УДК 624.131

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК**

**НАСЫПНОГО ГРУНТА В КОМПРЕССИОННОМ ПРИБОРЕ**

**П. А. Ляшенко,**

кандидат технических наук, профессор кафедры Оснований и фундаментов,

Кубанский государственный аграрный университет, г. Краснодар

**В. В. Денисенко,**

кандидат технических наук, доцент кафедры Кадастра и геоинженерии,

Кубанский государственный технологический университет, г. Краснодар

тел. 8(918) 488-28-40, e-mail: [lyseich1@yandex.ru](https://mail.yandex.ru/lite/compose?to=lyseich1@yandex.ru)

*Описан* *разработанный авторами метод определения характеристик насыпного грунта в компрессионном приборе, позволяющий: получать расширенный комплекс характеристик грунта при испытании одного образца; оценивать количественно развитие структурности грунтов при разной влажности и разных диапазонах статического давления на них для направленного регулирования состава и механических свойств уплотненного грунта; определять обобщенный размер структурных элементов, взаимодействующих между собой без разрушения образца на составляющие агрегаты.*

***Ключевые слова:*** *образец грунта, многоцикловое нагружение-разгружение, компрессионный прибор, упругая и неупругая деформации, обобщенный размер структурных элементов.*

Известные методы определения характеристик насыпного грунта в компрессионном приборе [1, 2] имеют ряд недостатков, снижающих их эффективность и ограничивающих их применение:

- низкая достоверность результатов испытаний, обусловленная мгновенным, одной ступенью, приложением большого давления на образец грунта, что не соответствует условиям уплотнения катком на строительной площадке;

- недостаточная точность определения удельной работы уплотнения и расширения по конечным значениям деформаций при приложении давления одной ступенью, приводящая к завышению числа циклов нагружения-разгружения;

- невозможность точного разделения упругой и неупругой работы при уплотнении и расширении образца грунта;

- невозможность оценки структурности грунта.

Нами усовершенствован метод определения характеристик насыпного грунта в компрессионном приборе, лишенный указанных выше недостатков [3].

Усовершенствованнный метод определения характеристик насыпного грунта в компрессионном приборе заключается в многоцикловом нагружении-разгружении образца грунта в жесткой цилиндрической камере статическим давлением, начальное значение которого согласовано с давлением на строительной площадке от транспортных механизмов, а конечное значение согласовано с давлением уплотнения на строительной площадке, регистрации в каждом цикле нагружения-разгружения образца грунта осевой деформации сжатия при нагружении и осевой деформации расширения при разгружении, окончании многоциклового нагружения-разгружения образца грунта при достижении стабильного значения коэффициента упругой работы грунта с допускаемым коэффициентом вариации в 6-ти последних циклах нагружения-разгружения и определении влажности, плотности и плотности минеральных частиц грунта, удельной работы уплотнения и расширения, объемного содержания в грунте упруго деформирующейся воды и воды, участвующей в неупругой части деформации грунта и объемного содержания минеральных частиц в грунте. Многоцикловое нагружение-разгружение образца грунта производят постоянно возрастающим и постоянно убывающим давлением со скоростью не более 10 кПа/мин с регистрацией значений давления, осевых деформаций сжатия и расширения образца грунта с шагом деформации не более 0,005 мм, определяют скорости осевой деформации сжатия и расширения образца грунта и по периодически повторяющимся значениям выделяют циклы изменения скорости осевой деформации сжатия и расширения образца, присущие данному грунту, а в числе характеристик грунта дополнительно определяют обобщенный размер структурных элементов, уплотненного в заданном диапазоне давлений грунта.

Многоцикловое нагружение-разгружение образца грунта постоянно возрастающим и постоянно убывающим давлением со скоростью не более 10 кПа/мин с регистрацией значений давления и осевых деформаций сжатия и расширения образца грунта с шагом деформации не более 0,005 мм и времени их проявления позволяет определять скорости осевой деформации сжатия и расширения образца грунта и с их помощью выделять циклы изменения скорости осевой деформации сжатия и расширения образца, присущие данному грунту и позволяющие определять обобщенный размер структурных элементов уплотненного в заданном диапазоне давлений грунта. Кроме того, такой режим нагружения-разгружения и регистрации результатов испытания образца грунта повышает достоверность и точность результатов испытаний, позволяет дополнительно определять обобщенный размер структурных элементов, уплотненного в заданном диапазоне давлений грунта.

Для реализации усовершенствованного метода определения характеристик насыпного грунта может быть использован любой прибор, имеющий жесткую цилиндрическую камеру с подвижным жестким штампом, механизм постоянно возрастающего или постоянно убывающего давления, измеритель перемещения штампа и блок регистрации перемещения штампа с электронной памятью. В качестве такого прибора может быть использован, например, автоматический компрессионный прибор с постоянно возрастающей нагрузкой АКП-6Н [4, 5].

Усовершенствованный метод определения характеристик насыпного грунта осуществляют следующим образом.

Из подготовленного для испытания измельченного грунта с известной влажностью отбирают навеску грунта определенной массы, в зависимости от объема жесткой цилиндрической камеры, в которой будут производиться испытания. Отобранную навеску грунта загружают в жесткую цилиндрическую камеру, разравнивают, накрывают жестким подвижным штампом, устанавливают измеритель перемещения штампа, нагружают начальным статическим давлением, значение которого согласуют с давлением на строительной площадке от транспортных механизмов, выдерживают в течение 10 мин для формирования связного образца грунта и регистрируют показания измерителя перемещения штампа.

Подготовленный таким образом образец грунта нагружают постоянно возрастающим давлением со скоростью не более 10 кПа/мин до конечного значения, которое согласуют с давлением уплотнения на строительной площадке, при этом регистрируют значения давления и осевой деформации сжатия образца грунта (осевого перемещения штампа) с шагом деформации не более 0,005 мм в электронной памяти прибора. Конечное давление выдерживают в течение 1 мин, а затем образец грунта разгружают постоянно убывающим давлением с той же скоростью до начального значения давления и при этом регистрируют значения давления и осевой деформации расширения образца грунта с шагом деформации не более 0,005 мм в электронной памяти прибора.

После выдерживания образца грунта под начальным давлением в течение 1 мин вновь производят нагружение-разгружение образца грунта в описанном режиме.

Аналогичным образом производят многоцикловое нагружение-разгружение образца грунта до достижения стабильного значения коэффициента упругой работы грунта (рисунок 1) с допускаемым коэффициентом вариации в 6-ти последних циклах [2].

Затем образец грунта полностью разгружают и определяют его стандартные характеристики: плотность, влажность, коэффициент пористости и плотность минеральных частиц грунта по общепринятой методике [6], а также удельную работу уплотнения и расширения, объемное содержание в грунте упруго деформирующейся воды и объемное содержание воды, участвующей в неупругой части деформации грунта, и объемное содержание минеральных частиц в грунте [2], строят зависимости осевой деформации образца грунта при многоцикловом нагружении-разгружении постоянно возрастающим и постоянно убывающим давлением, которые имеют вид кривых, в отличие от прямых в прототипе, ступенчатый характер изменения деформаций и, соответственно, циклический характер изменения скорости деформации, которые не могут быть выявлены в прототипе.

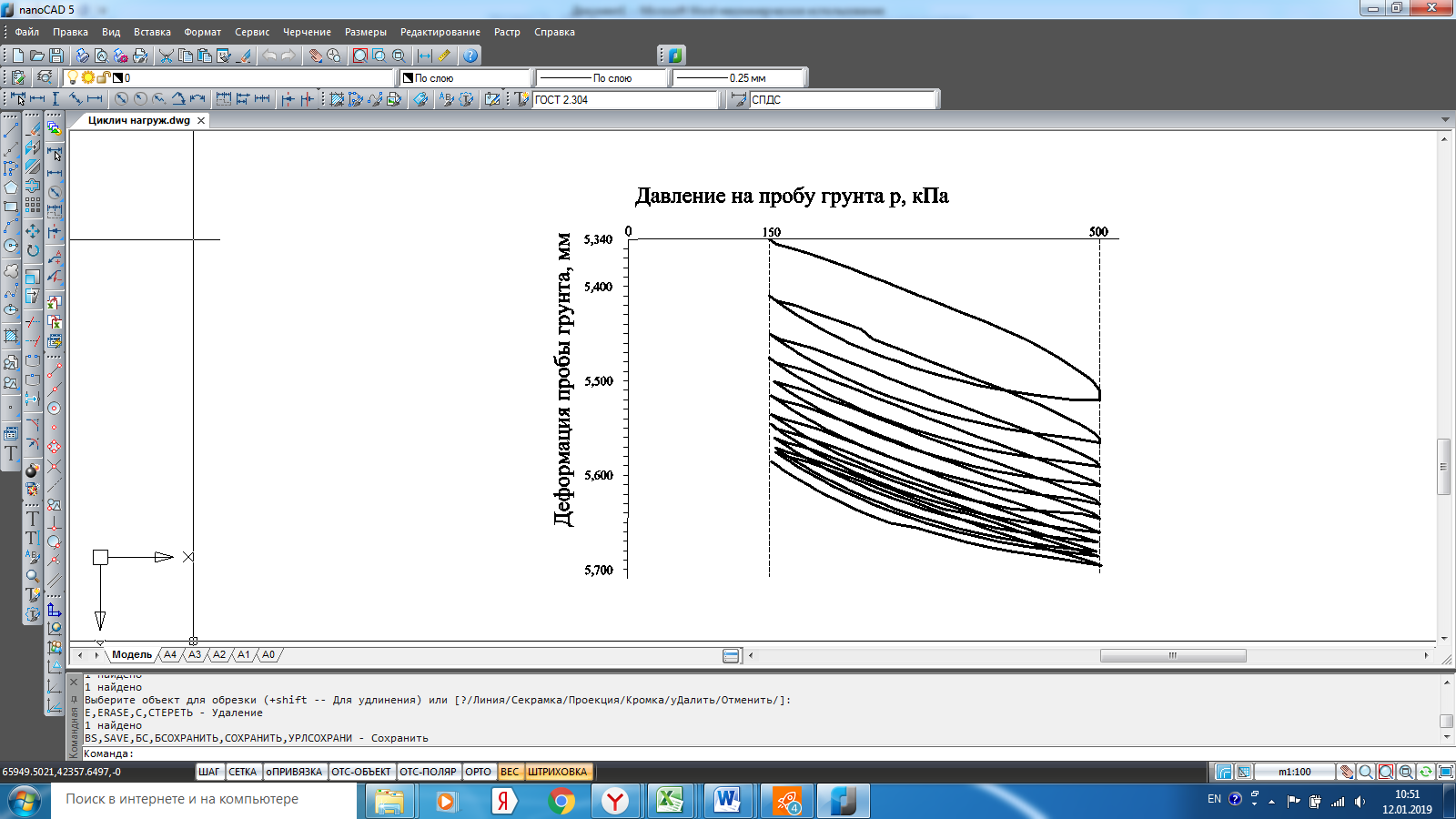


Рисунок 1 – График осевой деформаций образца грунта при многоцикловом

нагружении-разгружении постоянно возрастающим и постоянно убывающим

давлением с регистрацией давления и осевых деформаций сжатия

и расширения с шагом деформации 0,005 мм

Рассчитывают значения скорости деформаций сжатия (уплотнения) (рисунок 2) и расширения (рисунок 3) образца грунта в каждом цикле нагружения-разгружения по формуле

, (1)

где − скорость осевой деформации сжатия или расширения на *I-*м шаге регистрации осевых деформаций сжатия и расширения образца грунта, мм/кПа;

 и − соответственно значения осевой деформации сжатия или расширения образца грунта, мм, при давлениии, кПа, причем , где  − длительность возрастания или убывания давления, мин, со скоростью, кПа/мин.

По периодически повторяющимся значениям скорости деформаций сжатия и расширения образца грунта выделяют циклы изменения скорости осевой деформации сжатия и расширения образца, присущие данному грунту, и определяют дополнительную характеристику грунта – обобщенный размер структурных элементов уплотненного грунта по формуле

, (2)

где − обобщенный размер структурного элемента в последних 6-ти циклах нагружения-разгружения;

− средняя высота образца грунта в последних 6-ти циклах нагружения-разгружения;

− среднее число циклов осевой деформации сжатия и расширения в последних 6-ти циклах нагружения-разгружения.

Известность обобщенного размера структурных элементов уплотненного грунта позволяет:

- оценивать количественно развитие структурности грунтов при разной влажности и разных диапазонах статического давления на них для направленного регулирования состава и механических свойств уплотненного грунта, например, путем введения в грунт песчаных и пылеватых фракций можно снизить обобщенный размер структурных элементов, повысить их прочность и жесткость грунтового основания;

- оценивать количественно развитие структурности почв при разной влажности и разных диапазонах статического давления на них для выбора режима полевых работ в растениеводстве.

Рисунок 2 – График скорости осевой деформации сжатия образца грунта

при постоянно возрастающем давлении

Рисунок 3 – График скорости осевой деформации расширения образца грунта

при постоянно убывающем давлении

Структурные элементы (агрегаты) выделяются в образце грунта поверхностями скольжения, которые развиваются не равномерно, а скачкообразно, в соответствии с распределением неоднородностей. От размеров структурных элементов зависит прочность и сжимаемость грунтов. При компрессионном сжатии постоянно возрастающей нагрузкой скачкообразность развития поверхностей скольжения порождает, вследствие кооперативного эффекта, скачкообразность развития деформации и, соответственно, цикличность скорости деформации образца. Поэтому число структурных элементов агрегатов в направлении оси сжатия равно удвоенному числу циклов скорости деформации, так как образец грунта испытывает давление от двух штампов прибора одновременно, а поверхности скольжения развиваются от них вглубь образца [7].

Таким образом, усовершенствованный метод определения характеристик насыпного грунта позволяет:

- получать расширенный комплекс характеристик грунта при испытании одного образца;

- повышает достоверность результатов за счет нагружения-разгружения образца грунта постоянно возрастающим и постоянно убывающим давлением, что более соответствует условиям уплотнения грунта катком на строительной площадке, и точность за счет частой регистрации значений давления и осевых деформаций сжатия и расширения;

- фиксировать присущий грунту циклический характер скорости деформации образца грунта при постоянно возрастающем и постоянно убывающем давлении, который при нагружении-разгружении образца грунта ступенью давления зафиксировать невозможно;

- определять соотношение упругой и неупругой деформации при уплотнении насыпного грунта, основанного на измерении присущего грунту циклического характера скорости деформации, что необходимо для контроля расчетов основания сооружения;

- оценивать количественно развитие структурности грунтов при разной влажности и разных диапазонах статического давления на них для направленного регулирования состава и механических свойств уплотненного грунта, например, путем введения в грунт песчаных и пылеватых фракций можно снизить обобщенный размер структурных элементов, повысить их прочность и жесткость грунтового основания;

- определять обобщенный размер структурных элементов, взаимодействующих между собой (через поверхности скольжения) в образце при внешнем механическом воздействии на него, без разрушения образца на составляющие агрегаты.

***Литература*:**

1. Руководство по геотехническому контролю за подготовкой оснований и возведением грунтовых сооружений в энергетическом строительстве. РД 34 15.073-91. – Л.: ВНИИГидротехники им. Б.Е. Веденеева, 1991. – 434 с.
2. Патент на изобретение РФ № 2699554, G01N 33/24. Способ определения максимальной плотности и оптимальной влажности грунта / Ляшенко П.А., Денисенко В.В., Коваленко В.С., Коломиец Н.С. // Изобретения. Полезные модели, 2019, № 25.
3. Патент на изобретение РФ № 2715588, G01N 33/24. Способ определения характеристик насыпного грунта / Ляшенко П.А., Денисенко В.В., Коваленко В.С., Коломиец Н.С. // Изобретения. Полезные модели, 2020, № 7.
4. Денисенко В.В., Ляшенко П.А. Автоматический компрессионный прибор АКП-6Н для испытания грунтов постоянно возрастающей нагрузкой // Научные труды Кубанского государственного технологического университета, 2016, № 6. – С. 156-169. – URL: <http://ntk.kubstu.ru/file/1014>.
5. Денисенко В.В., Ляшенко П.А. Совершенствование техники и технологии испытания грунтов: монография / КубГТУ. – Краснодар: Изд-во ООО «ПринтТерра», 2019. – 183 с.
6. ГОСТ 5180-2015 Грунты. Методы лабораторного определения физических характеристик. – М.: Стандартинформ, 2016. – 24 с.
7. Ляшенко П.А. Сопротивление и деформации глинистого грунта: монография. – Краснодар: Изд-во КубГАУ, 2014. – С. 161.

P.A. LYASHENKO, V.V. DENISENKO

***IMPROVEMENT OF DETERMINATION OF CHARACTERISTICS***

***FILLING SOIL IN A COMPRESSION INSTRUMENT***

*The method developed by the authors for determining the characteristics of bulk soil in a compression device is described, which allows: to obtain an expanded set of soil characteristics when testing a single sample; quantitatively assess the development of soil structure at different humidity and different ranges of static pressure on them for directional regulation of the composition and mechanical properties of compacted soil; determine the generalized size of structural elements interacting with each other without destroying the sample into constituent aggregates.*

***words****: soil sample, multi-cycle loading-unloading, compression device, elastic and inelastic deformations, generalized size of structural elements.*