

## УСТОЙЧИВОСТЬ ГРАВИТАЦИОННЫХ БУРОВЫХ ПЛАТФОРМ НА МЯГКИХ ГРУНТАХ

В.Р. Коваленко

Севастопольский государственный технический университет, г. Севастополь, бухта Стрелецкая, Студгородок

*Выполнен анализ возможности заглубления опорного основания ПБУ понтона в грунт в зависимости от комбинации параметров грунта и мощностей его слоев.*

**Введение.** В настоящее время гравитационные буровые платформы широко используются для проведения разведочного и эксплуатационного бурения в различных районах шельфа.

К числу основных факторов, которые могут привести к пространственной дестабилизации таких систем, относится воздействие экстремальных гидрометеорологических факторов (ветер, волнение, течение), под действием которых могут формироваться значительные механические нагрузки.

К числу основных проблем эксплуатации буровых установок такого типа относится проблема стабильности их пространственного положения на точке фиксации. Это связано с тем, что во многих районах мелководья грунт представляет собой мягкий ил мощностью несколько метров. Верхний слой такого грунта характеризуется влажностью до 250...300%, плотностью  $1540 \text{ кг/м}^3$  и низкими прочностными характеристиками. Общее сопротивление сдвигу таких грунтов не превышает  $6...8 \text{ кПа}$ . С глубиной (ниже 2...3 м), обычно наблюдается снижение влажности до 150...190% и повышение плотности до  $1800 \text{ кг/м}^3$  и болсс. При этом осадки переходят в вязкопластичное или мягкопластичное состояние.

При постановке буровой установки на дно, образованное размягченными осадками, стабильность положения платформы зависит, прежде всего, от величины заглубления опорного основания в грунт.

**Постановка задачи.** Внешние нагрузки, воздействующие на гравитационные платформы, постоянно изменяют направления своих циклических воздействий. Песчаные и глинистые грунты по-разному реагируют на них. Поэтому необходимо установить зависимость между уровнем внешних циклических нагрузок и напряжением грунтового основания.

Вследствие воздействия штормовых волн гравитационная платформа испытывает горизонтальные смещения и повороты циклического характера. При этом происходит постепенное увеличение вертикальной осадки. По мере локального ослабления грунта напряжения под ней

не распределяются. Во время этих воздействий в песке может наблюдаться значительное рассеивание избыточного порового давления. Однако если платформа установлена на глинистый грунт, то даже при целой серии штормов и циклических нагрузок существенного дренирования не возникает.

Если платформа расположена на песчаном основании или глине нормальной плотности, со временем циклические смещения уменьшаются, а прочность ее повышется. Глинистые грунты, на которых часто устанавливают гравитационные платформы, в большинстве случаев не обладают достаточной прочностью на сдвиг. Потеря устойчивости большим основанием на песчаном грунте вследствие уменьшения несущей способности последнего под действием волновых нагрузок зависит от прочности грунта на сдвиг в не дренированном состоянии. Большие гравитационные платформы, установленные на песке, обычно не подвержены такой потере устойчивости. Однако значительные сдвигающие напряжения в грунте в сочетании с повторными нагрузками и высокими гидравлическими градиентами по окружности основания могут вызывать размягчение грунта и нарастающее раскачивание платформы, в результате чего последняя теряет устойчивость.

Важным фактором, приводящим к нарушению устойчивости больших оснований платформ, является сжижение грунта. Во время шторма происходит изменение его свойств, связанных с напряжением и деформацией, а также увеличение порового давления в результате циклических нагрузок. В этом случае давление поровой воды в песке может увеличиться на столько, что действительное напряжение в грунте будет приближаться к нулю. Песок теряет свою прочность, ведет себя как псевдосжиженный слой, и платформа может погрузиться во флюидизированный грунт. Эксцентрические палубные или волновые нагрузки на палубу могут при этом вызывать наклон платформы. Статические силы (взаимодействие без учета сил инерции и демпфирования) со стороны донного грунта являются одним из основных факторов стабильности ПБУ при выполнении бурения.

Грунт по своей сути существенно нелинейная анизотропная среда, свойства которой изменяются с глубиной залегания.

Начиная с некоторых значений деформации и напряжений, происходит разрушение грунта в микрообъеме. Характер экспериментальной зависимости между нормальными  $\sigma_n$  и касательными  $\tau_n$  напряжениями разрушения грунта показан на рис. 1.

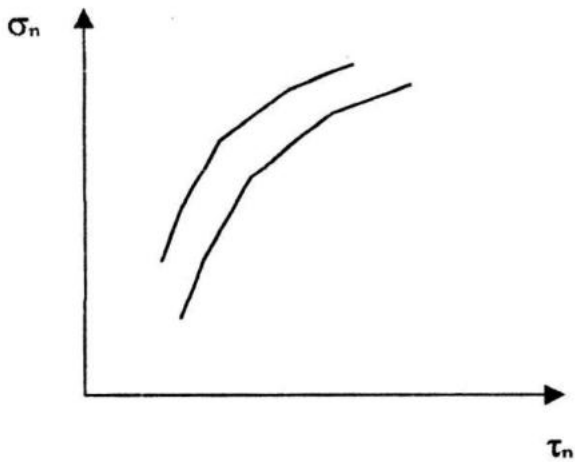


Рис. 1. Вид кривых предельного состояния  $\sigma_n - \tau_n$  грунта.

При разрушении грунт «ползет». Кривые  $\sigma_n - \tau_n$  соответствующие разрушению (нарушению сплошности) грунта называют предельными кривыми. На практике связь между предельными касательными и нормальными напряжениями аппроксимируют линейной зависимостью

$$\sigma_n = \tau_n \cdot \operatorname{tg} \varphi + C. \quad (1)$$

Величину  $\varphi$  называют углом внутреннего трения.  $C$  – сцеплением. Если  $C \approx 0$ , то грунт называется несвязным. На рис.2 показан характер предельных кривых связного и несвязного грунта и их аппроксимации.

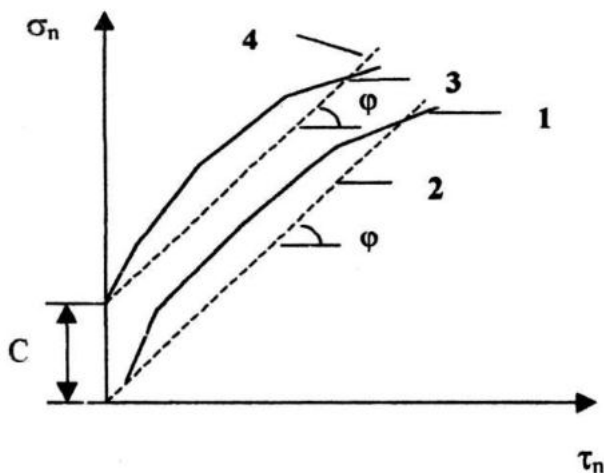


Рис.2. Предельные кривые  $\sigma_n - \tau_n$  связного и несвязного грунта и их аппроксимации прямыми: 1 – предельная кривая несвязного грунта и 2 – ее аппроксимация; 3 – предельная кривая связного грунта и 4 – ее аппроксимация;  $\varphi$  – угол внутреннего трения;  $C$  – сцепление.

Расчет осадок опорных оснований в илистых и глинистых грунтах учитывает начальное деформированное состояние грунта, также процесс ее фильтрационного уплотнения. Осадки фундаментов на глинистых основаниях определяют

на основе компрессионных кривых, полученных для различных образцов грунта. В случае нормально уплотненных осадков используется линейная зависимость деформации грунта от величины  $\lg \sigma_{oi}$ , где  $\sigma_{oi}$  – напряжение в  $i$  слое грунта.

Деформация каждого слоя  $\varepsilon_i$  определяются по соотношению

$$\varepsilon_i = C_o (\lg(\sigma_{oi} + \Delta_{i+1}) - \lg \sigma_{oi}) \quad (2)$$

где  $\Delta_{i+1}$  – изменения напряжения в  $i+1$  слое,

$C_o$  – коэффициент пропорциональности ( $C_o = 0,18$ ).

Для определения напряжения  $\Delta_{i+1}$  в грунте от вертикальной нагрузки, приложенной к основанию, применяется решение Буссинеска. Это решение можно аппроксимировать следующим аналитическим соотношением:

$$\Delta_{i+1}/q = a_1 + a_2(4y_{i+1}/D) + a_3(4y_{i+1}/D)^2 + a_4(4y_{i+1}/D)^3 \quad (3)$$

где  $q = W/A$  – интенсивность распределения нагрузки по площади основания  $A$ ,  $y$  – толщина слоя грунта,  $D$  – ширина основания.

График зависимости  $\sigma/q = f(4y/D)$  показан на рис.3

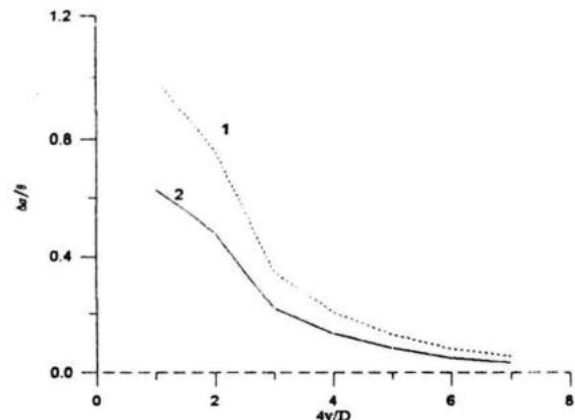


Рис.3 График изменения напряжения с увеличением глубины.

Суммарная деформация грунта в каждом слое под основанием ПБУ вычисляется по соотношению

$$\Delta H = \int_0^{\infty} \varepsilon(y) dy = \sum_{i=1}^n y_i \varepsilon_i \quad (4)$$

**Результаты.** Для определения суммарной деформации грунта в каждом слое под основание буровой установки используется соотношение (2). Расчет производится при различных комбинациях свойств грунта.

Численное решение задачи выполнено применительно к конкретной буровой установке «Тазов», проекта ЦКБ Коралл.

Для решения задачи определения возможного заглубления понтона в грунт необходи-

мы следующие исходные данные:

1. Главные размерения основания:

2. Прижимная нагрузка  $P_{пр}$ , которая рассчитывается по соотношению:

$$P_{пр} = P_{пор} + P_{жб} - \nabla \gamma$$

где  $P_{пор}$  – масса ПБУ порожнем,  $P_{жб}$  – масса жидкого балласта,  $\nabla$  – водоизмещение ПБУ;

3. Структура слоев данного материала:  $\gamma$  – удельный вес грунта в  $i$  слое толщиной слоя  $y_i$ .

В грунтовом массиве под фундаментом выделяется два горизонтальных слоя толщиной соответственно 0.3...0.8 метра. Удельный вес грунта изменяется в пределах от 15.4 до 18 кН/м<sup>3</sup>. В центре каждого слоя напряжения равны  $\sigma_0 = \gamma \cdot y$ . Используя график изменения напряжения с увеличением глубины (рис.3) определяется напряжения  $\Delta\sigma$  в зависимости от нагрузки, передаваемой на грунт фундаментом при  $q = W/A$ . График на рис.3 дает представление о характере изменения напряжений с увеличением глубины под центром и краем фундамента, имеющего подошву квадратной формы площадью  $A$ .

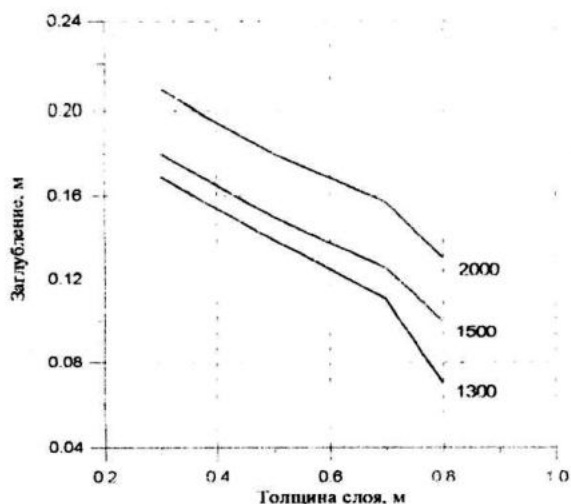


Рис.4 График зависимости величины заглубления в грунт опорного основания ПБУ от мощности слоя.

Значения напряжений приведены в долях от средней интенсивности давления  $q$ . Значения глубины отнесены к ширине фундамента  $4y/D$ . В данном случае площадь основания равна  $A=1327\text{м}^2$ . Вертикальная нагрузка  $W$ , приложенная к квадратному основанию шириной  $D$ . Деформации, соответствующие вычисленным напряжениям, определяем по соотношению (2).

График зависимости величины заглубления в грунт опорного основания ПБУ от мощности слоя при различных значениях прижимной нагрузки представлен на рисунке 4.

Результаты численных расчетов показали, что при различных комбинациях параметров грунта величина осадки опорного основания может изменяться от 7 до 21 см, причем эти величины относительно мало зависят от комбинации параметров грунта и определяются, главным образом, параметрами его верхнего слоя и величиной прижимной нагрузки. Полученные оценки возможного заглубления основания использованы для оценок предельных горизонтальных нагрузок на ПБУ. Эти нагрузки определяются, главным образом, значениями прижимных нагрузок, площадью основания и параметрами грунта. Усилие смещения передней кромки грунта по отношению к усилиям трения и сдвига является величиной порядка одного процента.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Галахов И.Н., Литонов О.Е., Алисейчик А.А. Плавучие буровые платформы. Конструкция и прочность. – Л.: Судостроение, 1981. – 224с.
2. Доусон Т. Проектирование сооружений морского шельфа. Пер. с англ. – Л.: Судостроение, 1986. – 288с.
3. Халфин И.Ш. Воздействие волн на морские нефтегазопромысловые сооружения. – М.: Недра, 1990. – 310с.