УДК 624.131

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДАВЛЕНИЯ НАБУХАНИЯ ГРУНТОВ**

**В. В. Денисенко,**

кандидат технических наук, доцент кафедры Кадастра и геоинженерии,

Кубанский государственный технологический университет, г. Краснодар

**П. А. Ляшенко,**

кандидат технических наук, профессор кафедры Оснований и фундаментов,

Кубанский государственный аграрный университет, г. Краснодар

тел. +7(995) 204-15-62, e-mail: [denvivi@yandex.ru](https://mail.yandex.ru/lite/compose?to=denvivi@yandex.ru)

*Описан разработанный авторами метод определения давления набухания грунтов на одном образце грунта, нагружение которого производят с постоянной скоростью изменения давления, обеспечивающей завершение консолидации с заданным допуском, при этом регистрацию значений деформации образца грунта и действующего давления производят через каждые 0,005 мм деформации образца грунта, а нагружение образца грунта производят до давления, при котором значение деформации образца становится нулевым.*

***Ключевые слова:*** *образец грунта, давление набухания, нагружение с постоянной скоростью изменения давления, деформации образца грунта.*

Известен способ определения относительной деформации набухания и давления набухания грунтов методом одной кривой, заключающийся в том, что несколько образцов одного и того же грунта с известными значениями числа пластичности, природной влажности, влажности на границе текучести и коэффициента пористости нагружают в компрессионных приборах разным давлением с выдерживанием до стабилизации деформации: первый образец нагружают давлением 0,0025 МПа, второй – 0,025 МПа, третий – 0,05 МПа, четвертый – 0,1 МПа, пятый 0,2 МПа и т.д. до необходимого давления в соответствии с программой испытаний. Затем каждый из образцов грунта замачивают, выдерживают до стабилизации деформации и регистрируют полученные значения деформации набухания. По данным испытаний всех образцов грунта строят график зависимости деформации набухания от давления и определяют давление набухания, как давление, при котором деформация набухания образца грунта равна нулю [1 (п.3), 2].

Недостатками известного способа являются:

- использование для испытания нескольких образцов одного и того же грунта (не менее 6), для получения которых необходимо из горных выработок производить отбор больших монолитов, что повышает трудовые и материальные затраты на подготовку образцов грунта для испытания;

- необходимость длительного одновременного или последовательного использования нескольких компрессионных приборов, увеличивающая длительность и стоимость испытания;

- низкая точность и достоверность результатов определений ввиду получения при испытании каждого образца только одного значения стабилизированной деформации.

Известен способ определения давления набухания грунтов прямым методом, заключающийся в замачивании образца грунта с известными значениями числа пластичности, природной влажности, влажности на границе текучести и коэффициента пористости, размещенного в одометре, и выдержке до стабилизации деформации набухания грунта, приложении на образец грунта, через месдозу, протарированную на компрессионном приборе, давления до резкого увеличения электростатического сопротивления пленки масла в месдозе и выдержке приложенного давления до стабилизации деформации образца грунта, за которую принимают изменение давления не более чем на 0,1 кгс/см2 в течение 15 ч. По величине гидростатического давления в месдозе, возникающего при этом, определяют предварительное значение давления набухания грунта, а за расчетную величину давления набухания грунта принимают среднее арифметическое давлений, полученных при испытании не менее шести образцов одного и того же грунта [1 (п.4)].

Недостатками этого известного способа являются:

- использование для испытания нескольких образцов одного и того же грунта (не менее 6), для получения которых необходимо из горных выработок производить отбор больших монолитов, что повышает трудовые и материальные затраты на подготовку образцов грунта для испытания;

- необходимость длительного одновременного или последовательного использования нескольких компрессионных приборов, увеличивающая длительность и стоимость испытания;

- низкая точность и достоверность результатов определений ввиду получения на каждом образце только одного значения стабилизированной деформации;

- давление набухание грунтов определяется косвенно, что снижает точность и достоверность результатов.

Нами усовершенствован метод определения давления набухания грунтов, лишенный указанных выше недостатков [3].

Усовершенствованнный метод определения давления набухания грунтов заключается в замачивании и выдержке до стабилизации деформации образца грунта с известными значениями числа пластичности, природной влажности, влажности на границе текучести и коэффициента пористости, нагружении образца грунта давлением и регистрации значений деформации образца грунта и действующего давления на всех этапах замачивания и нагружения. Испытания проводят на одном образце грунта, а нагружение образца грунта производят с постоянной скоростью изменения давления, обеспечивающей завершение консолидации с заданным допуском и определяемой в зависимости от физических свойств грунта [4], при этом регистрацию значений деформации образца грунта и действующего давления производят через каждые 0,005 мм деформации образца грунта, а нагружение образца грунта производят до давления, при котором значение деформации образца становится нулевым.

Нагружение образца грунта с постоянной скоростью, определяемой в зависимости от физических свойств грунта, до давления, при котором значение деформации образца становится нулевым, позволяет проводить испытания на одном образце грунта, повышает достоверность и точность результатов испытаний.

Регистрация значений деформации образца грунта и приложенного давления через каждые 0,005 мм деформации образца грунта повышает точность результатов испытаний и позволяет получать большой массив данных при испытании одного образца грунта, обеспечивающий возможность оценки погрешности определения характеристик набухания грунта и т.о. повышает достоверность и точность определения характеристик набухания грунта, сокращает до одного количество испытываемых образцов грунта и размеры монолитов, отбираемых из горных выработок для испытаний.

Устройство для реализации метода определения давления набухания грунта состоит из рабочей камеры 1, размещенной на столе-основании 2, датчика 3 деформации образца грунта, датчика 4 величины приложенного давления, нагрузочного механизма 5, замачивателя 6 образца грунта и блока управления 7 (рисунок 1).

Рабочая камера 1 выполнена в виде одометра компрессионного прибора и состоит из разборного корпуса с подводом 8 воды и указателем 9 уровня воды, жесткого рабочего кольца 10, предотвращающего боковое расширение испытываемых образцов грунтов, неподвижного перфорированного штампа 11 и подвижного перфорированного штампа 12. В рабочей камере 1 размещают испытываемый образец грунта 13.

Датчик 3 деформации образца грунта предназначен для измерения знакопеременных линейных перемещений подвижного штампа 12 (деформации образца) с погрешностью не более 0,005 мм и может быть выполнен, например, в виде растрового фотоэлектронного преобразователя линейных перемещений.

Датчик 4 величины приложенного давления предназначен для измерения приложенного давления при нагружении или разгрузке образца грунта и может быть выполнен, например, в виде динамометра сжатия с растровым фотоэлектронным преобразователем линейных перемещений.

Нагрузочный механизм 5 предназначен для нагружения образца грунта до заданного давления с постоянной скоростью, задаваемой блоком управления 7 в зависимости от физических свойств грунта.

|  |
| --- |
| 7  D:\1 ТВОРДЕЛА ДВВ 25.10.18\2.1 Очеред заявки на ИЗ (Наброски)\9.2 Сп опр давл набух гр ЛПА\РЧ одометра — к.jpg  8 |
| Рисунок 1 – Принципиальная блок-схема устройства для реализации  метода определения давления набухания грунта |

Замачиватель 6 образца грунта предназначен для подачи воды в рабочую камеру 1 и поддержания в ней уровня воды выше высоты образца грунта 13 в течение его испытания.

Блок управления 7 предназначен для задания программы испытаний и управлением работой устройства в процессе ее выполнения, в частности, для: включения замачивателя 6 для замачивания и выдержки образца грунта до стабилизации деформации; включения нагрузочного механизма 5 на нагружение образца грунта; контролирования заданной постоянной скорости нагружения образца грунта; контроля и регистрации в электронной памяти значений деформации образца (просадки и набухания) и действующего давления через каждые 0,005 мм при замачивании и нагружении образца грунта; выдачи результатов испытания на дисплей блока управления 7 и внешнюю ЭВМ.

Усовершенствованный метод определения давления набухания грунтов осуществляется следующим образом.

Образец грунта 13 ненарушенного сложения с природной влажностью загружают в рабочее кольцо 10, помещают на неподвижный штамп 11 в рабочей камере 1, накрывают подвижным штампом 12 и устанавливают на столе-основании 2. К подвижному штампу 12 подводят датчик 3 деформации образца грунта, датчик 4 величины приложенного давления и нагрузочный механизм 5, а к подводу 8 подсоединяют замачиватель 6, который заполняют водой. В блоке управления 7 задают постоянную скорость увеличения давления на образец грунта, обеспечивающую завершение его консолидации в процессе нагружения, и включают устройство в работу.

Постоянную скорость увеличения давления на образец грунта, обеспечивающую завершение его консолидации в процессе нагружения с заданным допуском, определяют в зависимости от физических свойств грунта по формуле

, (1)

где *V*max – максимальная скорость нагружения образца грунта, кПа/ч [4];

*IР* – число пластичности грунта, %;

*W* – природная влажность грунта, %;

*WL* – влажность грунта на границе текучести, %;

*e* – коэффициент пористости грунта, д.е.;

*Q* – допускаемая относительная деформация завершения консолидации образца грунта, принимаемая равной 5 % [5].

При включении устройства в работу датчик 3 деформации образца грунта и датчик 4 величины приложенного давления обнуляют, включают замачиватель 6 и производят замачивание образца грунта с выдержкой до стабилизации деформации образца грунта *ssw* (отрезок *Оа* рисунок 2). В процессе замачивания образца грунта производят контроль деформации образца грунта при постоянном давлении и ее регистрация через каждые 0,005 мм деформации образца грунта.

|  |
| --- |
| D:\1 ТВОРДЕЛА ДВВ 25.10.18\2.1 Очеред заявки на ИЗ (Наброски)\9.2 Сп опр давл набух гр 2 22.11.18\Рис 2 к ИЗ 2.jpg |
| Рисунок 2 – График зависимости деформации набухания замоченного грунта  от давления *ssw*(*p*) при разгрузке давления с постоянной скоростью до нулевого  значения деформации образца грунта |

Затем включают нагрузочный механизм 5 и производят нагружение образца грунта 13 с заданной постоянной скоростью увеличения давления до момента, когда деформация образца грунта будет иметь нулевое значение (кривая *аb* рисунок 2). В процессе нагружения образца грунта производят контроль деформации образца грунта и регистрацию деформации образца грунта и действующего давления через каждые 0,005 мм деформации образца грунта.

После достижения деформации образца грунта равной нулю (точка *b* рисунок 2), нагрузочный механизм 5 отключают, а результаты испытания выводят на дисплей блока управления 7 и внешнюю ЭВМ.

За давление набухания грунта принимают давление, при котором деформация образца грунта равна нулю (отрезок *Оb* рисунок 2).

В качестве устройства для определения давления набухания грунта могут использоваться любые известные устройства, обеспечивающие проведение испытаний образца грунта в соответствии с описанным способом определения характеристик набухания, например, автоматический компрессионный прибор АКП-6Н для испытания грунтов постоянно возрастающей нагрузкой [6-7].

Таким образом, усовершенствованный метод определения давления набухания грунтов сокращает количество испытываемых образцов до одного, уменьшает размеры монолитов, отбираемых из горных выработок для испытаний, повышает достоверность и точность определения давления набухания грунта, сокращает трудозатраты и время испытаний.

***Литература:***

1. Рекомендации по лабораторным методам определения характеристик набухающих грунтов. – М.: Стройиздат, 1974. – 19 с.
2. ГОСТ 12248-2010 Грунты. Методы лабораторного определения характеристик прочности и деформируемости. – М.: Стандартинформ, 2011. – 82 с.
3. Патент на изобретение РФ № 2708768, E02D 1/02. Способ определения характеристик набухания грунта / Денисенко В.В., Ляшенко П.А. // Изобретения. Полезные модели, 2019, № 35.
4. Денисенко В.В., Ляшенко П.А. О стандарте на метод компрессионных испытаний грунтов постоянно возрастающей нагрузкой // Научные труды Кубанского государственного технологического университета, 2017, № 4. – С. 27-42. – URL: <http://ntk.kubstu.ru/file/1594>.
5. Денисенко В.В., Ляшенко П.А. Обоснование критерия выбора скорости нагружения грунтов при компрессионных испытаниях постоянно возрастающей нагрузкой // Научные труды Кубанского государственного технологического университета, 2016, № 5. – С. 110-122. – URL: <http://ntk.kubstu.ru/file/962>.
6. 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>.
7. Денисенко В.В., Ляшенко П.А. Совершенствование техники и технологии испытания грунтов: монография / КубГТУ. – Краснодар: Изд-во ООО «ПринтТерра», 2019. – 183 с.

V.V. DENISENKO, P.A. LYASHENKO

***IMPROVEMENT OF DETERMINATION OF PRESSURE OF SOIL SWELLING PRESSURE***

*The method developed by the authors for determining the pressure of soil swelling on one soil sample is described, the loading of which is carried out with a constant rate of pressure change, which ensures the completion of consolidation with a given tolerance, while the values ​​of the deformation of the soil sample and the effective pressure are recorded every 0.005 mm of deformation of the soil sample, and loading the soil sample is carried out to a pressure at which the strain value of the sample becomes zero.*

***Key words:*** *soil sample, swelling pressure, loading with a constant rate of pressure change, deformation of the soil sample.*