DOI: 10.15593/2224-9826/2015.3.09

УДК 692.115

С.А. Сазонова, А.Б. ПономаревПермский национальный исследовательский
политехнический университет, Пермь, Россия

ПЛАНИРОВАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТА ПО ИССЛЕДОВАНИЮ ЗАВИСИМОСТИ МЕЖДУ КОЭФФИЦИЕНТОМ УПЛОТНЕНИЯ И МОДУЛЕМ ДЕФОРМАЦИИ

Существует пять известных основных методов механического уплотнения грунтов: укатка, вибрирование, трамбование, вибротрамбование и комбинированный метод. Независимо от вида грунта и выбранного метода уплотнения особое внимание должно уделяться контролю качества при выполнении работ. Основным контролируемым параметром при производстве работ по уплотнению грунтов является коэффициент уплотнения. При расчете осадок зданий и сооружений основной характеристикой является модуль деформации. Таким образом, можно сделать вывод о практической необходимости получения зависимости между коэффициентом уплотнения и модулем деформации, т.е. найти взаимосвязь между основным параметром, контролируемым при производстве работ, и характеристикой, используемой при проектировании. В статье приводится планирование ряда экспериментов для нахождения данной зависимости. На первом этапе исследования, независимо от условий проведения испытаний (реальный объект либо эксперимент в лотке), планируется определение максимальной плотности и оптимальной влажности по ГОСТ 22733–2002 «Грунты. Метод лабораторного определения максимальной плотности» для последующего определения коэффициента уплотнения. Далее после определения коэффициента уплотнения грунта планируется отбирать пробы методом режущего кольца для проведения компрессионных испытаний с последующим определением компрессионного модуля деформации согласно п. 5.4 ГОСТ 12248–2010 «Грунты. Методы лабораторного определения характеристик прочности и деформируемости». В лотке планируется достигать значений коэффициентов уплотнения 0,92; 0,95; 0,97. Для каждого коэффициента уплотнения необходимо провести минимум 6 компрессионных испытаний, итого минимальное количество образцов 18 штук. По данным испытаниям составлены сводные таблицы значений и построены графики зависимости компрессионного модуля от коэффициента уплотнения.

Ключевые слова: методы уплотнения грунтов, планирование эксперимента, коэффициент уплотнения, лабораторные испытания грунтов, динамический плотномер, модуль деформации.

S.A. Sazonova, A.B. Ponomarev

Perm National Research Polytechnic University,
Perm, Russian Federation

EXPERIMENTAL DESIGN TO INVESTIGATE THE DEPENDENCE BETWEEN THE COEFFICIENT OF COMPACTION AND THE MODULUS OF DEFORMATION

There are five basic methods of mechanical soil compaction: rolling, vibration, compacting, vibrocompacting and combined method. Regardless of the type of soil and the chosen method of sealing, special attention should be paid to the quality control during the work. The main controlled parameter when performing any soil compaction is the coefficient of consolidation. In calculating of settlement buildings the main characteristic is the modulus of deformation. Thus, we can conclude the necessity of obtaining the dependence between the coefficient of compaction and the modulus of deformation, that is, to find the dependence between the main parameter controlled about the production of works and frequently used in the design. The article is planning a series of experiments to find this dependence. In the first phase of the study, regardless of the test conditions (real object or experiment in the tray), planned determination of the maximum density and optimum moisture content in accordance with GOST 22733–2002 “Soils. Laboratory methods for determining the maximum density” for subsequent determination of compaction factor. Next, after determining factor compaction is planned to take samples by cutting ring for compression testing with subsequent determination of the compression modulus of deformation in accordance with GOST 12248–2010 “Soils. Laboratory methods for determining the strength and strain” in accordance with para. 5.4. The tray is planned to reach values of the compaction factor of 0.92; 0.95; 0.97. For each factor is necessary to seal at least 6 compression test, for a total minimum quantity of 18 pieces of samples. According to the tests will be compiled summary tables of values and plotted the compression ratio of the compression module.

Keywords: methods of soil compaction, planning experiment, coefficient of consolidation, soil laboratory testing, dynamic density, deformation module.

В практике промышленного, гражданского, а также дорожного строительства для улучшения свойств грунтов, которые имеют различные физико-механические свойства, часто применяется уплотнение. Работы по уплотнению грунтов могут производиться на больших территориях, в насыпях, на откосах, в траншеях, котлованах и т.д. Техногенные грунты необходимо уплотняются послойно, причем толщина слоев зависит не только от вида грунта, но и от метода уплотнения и механизмов, которыми отсыпают грунт.

Методы механического уплотнения грунтов характеризуются принципом воздействия грунтоуплотняющих машин на уплотняемый грунт [1]. Известны пять основных методов механического уплотнения грунтов (рис. 1).

Рис. 1. Основные методы механического уплотнения грунтов

Метод укатки основан на действии статических нагрузок на грунт, т.е. происходит в результате давления, создаваемого вальцами или колесами, перекатывающимися по поверхности грунта. Данный метод эффективен при уплотнении связных и малосвязных грунтов. Технология не нашла применения в условиях плотной городской застройки, поскольку катки, работающие по этому методу, обладают малой маневренностью и большими габаритами.

Метод уплотнения грунта вибрированием основан на передаче механических гармонических колебаний от рабочих органов (вальца, колеса, плиты) на уплотняемый грунт. Часть кинетической энергии расходуется на колебание грунта, которое вызывает относительное смещение его частиц, чем достигается более плотная их «упаковка». В связи с этим данная технология применяется не только для малосвязных грунтов, но и для не связных. Стоит отметить, что связные грунты могут быть уплотнены вибрированием лишь после разрушения связей между частицами, что при обычном оборудовании практически невозможно.

Вибротрамбование отличается от трамбования высокой частотой ударов. Несмотря на малую высоту падения вибрирующей массы, при высоких скоростях движения энергия удара может быть значительной.

Метод уплотнения трамбованием основан на передаче грунту ударных нагрузок. В отличие от вибрационного и вибротрамбующего, он характеризуется высокой энергией удара при достаточной скорости приложения нагрузки и большой массе рабочего органа, благодаря чему обеспечивается уплотнение связных и не связных грунтов слоями значительной толщины [2]. Уплотнение трамбованием осуществляется в результате удара свободнопадающих с определенной высоты рабо-

чих органов в виде плит или грузов. В момент соприкосновения с грунтом происходит удар, при котором за короткий промежуток времени скорость трамбовки изменяется до нуля, вследствие чего развиваются большие напряжения на поверхности контакта. Метод уплотнения грунта трамбованием нашел наиболее широкое применение в промышленном строительстве при устройстве грунтовых подушек под основание фундаментов зданий и сооружений, технологического оборудования.

Комбинированный метод уплотнения основан на использовании различного сочетания воздействия на грунт статических, вибрационных, вибротрамбующих и трамбующих нагрузок. Этот метод позволяет уплотнять все виды грунтов и применяется при больших объемах работ.

Независимо от вида грунта и выбранного метода уплотнения особое внимание должно уделяться контролю качества при выполнении работ. Как известно из практики, ошибки при строительстве являются наиболее частыми. Недоуплотнение грунтов основания может привести к неравномерным осадкам фундаментов, деформациям конструкции полов, устраиваемых по грунту, нарушению гидроизоляции, и, как следствие, нарушению условий нормальной эксплуатации здания вплоть до возникновения аварийной ситуации [3, 4].

Основным контролируемым параметром при производстве работ по уплотнению грунтов является коэффициент уплотнения, требуемое значение которого можно определить в зависимости от нагрузки на поверхность, типа грунта и толщины отсыпки по табл. М.2 СП 45.13330. При расчете осадок зданий и сооружений основной характеристикой является модуль деформации. Таким образом, можно сделать вывод о практической необходимости получения зависимости между коэффициентом уплотнения и модулем деформации, т.е. найти взаимосвязь между основным параметром, контролируемым при производстве работ, и характеристикой, используемой при проектировании [5].

Цель исследования – получение зависимости между коэффициентом уплотнения и модулем деформации. Для достижения цели авторами сформулированы следующие задачи:

- 1) ознакомление с методиками проведения лабораторных испытаний по определению коэффициента уплотнения и модуля деформации;

- 2) подготовка площадки (лотка) для проведения испытаний;

3) проведение экспериментов по определению коэффициента уплотнения и модуля деформации;

4) анализ полученных результатов.

Объектом исследования будут являться грунты обратных засыпок, основания под полы и фундаменты. Согласно СП 45.13330.2012 для выполнения насыпей и обратных засыпок, как правило, следует использовать местные крупнообломочные, песчаные, глинистые грунты, а также экологически чистые отходы промышленных производств, аналогичные по виду и составу грунтам природного происхождения, отвечающие требованиям приложения М данного документа. В практике строительства при проведении данных видов работ применяется ПГС, поэтому авторами было принято решение использовать этот вид грунта в настоящем исследовании.

Работы планируется проводить на базе лаборатории кафедры СПГ ПНИПУ. По возможности, испытания будут проводиться для реальных объектов г. Перми, при необходимости результаты следует дополнить экспериментами в лотке [6]. В качестве лотка принята бочка с жесткими стенками, в которую будет укладываться грунт с послойным уплотнением ручной трамбовкой для имитации технологии укладки грунта в обратную засыпку.

На первом этапе исследования, независимо от условий проведения испытаний (реальный объект либо эксперимент в лотке), необходимо определить максимальную плотность и оптимальную влажность по ГОСТ 22733–2002 «Грунты. Метод лабораторного определения максимальной плотности» для последующего определения коэффициента уплотнения.

Метод стандартного уплотнения заключается в установлении зависимости плотности сухого грунта от его влажности при уплотнении образцов грунта с постоянной работой уплотнения и последовательным увеличением влажности грунта. Результаты проведенных испытаний будут оформляться в виде графиков зависимости плотности от влажности (рис. 2).

Для проведения испытаний будут использоваться образцы грунта нарушенного сложения [7]. Число последовательных испытаний грунта при увеличении его влажности должно быть не менее пяти, а также достаточным для выявления максимального значения плотности сухого грунта по графику стандартного уплотнения. Допустимое расхождение между результатами параллельных определений, полученными в условиях повторяемости, выраженное в относительных единицах, не

должно превышать для максимального значения плотности сухого грунта 1,5 %, для оптимальной влажности – 10 %. При расхождениях более чем допустимые планируется проведение дополнительных испытаний.

Рис. 2. График стандартного уплотнения

Уплотнение образцов будет производиться на приборе стандартного уплотнения ГТ 1.4.1 (рис. 3) [8, 9].

Рис. 3. Прибор стандартного уплотнения ГТ 1.4.1:
1 – блок управления; 2 – механизм подъемно-сбросной;
3 – форма для формирования образца грунта с поршнем

Также в перечень необходимого оборудования входят:

- весы для статического взвешивания на 2–5 кг среднего класса точности по ГОСТ 29329;
- весы лабораторные на 0,2–1,0 кг 4-го класса точности по ГОСТ 24104;
- линейка длиной не менее 300 мм по ГОСТ 427;
- чашки металлические для испытаний вместимостью 5 л;
- устройство растирочное или ступка фарфоровая с пестиком по ГОСТ 9147;
- шкаф сушильный;
- набор сит с диаметром отверстий 20, 10 и 5 мм;
- эксикатор Э-250 по ГОСТ 23932;
- шпатель металлический;
- нож лабораторный с прямым лезвием длиной не менее 150 мм.

Все средства измерений на время планируемых экспериментов прошли поверку и калибровку, а испытательное оборудование аттестовано в установленном порядке. Необходимая для подготовки пробы грунта масса образца грунта нарушенного сложения при естественной влажности должна быть не менее 10 кг при наличии в грунте частиц крупнее 10 мм и не менее 6 кг – при отсутствии частиц крупнее 10 мм.

Далее грунт взвешивают (m_p) и просеивают через сита с отверстиями диаметром 20 и 10 мм. При этом вся масса грунта должна пройти через сито с отверстиями диаметром 20 мм. Затем взвешивают отсеянные крупные частицы (m_k). Если масса частиц грунта крупнее 10 мм составляет 5 % и более, дальнейшее испытание проводят с пробой грунта, прошедшего через сито 10 мм. Если масса частиц грунта крупнее 10 мм составляет менее 5 %, производят дальнейшее просеивание грунта через сито с отверстиями диаметром 5 мм и определяют содержание частиц крупнее 5 мм. В этом случае дальнейшее испытание проводят с пробой грунта, прошедшего через сито 5 мм.

Испытание проводят, последовательно увеличивая влажность грунта испытываемой пробы. При первом испытании влажность грунта должна соответствовать значению, установленному в соответствии с п. 6.1.11 ГОСТ 22733–2002. При каждом последующем испытании влажность грунта следует увеличивать на 1–2 % для не связных грунтов. Испытание следует считать законченным, когда с повышением влажности пробы при последующих двух испытаниях происходит последовательное уменьшение значений массы и плотности уплотняемо-

го образца грунта, а также когда при ударах происходит отжатие воды или выделение разжиженного грунта через соединения формы. В процессе испытания необходимо вести журнал, форма которого приведена в приложении Б ГОСТ 22733–2002.

По полученным в результате последовательных испытаний значениям плотности и влажности грунта вычисляют значения плотности сухого грунта ρ_{di} , г/см³, с точностью 0,01 г/см³, по формуле

$$\rho_{di} = \frac{\rho_i}{1 + 0,01w_i}, \quad (1)$$

где ρ_i – плотность грунта, г/см³; w_i – влажность грунта при очередном испытании, %.

Далее строится график зависимости значений плотности сухого грунта от влажности (см. рис. 2). По наивысшей точке графика для связных грунтов находят значение максимальной плотности ($\rho_{d\max}$) и соответствующее ему значение оптимальной влажности (w_{opt}).

Под значением коэффициента уплотнения принято считать отношение достигнутой плотности сухого грунта к максимальной плотности сухого грунта, полученной в приборе стандартного уплотнения по ГОСТ 22733–2002. Данная методика определения коэффициента

Рис. 4. Динамический плотномер грунта ДПГ-1.2

уплотнения весьма трудоемка, проведение экспериментов занимает длительное время, приблизительно 4 ч. Необходимость быстрой оценки свойств основания или степени уплотнения грунта обратной засыпки доказывает строительная практика [3]. В связи с этим возрастает роль экспресс-методов при определении коэффициента уплотнения, поскольку применение таких методов позволяет избежать непредвиденных перерывов в работе. Поэтому автором было принято решение параллельно с определением коэффициента по ГОСТу проводить оценку плотности грунтового массива при помощи динамического плотномера ДПГ-1.2. (рис. 4).

Прибор динамический плотномер ДПГ-1.2 предназначен для определения статического модуля упругости E_{st} и динамического модуля упругости E_d . Принцип работы прибора заключается в измерении амплитуды полной осадки (перемещения) S грунта под круглым штампом (платформой, плитой), при воздействии на него ударной нагрузки (силы) F . Во время удара электронный блок прибора автоматически записывает сигналы с датчиков силы и усадки платформы. Одновременно с этим микропроцессор производит двойное интегрирование сигнала ускорения и вычисляет амплитуду осадки грунта.

На выбранных участках, в непосредственной близости к местам отбора грунта ненарушенной структуры, будет проведена серия измерений модулей упругости. Коэффициент уплотнения K_{com} можно определять в зависимости от вида грунта и модулей упругости по таблице, приведенной в руководстве по эксплуатации ДПГ-1.2 [10]. В данной таблице приведены значения коэффициента уплотнения $K_{com} \geq 0,97$, которые не всегда входят в интервал величин, полученных для экспериментальных площадок. В связи с этим при коэффициенте менее указанного значения будут строиться графики зависимости найденных модулей от коэффициента уплотнения K_{com} , полученного при испытаниях по ГОСТу. Более того, в ранних исследованиях авторов было замечено значительное влияние влажности на показания прибора. При большой влажности модули упругости относительно малы, в то время как коэффициенты уплотнения удовлетворяют требованиям. Влияние влажности на модули упругости будет исследоваться дополнительно.

Далее после определения коэффициента уплотнения грунта будут отбираться пробы методом режущего кольца для проведения компрессионных испытаний с последующим определением компрессионного модуля деформации согласно п. 5.4 ГОСТ 12248–2010 «Грунты. Методы лабораторного определения характеристик прочности и деформируемости» (рис. 5).

Модуль деформации определяют по результатам испытаний образцов грунта в компрессионных приборах (одометрах), исключающих возможность бокового расширения образца при его нагружении вертикальной нагрузкой [11]. Результаты испытаний необходимо оформить в виде графиков зависимостей деформаций образца от нагрузки (рис. 6).

Рис. 5. Прибор для проведения компрессионных испытаний (одометр)

Рис. 6. График зависимости деформаций образца от нагрузки

Диапазон давлений, при которых проводят испытания, определяется в программе испытаний с учетом напряженного состояния грунта в массиве, т.е. с учетом передаваемых на основание нагрузок и бытового давления. Во всех случаях конечное давление должно быть больше бытового давления на глубине залегания образца грунта.

Образец грунта должен иметь форму цилиндра диаметром не менее 70 мм и отношение диаметра к высоте должно составлять от 2,8 до 3,5. Максимальный размер фракции грунта (включений, агрегатов) в образце должен быть не более 1/5 высоты образца. Нагружение образца проводят ступенями нагрузки равномерно, без ударов. При испытании выбранного типа грунта ступень давления принять в зависимости от коэффициента пористости по табл. 5.8 ГОСТ 12248–2010. Последующие ступени давления следует принять равными удвоенным значениям предыдущей ступени. Число ступеней должно быть не менее пяти.

В лотке планируется достигать значений коэффициентов уплотнения 0,92; 0,95; 0,97. Для каждого коэффициента уплотнения необходимо провести минимум 6 компрессионных испытаний, итого минимальное количество образцов 18 штук. По данным испытаниям будут составлены сводные таблицы значений и построены графики зависимости компрессионного модуля от коэффициента уплотнения.

По мнению авторов, данные исследования будут полезны для строительной отрасли, поскольку взаимосвязь контролируемых параметров на строительной площадке с характеристиками, используемыми при проектировании, позволит быстро и эффективно контролировать качество произведенных работ, а также прогнозировать осадку грунтовых насыпей, обратной засыпки и т.д. В дальнейшем исследовании автором планируется проведение ряда натурных испытаний с определением коэффициента уплотнения и модуля общей деформации для нахождения зависимости между этими параметрами.

Библиографический список

1. Каталог строительных фирм [Электронный ресурс] // Стройфирмы.рф. – URL: <http://www.stroyfirm.ru/> (дата обращения: 08.07.2015).
2. Терентьев О.М. Теличенко В.А., Лapidус А.А. Технология строительных процессов: учеб. пособие. – Ростов н/Д: Феникс, 2006. – 496 с.
3. Сазонова С.А., Пономарев А.Б. К вопросу определения деформационных свойств техногенных оснований экспресс-методами // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Прикладная экология. Урбанистика. – 2014. – № 1(13). – С. 89–97.
4. Сазонова С.А., Пономарев А.Б. О необходимости комплексного изучения свойств техногенных грунтов и использования их в качестве оснований зданий // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура. – 2013. – № 2. – С. 98–106.
5. Пономарев А.Б., Татьянников Д.А., Татьянников А.Н. К вопросу проведения инженерно-геологических изысканий на урбанизированных территориях // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура. – 2013. – № 2. – С. 74–81.
6. Пономарев А.Б., Захаров А.В. Анализ строительства на техногенных грунтах в г. Перми // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. – 2013. – № 31–2 (50). – С. 272–278.
7. 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.

8. Кузнецова А.С., А.Б. Пономарев. Планирование эксперимента по исследованию напряженно деформированного состояния нагруженного массива фиброармированного грунта, находящегося за подпорной стеной // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура. – 2015. – № 1. – С. 135–148. DOI: <http://dx.doi.org/10.15593/2224-9826/2015.1.10>

9. Планирование эксперимента по исследованию напряженно-деформированного состояния песчаного грунтового основания с помощью штамповых испытаний / Д.А. Татьянников, К.П. Давлятшин, Я.А. Федоровых, А.Б. Пономарев // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура. – 2011. – № 1. – С. 105–109.

10. Sulewska M.J. The application of the modern method of embankment compaction control // Journal of Civil Engineering and Management. – 2004. – Vol. X, suppl. 1. – P. 45–50.

11. The influence of soil gravel content on compaction behaviour and pre-compression stress / J. Rücknagel, P. Götze, B. Hofmann, O.Christen, K. Marschall // Geoderma. – 2013. – P. 209–210.

References

1. Katalog stroitel'nykh firm [Directory of construction companies]. *Stroyfirmy.rf*, available at: <http://www.stroyfirm.ru/> (accessed 08 July 2015).

2. Terent'ev O.M. Telichenko V.A., Lapidus A.A. Tekhnologiya stroitel'nykh protsessov [Technology of construction processes]. Rostov-na-Donu: Feniks, 2006. 496 p.

3. Sazonova S.A., Ponomarev A.B. K voprosu opredeleniia deformatsionnykh svoystv tekhnogennykh osnovanii ekspress-metodami [On the question of determining the deformation properties of man-made reasons rapid methods]. *Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universitetata. Prikladnaia ekologiya. Urbanistika*, 2014, no. 1(13), pp. 89-97.

4. Sazonova S.A., Ponomarev A.B. O neobkhodimosti kompleksnogo izucheniia svoystv tekhnogennykh gruntov i ispol'zovaniia ikh v kachestve osnovanii zdaniy [On the necessity of a comprehensive study of the technogenic soil properties and using it as a base of the buildings]. *Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Stroitel'stvo i arkhitektura*, 2013, no. 2, pp. 98-106.

5. Ponomarev A.B., Tat'iannikov D.A., Tat'iannikov A.N. K voprosu provedeniia inzhenerno-geologicheskikh izyskanii na urbanizirovannykh territoriiakh [On the engineering-geological surveys in urban areas]. *Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Stroitel'stvo i arkhitektura*, 2013, no. 2, pp. 74-81.

6. Ponomarev A.B., Zakharov A.V. Analiz stroitel'stva na technogen-nykh gruntakh v gorode Permi [Analysis of construction on industrial soil in Perm]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arkhitektura*, 2013, no. 31-2(50), pp. 272-278.

7. Mashchenko A.V., Ponomarev A.B. K voprosu ispol'zovaniia armirovannykh sezonnopromerzaiushchikh puchinistyykh 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.

8. Kuznetsova A.S., Ponomarev A.B. Planirovanie eksperimenta po issledovaniiu napriazhenno deformirovannogo sostoianiia nagruzhennogo massiva fibroarmirovannogo grunta, nakhodiashhegosia za podpornoj stenoi [Experimental design to investigate the stress-strain behavior of loaded fiber reinforced soil mass adjacent to retaining wall]. *Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Stroitel'stvo i arkhitektura*, 2015, no. 1, pp. 135-148. DOI: <http://dx.doi.org/10.15593/2224-9826/2015.1.10>

9. Tat'iannikov D.A., Davliatshin K.P., Fedorovykh Ia.A., Ponomarev A.B. Planirovanie eksperimenta po issledovaniiu napriazhenno-deformirovannogo sostoianiia peschanogo gruntovogo osnovaniia s pomoshch'iu shtampovykh ispytanii [The planning of the experiment to study the stress-strain state of a sandy subgrade using stamp testing]. *Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Stroitel'stvo i arkhitektura*, 2011, no. 1, pp. 105-109.

10. Sulewska M.J. The application of the modern method of embankment compaction control. *Journal of Civil Engineering and Management*, 2004, vol. X, suppl. 1, pp. 45-50.

11. Rücknagel J., Götze P., Hofmann B., Christen O., Marschall K. The influence of soil gravel content on compaction behaviour and pre-compression stress. *Geoderma*, 2013, pp. 209-210.

Получено 29.06.2015

Об авторах

Сазонова Светлана Александровна (Пермь, Россия) – аспирант кафедры «Строительное производство и геотехника» Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: feliks150@mail.ru).

Пономарев Андрей Будимирович (Пермь, Россия) – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Строительное производство и геотехника» Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: spstf@pstu.ac.ru).

About the authors

Svetlana A. Sazonova (Perm, Russian Federation) – Postgraduate student, Department of Construction Production and Geotechnics, Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky av., Perm, 614990, Russian Federation, e-mail: feliks150@mail.ru).

Andrei B. Ponomarev (Perm, Russian Federation) – Doctor of Technical Sciences, Professor, Department of Construction Production and Geotechnics, Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky av, Perm, 614990, Russian Federation,, e-mail: spstf@pstu.ac.ru).