Таким образом, можно сделать вывод, что имеется достаточная нормативно-методическая база, рекомендующая расчетные модели взаимодействия плитных фундаментов с грунтовым массивом.

Имеется также широкий выбор компьютерных программ расчета плитных фундаментов, используемых в отечественной и зарубежной практике проектирования. При проектировании плит европейские нормы схожи с отечественными, но при этом носят более рекомендательный характер и методики расчетов основных параметров основания и фундамента более простые. Отечественная литература предлагает большой выбор методов и подходов к проектированию плит, а также имеются составленные на их основе расчетные программные комплексы, из которых каждый имеет достоинства и недостатки.

Однако в нормативных документах, сводах правил и научных публикациях нет конкретных рекомендаций по определению такой главной расчетной характеристики грунта, как коэффициент постели. Предлагаемые косвенные величины определения или табличные данные не могут надежно характеризовать величину коэффициента постели для каждого конкретного случая с учетом размеров и формы фундамента, а также изменчивости характеристик грунта по всей опорной площади плиты.

Предполагается, что можно рекомендовать использовать метод статического зондирования грунта по всей площади плиты. Метод может обеспечить получение данных зондирования по достаточно частой сетке скважин по сравнению с буровыми скважинами.

Метод статического зондирования может быть использован после проведения экспериментальных работ и получения корреляционной зависимости между данными испытания штампом и лобовым сопротивлением грунта при зондировании.

Список литературы

1. **Безволев С. Г.** Методика учета деформируемости неоднородного упругопластического основания при расчете фундаментных плит // ОФМГ. 2002. № 5. С. 8-14.
2. **Основания зданий и сооружений**: СНиП 2.02.01-83. М., 2000.
3. **Проектирование и устройство оснований и фундаментов зданий и сооружений**: СП 50-101-2004. М., 2004.
4. **Руководство по проектированию плитных фундаментов каркасных зданий и сооружений башенного типа** / НИИОСП им. Н. М. Герсеванова. М.: Стройиздат, 1984.
5. **Сорочан Е. А., Трофименков Ю. Г.** Справочник проектировщика. Основания, фундаменты и подземные сооружения. М.: Стройиздат, 1985.
6. **Федоровский В. Г., Безволев С. Г.** Расчет осадок фундаментов мелкого заложения и выбор модели основания для расчета плит // ОФМГ. 2000. № 4. С. 10-18.
7. **Шейнин В. И., Сарана Е. П., Артемов С. А., Фаворов А. В.** Алгоритм и программа инженерного расчета осадок фундаментных плит с учетом неравномерности нагрузки на основание и неоднородности массива // Там же. 2006. № 5. С. 2-7.
8. **Eurocode 7 «Geotechnical design».** London, 2003.

УДК 551.1/.3

Дмитрий Евгеньевич Ипатов
Московский физико-технический институт

ЗАДАЧА О ПРИЛИВНОМ ПОТЕНЦИАЛЕ©

Работа выполнена при поддержке ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009 – 2013 годы

Задачи о "приливных потенциалах" (о "приливообразующих силах") являются одними из обратных задач, естественным образом возникающих в математической теории приливных течений (или просто приливов) во многих акваториях Мирового океана (окраинные моря и др.). Приливообразующие силы обусловлены силами притяжения в сложной системе небесных тел (среди которых особо выделяются Солнце, Земля и Луна) [1; 2; 3; 4]. Эти силы специфичны тем, что они периодичны по времени и их можно попытаться рассчитать заранее с помощью методов гармонического анализа, т.е. до проведения расчетов приливных течений по выбранной математической модели. Эти предварительные расчеты должны быть осуществлены с учетом особенностей конкретной акватории, в которой моделируются приливные течения. Для этих расчетов необходимо найти "гармонические константы" для выбранной акватории, привлекая многолетние данные наблюдений. Очевидно, что это возможно или не для всех акваторий Мирового океана, или гармонические константы не опубликованы в открытой печати, или они получены с недостаточной точностью. Именно вычисление данных констант является одной из основных задач гармонического анализа приливных течений.

В практических вычислениях, используя результаты гармонического анализа, учитывают лишь основные гармоники приливообразующих сил, пренебрегая остальными. Кроме того, рассматриваются силы, обусловленные лишь притяжением Солнца, Земли и Луны и не учитываются эффекты искривления дна Земли под действием этих сил и ряд других типов приливообразующих сил. Учет всех видов приливообразующих сил просто невозможен по ряду причин (отсутствие теоретических знаний, полных данных наблюдений и т.д.).

В связи с указанными выше трудностями по расчету приливообразующих сил можно сформулировать следующую обратную задачу: обладая в заданном бассейне многолетними данными наблюдений за приливными течениями, а также данными спутниковых наблюдений, восстановить приливообразующие силы, характерные для данного бассейна. Если это можно сделать, то полученные результаты могут быть использованы при прогнозировании приливных течений в этом бассейне.

Пусть $\ ,\varLambda,r$ есть сферические координаты, $\ \in[-\varPi/2\ ,\ \varPi\ 2]$ – широта, $\varLambda\in[0,2\varPi]$ – долгота, r – радиальное расстояние, Ω – часть океанической поверхности Земли, $\varGamma\equiv\partial\Omega$ – граница Ω, $\varGamma_1$ – твердая часть $\varGamma$ (береговой контур), $\varGamma_2=\varGamma\setminus\varGamma_1$ – жидкая часть границы, m_k – характеристическая функция $\varGamma_k$, $k=1,2$. Через u,v обозначим компоненты осредненной по вертикали скорости движения воды, которые считаем связанными с координатами $\ ,\ \varLambda$ т.е. u направлена в сторону возрастания $\varLambda$ (направление на "восток"), а v – в сторону возрастания (направление на "север"). Введем также ось Oz, направленную в сторону возрастания r, т.е. "вверх" или в направлении, противоположном силе тяжести. Координата z определяется как $z=r-r_0$, т.е. как расстояние, измеряемое вверх от геопотенциальной поверхности. Поверхность моря будет задавать уравнением $z=\ (\ ,\varLambda,t)$, а функцию рельефа дна как $z=-H(\ ,\varLambda)$, где $H(\ ,\varLambda)$ – ограниченная положительная функция. Если P есть функция давления, то из уравнения гидростатики $\dfrac{\partial P}{\partial z}=-\ \ g$, где $\ ,g=const$, получаем равенство $P_a-P(z,\ ,\varLambda,t)=-\ \ g(\ -z)$, в котором P_a – атмосферное давление на свободной поверхности моря. Если на Ω функция P_a считается постоянной, то имеют место соотношения:

$$\frac{1}{\cos}\frac{\partial P}{\partial\varLambda}=\frac{g}{\cos}\frac{\partial}{\partial\varLambda},\quad \frac{\partial P}{\partial}=\ \ g\frac{\partial}{\partial},\quad P=P_a+\ \ g(\ -z) \tag{1}$$

В переменных $\ ,\varLambda,t$ равнения приливных течений для определения $u,\mathrm{v},$ запишем в следующей форме [2; 5]:

$$\begin{cases} u_t-l\mathrm{v}+Ru=-\dfrac{g}{R_3\cos}\ _{\varLambda}+\dfrac{1}{R_3\cos}G_{\varLambda}+f_1\,, \\ \mathrm{v}_t+lu+R\mathrm{v}=-\dfrac{g}{R_3}\ \ +\dfrac{1}{R_3}G\ \ +f_2\,, \\ \ _t+\dfrac{1}{R_3\cos}[(Hu)_{\varLambda}+(H\mathrm{v}\cos\ \ )\ ]+f_3=0, \end{cases} \tag{2}$$

где $u_t=\dfrac{\partial u}{\partial t}$, $\ \ =\dfrac{\partial}{\partial}$ и т.д., $R_3=const$ – осредненный радиус Земли, $R=\varGamma_0R_0(\ ,\varLambda,t)+\varGamma_1 r_*|\mathbf{u}|/(H+\ |\mathbf{u}|)$, $r_*=const>0$ – коэффициент трения, $\varGamma_0,\varGamma_1,$ – неотрицательные заданные коэффициенты, $R_0(\ ,\varLambda,t)$ – известная неотрицательная ограниченная функция, $|\mathbf{u}|=(u^2+\mathrm{v}^2)^{1/2}$, $\mathbf{u}=(u,\mathrm{v})$. При $\ =0$, $\varGamma_0=0$, $\varGamma_1=1$ функция R принимает вид, широко применяемый в теории математического моделирования приливных течений. $l=2\varOmega\sin$ – параметр Кориолиса, $\varOmega=const>0$ – угловая скорость вращения Земли, $t\in[0,T]$, T – временной интервал, в течение которого решается система (2), функции источников f_1,f_2,f_3 считаются заданными, G – функция приливного потенциала ("приливной потенциал"), $\nabla G=(G_{\varLambda}/(gR_3\cos\ \ ),G\ /(gR_3))$ – вектор приливообразующих сил.

Введем вместо широты $\ \in[-\varPi/2,\ \varPi\ 2]$ дополнение широты $\varPhi=(\ +\varPi\ 2)\in[0,\ \varPi]$ и будет считать, что свободная поверхность моря задается уравнением $z=-\ (\varPhi,\varLambda,t)$, т.е. $z\in[-H,-\ ]$. Тогда функция давления P связана с равенством $P=P_a-\ \ g(\ +z)$, а уравнения (2) после замены на $-$ и учета соотношений: $\cos\ \ =\sin\varPhi,\ \ \sin\ \ =-\cos\varPhi,\ \ d\ \ =d\ \ ,\ \ d\Omega=R_3^2\cos\ \ d\ \ d\varLambda=R_3^2\sin\ \ d\ \ d\varLambda,$ преобразуются в следующие уравнения:

$$\begin{cases} u_t-l\mathrm{v}+Ru=mg\ _x+mG_x+f_1\,, \\ \mathrm{v}_t+lu+R\mathrm{v}=ng\ _y+nG_y+f_2\,, \\ \ _t-m[(Hu)_x+((m/n)H\mathrm{v})_y]=f_3, \end{cases} \tag{3}$$

где $x=\varLambda\in[0,2\varPi],\ y=\varPhi\in[0,\ \varPi],\ m=1/(R_3\sin y),\ n=1/R_3,\ l=-2\varOmega\cos y$ и за функциями $u,\mathrm{v},\ ,H,f_1,f_2,f_3$ оставлены прежние обозначения.

Мы всегда считаем, что система (3) рассматривается в $Q_T\equiv\Omega\times(0,T)$, причем точки $y=0,\varPi$ (полюсные точки) не принадлежат рассматриваемой области Ω. Коэффициенты l,R_0 считаем (для упрощения изложения) достаточно гладкими в $\bar{\Omega}=\Omega\bigcup\partial\Omega$.

Для системы (3) могут быть предложены различные типы корректных граничных условий [2]. В настоящей работе мы рассматриваем граничное условие вида [5]

$$Hu_n+\ \ m_2\sqrt{gH}(\ +G/g)=m_2\sqrt{gH}d\quad \text{на}\quad \varGamma\times(0,T) \tag{4}$$

где $u_n = \mathbf{u}\cdot\mathbf{n}$, $\mathbf{n}$ – вектор внешней нормали к Γ, $\in[0,1]$ – заданный коэффициент, а $d(x,y,t)$ есть некоторая *граничная функция*, считающаяся известной. Функцию d из (4) для определенности продолжим нулем на $\Gamma_1\times(0,T)$. Заметим, что на твердой части границы (4) имеет вид обычного условия непротекания: $u_n = 0$ на $\Gamma_1\times(0,T)$.

Отметим также, что единичный вектор внешней нормали имеет вид $\mathbf{n}=(n_1, n\cdot n_2/m)$, где выражения для $n_1(x,y), n_2(x,y)$ зависят от способа параметризации участка границы $\Delta\Gamma$, на котором вычисляется $\mathbf{n}$. Например, если Γ ориентирована так, что при ее обходе область Ω остается слева, а участок $\Delta\Gamma$ ориентирован в сторону возрастания x допускает локальное представление вида $F(x,y)\equiv {}_{(\Gamma)}(x)+y=0$ при $x\in(x_{1,\Gamma},x_{2,\Gamma})$, то $n_1=-({}_{(\Gamma)})_x/D$, $n_2=-1/D$, где $D=\left(({}_{(\Gamma)})_x^2+\sin^2{}_{(\Gamma)}\right)^{1/2}$, а интеграл по $\Delta\Gamma$ задается выражением

$$\int\limits_{\Delta\Gamma}\cdot d\Gamma=\int\limits_{x_{1,\Gamma}}^{x_{2,\Gamma}}\cdot R_3\left(({}_{(\Gamma)})_x^2+\sin^2{}_{(\Gamma)}\right)^{1/2}dx$$

Очевидно, что если на $\Delta\Gamma$ имеем ${}_{(\Gamma)}=const$, то $\mathbf{n}=(0,-1)$, а также $\int\limits_{\Delta\Gamma}\cdot d\Gamma=\int\limits_{x_{1,\Gamma}}^{x_{2,\Gamma}}\cdot dx/m$ (Для простоты другие возможные параметризации участка границы $\Delta\Gamma$ мы здесь не будем обсуждать).

В качестве начальных условий для (3) принимаются обычные начальные условия

$$u=u_{(0)}(x,y),\ \mathrm{v}=\mathrm{v}_{(0)}(x,y),\ \ ={}_{(0)}(x,y),\ \text{ при } t=0, \text{ в } \Omega. \qquad (5)$$

Таким образом, прямая нестационарная задача от отыскании u,v, формулируется как: при заданных $f_1, f_2, f_3, d, u_{(0)}, v_{(0)}, {}_{(0)}$ требуется найти u,v, , удовлетворяющие при почти всех (t,x,y) уравнениям (3) и условиям (4), (5).

Пусть в системе (1) помимо u, v, неизвестной является также функция G. Как легко заметить, при использовании (1) при $=0$ или $\Gamma=\Gamma_1$ для отыскания G возникает неоднозначность определения этой функции. Для устранения этой неоднозначности необходимо ввести дополнительное условие на G, используя, например, подходящее условие баланса в рассматриваемой акватории Ω. Нас интересуют прежде всего приливообразующие силы, порождаемые приливным потенциалом G, то есть вектор $F_0=g\nabla G$. Поэтому считать, что G ищется в подпространстве $\int\limits_{\Omega}G\,d\Omega=0$ при $t\in(0,T)$.

Список литературы

1. **Вольцингер Н. Е., Клеванный К. А., Пелиновский Е. Н.** Длинноволновая динамика прибрежной зоны. Л.: Гидрометеоиздат, 1989.
2. **Марчук Г. И., Каган Б. А.** Океанские приливы: математические модели и численные эксперименты. Л.: Гидрометеоиздат, 1977.
3. **Некрасов А. В.** Энергия океанских приливов. Л.: Гидрометеоиздат, 1990.
4. **Педлоски Дж.** Геофизическая гидродинамика. М.: Мир, 1984. Т. 1, 2.
5. **Agoshkov V. I.** Inverse problems of the mathematical theory of tides: boundary-function problem // Russian journal of numerical analysis and mathematical modelling. 2005. Vol. 20. No. 1. P. 1-18.

УДК 536.27:621.1.016

Игорь Евгеньевич Лобанов, Алексей Викторович Дедов
Московский авиационный институт
Московский энергетический институт

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ИНТЕНСИФИЦИРОВАННОГО ТЕПЛООБМЕНА ПРИ ТУРБУЛЕНТНОМ ТЕЧЕНИИ В ТРУБАХ С ПРИМЕНЕНИЕМ ЛЕНТОЧНЫХ ЗАКРУЧИВАТЕЛЕЙ ПОТОКА©

1. Интенсификация теплообмена при турбулентном течении в круглых трубах с ленточными закручивателями

Трубчатые теплообменные устройства и теплообменные аппараты находят все большее применение во многих современных областях техники. Если заданы расходы, гидравлические потери, температуры, тепловые потоки теплоносителей, то снижение габаритов и массы вышеупомянутых теплообменных устройств и аппаратов может иметь место за счет интенсификации теплообмена. Под интенсифицированным понимается теплообмен при турбулентном течении теплоносителя в прямых круглых трубах с вставкой из скрученной ленты [2; 8; 9].