

Н. Я. ДЕНИСОВ

СТРУКТУРНО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ГЛИНИСТЫХ ПОРОД И ИХ ИЗМЕНЕНИЯ

(Представлено академиком П. А. Ребиндером 13 III 1948)

В процессе уплотнения глинистых пород в фазах структурных и структурно-упругих деформаций⁽²⁾ происходит перемещение частиц относительно друг друга, при котором осуществляется взаимное проникновение частиц в промежутки между ними, протекающее наподобие диффузии. Эти перемещения приводят к повышению концентрации частиц твердой фазы с уменьшением абсолютного и относительного объема пор и заполняющих их воды и воздуха.

При рассмотрении структурно-механических свойств глинистых пород важное значение имеют понятия об их относительной плотности и прочности. Относительная плотность пород дает представление о возможности возникновения структурных или структурно-упругих деформаций под влиянием того или иного давления. Относительная плотность определяется составом пород и их геологической историей, в том числе размерами испытанного давления и условиями среды. Порода, весьма плотная (переуплотненная) по отношению к определенному давлению, может быть недоуплотненной по отношению к более высокому давлению. Для оценки относительной плотности глинистых пород по отношению к оптимальным условиям уплотнения предложен показатель энергетической устойчивости⁽¹⁾.

Среди широкого многообразия обломочных горных пород можно выделить разности: весьма плотные и прочные — типа сланцев, весьма плотные и непрочные — типа пльвунов, неплотные и непрочные — типа лессов, и неплотные и прочные — типа сантонских глин Дона. Подобное разделение пород, которое может быть уточнено и осложнено введением промежуточных типов и учетом изменения прочности во времени, дает представление об их возможном поведении под нагрузкой.

Так например, отнесение пород к категории плотных и непрочных показывает, что дополнительное давление, обычной в строительной практике величины, не может вызвать их существенного уплотнения и для них может быть характерно лишь выпирание. Широко распространенный в СССР мел может служить примером подобных пород.

Существенный интерес представляет вопрос об изменении прочности глинистых пород под влиянием давления.

Повышение давления, испытываемого песком, приводит к его упрочнению, которое исчезает после устранения давления. В глинистых породах при увеличении давления в пределах „запаса сцепления“⁽²⁾, представление о котором можно получить по точке перегиба компрессионной кривой (так наз. „эффективное давление“), изменение прочности не происходит.

Вызываемое повышением давления уплотнение глинистых пород, не обладающих запасом сцепления, сопровождается их упрочнением за счет увеличения первичного сцепления, проявляющимся, в частности, в повышении сопротивления сдвигу. Такое же упрочнение характерно и для пород с запасом сцепления при повышении давления в пределы этого запаса. Процессы уплотнения и упрочнения в рассматриваемых случаях протекают в виде нарушения структуры при каждой ступени нагрузки и создания новой. При этом происходит сближение частиц, и породы не теряют своей сплошности. Подобный характер уплотнения с упрочнением, сохраняющегося в той или иной мере и после удаления нагрузки, характерен для пород, содержащих некоторое количество коллоидных частиц и влаги и находящихся благодаря этому в структурно-активном состоянии.

Для пород, не обладающих структурной активностью (например песчаников) и утративших таковую в результате, например, высушивания, характерно иное поведение под влиянием возрастающего давления. Повышение давления за пределы запаса сцепления подобных пород вызывает нарушение их сплошности и переход в состояние сыпучего тела, что сопровождается падением сопротивления сдвигу. Природа последующего его повышения при дальнейшем увеличении давления близка к характерной для сыпучих тел.

Рассмотрим условия взаимодействия находящейся в структурно-активном состоянии неплотной и непрочной глинистой породы, с практически полным заполнением пор водой, с внешним давлением, проявляющимся в виде нагрузки от сооружения. Повышение давления в пределах запаса сцепления вызывает упругие деформации породы в целом, практически неощутимых размеров.

При этом в первый момент после повышения деформирующих напряжений сопротивление их действию будет оказано как скелетом, так и водою. Доля участия каждой из этих фаз будет пропорциональна величинам их модулей упругости. Так как модуль упругости скелета выше, чем воды (особенно содержащей газы), то основную роль в сопротивлении породе будет играть скелет. Вслед за первым моментом начнется движение воды и будет проявляться ее вязкое сопротивление. После удаления излишней воды сопротивление будет оказываться только сцеплением между частицами скелета.

При рассмотрении деформационных процессов воспользуемся следующими обозначениями: T — деформирующие напряжения, испытываемые частицами от собственного веса породы, возрастающие с глубиной; ΔT — дополнительные напряжения, затухающие по мере удаления от фундамента; C_n — первичное сцепление и C_y — сцепление упрочнения.

Для оценки соотношения между размерами деформирующих напряжений и сцеплением между частицами, определяющего степень отклонения породы от устойчивого состояния, степень „текучести“ породы, воспользуемся „показателем подвижности“ $Q = (T + \Delta T) / (C_n + C_y)$. Величина Q может повышаться как за счет увеличения деформирующих напряжений, так и благодаря устранению влияния сцепления упрочнения, в частности в результате выветривания. В фазе упругих деформаций $Q < 1$; при $Q \geq 1$ происходит разрушение структуры пород.

Первым следствием этого может быть изменение консистенции породы: переход из твердого состояния в пластичное или текучее. Чем выше давление и величина Q , тем при меньшей, по отношению к соответствующим пределам Аттерберга, влажности осуществится переход в пластичное или текучее состояние, тем больше приблизятся свойства породы к свойствам вязких жидкостей, тем ближе к единице будет величина коэффициента бокового распора.

Повышение давления за пределы запаса сцепления вызывает устра-

нение или уменьшение влияния сцепления упрочнения на величину ΔC_y , и благодаря этому в момент разрушения структуры величина Q более или менее резко возрастает до значения $Q = (T + \Delta T) / (C_n + C_y - \Delta C_y)$; при $\Delta C_y = C_y$ $Q = (T + \Delta T) / C_n$.

Состояние $Q > 1$ неустойчиво и породы будут стремиться перейти в устойчивое состояние с понижением Q до единицы. Этот переход возможен двумя путями: 1) в результате повышения в процессе уплотнения значения первичного сцепления и 2) в результате уменьшения значения испытываемых частицами деформирующих напряжений, которое может быть следствием вытекания пород из-под фундаментов.

Первый путь назовем „активной“ реакцией породы, а второй — „пассивной“. Как активная, так и пассивная реакция протекают под влиянием напряжений, воспринимаемых частицами скелета и передающихся ими друг другу. Обе реакции проявляются как работа, осуществляемая на протяжении того или иного пути, и поэтому они не могут протекать мгновенно.

При активной реакции — уплотнении с упрочнением — дополнительные деформирующие напряжения, воспринимаемые частицами и затухающие по направлению к граничному контуру (рис. 1), преодолевают непрерывно возрастающее вязкое сопротивление, оказываемое сцеплением между частицами. Эти частицы, перемещающиеся, в зависимости

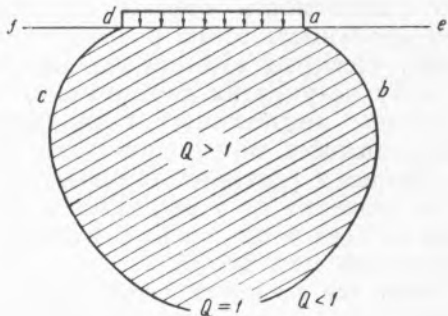


Рис. 1. Состояние глинистых пород под фундаментом: заштрихована зона неустойчивого состояния; $abcd$ — граничный контур

от их положения по отношению к граничному контуру, на различные расстояния, должны вытеснить соответствующее количество воды за пределы этого контура. Следовательно, процесс уплотнения протекает с некоторым разделением фаз, возможным лишь в том случае, когда возникает такое распределение напряжений в этих фазах, при котором появляются различия в направлении перемещения фаз и в длине путей, ими проходимых. Такие условия создаются при наличии ограничивающих поверхностей, проницаемых для одной фазы и непроницаемых для другой. Роль такой поверхности с избирательной пропускной способностью в рассматриваемом случае играет граничный контур, проницаемый для воды и непроницаемый для частиц.

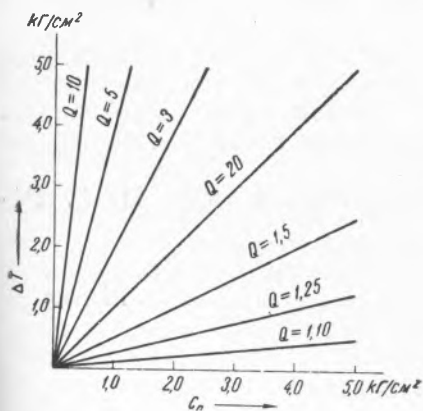


Рис. 2. Зависимость возможных размеров приращения деформирующих напряжений ΔT от величины первичного сцепления C_n при разных значениях показателя подвижности Q

Сопротивление действию деформирующих напряжений в процессе уплотнения складывается из вязкого сопротивления как перемещающихся относительно друг друга частиц скелета, так и удаляющейся к дренам воды. Доля участия каждой из этих фаз пропорциональна размерам их вязкого сопротивления. Малая сжимаемость и значительная продолжительность процесса уплотнения воздушно-сухих порошков (3),

а также понижение сопротивления сжатию глинистых порошков и паст при повышении их влажности свидетельствуют о том, что вязкое сопротивление частиц скелета, отображающее особые механические свойства пленок связанной воды, существенно выше, чем вязкое сопротивление удаляемой воды. Поэтому в сопротивлении действию деформирующих напряжений с самого начала перемещения частиц и воды основную роль играет взаимодействие частиц скелета.

Теория консолидации Терцаги ⁽⁴⁾ построена на предположении, что сжимаемость скелета несравнимо больше сжимаемости воды. Неправильность этого в отношении к упругим деформациям показана выше. Неверно это предположение и в отношении структурных и структурно-упругих деформаций, так как в его основе лежит сопоставление несравнимых явлений: упругого сжатия воды и вязкого сопротивления перемещающихся частиц.

Активная реакция глинистых пород может возникать до тех пор, пока давление со стороны зоны неустойчивого состояния на окружающие породы вдоль граничного контура будет уравниваться сопротивлением этих пород.

Если же сопротивление этих пород, в первую очередь в пределах клиньев *bae* и *cdf* (рис. 1), будет преодолено, то возникнет пассивная реакция вытекания пород из-под сооружения.

При этом направления перемещения твердой и жидкой фаз совпадают и длина пути их одинакова.

Чем выше значение Q , тем больше возможности возникновения пассивной реакции, и ограничение величины Q является одним из путей ее предотвращения. Этого можно достигнуть подобранными соответствующими темпами повышения деформирующих напряжений. Первые ступени нагрузок должны быть соответственно меньшими, чем последующие, причем их размеры определяются, при заданном значении Q , величиной первичного сцепления: чем меньше значение S_n , тем меньше должно быть значение ΔT . Вытекающая из сути значения Q зависимость возможной величины ΔT от S_n при разных значениях Q изображена на рис. 2.

Представление об активной реакции, протекающей с непрерывным упрочнением, объясняет затухающий характер кривой зависимости пористости от давления и отвергает возможность рассматривать структурные и структурно-упругие деформации глинистых пород как деформации линейно-деформируемых тел.

За ценные указания выражаю признательность акад. П. А. Ребиндеру.

Московский инженерно-строительный институт им. В. В. Куйбышева

Поступило
3 III 1948

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ Н. Я. Денисов, ДАН, 54, № 8 (1946). ² Н. Я. Денисов, ДАН, 59, № 2 (1948). ³ Н. Я. Денисов, ДАН, 59, № 6 (1948). ⁴ K. Terzaghi, Theoretical Soil Mechanics, N. Y., 1944.