

А.В. Мащенко, А.Б. Пономарев

Пермский национальный исследовательский
политехнический университет, Пермь, Россия

Ю.Ю. Моисеева

ООО «РУСЭЛ-СтройГрупп», Пермь, Россия

АНАЛИЗ ИЗМЕНЕНИЯ ДЕФОРМАЦИОННЫХ СВОЙСТВ ГЛИНИСТОГО ГРУНТА, АРМИРОВАННОГО ГЕОСИНТЕТИЧЕСКИМИ МАТЕРИАЛАМИ ПРИ РАЗНОМ ПОКАЗАТЕЛЕ ТЕКУЧЕСТИ

Представлены результаты испытаний глинистых грунтов на компрессионное сжатие при разном показателе текучести, а также результаты испытаний грунта, армированного такими геосинтетическими материалами, как геотекстиль тканый, геотекстиль нетканый, геокомпозит и геосетка, и физико-механические свойства этих материалов. Проведен анализ влияния армирования геосинтетическими материалами на деформационные характеристики глинистого грунта.

Ключевые слова: глинистые грунты, армирование, геосинтетические материалы, деформационные свойства.

A.V. Mashchenko, A.B. Ponomarev

Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russian Federation

Iu.Iu. Moiseeva

Ltd "RUSEL-StroiGrup", Perm, Russian Federation

ANALYSIS OF CHANGE IN DEFORMATION PROPERTIES OF CLAY SOIL GEOSYNTHETIC REINFORCED MATERIALS WITH DIFFERENT FLOW INDEX

The article presents the results of direct compression on clay soils specimens of varying fluidity indicator. And the results of test of soil specimens reinforced different geosynthetics such as geotextiles, geogrid, geocomposite and physico-mechanical properties of this materials. The analysis of the influence of geosynthetics reinforcement was carried out on the deformation characteristics of the clay soils.

Keywords: clay soils, reinforcement, geosynthetics, deformation properties.

Деформируемость является одной из важнейших характеристик грунтов. В Пермском крае широко распространены глинистые грунты, которые в маловлажном состоянии обладают высоким сопротивлением нагрузке и небольшой сжимаемостью, но при высокой влажности резко

понижают свою прочность и дают большие и долго продолжающиеся осадки сооружений [1]. Деформируемость глинистых грунтов обусловлена главным образом взаимным перемещением твердых частиц грунта, и они способны испытывать длительные незатухающие деформации под постоянной нагрузкой. Такие грунты вызывают трудности при строительстве дорожных одежд и проектировании, возведении и эксплуатации зданий и сооружений, в которых под воздействием внешних факторов могут возникать значительные вертикальные деформации [1].

Одним из способов улучшения деформационных свойств грунтов является армирование оснований геосинтетическими материалами. Опыт применения геосинтетических материалов в мировой практике строительства достаточно велик. В Пермском крае геосинтетические материалы впервые стали применяться около 30 лет назад. С тех пор накоплен значительный опыт применения таких конструкций, большинство которых продолжают выполнять свои проектные функции [2].

Деформационные характеристики могут быть определены как в полевых, так и в лабораторных условиях. Лабораторные испытания до настоящего времени являются основным методом изучения свойств грунтов, так как позволяют сравнительно просто передавать различные давления на грунт, исследовать поведение грунта в широких диапазонах изменения физического состояния и условий окружающей среды, моделировать сложные случаи работы грунта в основании или теле сооружений. Одним из способов определения деформационных характеристик в лабораторных условиях является метод компрессионного сжатия. Это испытание в условиях одноосного сжатия без возможности бокового расширения [3]. Компрессионное сжатие моделирует процесс уплотнения грунта под фундаментом. В качестве деформационной характеристики грунта часто используют модуль деформации E , который характеризует остаточные и упругие деформации.

Для испытаний были отобраны глинистые грунты пробоотборником с помощью буровой установки КВ-13 (рис. 1). Отбор и транспортировка проб осуществлялась согласно ГОСТ 12071–2000 «Грунты. Отбор, упаковка, транспортирование и хранение образцов». Испытания грунтов проводились в лаборатории кафедры «Строительное производство и геотехника» Пермского национального исследовательского политехнического университета.

У отобранных глинистых образцов были определены физические характеристики по ГОСТ 5180–84 «Грунты. Методы лабораторного определения физических характеристик» (табл. 1). Граница текучести

определялась с помощью балансирующего конуса – прибора Васильева, а граница пластичности – на устройстве для раскатывания связного грунта в жгут ГТ 1.8.2 фирмы ООО «НПП «Геотек» (рис. 2).



Рис. 1. Буровая установка КВ-13

Таблица 1

Физические характеристики глинистого грунта

Характеристика грунта	Обозначение	Значение
Природная влажность грунта	ω , д. ед.	0,23
Влажность на границе текучести	ω_L , д. ед.	0,37
Плотность грунта	ρ , г/см ³	1,89
Влажность грунта на границе раскатывания	ω_p , д. ед.	0,13
Удельный вес грунта	γ , Н/см ³	18,9
Коэффициент пористости	e , д. ед.	0,73

С целью определения деформационных характеристик, а именно – модуля общей деформации E , для грунтов были заданы разные показатели текучести: $I_L = 0,4$ (тугопластичные); $I_L = 0,6$ (мягкопластичные); $I_L = 0,8$ (текучепластичные).

Для задания определенного показателя текучести была сделана глинистая паста следующим образом. После определения физических характеристик глинистый грунт высушивался в сушильном шкафу при контролируемой температуре 105 °С. Затем грунт измельчался молотком до тонкодисперсного состояния, просеивался через лабораторное сито с размером отверстий менее 0,1 мм и еще раз высушивался. Далее определялся удельный вес частиц грунта и его плотность, после чего с учетом заданных необходимых значений влажности грунта, его удельного веса, показателя текучести и пластичности готовилась грунтовая глинистая паста путем постепенного добавления необходимого количества воды к постоянному объему глинистого грунта [4].



Рис. 2. Устройство для раскатывания связного грунта в жгут ГТ 1.8.2

Необходимое значение влажности грунта определяется по формуле

$$w = I_L (w_L - w_p) + w_p, \quad (1)$$

где w – необходимая влажность грунта; I_L – заданный показатель текучести; w_L – верхняя граница текучести; w_p – нижняя граница раскатывания.

Количество воды, которое необходимо добавить в сухой грунт для получения грунта, определяется по формуле

$$m_w = w \cdot m_s, \quad (2)$$

где m_w – необходимая масса воды; m_s – масса сухого грунта.

Испытания грунта на компрессионное сжатие проводились с использованием комплекса автоматизированных систем испытаний в строительстве «АСИС-6» (рис. 3).

Согласно ГОСТ 12248–2010 «Грунты. Методы лабораторного определения характеристик прочности и деформируемости» для компрессионных испытаний использовались грунты нарушенного сложения с заданной влажностью, плотностью и показателем текучести. Диаметр образцов составил 70 мм, высота 20 мм. При испытании грун-



Рис. 3. Прибор для компрессионного сжатия

тов с показателем текучести $I_L = 0,4$ и $0,6$ были назначены следующие ступени нагружения: 25, 50, 100, 200, 300 кПа. Для грунтов с показателем текучести $I_L = 0,8 - 12, 25, 50, 100, 200, 300$ кПа. За критерий условной стабилизации грунта принималось ее приращение, не превышающее $0,05\%$ за 12 ч. Деформации образца регистрировались через определенные промежутки времени: сразу после приложения нагрузки, далее через 0,25, 0,5, 1, 2, 5, 10, 20, 30 мин, далее с интервалом 1 ч в течение рабочего дня до момента достижения условной стабилизации деформации [5].

По результатам испытаний вычисляется модуль деформации E по формуле

$$E = \frac{1 + e_0}{m_0} \beta, \quad (3)$$

где m_0 – коэффициент сжимаемости, соответствующий Δp ; β – коэффициент, учитывающий отсутствие поперечного расширения грунта в компрессионном приборе; для глин принимается равным $0,4$; e_0 – коэффициент пористости.

Результаты компрессионных испытаний приведены в табл. 2.

Таблица 2

Деформационные характеристики глинистого грунта

Характеристика грунта	Обозначение	Значения характеристик при $I_L = 0,4$	Значения характеристик при $I_L = 0,6$	Значения характеристик при $I_L = 0,8$
Компрессионный модуль деформации	E , МПа	1,23	1,05	0,98

Далее были проведены компрессионные испытания глинистых грунтов, армированных геосинтетическими материалами: тканый геотекстиль «Геоспан ТН-50», нетканый геотекстиль «Дорнит», геосетка ОС, геокompозит Polyfelt Rock ПЕС (рис. 4).

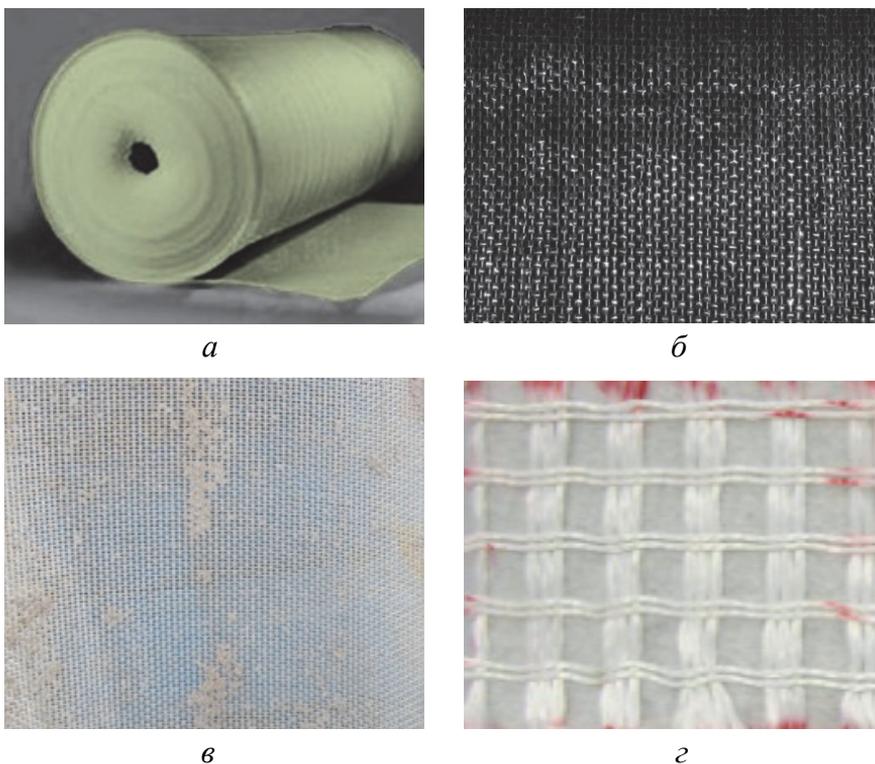


Рис. 4. Образцы геосинтетических материалов: *а* – нетканый геотекстиль «Дорнит»; *б* – тканый геотекстиль «Геоспан-ТН 50»; *в* – геосетка ОС; *г* – геокомпозит Polyfelt Rock PEC

Нетканый геотекстиль представляет собой плоскую структуру, которая состоит из синтетических волокон, скрепленных между собой механическим методом. Такой материал не гниет, через него не прорастают корни растений, а структура обеспечивает хорошие прочностные и фильтрующие свойства. Нетканые материалы исторически были первым типом геосинтетиков, которые выпускались текстильной промышленностью. До сих пор эти материалы продолжают использоваться во всем мире в ходе различных геотехнических работ. Основные функции геотекстиля – разделение, армирование, фильтрация, дренаж, а также их сочетание [6].

Тканый геотекстиль – плоская и системная структура, сотканная из нескольких рядов синтетических лент, которые позволяют получить системные малоразмерные переплетения. Прочен во всех направлениях, морозостоек. При укладке в земляное сооружение образует сложную конструкцию, в которой действует как арматура [2].

Геосетка – сетчатая плоская структура, образованная из двух перекрывающихся рядов волокон толщиной 3 мм, крест на крест, под углом 90°. Часто используется в комбинации с геотекстилем и с геомембранами. Основные функции – фильтрационная и дренажная [2].

Геокомпозит представляет собой нетканый иглопробивной геотекстиль, упрочненный высокопрочными полиэфирными нитями. Применяется для стабилизации и армирования мелкозернистого грунта, где наряду с высокой прочностью необходима эффективная фильтрация и разделение. Поставляется в одноосном и двуосном исполнении. Основные функции: армирование, разделение, фильтрация и дренаж [7].

Физико-механические характеристики используемых геосинтетических материалов представлены в табл. 3 [2]. Экспериментальные исследования проводились на испытательной разрывной машине МТ-136 (рис. 5).

Таблица 3

**Значения физико-механических характеристик
геосинтетических материалов**

Характеристика	Нетканый геотекстиль «Дорнит»	Геосетка ОС № 8	Тканый геотекстиль «Геоспан ТН-50»	Геокомпозита Polyfelt Rock PЕС
Состав	полипропилен	полиэстер	полипропилен	полипропилен, полиэфир
Поверхностная плотность, г/м ²	530	350	296	530
Разрывная нагрузка при испытании на растяжение вдоль/поперек, кН	13/14	108,4/83	47,4/46,6	29/67,8
Относительное удлинение при максимальной нагрузке вдоль/поперек, %	50/60	26,09/28,19	14,14/14	10/18

Испытания армированных глинистых грунтов проводились также при разном показателе текучести по методике, изложенной ранее. При армировании образцов слой геосинтетика был расположен внутри образца грунта. Результаты испытаний приведены в табл. 4.

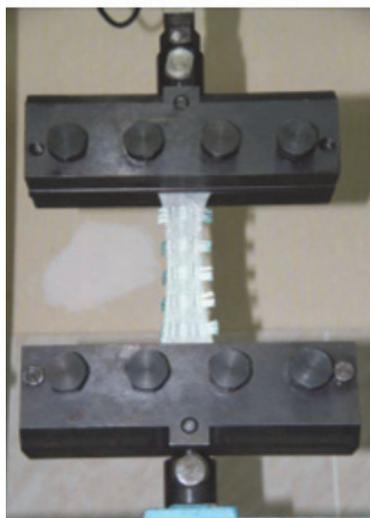


Рис. 5. Образец геокompозита Polyfelt Rock PEC на разрывной машине МТ-136

Таблица 4

**Деформационные характеристики
неармированного и армированного глинистого грунта
при разном показателе текучести**

Используемый грунт	Показатель текучести	Компрессионный модуль деформации E , кПа, в интервале 200–300 кПа
Глина неармированная	0,4	1,23
	0,6	1,05
	0,8	0,98
Глина, армированная нетканым геотекстилем	0,4	1,35
	0,6	1,2
	0,8	1,2
Глина, армированная геосеткой	0,4	1,26
	0,6	1,10
	0,8	1,02
Глина, армированная тканым геотекстилем	0,4	1,25
	0,6	1,1
	0,8	1
Глина, армированная геокompозитом	0,4	1,45
	0,6	1,3
	0,8	1,15

Компрессионный модуль деформации E корректируют с помощью повышающего коэффициента m_k . Согласно СП 22.13330.2011 «Основания зданий и сооружений» $m_k = 6$. Результаты модуля деформации с учетом повышающего коэффициента приведены на диаграмме (рис. 6).

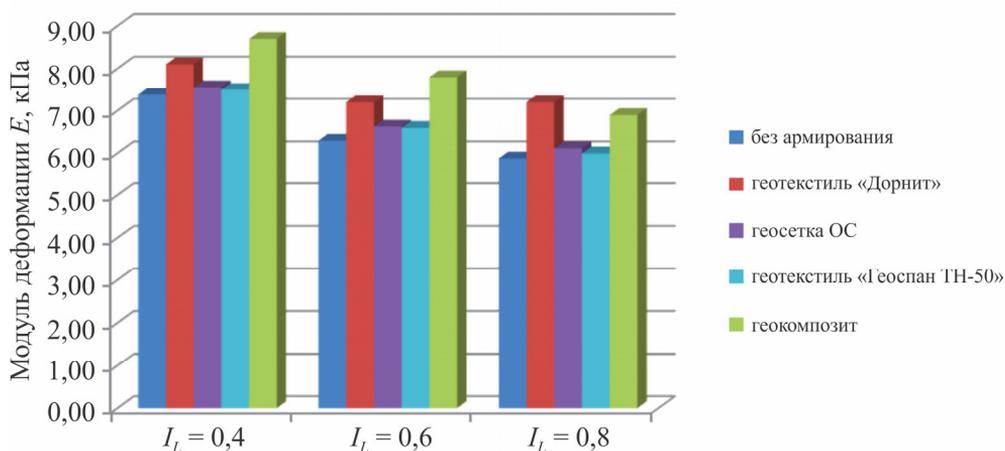


Рис. 6. Результаты модуля деформации E у неармированных и армированных глинистых грунтов

Результаты лабораторных исследований показывают, что геосинтетические материалы, внедренные в грунт, снижают деформации грунта, повышают несущую способность основания, что приводит к снижению осадок. Благодаря улучшенным характеристикам армированных геосинтетическими материалами грунт может использоваться для строительства дорог и устройства улучшенных оснований. Из рис. 7 видно, что наиболее заметно улучшают деформационные характеристики грунта нетканый геотекстиль и геокомпозит. Отсюда следует, что нетканые геосинтетические материалы больше подходят для армирования глинистых грунтов независимо от их консистенции. Хотя следует отметить, что с увеличением водонасыщения глинистых грунтов эффективность армирования снижается, но не значительно. Согласно результатам ранее проведенных исследований следует отметить, что при проектировании оснований текстильными материалами необходимо учитывать дополнительную осадку, возникающую вследствие сжимаемости армирующего материала [8].

Таким образом, использование геосинтетических материалов позволяет целенаправленно улучшать деформационные свойства грунтов, а их внедрение в строительство позволит существенно снизить экономические затраты.

Список литературы

1. Машенко А.В., Пономарев А.Б. К вопросу использования армированных сезоннопромерзающих пучинистых грунтов в качестве оснований фундаментов // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура. – 2012. – С. 64–80.
2. Татьянников Д.А., Клевеко В.И. Исследование характера зависимости «деформация – линейная жесткость» для разных типов геосинтетических материалов // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Охрана окружающей среды, транспорт, безопасность жизнедеятельности. – 2013. – № 1. – С. 165–172.
3. Некоторые результаты исследования грунтовых свай в геосинтетической оболочке / Р.И. Шенкман, А.Б. Пономарев, О.А. Богомолова, В.Г. Офрихтер // Сб. ст., посвященный 60-летию профессора А.Н. Богомолова / ВолГАСУ. – Волгоград, 2014. – С. 201–209.
4. Кузнецова А.С., Пономарев А.Б. Планирование и подготовка эксперимента трехосного сжатия глинистого грунта, улучшенного фибровым армированием // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура. – 2013. – № 1. – С. 151–161.
5. Машенко А.В., Пономарев А.Б. Планирование экспериментов по улучшению пучинистых свойств сезоннопромерзающих грунтов с помощью геосинтетических материалов // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура. – 2013. – № 2. – С. 24–32.
6. Машенко А.В. Пономарев А.Б. Анализ изменения прочностных и деформационных свойств грунта, армированного геосинтетическими материалами при разной степени водонасыщения // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура. – 2014. – № 4. – С. 264–273.
7. Пономарев А.Б., Офрихтер В.Г. Анализ и проблемы исследований геосинтетических материалов в России // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура. – 2013. – № 2. – С. 68–73.
8. Татьянников Д.А., Клевеко В.И. Влияние сжимаемости армирующего материала на осадку фундамента при штамповых модельных испытаниях на примере геокомпозита // Вестник Пермского национа-

нального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура. – 2013. – № 2. – С. 124–132.

References

1. Mashchenko A.V., Ponomarev A.B. K voprosu ispol'zovaniia armirovannykh sezonnopromerzaiushchikh puchinistykh gruntov v kachestve osnovanii fundamentov [The question of the use of reinforced seasonal freezing heaving soils as bases foundations]. *Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Stroitel'stvo i arkhitektura*, 2012, pp. 64-80.

2. Tat'iannikov D.A., Kleveko V.I. Issledovanie kharaktera zavisimosti "deformatsiia – lineinaia zhestkost'" dlia raznykh tipov geosinteticheskikh materialov [Study of the nature of dependence "strain – linear stiffness" for different types geosynthetics]. *Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Okhrana okruzhaiushchei sredy, transport, bezopasnost' zhiznediel'nosti*, 2013, no. 1, pp. 165-172.

3. Shenkman R.I., Ponomarev A.B., Bogomolova O.A., Ofrikhter V.G. Nekotorye rezul'taty issledovaniia gruntovykh svai v geosinteticheskoi obolochke [Some results of research of soil piles in a geosynthetic cover]. *Sbornik statei, posviashhennyi 60-letiiu professora A.N. Bogomolova*. Volgograd: Volgogradskii gosudarstvennyi arkhitekturno-stroitel'nyi universitet, 2014, pp. 201-209.

4. Kuznetsova A.S., Ponomarev A.B. Planirovanie i podgotovka eksperimenta trekhosnogo szhatiia glinistogo grunta, uluchshennogo fibrovym armirovaniiem [Experimental design and triaxial test preparation of clay soils treated by fiber reinforcement]. *Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Stroitel'stvo i arkhitektura*, 2013, no. 1, pp. 161-151.

5. Mashchenko A.V., Ponomarev A.B. Planirovanie eksperimentov po uluchsheniiu puchinistykh svoistv sezonnopromerzaiushchikh gruntov s pomoshch'iu geosinteticheskikh materialov [Experiments to investigate improving of heaving properties of seasonal freezing soils by geosynthetics]. *Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Stroitel'stvo i arkhitektura*, 2013, no. 2, pp. 24-32.

6. Mashchenko A.V. Ponomarev A.B. Analiz izmeneniia prochnostnykh i deformatsionnykh svoistv grunta, armirovannogo geosinteticheskimi materialami pri raznoi stepeni vodonasyshcheniia [The

analysis of strength and deformation propertys changes in the soil reinforced with geosynthetics at different degrees of water-saturation]. *Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Stroitel'stvo i arkhitektura*, 2014, no. 4, pp. 264-273.

7. Ponomarev A.B., Ofrikhter V.G. Analiz i problemy issledovaniy geosinteticheskikh materialov v Rossii [Analysis and problems of geosynthetic material application in Russian Federation]. *Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Stroitel'stvo i arkhitektura*, 2013, no. 2, pp. 68-73.

8. Tat'iannikov D.A., Kleveko V.I. Vliianie szhimaemosti armiruiushchego materiala na osadku fundamenta pri shtampovykh model'nykh ispytaniyakh na primere geokompozita [The compressibility reinforcements on precipitation fundament die model tests, the example of geokomposite]. *Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Stroitel'stvo i arkhitektura*, 2013, no. 2, pp. 124-132.

Получено 12.11.2014

Об авторах

Мащенко Александра Витальевна (Пермь, Россия) – ассистент кафедры «Строительное производство и геотехника» Пермского национального исследовательского политехнического университета (614010, г. Пермь, ул. Куйбышева, 109, e-mail: Lybra013@yandex.ru).

Пономарев Андрей Будимирович (Пермь, Россия) – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Строительное производство и геотехника» Пермского национального исследовательского политехнического университета (614010, г. Пермь, ул. Куйбышева, 109, e-mail: spstf@pstu.ru).

Моисеева Юлия Юрьевна (Пермь, Россия) – инженер производственно-технического отдела ООО «РУСЭЛ-СтройГрупп» (614060, г. Пермь, ул. Вагановых, 11а, e-mail: fiery-flame@mail.ru).

About the authors

Mashchenko Aleksandra Vital'evna (Perm, Russian Federation) – Assistant, Department of Construction Technology and Geotechnics, Perm National Research Polytechnic University (109, Kuibyshev st., Perm, 614010, Russian Federation, e-mail: Lybra013@yandex.ru).

Ponomarev Andrei Budimirovich (Perm, Russian Federation) – Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of Department of Construction Technology and Geotechnics, Perm National Research Polytechnic University (109, Kuibyshev st., Perm, 614010, Russian Federation, e-mail: spstf@pstu.ru).

Moiseeva Iuliia Iur'evna (Perm, Russian Federation) – Engineer, Department of Production and Technical, Ltd “RUSEL-StroiGrup” (11a, Vaganovy st., Perm, 614060, Russian Federation, e-mail: fiery-flame@mail.ru).