

УДК 631.45: 631.61

## **НОВЫЕ СПОСОБЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ГРУНТОВ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ**

**Г.В. Азява**, начальник технического отдела  
РУП «Белгипроводхоз»

**Ключевые слова:** показатели физических свойств, водонасыщенные грунты, фазовый состав, органическая и минеральная составляющие

### **Введение**

При строительстве и реконструкции мелиоративных систем, осуществлении работ по Республиканской программе «Инженерные водохозяйственные мероприятия по защите населенных мест и сельскохозяйственных земель от паводков в наиболее паводкоопасных районах Полесья на 2004-2010 гг.» постоянно возникает необходимость строительства дамб и других сооружений на заболоченных поймах, где широко распространены биогенные грунты (торф, заторфованные грунты, сапропели, мергели болотные, торфотуфы) и илы. Характерной особенностью этих грунтов является высокая влажность, сильная сжимаемость и малая (часто чрезвычайно малая) их прочность в естественном состоянии.

Как свидетельствует опыт, подавляющее число аварий и повреждений сооружений происходит из-за недостаточного учета свойств грунтов и их особенностей. Достоверные данные о свойствах грунтов необходимы для принятия не только надежных, но и экономичных инженерных решений при проектировании.

Специфической особенностью биогенных грунтов и илов является гигроскопичность их органической составляющей. Частицы дисперсной фракции органической составляющей этих грунтов обладают высокой обменной способностью и связывают за счет сил молекулярного притяжения вокруг себя несопоставимо большее количество воды, чем частицы минеральной составляющей. Определяемая же на основании лабораторных анализов влажность биогенных грунтов является осредненным значением влажности их минеральной и органической составляющих, которые отличаются фактически на порядок и выше. Это обстоятельство и обуславливает особенности структуры и свойств грунтов и илов и требует отдельного учета свойств их составляющих. Даже небольшое содержание органической составляющей в водонасыщенных минеральных грунтах на пойменных участках определяет значительное отличие их свойств от аналогичных по составу минеральных грунтов коренных берегов, что следует учитывать при определении их свойств и принятии инженерных решений при проектировании.

Линейные сооружения: земляные плотины, дамбы, каналы, материальные дрены, дороги имеют большую протяженность и поэтому по их трассам встречаются различные виды грунтов, показатели свойств которых изменяются в широком диапазоне. Для дос-

товерной оценки свойств грунтов в таких условиях требуется производить большое количество определений, что является достаточно трудоемким процессом и требует значительных затрат средств и времени.

Поэтому особую актуальность приобретает вопрос совершенствования способов определения показателей свойств грунтов на заболоченных территориях, позволяющих уменьшить количество непосредственно определяемых в лабораторных условиях показателей, и получать их расчетным путем по показателям, процесс определения которых в лабораторных условиях является наиболее простым и надежным.

#### **Определение показателей физических свойств и состава**

Для оценки физических свойств любых видов грунтов необходимо для отобранных при проведении инженерно-геологических изысканий образцов определить по результатам лабораторных анализов следующие показатели:

– плотность грунта  $\rho$  в естественном состоянии (в залежи) согласно ГОСТ5180. Отношение массы грунта к его объему;

– влажность  $W$  согласно ГОСТ11305. Отношение массы содержащейся в грунте воды к массе сухого грунта;

– плотность частиц  $\rho_s$  согласно ГОСТ5181. Отношение массы твердой фазы к занимаемому ею объему в плотном состоянии (без учета пор);

– содержание органического вещества или степени зольности согласно ГОСТ11306. Остальные показатели физических свойств и фазового состава рассчитываются по указанным показателям.

Плотность определяется по образцам ненарушенной (естественной) структуры, отобранным режущими кольцами (гильзами) известного объема. При отборе образцов для определения плотности режущими кольцами неизбежно происходит нарушение их естественного сложения (структуры), что вносит погрешности в результаты определений. Например, при отборе образцов режущими кольцами рыхлых песков происходит их уплотнение, а плотных – разуплотнение. В биогенных и минеральных грунтах, подстилающих биогенные, в переходной зоне на качество процесса отбора образцов оказывают влияние включения из неполностью разложившихся растительных остатков.

Плотность большинства видов водонасыщенных биогенных грунтов в естественном состоянии (в залежи) изменяется в узком диапазоне – от 1,01 до 1,1 г/см<sup>3</sup>, и ее величина не оказывает определяющего влияния на значения такого показателя, как плотность сухого грунта  $\rho_d$ , который используется для вычисления всех производных показателей физических свойств грунтов, и величина его определяется влажностью, значения которой для указанных грунтов многократно превышают значение плотности.

В табл. 1 приведены расчетные значения плотности сухого грунта (скелета)  $\rho_d$  в зависимости от влажности  $W$  при различных значениях плотности  $\rho$ .

**Таблица 1. Плотность сухого грунта при различных значениях влажности и плотности**

Плотность, $\rho$	Значения влажности $W$			
	4	5	7	10
1,03	0,2060	0,1716	0,1288	0,0936
1,05	0,2100	0,1750	0,1312	0,0954
1,10	0,2200	0,1833	0,1375	0,1000

Как следует из приведенных в табл. 1 данных, значения  $\rho_d$  даже при реально возможном диапазоне изменения плотности отличаются при  $W=4,0$  на 0,014, а при  $W=10,0$  – на 0,0064. Следовательно, для таких грунтов и плотность в естественном состоянии должна быть определена с большой точностью, что является достаточно сложной задачей.

В табл. 2 приведены результаты определения показателей физических свойств водонасыщенных биогенных грунтов. Образцы ненарушенной структуры в опытах отбирались из больших монолитов тонкостенными режущими кольцами и тщательно обрезались вровень с кромками кольца специальным ножом. Для исключения влияния на результаты определений заземленного воздуха и растворенных газов образцы вакуумировались. Результаты непосредственного определения показателей приведены в таблице для каждого вида грунта в строчках для образцов с высотой, равной  $h$ . В двух других строчках для каждого вида грунта приведены расчетные значения показателей, полученные в предположении, что при отборе образцов была допущена ошибка в определении высоты образца на 2% ( $h \pm 0,02h$ ), т.е. образец был обрезан с отклонением от плоскости, совпадающей с нижней и верхней кромками режущего кольца.

**Таблица 2. Показатели физических свойств водонасыщенных грунтов**

Вид грунта	Высота образца	$\rho$ , г/см <sup>3</sup>	$W$ , д.е.	$\rho_d$ , г/см <sup>3</sup>	$\rho_s$ , г/см <sup>3</sup>
Торф	$h - 0,02h$	0,995	23,31	0,04090	0,883
	$h$	1,015	23,31	0,04176	1,568
	$h + 0,02h$	1,035	23,31	0,04258	5,710
Торф	$h - 0,02h$	1,007	11,97	0,07766	1,103
	$h$	1,028	11,97	0,07925	1,5542
	$h + 0,02h$	1,048	11,97	0,08080	2,489
Торф	$h - 0,02h$	1,041	5,55	0,15897	1,350
	$h$	1,062	5,55	0,16222	1,627
	$h + 0,02h$	1,084	5,55	0,16546	2,025
Сапрпель	$h - 0,02h$	1,090	3,52	0,24126	1,600
	$h$	1,113	3,52	0,24618	1,845
	$h + 0,02h$	1,135	3,52	0,25109	2,162
Сапрпель	$h - 0,02h$	1,320	1,31	0,57124	2,270
	$h$	1,346	1,31	0,58290	2,466
	$h + 0,02h$	1,373	1,31	0,59456	2,689
Ил	$h - 0,02h$	1,602	0,578	1,01540	2,458
	$h$	1,635	0,578	1,03620	2,584
	$h + 0,02h$	1,668	0,578	1,05620	2,716
Песок	$h - 0,02h$	1,819	0,35	1,347	2,546
	$h$	1,856	0,35	1,375	2,649
	$h + 0,02h$	1,893	0,35	1,402	2,754

В вариантах с высотой образцов  $h \pm 0,02h$  плотность частиц  $\rho_s$  рассчитана при значениях плотности  $\rho$  и влажности грунта, фактически полученных по результатам опытов с образцами, высотой равной  $h$ , по формуле:

$$\rho_s = \frac{\rho \cdot \rho}{\rho_B - W \rho_d}, \quad (1)$$

где  $\rho_B$  – плотность воды.

Как следует из таблицы, ошибка, допущенная при определении плотности  $\rho$  в результате даже небольшого отклонения высоты образца от высоты кольца при срезке излишков грунта вровень с кромками кольца, влечет за собой большие отклонения расчетных значений плотности частиц от фактических.

Это можно объяснить тем, что плотность  $\rho$  для большинства биогенных и заторфованных грунтов близка к единице и поэтому она должна определяться с большой точностью, что практически невозможно из-за наличия волокнистых и других включений в этих грунтах, затрудняющих обрезку образцов по плоскостям, совпадающим с кромками кольца. Следовательно, плотность биогенных грунтов, определенная по образцам, вырезанным режущими кольцами, является ненадежным показателем.

Все грунты ниже уровня грунтовых вод и в зоне капиллярного насыщения можно считать полностью водонасыщенными, так как содержание в них воздуха и растворенных газов незначительное и им можно пренебречь. В данном случае плотность сухого грунта (скелета) можно определить по формуле:

$$\rho_d = \frac{\rho_B}{W + \frac{\rho_B}{\rho_s}}, \quad (2)$$

где  $\rho_B$  – плотность воды, г/см<sup>3</sup>;  $\rho_s$  – плотность частиц грунта, г/см<sup>3</sup>.

Так как на значения показателей влажности  $W$  и плотности частиц грунта  $\rho_s$  не оказывают влияние погрешности, допущенные при обрезке образцов, отобранных режущими кольцами, то в случае несовпадения рассчитанных по формуле (1) значений  $\rho_s$  с определенными по лабораторным анализам следует принимать расчетное значение плотности сухого грунта  $\rho_d$  по формуле (2), а значение плотности  $\rho$  рассчитать по формуле  $\rho = \rho_d (W+1)$ . В данном случае значение  $\rho_s$  принимается по данным лабораторных анализов.

Для всех видов водонасыщенных грунтов достаточно определить естественную влажность грунта и плотность частиц. При этом отпадает необходимость определения плотности грунта путем отбора образцов (режущими кольцами) известного объема.

Для водонасыщенных биогенных грунтов влажность значительно превышает отношение  $\rho_B/\rho_s$  в формуле (2) и она, по сути, и определяет плотность грунта. Поэтому даже в случае небольшой погрешности при определении влажности это не приведет к изменению значения показателя  $\rho_d$  а, соответственно, и плотности грунта.

Для минеральных грунтов параметр  $\rho_w/\rho_s$  сопоставим по величине с влажностью, но для различных видов грунтов он изменяется в узком диапазоне (0,357-0,4). Так как влажность водонасыщенных минеральных грунтов изменяется в более широком диапазоне, чем указанный параметр,  $\rho_w/\rho_s$ , то и для водонасыщенных минеральных грунтов влажность является параметром, в значительной степени определяющим плотность этих грунтов.

Плотность частиц минеральных грунтов  $\rho_s$  изменяется в узком диапазоне. Анализ большого количества опытных данных показал, что для каждого вида грунта изменчивость  $\rho_s$  подчиняется нормальному закону распределения. Следовательно, в качестве расчетных можно принять средние значения плотности частиц  $\rho_s$  (г/см<sup>3</sup>): для песков – 2,65; супесей – 2,70; суглинков и глин – 2,75.

С учетом принятых значений  $\rho_s$  и при  $\rho_w=1$  по формуле (2) для водонасыщенных минеральных грунтов можно вычислить плотность сухого грунта (скелета), зная лишь один параметр – влажность:

$$\text{для песков } P_d = \frac{1}{W + 0,3770}, \quad (3)$$

$$\text{для супесей } P_d = \frac{1}{W + 0,370}, \quad (4)$$

$$\text{для суглинков и глин } P_d = \frac{1}{W + 0,364}. \quad (5)$$

Если предположить, что в составе грунта содержатся особые минералы, которые определяют плотность его частиц, отличную от принятого среднего значения, то при предельно возможных значениях, например для песка  $\rho_s=2,5$  и  $2,8$  г/см<sup>3</sup>, отклонение расчетных значений  $\rho_d$  от значений при принятом среднем  $\rho_s=2,65$  при влажности  $W=0,1$  составляет  $\pm 4,5$ , а при  $W=0,8 \pm 1,8\%$ , что не превышает погрешностей, допускаемых при определении плотности в полевых условиях грунтоносами и режущими кольцами. При значениях  $\rho_s=2,6$  и  $2,7$  г/см<sup>3</sup> отклонения составляют соответственно  $\pm 1,5$  и  $\pm 0,6\%$ .

Для супесей, суглинков и глин при предельно возможных значениях  $\rho_s$  для этих видов грунтов отклонения расчетных значений от средних имеют такой же порядок, как и для песков.

Для заторфованных грунтов значения плотности частиц грунта рассчитываются по формуле:

$$\rho_s = \rho_s^M \left( 1 - \frac{D_{\text{ash}}}{100} \right) + \rho_s^O \frac{D_{\text{ash}}}{100}, \quad (6)$$

где  $\rho_s^M$  – среднее значение плотности частиц соответствующего вида минерального грунта (например, песка, для заторфованных песков), г/см<sup>3</sup>;

$\rho_s^O$  – среднее значение плотности частиц органической составляющей;

$\rho_s^O = 1,51$  г/см<sup>3</sup>;

$D_{\text{ash}}$  – степень зольности, % .

Для грунтов, содержащих карбонаты (вскипающих при пробе раствором соляной кислоты), определение степени зольности сжиганием не допускается. Определение этого показателя для таких грунтов является сложным процессом, а результаты определений недостаточно надежны. Поэтому для водонасыщенных грунтов, содержащих карбонаты, целесообразно при инженерно-геологических изысканиях определять их плотность с помощью режущих колец и влажность. В данном случае плотность частиц  $\rho_s$  можно рассчитать по формуле (1), а степень зольности – по формуле:

$$D_{\text{ash}} = \frac{100 (P_s - 151)}{0,44 P_s} \quad (7)$$

Из приведенных данных следует, что для установления плотности водонасыщенных грунтов необходимо по результатам лабораторного анализа отобранных в полевых условиях образцов определить следующие показатели:

1) для минеральных грунтов в зоне капиллярного насыщения и ниже уровня грунтовых вод – естественную влажность грунта;

2) для биогенных грунтов и илов – естественную влажность  $W$  и зольность  $D_{\text{ash}}$ .

Остальные показатели физических свойств всех перечисленных видов грунтов определяются по приведенным выше формулам, а их состав (содержание органической и минеральной составляющих) определяется расчетным путем [1].

Для не полностью водонасыщенных грунтов (выше уровня грунтовых вод и зоны капиллярного насыщения) плотность следует определять по образцам известного объема с ненарушенной структурой. Эта задача, как указывалось выше, является достаточно трудоемкой, так как из-за неоднородности состава требуется отбирать образцы с повторностью, обеспечивающей достоверность процесса определения. В связи с этим плотность для не полностью водонасыщенных грунтов следует определять с помощью тонкостенных режущих колец (гильз) большого размера – диаметром 100-150 мм и высотой 100 мм.

Содержание отдельных фаз (органической и минеральной составляющих) и воды в водонасыщенных биогенных грунтах и илах по массе и по объему следует рассчитывать по [1]. С практической точки зрения важно знать, какую часть в объеме грунта занимают отдельные фазы.

Толщина слоя, занимаемого минеральной составляющей в залежи, в плотном состоянии (без учета пор)

$$h_m = \frac{P_d \cdot D_{\text{ash}}}{100 \cdot \rho_s^m} \cdot h, \quad (8)$$

где  $h$  – толщина рассматриваемого слоя грунта в залежи, см;

$\rho_s^m$  – плотность частиц минеральной составляющей, г/см<sup>3</sup>.

Толщина слоя, занимаемого минеральной составляющей в залежи, при естественной плотности

$$h_m = \frac{\rho_d \cdot D_{ash}}{100 \cdot \rho_m} \cdot h, \quad (9)$$

где  $\rho_m$  – плотность минеральной составляющей, г/см<sup>3</sup>.

Толщина слоя, занимаемого органической составляющей в залежи, в плотном состоянии (без учета пор)

$$h_o = \frac{\rho_d \left(1 - \frac{D_{ash}}{100}\right)}{\rho_s^o} \cdot h, \quad (10)$$

где  $\rho_s^o$  – плотность частиц органической составляющей.

Толщина слоя, занимаемого органической составляющей в залежи, при естественной плотности

$$h_o = \frac{\rho_d \left(1 - \frac{D_{ash}}{100}\right)}{\rho_o} \cdot h, \quad (11)$$

где  $\rho_o$  – плотность органической составляющей.

При неполном водонасыщении толщина слоев, занимаемых минеральной и органической составляющими, рассчитывается по формулам (8)-(11).

Толщина слоя, занимаемая водой:

$$h_B = \frac{\rho_d \cdot W}{\rho_B} \cdot h, \quad (12)$$

где  $W$  – влажность грунта в д.е.

Толщина слоя, занимаемая воздухом:

$$h_{воз} = \left(1 - \frac{\rho_d}{\rho_s} - \frac{W \rho_d}{\rho_B}\right) \cdot h. \quad (13)$$

### **Заключение**

Анализ большого количества экспериментальных данных, полученных по существующим способам определения показателей физических свойств различных видов грунтов позволил установить те показатели, процесс определения которых в лабораторных условиях является наиболее надежным и по которым предложено рассчитывать остальные показатели физических свойств.

Получены физические формулы, выражающие связь между отдельными показателями физических свойств, а на основании экспериментальных данных – значения расчетных параметров в этих формулах.

Предложенные способы определения показателей физических свойств позволяют сократить объем работ по непосредственному их определению в лабораторных условиях и получать более достоверную информацию о свойствах грунтов, что обеспечивает принятие обоснованных и экономичных инженерных решений при проектировании.

### **Выводы**

1. По результатам лабораторного анализа образцов водонасыщенных грунтов рекомендовано определять следующие показатели:

- для минеральных грунтов в зоне капиллярного насыщения и ниже уровня грунтовых вод – естественную влажность;

- для биогенных грунтов и илов – естественную влажность и степень зольности.

По этим показателям расчетным путем определяются все остальные.

2. Полученные формулы позволяют определять содержание отдельных составляющих: минеральной, органической, воды и воздуха в единице объема грунта.

### **Литература**

1. Пособие к строительным нормам Республики Беларусь П1–03 к СНБ1.02.01–96 Инженерно-геологические и гидрогеологические изыскания для мелиоративного и водохозяйственного строительства. – Мн. – 2004 . – 56 с.

### **Summary**

#### ***Azjava G. DESIGNING THE GROUNDS PHYSICAL PROPERTIES PARAMETERS DEFINITION NEW WAYS***

The question of boggy territories grounds properties parameters determining ways improvement has got an urgency now. The dependences establishing connection between physical properties specific parameters and grounds structure that allows to reduce the quantity of parameters directly determined in laboratory conditions and to determine it by calculations are presented in the article. The results obtained are intended for the grounds properties determining in engineering-and-geological researches for meliorative and water economy construction. Its application provides the substantiated and economic engineering decisions acceptance at designing stage.

*Поступила 17 мая 2006 г.*