

ГЛОССАРИЙ

основных показателей физико-механических свойств грунтов, определяемых по результатам

ИНЖЕНЕРНОЙ РАЗВЕДКИ

Данные о инженерно-геологических и физико-механических свойствах грунтов/пород используются при детальном инженерно-геологическом картировании, инженерно-геологических изысканиях для различных видов наземного и подземного строительства и др.

Физико-механическими свойствами горных пород следует называть такие, которые определяют их физическое состояние, отношение к воде и закономерности изменения прочности и деформируемости. Соответственно, различают свойства физические, водные, механические. Физико-механические свойства рыхлых песчано-глинистых отложений существенно отличаются от свойств скальных и полускальных пород.

Главнейшими физическими свойствами песчаных и глинистых пород являются гранулометрический состав, прочность, пористость и влажность. Эти свойства взаимосвязаны и в целом выражают их физическое состояние как в условиях естественного залегания, так и в земляных сооружениях (плотинах, дамбах, насыпях и др.). По основным физическим свойствам можно косвенно судить о прочности, деформируемости и устойчивости песчаных и глинистых пород, а также об их изменении под влиянием геологических процессов или искусственных факторов.

К числу дополнительных характеристик глинистых пород относится их консистенция, а песчаных – относительная плотность.

Гранулометрический состав – содержание в породе частиц различной крупности (фракции), выраженное в процентах к массе абсолютно едкого образца. Различают гранулометрический состав связанных пород (глинистых и лессовых) и несвязанных пород (песчаных и

крупнообломочных). Размеры фракции подразделяются в соответствии с классификацией В. В. Охотина.

В соответствии с этой классификацией по гранулометрическим элементам выделяются:

- А) валуны – более 200мм
- Б) галька и щебень – 40-200 мм
- В) гравий – 2-40 мм
- Г) песок – 0,05-2 мм
- Д) пыль – 0,001-0,05 мм
- Е) глина – менее 0,001 мм.

1. Плотность минеральной части породы – отношение массы твердых частиц к их объему. Плотность породы не зависит от ее пористости и влажности, а определяется плотностью слагающих пород минералов и присутствием органических веществ.

$$\gamma_m = g_1 / v_1 \quad (1)$$

g_1 – вес твердой части (скелета) породы, г

v_1 – объем твердой части (скелета) породы, куб. см.

Плотность минеральной части горных пород выражает среднюю плотность слагающих их минералов. Плотность главных породообразующих минералов песчаных и глинистых пород изменяется в сравнительно небольших пределах, вследствие чего и плотность минеральной части большинства этих пород изменяется мало, например от 2,65 г/см³ (супеси, пески) до 2,75 г/см³ у тяжелых разностей глин. Вообще, величина плотности породы (по мнению Польшиной) составляет для песков – 2,66, для супесей – 2,70, для глин – 2,74 г/см³.

2. От плотности минеральной части следует отличать плотность породы (γ), или объемная масса, под которой

понимают массу единицы ее объема при естественной влажности и сложении. Она определяется плотностью минеральной части, пористостью и влажностью породы и описывается уравнением:

$$\gamma_m = g_1/v_1 + g_2/v_2 \quad (2)$$

g_1 – вес твердой части (скелета) породы, г

g_2 – вес воды, полностью или частично заполняющей поры породы

v_1 – объем твердой части (скелета) породы, см³.

v_2 – объем пор в породе, см³

Обычно, чем выше плотность минеральной части, тем выше плотность породы, чем больше пористость, т.е. чем более рыхлую упаковку имеют частицы, тем меньше ее плотность. Чем более уплотнена пород тем меньше ее плотность, отличается от плотности минеральной части.

Величина плотности влажной пород (объемной массы) непостоянна и изменяется в зависимости от количества содержащейся в ней воды.

3. От плотности породы следует также отличать **плотность ее скелета ($\gamma_{ск}$)**, под которой понимается масса единицы объема ее минеральной части (твердой) естественного сложения, т.е. масса единицы объема сухой породы естественного сложения.

$$\gamma_{ск} = g_1/v_1 + v_1, \text{ г/см} \quad (3)$$

Плотность скелета породы можно определить по данным плотности породы (γ) и весовой влажности (W) в долях единицы:

$$\gamma_{ск} = \gamma / (1 + W) \quad (4)$$

Если весовую влажность выражать в процентах, то формула

для определения плотности скелета породы примет вид:

$$\gamma_{ск} = \gamma / (1 + 0,01W) \quad (5)$$

4. Плотность является важным физическим свойством песчаных и глинистых пород, выражающим их физическое состояние, т.е. плотность упаковки частиц. **Пористость** характеризует объем пор в единице объема породы и вычисляется по формуле:

$$n = 1 - m = 1 - \gamma_{ск} / \gamma_m = (\gamma_m - \gamma_{ск}) / \gamma_m \quad (6)$$

m – объем минеральной части в одном куб.см. породы, см³.

Пористость выражается в долях единицы или процентах от полного объема породы. Такое выражение пористости не всегда удобно. Например, при расчете изменения объема породы под действием нагрузки надо учитывать изменение пористости. Но пористость относится к полному объему породы, который сам изменяется при уплотнении, т.е. является величиной переменной.

5) Более удобной характеристикой пористости пород является **коэффициент пористости (E)**, равный отношению объема пор к объему твердой части породы, остающемуся постоянным при уплотнении:

$$E = n/m = n / (1 - n) = (\gamma_m - \gamma_{ск}) / \gamma_{ск} \quad (7)$$

Пористость песчаных и глинистых пород изменяется в широких пределах в зависимости от формы и размера слагающих их частиц, т.е. от их дисперсности, степени отсортированности и однородности, плотности сложения, степени и характера цементации. У пород более тонкозернистых (тонкодисперсных), обладающих большей удельной поверхностью, пористость, **как правило выше**, чем у пород грубодисперсных с меньшей удельной поверхностью. В соответствии с этим пористость глинистых пород обычно выше, чем пористость песков, гравелистых и других обломочных пород, хотя поры и пустоты у последних крупнее.

Пористость неоднородных по гранулометрическому составу пород обычно меньше, чем однородных, хорошо отсортированных, так как в неоднородных породах более мелкие частицы располагаются среди более крупных и общая плотность их упаковки их повышается.

Общая закономерность осадочных пород состоит в уменьшении их пористости с глубиной и увеличением возраста. Однако в песках и глинистых породах четвертичного возраста такая закономерность не всегда достаточно четко выражена. Иногда в них проявляется только общая тенденция к уменьшению пористости с глубиной.

Изменение пористости песков и глин при их инженерно-геологической оценке имеет большое значение, так как она характеризует естественную уплотненность и склонность к деформации. Причины деформаций и нарушения устойчивости песчано-глинистых пород (особенно песков) состоит главным образом в недостаточной плотности сложения.

Коэффициент пористости песчаных и глинистых пород – это одна из основных характеристик, используемых при расчетах осадок сооружений.

б) **Влажность.** Важнейшей характеристикой физического состояния песчаных и особенно глинистых пород является их влажность. Она характеризует количество воды, заполняющей их поры. В зависимости от степени влажности песчаные и глинистые породы могут находиться в различном физическом состоянии, в соответствии с которым (особенно у глинистых пород) изменяется их прочность, деформируемость и устойчивость.

Влажностью называется отношении массы воды (g_2) к массе абсолютно сухой породы (массы скелета грунта) в данном объеме, выраженное в долях единицы или процентах. Это весовая влажность:

$$W = g_2 / g_1 = (\gamma - \gamma_{ск}) / \gamma_{ск} \quad (8)$$

Если определяется по образцам естественной влажности, то ее называют естественной.

Влажность пород может быть охарактеризована также через объемную влажность, под которой понимается объем воды, содержащейся в единице объема сухой породы.

$$W_{об} = v_w / (v_1 + v_2) = W \gamma_{ск} / \gamma_v \quad (9)$$

v_w – объем воды

v_1 – объем твердой части (скелета) грунта

v_2 – объем пор

γ_v – плотность воды равна 1, тогда – $W_{об} = W \gamma_{ск}$

Если поры породы полностью заполнены водой, то объем воды в породе равен объему ее пор. Влажность глинистой породы при этом будет соответствовать ее полной влагоемкости, а у песчаных их полной влагоемкости.

Влажность песчаных и глинистых пород в естественных условиях может изменяться в широких пределах. Например влажность песков в зоне аэрации нередко достигает 4-5%, в зоне капиллярного увлажнения и насыщения 27-30%, а влажность м/з и т/з песков в этой зоне может достигать 35-40%.

Естественная влажность глинистых осадков изменяется в более широких пределах. Так например в современных глинистых осадках она достигает 80-90% и более, в глинистых осадках малой и средней степени литификации (глины) изменяется от 12-15 до 50-60%, а в породах высокой и предельно высокой степени литификации (аргиллиты) снижается до 3-5%.

Естественная влажность песков при прочих равных

НГУ Кафедра строительства и геомеханики, доц. Максимова Э.А. Глоссарий к курсу лекций по дисциплине: «ИНЖЕНЕРНАЯ РАЗВЕДКА»..

геологических условиях изменяется в зависимости от грансостава, наличия примесей глинистых частиц и органического вещества и от плотности сложения.

Естественная влажность глинистых пород изменяется в зависимости от степени их дисперсности, т.е. степени глинистости, минерального состава тонкодисперсной части, емкости поглощения и состава обменных катионов, примесей органики и степени литофикации.

Главнейшими водными свойствами, определяющими отношение песчаных и глинистых пород к воде, является **водоустойчивость, влагоемкость, капиллярность и водопроницаемость**. При инженерно-геологической оценке пород эти свойства имеют весьма важное значение. Однако роль каждого из них при этом неодинакова, что зависит от состава пород. Неодинаково их значение и при решении различных практических задач.

Водоустойчивость. Определение водоустойчивости наиболее важно при оценке глинистых пород, которые под воздействием воды теряют связность и изменяют консистенцию или размокают и распадаются. Скорость и характер размокания характеризуют водоустойчивость.

Некоторые разности глинистых пород при увлажнении сильно набухают, причем объем их увеличивается на 25-30%.

Изменение свойств глинистых пород происходит не только при увлажнении. Высыхание влажных глинистых пород иногда сопровождается их растрескиванием, изменением монолитности, уменьшением объема (усадкой).

Вода, действуя на породы, может также растворять, выщелачивать водорастворимые части и тем самым изменять их свойства.

Из изложенного следует при изучении и оценке свойств глинистых пород необходимо учитывать знание об их водоустойчивости. Это особенно важно при определении их несущих способностей, устойчивости в подземных

выработках, на склонах и откосах.

Водоустойчивость глинистых пород может быть охарактеризована скоростью и характером размокания в воде, процентным содержанием легкорастворимых соединений и их свойством; значением, силой и влажностью набухания; влажностью усадки.

Влагоемкость. Под влагоемкостью породы понимается ее способность вмещать и удерживать определенное количество воды. В соответствии с этим различают породы: влагоемкие (глины, суглинки), средневлагоемкие (скпеси, пески м/з, с/з, пылеватые) и невлагоемкие (пески с/з, к/з, гравий и т.д.). Применительно к породам невлагоемким следует говорить об их водоемкости.

У влагоемких пород различают полную, капиллярную и молекулярную Влагоемкость.

Полной влагоемкости полное насыщение породы водой, т.е. заполнение всех ее пор. Сравнивая естественную влажность породы с влажностью, соответствующей полной влагоемкости судят о степени ее водонасыщения.

Капиллярной влагоемкости соответствует не полное насыщение породы водой, а такое, когда водой заполнены только капиллярные поры.

Под молекулярной влагоемкостью понимается способность пород удерживать определенное количество физически связанной воды. Максимальное количество физически связанной воды, которое может удержать порода на поверхности своих частиц называется максимальной молекулярной влагоемкостью.

Из песчаных пород насыщенных водой не вся вода может вытекать свободно, а только та часть, которая подчиняется силе тяжести. Способность песчаных и других обломочных пород, насыщенных водой, отдавать ее путем свободного стекания, характеризует их водоотдачу. Такой способностью обладают невлагоемкие породы. Водоотдача пород примерно

равна разности между полной их влагоемкостью (W_p) и максимальной молекулярной:

$$W_{отд} = W_p - W_m \quad (11)$$

Для количественной оценки водоотдачи служит также коэффициент водоотдачи, равный отношению объема стекающей воды к объему породы, выраженной в долях единицы. Характеристика водоотдачи пород имеет важное значение при решении многих практических вопросов, например при проектировании дренажей, притоков воды в котлован и т.д.

Капиллярность. При значительном повышении влажности песчаных и особенно глинистых пород понижаются их строительные качества. Увлажнение воды может быть обусловлено инфильтрацией воды с поверхности земли или поступлением ее снизу из какого-либо водоносного горизонта под влиянием напора капиллярных сил. Капиллярные силы образуют капиллярную зону над уровнем грунтовых вод, в пределах которой наблюдается повышенное увлажнение или насыщение пород. М/з, т/з пески, глинистые породы в зоне капиллярного увлажнения обычно полностью насыщены. Эту зону можно назвать зоной капиллярного насыщения. Если эта зона достигает поверхности земли, то происходит заболачивание. При интенсивном испарении капиллярных вод происходит засоление почв, образование солончаков.

Известно, что максимальная высота капиллярного поднятия в т/з и м/з песках может достигать 1,5-2,0 м, в глинистых породах 3-4 м. В грубозернистых породах она мала и практического значения не имеет.

Водопроницаемость. К числу основных водных свойств пород относится водопроницаемость, т.е. способность пропускать через себя воду под действием напора. Данные, характеризующие водопроницаемость рыхлых обломочных и глинистых пород, имеет широкое применение в практике для определения притоков в строительные котлованы, подземные выработки, способов осушения и т.д.

Водопроницаемость песков, галечников и др. рыхлых отложений зависит от их пористости и скважности. Глинистые породы при небольших напорах очень слабопроницаемы, т.к. размер пор в них мал. Движение воды и других жидкостей через пористые среды (породы) называется фильтрацией. Следовательно, водопроницаемость песчаных и глинистых пород – это их фильтрационная способность. Мерой водопроводимости горных пород служит **коэффициент фильтрации**. В инженерно-геологической практике пользуются главным образом скоростным выражением коэффициента фильтрации, исходя из уравнения

$$v = K_f I_{(k)}$$

Если $I=1$, то $v = K_f$ м/сут, см/сут.

Скорость движения воды через пористые среды (горные породы) прямо пропорциональна гидравлическому градиенту, т.е. отношению действующего напора к длине пути фильтрации. **Это важнейший закон водопроницаемости песчаных и глинистых пород – закон ламинарной фильтрации. Он называется закон Дарси.**

Скорость движения воды определяется также уравнением:

$$v = Q/F \quad (13)$$

Q – количество фильтрующейся через породу воды, m^3 ;

F – площадь поперечного сечения, m^2 , через которое фильтруется вода.

Так как движение воды происходит только по порам, то действительная скорость фильтрации (исходя меньшей площади действительного сечения породы) больше. Действительный коэффициент фильтрации:

$$K_{fd} = K_f/n \quad (14)$$

n – пористость.

Действительный коэффициент фильтрации иногда называется коэффициентом скорости фильтрации. В песчаных породах $K_{фд}$ всегда больше коэффициента фильтрации, определенного непосредственно в лабораторных условиях.

В глинистых породах эффективная пористость всегда значительно меньше общей пористости и часто равна нулю, т.к. поровое пространство в значительной мере занято физически связанной водой.

Механические свойства горных пород определяют их поведение под воздействием внешних усилий – нагрузки.

В песчаных и других обломочных и глинистых породах при этом происходит изменение внутреннего сложения и объема (уплотнение), т.е. уменьшение пористости и увеличение концентрации минеральных частиц в единице объема. Чем значительнее эти изменения пород под воздействием определенной нагрузки, тем большей **деформируемостью** они обладают. Когда под влиянием внешних усилий в породах возникают касательные силы, превышающие сопротивление сдвига, порода начинают разрушаться, наступает потеря прочности.

Следовательно, механические свойства песчаных и глинистых пород как и любых других, характеризуются их деформируемостью и прочностью. Их выражают **деформационными и прочностными показателями**: деформируемость – показателями сжимаемости (деформируемости), а прочность – сопротивлением сдвигу. Они позволяют прогнозировать осадки сооружений, определять устойчивость пород в их основании, а при конструировании фундаментов предельно использовать несущие способность грунтов.

Показателями, выражающие сопротивление пород сдвигу, дают возможность проектировать заложение откосов плотин, насыпей, дамб, бортов карьеров с минимальным объемом земляных работ, определять устойчивость склонов и оползней, определять рациональное сечение и устойчивость различных сооружений в т.ч. бетонных плотин. Поэтому изучению деформационных и прочностных свойств песчаных

и глинистых пород необходимо уделять особенно большое внимание.

Сжимаемостью породы называют ее способность к уменьшению объема под воздействием нагрузки.

При сжатии породы вертикальной нагрузкой в условиях свободного бокового расширения при одноосном сжатии относительной деформацией (e) называют отношение величины абсолютного уменьшения нагруженного образца (Δh) к его начальной высоте (h_0)

$$e = \Delta h / h_0 \quad (15)$$

Зависимость между напряжением (δ) и величиной относительной деформации (e) при нагрузках меньше предела пропорциональности определяется выражением:

$$\delta = Ee \quad (16)$$

E – модуль упругости.

При сжатии образца вертикальной нагрузкой происходит увеличение диаметра (d_0) его поперечного сечения на абсолютную величину (Δd). Отношение $e_n = \Delta d / d_0$ (17) есть относительная деформация в поперечном направлении.

Отношение $e_n / e = M$ (18) для данного материала является величиной постоянной и называется коэффициентом поперечной деформации – **коэффициентом Пуассона**.

Сопротивление сдвигу.

Прочностные свойства пород определяются рядом показателей, относящихся к категории прямых расчетных показателей. Прочность пород характеризуется способностью сопротивляться сдвигающим усилиям (сопротивление к сдвигу). Сдвигом называется процесс деформации и разрушения породы вследствие смещения одной ее части относительно другой. Сдвиг по данной площадке вызывается касательным напряжением к ней. Сопротивление сдвигу

зависит от величины вертикальной нагрузки, приложенной к образцу. Прочность пород оценивается в основном по теории **Мора**, согласно которой разрушение тела происходит при определенном предельном соотношении нормальных и касательных напряжений.

Изучение обломочных несвязных пород показывает, что уравнение, характеризующее их сопротивление сдвигу часто имеет вид:

$$\tau = c + f\bar{\sigma}_n \quad (19), \text{ где}$$

τ – сопротивление сдвигу, МПа

c – параметр, характеризующий начальное сопротивление сдвигу

$\bar{\sigma}_n$ – нормальное давление

f – коэффициент внутреннего трения.

Эта зависимость установлена Кулоном в 1773 г. и для несвязных пород формулируется так: **«Сопротивление рыхлых несвязных пород сдвигу есть сопротивление трению, прямо пропорциональному давлению».** Это один из основных законов механики для песчаных и других несвязных пород.

Физико-механические свойства скальных и полускальных пород подразделяются также на физические, водные и механические.

Главнейшими физическими свойствами этих пород является плотность и пористость, кроме того у полускальных пород имеет значение влажность. Для характеристики физического состояния скальных и полускальных пород решающее значение имеют: степень их выветрелости, трещиноватости и закарстованности.

Водные свойства главнейшие: водоустойчивость, влагоемкость и водопроницаемость.

Водоустойчивость характеризуется в первую очередь их размягчаемостью. Любые горные породы, в том числе и кварцит, базальт и др. при насыщении водой размягчаются и теряют свою прочность.

Водопроницаемость. Скальные породы проницаемы только по трещинам. В полускальных – движение воды происходит как по трещинам, карстовым полостям и другим свержкапиллярным пустотам, так и отчасти при соответствующих напорах – по микротрещинам и порам.

Механические свойства скальных и полускальных пород характеризуются также прочностью и деформируемостью.

Прочность скальных и полускальных пород принято выражать и оценивать временным сопротивлением сжатия, растяжению, сдвигу (скалыванию) и реже изгибу.

Полускальные породы (песчаники и алевролиты с глинистым цементом, глинистые сланцы, аргиллиты, глинистые известняки, доломиты и мергели и др.) отличаются от скальных пород пониженными прочностью и сопротивляемостью деформациям.

Деформации полускальных пород в обычных условиях до сравнительно небольшого значения нагрузки бывают упругими, затем когда нагрузка превышает предел пропорциональности, деформация растет быстрее нагрузки, получает развитие упруго-вязкие или остаточные пластические деформации.

Имеются дополнительные характеристики физико-механических свойств скальных и полускальных пород. Такие как: крепость горных пород, твердость, истираемость, износ, абразивность, буримость, морозоустойчивость и др.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. **Инженерная геология. Специальная инженерная геология,**
В.Д. Ломтадзе, «Недра», 1978.
2. **В. Д. Ломтадзе. Физико-механические свойства горных пород. Методы лабораторных исследований**
Л., «Недра», 1990.
3. **Общая методика инженерно-геологических исследований,**
Н.В. Коломенский, «Недра», 1968.
4. **Инженерная геология. Инженерная геодинамика,**
В.Д. Ломтадзе, «Недра», 1977.
5. **Инженерная геология. Инженерная петрология,**
В.Д. Ломтадзе, «Недра», 1984.
6. **СНиП 1.02.07-87. Инженерные изыскания для строительства.**
7. **ГОСТ 25100-95 Грунты. Классификация. – М.: Издательство стандартов, 1995.**
8. **СНиП 2.02.01-83 Основания зданий и сооружений. – М.: Стройиздат, 1999**
9. **СНиП 11-02-96 Инженерные изыскания для строительства. Основные положения. - М., 1997.**
10. **СНиП 22-02-2003. Инженерная защита территорий, зданий и сооружений от опасных геологических процессов. Основные положения. - М., 2004.**