

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДОННЫХ ОСАДКОВ ДЛЯ ГИПЕРБАРИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ

Моделирование процесса резания грунта по образцам, поднятым с глубины, требует определенной выдержки их в воде до тех пор, пока поровое давление не станет равным гидростатическому. Если же рабочую среду моделировать с помощью ингредиентов, извлеченных из материкового массива, то необходимо создать донные условия, при которых грунт под действием давления будет полностью насыщен влагой. Обычно при измерении сопротивления подводного грунта время выдержки образца под гидростатическим давлением не регламентировалось. В результате неуравновешенность системы «грунт-жидкость» приводила к ошибкам измерения, особенно на трехфазных грунтах, связанным с неадекватной деформацией скелета, не характерной для подводного резания в естественных условиях.

Процесс образования донных осадков – это седиментационная коагуляция, т.е. процесс слияния частиц минералов при их сближении под действием собственного веса. Опустившись на дно, частицы минералов собираются в микроагрегаты, которые, соединяясь между собой ребрами и вершинами, образуют сплошную сетку (дальняя коагуляция). Затем эта сетка разрушается, и частицы соединяются базальтными поверхностями кристаллов, образуя новую, более плотную структурную сетку (ближняя коагуляция). Пространственная сетка постепенно уплотняется за счет процесса синерезиса – уменьшения толщины гидратной пленки на контактах частиц, в результате чего происходит дегидратация осадка и уплотнение его структуры [1].

Зависимость энергии притяжения дисперсных частиц от расстояния между ними обусловлена степенью диссоциации, активностью обменных катионов, природой частиц и температурой окружающей среды. Исследования показали, что повышение плотности донных отложений обусловлено лишь процессами оседания и консолидации в течение длительного периода взвешенных в воде твердых частиц и практически не зависит от давления, создаваемого толщей воды [2]. Поэтому можно считать, что коагуляция осадка происходит аналогично и при атмосферном давлении.

Донные осадки образуются под водой в отсутствии свободного газа и представляют собой практически двухфазную среду, состоящую из твердых частиц и порового пространства, заполненного водой. Растворенная в ней газовая фаза, возникающая за счет жизнедеятельности бактерий, проявления природного вулканизма и других факторов, настолько мала, что не может влиять на структурную целостность скелета и прочность осадка. Подъем на поверхность образца с газовыми менисками, сопровождается снижением внешнего давления и, как следствие, расширением газовой фазы, что приводит к изменению прочностных свойств грунта.

Ниже предложена методика моделирования донных осадков, обладающих различной фильтрационной способностью, которую применяют для исследования под гидростатическим давлением.

Водопроницаемые донные осадки

Для моделирования рабочих сред при гипербарических испытаниях используют пасты, приготовленные из спондиловой глины и речного песка следующим образом. Глину высушивают и измельчают на шаровой мельнице, после чего порошок сортируют по гранулометрическому составу ситовым методом. Во избежание расслоения частиц по крупности приготовленную в воде суспензию порошка перемешивают и отстаивают в течение времени [3], с

$$t_c = \frac{18h_0\mu}{g(\rho_n - \rho_{ж})d^2}, \quad (1)$$

где h_0 – высота дисперсной системы, м; μ – динамическая структурная вязкость, Па·с; g – ускорение свободного падения, м/с²; ρ_n , $\rho_{ж}$ – плотности дисперсной фазы (пасты) и насыщающей жидкости (воды), кг/м³; d – диаметр частиц грунта, м.

Для уплотнения полученной массы применяют метод дренированной консолидации, при которой избыточная жидкость имеет возможность оттока по каналам через пористый материал. В качестве пористого материала используют равномерно укладываемый на фильтровальную ткань песок, на который устанавливают груз заданной массы, рис. 1. Уплотняющее давление рассчитывают по формуле, МПа

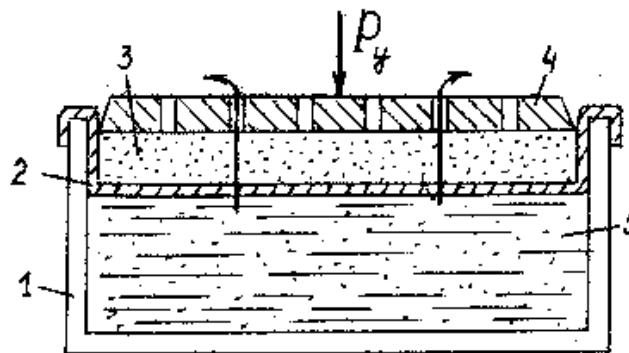


Рис.1. Схема уплотнения пасты по методу дренированной консолидации:

1 – поддон; 2 – фильтровальная ткань; 3 – пористый материал;
4 – перфорированная пластина; 5 – уплотняемый грунт

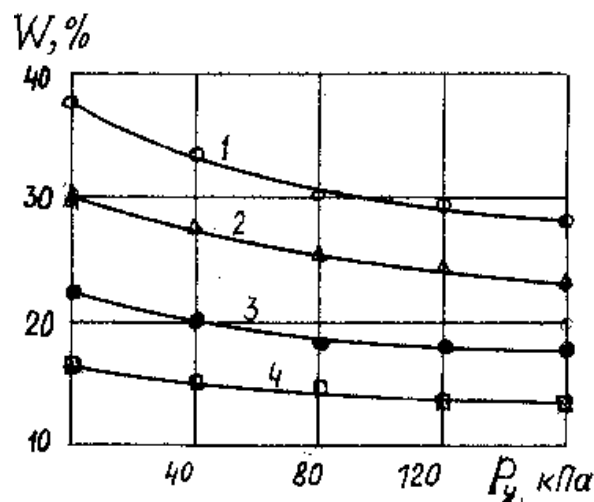


Рис.2. Зависимость влажности пасты от уплотняющей нагрузки при начальных значениях влажности W , %: 1 – 37; 2 – 30; 3 – 22; 4 – 16

$$P_y = \frac{\rho_n}{\rho_{ж}a} \cdot \frac{W_c - W_n}{1 - W_c - W_n + W_c W_n}, \quad (2)$$

где W_c , W_n – влажности суспензии и пасты, %; a – коэффициент уплотнения пасты, МПа⁻¹.

Время уплотнения суспензии зависит от скорости фильтрации воды из порового пространства [4], поэтому для получения полностью уплотненного образца его выдерживают под грузом в течение времени, с

$$t_y = \rho_{\text{ж}} g h^2 a \frac{k_{\text{в}}}{k_{\text{ф}}}, \quad (3)$$

где h – начальная толщина слоя пасты, м; $k_{\text{в}}$ – фактор времени, для полного уплотнения $k_{\text{в}} = 3$; $k_{\text{ф}}$ – коэффициент фильтрации грунта.

Изменения уплотняющих давлений и времени выдержки позволяют моделировать донные осадки с заданной влажностью и гранулометрическим составом, рис. 2.

Водонасыщение песчаного грунта проводят просеиванием через сито частиц песка непосредственно в воду с последующим отстаиванием и уплотнением пасты. Это позволяет до минимума сократить присутствие газообразной фазы в поровом пространстве скелета. Особенность второй схемы заключается в пропитке песчаного грунта снизу вверх, когда поддон с грунтом устанавливают на перфорированную пластину, размещенную в контейнере с водой. Такая схема позволяет максимально вытиснить воздух из пор грунта.

Водонепроницаемые донные осадки

Основная трудность моделирования грунтов с низкой фильтрационной способностью заключается в необходимости обеспечения равенства избыточного внешнего P и порового U давлений, так как быстрое изменение гидростатического давления приводит к изменению напряженного состояния трехфазного грунта [5]. Для предотвращения необратимых деформаций в скелете нужно, чтобы пригрузка σ не превышала предельное напряжение сжатия для данного грунта

$$\sigma = P - U \leq [\sigma_{\text{сж}}] \quad (4)$$

Этого можно достичь, если давление жидкости повышать ступенями с последующей выдержкой до уравнивания порового давления и гидростатического. Время выдержки на каждой ступени определяют по уравнению Дарси [6], с

$$t = \frac{\Delta V_{\text{ж}} \rho_{\text{ж}} g h}{S_{\text{ф}} k_{\text{ф}} (P - U)}, \quad (5)$$

где $\Delta V_{\text{ж}}$ – объем жидкости, проникающей в поровое пространство за счет сжатия газовой фазы, м³:

$$\Delta V_{\text{ж}} = V_{\text{г}}^{\text{а}} - V_{\text{г}} = V_{\text{г}}^{\text{а}} \left(1 - \frac{P^{\text{а}}}{P} \right); \quad (6)$$

где $S_{\text{ф}}$ – площадь поперечного сечения образца, м²; h – высота образца, м;

$P^{\text{а}}$ – атмосферное давление, Па.

Разбивая диапазон изменения давления на несколько интервалов, можно определить общее время водонасыщения модели грунта, необходимое для его перехода из трехфазного состояния в двухфазное. При этом обеспечивается выравнивание порового и гидростатического давлений без уплотнения образца, $U = P$. Например, для водонасыщения глинистого грунта с коэффициентом фильтрации $k_{\text{ф}} = 0,5$ м/сут расчетное время, необходимое для ступенчатого повышения давления от 0,1 до 3,0 МПа, составляет $t = 4,2$ суток.

В соответствии с классификацией [7] подводные грунты делятся на группы по гранулометрическому составу глинистых частиц размером меньше 0,01 мм: песок содержит 0...5 % глинистого вещества, песок илистый – 5...10 %, песчаный ил – 10...30 %; ил – 30...50 %, глина – более 50 %. Исследования показывают, что коэффициент фильтрации грунта $k_{\text{ф}}$ связан логарифмической зависимостью с количеством глинистого

вещества в образце, причем наиболее интенсивно эта зависимость проявляется в пределах 0...40 %, рис. 3. Поэтому путем выбора процентного соотношения глинистых частиц в образце можно изменять коэффициент фильтрации модели донного грунта от 170 м/сут (сильноводопроницаемый) до 0,2 м/сут (слабоводопроницаемый).

Предложенная методика подготовки образцов грунта позволяет моделировать

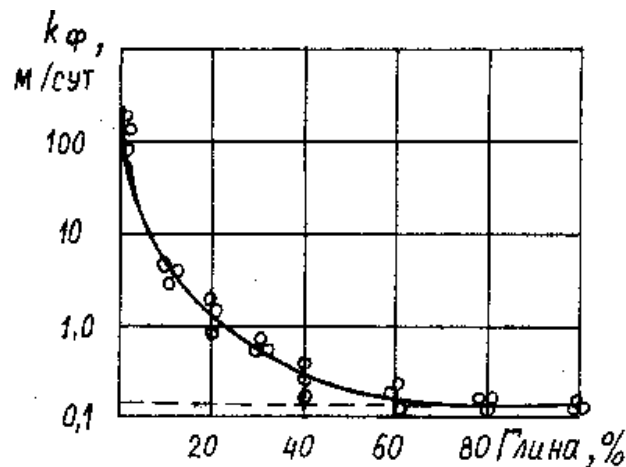


Рис.3. Зависимость коэффициента фильтрации модели грунта от процентного содержания глинистых частиц

донные осадки различного генезиса и фазового состояния с заданными физико-механическими свойствами и фильтрационной способностью, максимально приближая их к свойствам природы.

Литература

1. Кульчитский Л.И., Усыряев О.Г. Физико-химические основы формирования свойств глинистых пород.– М.: Недра, 1981.– 62 с.
2. Бабинец А.Е., Митропольский А.Ю., Ольтшинский С.П. Гидрогеологические и геохимические особенности глубоководных отложений Черного моря.– К.: Наук. думка, 1973.– 160 с.
3. Фролов Ю.Г. Курс коллоидной химии.– М.: Химия, 1982.– 400 с.
4. Гольдберг В.М., Скворцов Н.П.. Проницаемость и фильтрация в глинах.– М.: Недра, 1986.– 160 с.
5. Сукач М.К. Механизм воздействия на грунт гидростатического давления // Гірн., буд., дор. та меліорат. машини: Всеукр. міжвід. наук.-техн. зб. – К.: КНУБА, 2001.– Вып.58.– С.68-74.
6. Терцаги К. Теория механики грунтов: Пер с нем.– М.: Гостройиздат, 1980.- 422 с.
7. Мерио Дж. Минеральные богатства океана: Пер. с англ.– М.: Прогресс, 1969.- 440 с.