. В качестве грунта применялась лессовая супесь.

В составе испытываемых композитов применялась бурого угольная зола ТЭЦ № 3 г. Барнаула.

В качестве каменного материала в работе использовался щебень фракций 4,5-5,0 мм. Щебень требуемых фракций был получен дроблением и фракционированием представленных исходных материалов Усть-Калманское ДРСУ.

Исследуемые образцы композитов состоят из:

- 100% грунт (лессовая супесь);
- 20% буроугольной золы и 80% грунта (лессовая супесь);
- 20% щебня (фр. 4,5-5,0 мм) и 80% грунта (лессовая супесь);
- 20% буроугольной золы, 20% щебня (фр. 4,5-5,0 мм) и 60% грунта (лессовая супесь).

Все образцы испытывались с различной степенью влажности 0,4; 0,2 и различным коэффициентом пористости 0,4; 0,6; 0,8, подвергались компрессионным испытаниям с замачиванием (по методу «одной кривой»).

Испытания проводились на компрессионных приборах системы «Гидропроект» в соответствии с ГОСТ 23161-2012 [1] и ГОСТ 12248-2010 [3] определялись деформационные характеристики, сопротивление сдвигу, прочностные характеристики.

При проведении научных исследований были получены значения прочностных и деформационных характеристик просадочных грунтов и композитов с добавлением каменных материалов и буроугольной золы (таблицы 1, 2).

Физические характеристики исходных материалов

Физические характеристики грунта

Согласно ГОСТ 5180-84 [4] по гранулометрическому составу и числу пластичности I_p грунт – лессовая супесь, по показателю текучести J_L грунт – супесь твердая, по плотности скелета ρ_d грунт – плотный, по коэффициенту водонасыщения S_r грунт малой степени водонасыщения. Исследуемый грунт – лессовая твердая супесь.

Таблица – 1 Физические характеристики щебня

№ пробы щебня	Истинная плотность, г/см ³	Средняя плотность, г/см ³	Насыпная плотность, г/см ³
№ 1	2,4-2,6	2,4-2,6	1,4-1,6

Таблица – 2 Физические характеристики буроугольной золы

№ пробы золы	Истинная плотность г/см ³	Средняя плотность г/см ³	Насыпная плотность г/см ³	САО свободный, %	Сроки схватывания, мин
№ 1	2,8-3,1	1,9-2,15	1,0-1,2	3,67	26

При проведении компрессионных испытаний определялись деформационные характеристики грунтощебеночных смесей.

При проведении сдвиговых испытаний определялись прочностные характеристики грунтощебеночных смесей. За основу принята методика консолидированного сдвига образцов на основе просадочного грунта при сохранении естественной влажности материала. Испытания проводились на нескольких составах с различной степенью влажности и коэффициентом пористости. Буроугольная зола вводилась в количестве 20% от массы содержащегося в смеси грунта. В результате испытания было установлено, что добавление буроугольной золы в количестве 20% ведет к увеличению модуля общей деформации.

Анализ результатов компрессионных испытаний зависимости изменения модуля общей деформации от давления показал, что:

- при коэффициенте пористости 0,4 и степени влажности 0,2 у лессовидных просадочных грунтов и композитов с различными добавками, наибольший модуль деформации отмечается у состава 20% буроугольной золы, 20% щебня (фр. 4,5-5,0 мм) и 60% грунта (лессовая супесь);

- при коэффициенте пористости 0,6 и степени влажности 0,2 у лессовидных просадочных грунтов и композитов с различными добавками, наибольший модуль деформации отмечается у состава 20% буроугольной золы, 20% щебня (фр. 4,5-5,0 мм) и 60% грунта (лессовая супесь);

- при коэффициенте пористости 0,8 и степени влажности 0,2 у лессовидных просадочных грунтов и композитов с различными добавками, наибольший модуль деформации отмечается у состава 20% буроугольной золы и 80% грунта (лессовая супесь);

- при коэффициенте пористости 0,4 и степени влажности 0,4 у лессовидных просадочных грунтов и композитов с различными добавками, наибольший модуль деформации отмечается у состава 20% буроугольной золы и 80% грунта (лессовая супесь);

- при коэффициенте пористости 0,6 и степени влажности 0,4 у лессовидных просадочных грунтов и композитов с различными добавками, наибольший модуль деформации отмечается у состава 20% буроугольной золы и 80% грунта (лессовая супесь);

- при коэффициенте пористости 0,8 и степени влажности 0,4 у лессовидных просадочных грунтов и композитов с различными добавками, наибольший модуль деформации

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СОСТАВОВ ГРУНТА С ЗАКРЕПЛЕНИЕМ ВЯЖУЩИМИ И ДОБАВЛЕНИЕМ СТАБИЛИЗИРУЮЩИХ ДОБАВОК НА ПРОЧНОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ГРУНТА

отмечается у состава 20% буроугольной золы и 80% грунта (лессовая супесь).

Получаем, что при различной степени влажности и коэффициента пористости модуль общей деформации у лессовидных просадочных грунтов с добавлением щебня и буроугольной золы увеличивается.

Анализируя результаты сдвиговых испытаний:

- при степени влажности 0,2 и коэффициенте пористости 0,4 наибольшее значение удельного сцепления c для композита 20% буроугольной золы, 20% щебня (фр. 4,5-5,0 мм) и 60% грунта (лессовая супесь), наибольшее значение угла внутреннего трения φ наибольшее для композита 20% щебня (фр. 4,5-5,0 мм) и 80% грунта (лессовая супесь);

- при степени влажности 0,2 и коэффициенте пористости 0,6 наибольшее значение удельного сцепления c для композита 20% буроугольной золы, 20% щебня (фр. 4,5-5,0 мм) и 60% грунта (лессовая супесь), наибольшее значение угла внутреннего трения φ наибольшее для состава 20% буроугольной золы и 80% грунта (лессовая супесь);

- при степени влажности 0,2 и коэффициенте пористости 0,8 наибольшее значение удельного сцепления c для композита 100% грунт (лессовая супесь), наибольшее значение угла внутреннего трения φ наибольшее для состава 20% буроугольной золы, 20% щебня (фр. 4,5-5,0 мм) и 60% грунта (лессовая супесь);

- при коэффициенте пористости 0,4 и степени влажности 0,4 наибольшее значение удельного сцепления c для композита 20% буроугольной золы, 20% щебня (фр. 4,5-5,0 мм) и 60% грунта (лессовая супесь), наибольшее значение угла внутреннего трения φ наибольшее для композита 20% буроугольной золы и 80% грунта (лессовая супесь);

- при степени влажности 0,4 и коэффициенте пористости 0,6 наибольшее значение удельного сцепления c для композита 20% буроугольной золы, 20% щебня (фр. 4,5-5,0 мм) и 60% грунта (лессовая супесь), наибольшее значение угла внутреннего трения φ наибольшее для состава 20% буроугольной золы и 80% грунта (лессовая супесь);

- при степени влажности 0,4 и коэффициенте пористости 0,8 наибольшее значение удельного сцепления c для композита 100% грунт (лессовая супесь) и 20% буроугольной

золы, 20% щебня (фр. 4,5-5,0 мм) и 60% грунта (лессовая супесь), наибольшее значение угла внутреннего трения φ наибольшее для состава 20% буроугольной золы, 20% щебня (фр. 4,5-5,0 мм) и 60% грунта (лессовая супесь).

Получаем, что при различной степени влажности и коэффициенте пористости у лессовидных просадочных грунтов с добавлением щебня и буроугольной золы увеличивается удельное сцепление S .

Вывод

На основании проведенных испытаний можно сделать вывод, что добавление буроугольной золы и щебня в качестве стимулирующих добавок приводит к устранению просадочности и снижению деформационных характеристик грунта.

Применение композитных материалов для укрепления оснований сдерживается на территории региона из-за отсутствия достаточного экспериментального опыта. Необходимо продолжить исследования в этом направлении.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ 23161-2012. Грунты. Метод лабораторного определения характеристик просадочности. – М. : Стандартинформ, 2013. – 15 с.
2. ГОСТ 12248-2010. Грунты. Методы лабораторного определения характеристик прочности и деформируемости. – М. : Стандартинформ, 2011. – 162 с.
3. ГОСТ 25100-2011. Грунты. Классификация. – 63 с.
4. ГОСТ 5180-84. Грунты. Методы определения физических характеристик. – 2016. – 23 с.
5. ГОСТ 8269.0-97. Щебень и гравий из плотных горных пород и отходов промышленного производства для строительных работ. Методы физико-механических испытаний. – 2016. – 109 с.

Ковалева М.А. – аспирант ФГБОУ ВО АлтГТУ им. И.И. Ползунова, E-mail: stf-ofigig@mail.

Ананьев С.А. – аспирант ФГБОУ ВО АлтГТУ им. И.И. Ползунова.

Плешков А.В. – инженер кафедры «Основания, фундаменты, инженерная геология и геодезия» ФГБОУ ВО АлтГТУ им. И.И. Ползунова.