

УДК 551.462.32

В.Р. Душко, канд. техн. наук, доцент

Севастопольский национальный технический университет

ул. Университетская 33, г. Севастополь, Украина, 99053

E-mail: root@sevgtu.sebastopol.ua

СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫЙ ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ РАСЧЕТА ДИНАМИКИ РАЗМЫВА ОПОРНЫХ ОСНОВАНИЙ ОКЕАНОТЕХНИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

Рассмотрена структура, основные алгоритмы обеспечения функционирования программно-аппаратный комплекса для определения характеристик размыва грунта вблизи опорных оснований океанотехнических установок под действием волновых и постоянных течений.

Ключевые слова: программно-аппаратный комплекс, программное обеспечение, модуль, блок, океанотехническая установка, динамика грунта.

Введение и актуальность темы. При конструировании океанотехнических систем для освоения шельфа не всегда возможна инженерная подготовка поверхности дна, которая могла бы обеспечить стабильную и устойчивую работу установки в течение длительных интервалов времени. Поверхность морского дна обычно представлена слабонесущим грунтом (песок, жидкий ил), и при этом в шельфовых зонах возможны значительные скорости постоянных и волновых придонных течений. При взаимодействии этих течений с опорными основаниями океанотехнических установок и поверхностью дна формируются сложные поля скорости течения и давления в виде вихре-волновых структур и мелкомасштабной турбулентности. При определенных условиях эти поля могут воздействовать на донный материал таким образом, что он начинает перемещаться вдоль поверхности дна и подниматься вверх, формируя профили взвешенных наносов. Эти процессы приводят к изменению структуры дна, причем в непосредственной близости от опорных оснований океанотехнических установок и под ними могут формироваться глубокие промоины, которые снижают устойчивость установки на дне и в отдельных, критических, случаях могут приводить к ее недопустимому наклону или даже к опрокидыванию. Интенсивность процессов эрозии грунта усиливается при штормовых условиях, когда также возрастают внешние нагрузки на установку от ветра, волн и течений. Так при прохождении урагана «Катрина» в Мексиканском заливе было повреждено большое количество буровых платформ, часть их опрокинулась и повредила при этом подводные трубопроводы [1]. Другой особенностью процессов размыва опорных оснований океанотехнических установок является интегральный эффект постепенного развития эрозии донного материала при умеренных гидрометеорологических условиях. Этот процесс в определенный момент времени может привести к потере устойчивости установки на грунте. Таким образом, размыв опорных оснований океанотехнических (в общем случае, гидротехнических) установок под действием волн и течений относится к числу одной из наиболее актуальных проблем их конструирования и эксплуатации.

Постановка задачи исследования. В настоящее время принята и развивается следующая тенденция моделирования размыва опорных оснований океанотехнических установок. Ее ключевыми моментами являются:

- 1) Создание геометрической модели обтекаемого объекта в системе программирования *AutoCAD*;
- 2) Импорт этой модели в расчетную область для численных расчетов полей скорости течения и давления;
- 3) Расчеты полей волновых и постоянных течений, которые формируются при обтекании объекта с использованием прикладного пакета *CosmosFloWorks*;
- 4) Расчеты удельного транспорта донного материала непосредственно над поверхностью дна и в виде взвешенного материала;
- 5) Расчет изменений глубины морского дна при формировании зон размыва и намыва грунта;
- 6) Повторный расчет гидродинамики обтекания установки с учетом изменения граничных условий на поверхности дна из-за изменений его глубины;
- 7) Расчеты величин переноса донного материала непосредственно над поверхностью дна и в виде взвешенного материала;
- 8) Повторный расчет изменений глубины морского дна при формировании зон размыва и намыва грунта при новых граничных условиях на дне; Такой расчет повторяется либо для заданного интервала времени, либо до установления равновесного состояния, при котором изменение глубины становится незначительным.

Сейчас известны исследования, которые при таком направлении моделирования дают достаточно убедительные доказательства соответствия результатов расчетов данным лабораторных экспериментов [2]. Придерживаясь в целом этой тенденции, **целью настоящей работы** является разработка алгоритмов, прикладного программного обеспечения расчета динамики морского грунта для совершенствования конструирования и управления эксплуатацией опорных оснований, обеспечивающих их устойчивость от размыва.

Общая структурная схема программно-аппаратного комплекса. Прикладное программное обеспечение (ПО) расчета динамики морского дна включает в себя два модуля: модуль исходных данных (модуль 1) и расчетный модуль (модуль 2).

В модуле 1 производится считывание и обработка исходных данных, необходимых для расчета деформации поверхности морского дна. В него входят следующие блоки:

Блок 1. Параметры внешних условий:

1) Глубина моря H , м;

2) Средняя температура воды t , °С. Кинематическая вязкость воды в зависимости от ее температуры вычисляется по соотношению $\nu = [1,38 - 0,028(t - 10)] \cdot 10^{-6}$, м²/с;

3) Скорость ветра W , м/с, его направление φ_w , град и продолжительность T_{ww} , час.

На основе этих данных могут быть вычислены основные характеристики волн и постоянного течения. В этом случае направление распространения волн и направление постоянного течения совпадают с направлением ветра. В случае ровного дна используются соотношения на основе модели поверхностных волн ЛОГОИН-Союзморниипроект [2]. Указанные параметры волн, направление их распространения, скорость постоянного течения и его направление могут быть заданы вне зависимости от скорости ветра.

4) Характеристики грунта. Основные типы грунтов и их характеристики приведены в [1]; В том случае, если грунт неоднороден и состоит из нескольких слоев, несвязного (песчаного) грунта и подстилающего слоя или слоев связного грунта (например, суглинка) необходимо определить эквивалентный диаметр несвязного грунта для каждого слоя по соотношению

$$d_* = d \left[\frac{\frac{6C}{gd} + (\rho_s - \rho)tg\varphi_s}{(\rho_c - \rho)tg\varphi_c} \right]^{0,333}, \quad (1)$$

где C – сила сцепления, Н; d – средний диаметр частицы грунта, м; ρ_s , ρ_c – удельный вес песка и связного грунта, кг/м³; ρ – удельный вес воды, кг/м³; $tg\varphi_s$, $tg\varphi_c$ – параметры (коэффициенты трения), соответствующие песку и связному грунту.

Блок 2. Поля скорости обтекания установки:

1) Геометрическая модель установки и ее привязка к расчетной сетке. Для описания геометрии вводятся следующие данные:

– линейные размеры в плане (например, длина и ширина для основания морской платформы, диаметр – для цилиндрической конструкции);

– координаты пересечения осей симметрии сооружения в системе координат расчетной схемы.

Ввод данных осуществляется через специальный интерфейс, привязка к расчетной сетке производится автоматически. В качестве расчетной сетки принимается сетка, на которой вычисляются данные о поле скорости обтекания и о деформации поверхности дна. При определении шага расчетной сетки по горизонтали Δg и вертикали Δh необходимо учитывать размеры пограничных слоев у поверхности дна (L_B) и на поверхности установки (δ). Для расчета величины δ определяется число Рейнольдса $Re = UL_u/\nu$ (L_u – размер установки в направлении нормальном ее обтеканию постоянным течением). Толщина пограничного слоя на боковой обтекаемой поверхности δ вычисляется по формуле $\delta = 0,344L_u(\log Re)^{-1,62}$ и должна соответствовать шагу сетки по горизонтали.

2) Начальные и граничные условия. В качестве начальных условий в прикладном пакете *COSMOSFloWorks* [4] задаются интенсивность турбулентности I_t и путь перемешивания l . Определение этих параметров выполняется по следующим соотношениям: $l = 0,141L(\log Re)^{-1,62}$, $I_t = 4,02(\log Re)^{-3,56}$.

Для задания граничных условий необходимы следующие данные:

2.1) Постоянное течение (скорость U и направление φ_U – угол между вектором скорости и продольной осью установки ou , который в правой декартовой системе координат отсчитывается от оси ox против часовой стрелки). При задании постоянного течения в некоторых случаях необходимо

учитывать придонный пограничный слой, толщина которого равна [1] $\Delta = \left[0,045 \frac{U}{f} \left(\frac{\nu}{U} \right)^{0,25} \right]^{0,8}$, где f –

параметр Кориолиса; ν – молекулярная вязкость.

2.2) Волновое течение (профиль волновой скорости с учетом заданного направления φ_W распространения волны относительно оси ox , поле давления на свободной поверхности).

Поля постоянной и волновой скорости течения задаются на граничных поверхностях расчетной сетки в соответствии с заданными углами φ_U и φ_W . На противоположных граничных поверхностях задается радиационное условие Зоммерфельда для нормальных составляющих скорости течения. При этом вихревые возмущения не отражаются от граничных плоскостей расчетной сетки.

3) Расчет нестационарного поля скорости течения. Поле скорости вычисляется с помощью прикладного гидродинамического пакета *CosmosFloWorks*, и подготавливается в виде файла, содержащего следующие данные: горизонтальные координаты – x, y ; вертикальная координата – z , осредненные по вертикали компоненты скорости в направлении осей x, y , соответственно величины u, v ; величины мгновенной волновой скорости течения на расстоянии L_B (0,1...0,2 м) от поверхности дна. Это распределение используется для расчета поля амплитуд волновой скорости вблизи дна с учетом волнового обтекания установки.

Методика расчета пространственного поля скорости течения жидкости при обтекании опорного основания океанотехнической установки описана в [4]. Численное решение задачи выполняется методом конечных объемов, при котором дискретные решения определяются как среднее значение по объему ячейки и эти значения приписываются ее центру. Параметризация тензора вязких сдвиговых напряжений τ_{ik} выполняется на каждом дискретном шаге расчета и в каждой ячейке расчетной сетки при совместном решении приведенных выше уравнений. Физическое время расчета T_c задается исходя из условия генерации 3...5 вихрей в следе обтекаемой установки. В результате решения задачи получают установившееся поле скорости течения в заданных узлах пространственной расчетной сетки.

Модуль 2 (расчетный модуль) состоит из расчета удельного транспорта грунта над неровным дном и расчета изменения топографии дна вблизи установки. Алгоритмы расчета удельного транспорта донного материала и изменения структуры поверхности дна вблизи обтекаемой установки приведены ниже для условий совместного волнового и постоянного течений. В результате расчетов создается файл с геометрией морского дна с учетом образовавшихся локальных намывов и размывов за заданный интервал времени. Полученная геометрия дна экспортируется в пакет *CosmosFloWorks* для проведения дальнейшего гидродинамического расчета с учетом изменившейся геометрии дна, т.е. с изменившимися граничными условиями. После этого результаты расчета поля скоростей обтекания вновь вводятся в программу для расчета изменения геометрии дна. Такая процедура выполняется либо в течение заданного интервала времени, либо до тех пор, пока образовавшиеся локальные размывы и намывы не приобретут установившуюся форму, т.е. их изменения при последующих итерациях будут незначительными.

1. *Расчет величин переноса грунта.* Вычисление характеристик размыва грунта осуществляется на основе метода Иванова и Михинова описанного в [1].

2. *Фильтрация данных.* С целью распознавания и исключения неинформативных выбросов в результатах расчетов, в программе обработки данных используется пространственная нелинейная фильтрация полей $q_2(x, y)$ и $\partial H / \partial t = \Delta H(x, y)$. Фильтрация выполняется следующим образом: формируется набор данных в виде креста из 9-ти элементов указанных полей – четыре по оси ox , четыре по оси oy и один в центре. Центральному элементу присваивается среднее значение из 9-ти анализируемых элементов поля и, таким образом, исключаются аномально большие и малые величины, обусловленные погрешностями. Область фильтра в виде креста перемещается по всему полю. Так как при этом крайние ряды данных теряются, необходимо это учитывать при задании расчетной области.

3. *Коррекция данных.* Коррекция данных выполняется через заданные интервалы времени, в течение которых размыв грунта незначителен (обычно, это один час) с целью учета влияния локальных наклонов дна на критические значения чисел Шильдса и критических углов наклона дна.

4. *Итерация и формирование отчетных данных.* Расчет динамики донного рельефа выполняют для интервала времени T_c , который определяется в каждом конкретном случае исходя из достижения существенного изменения донного рельефа, превышающего в несколько раз шаг сетки. Затем изменение

структуры дна учитывается путем задания новых условия на дне с учетом изменения его структуры. Эти изменения импортируются в программу *COSMOSFloWorks*, после чего повторно решается краевая задача с новыми граничными условиями и весь расчет изменения глубин повторяется. Такие повторения производятся либо до достижения стационарного состояния, т.е. когда относительные изменения глубины не будут превышать заданную относительную величину, либо до истечения заданного промежутка времени, например продолжительности шторма.

Блок-схема ПО для расчета размыва опорного основания океанотехнической установки изображена на рисунке 1.

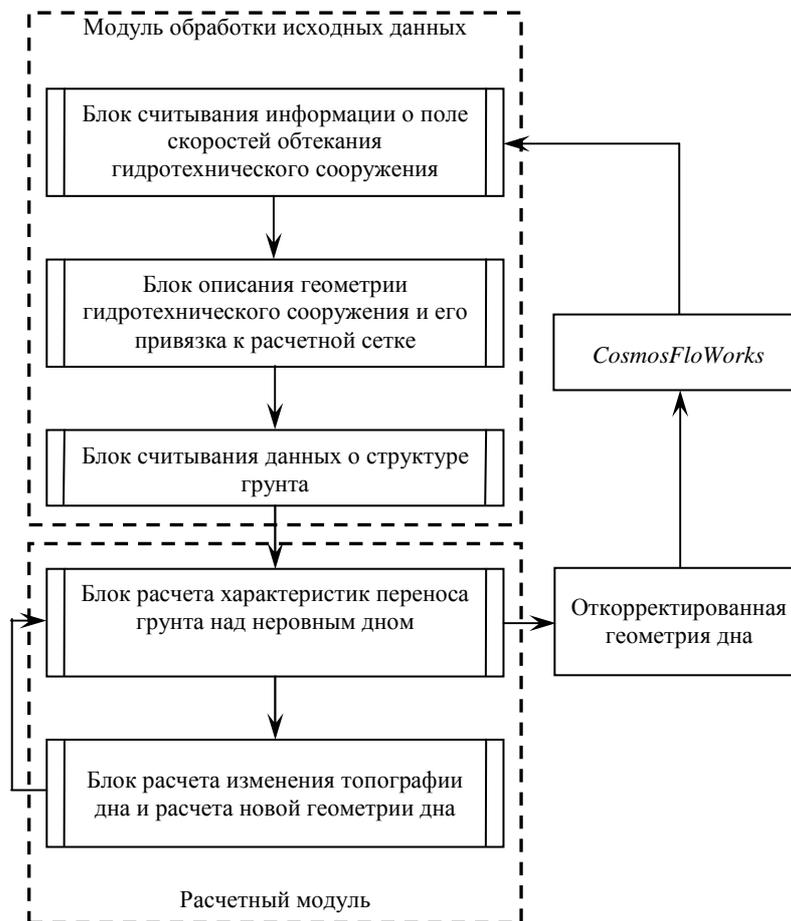


Рисунок 1 – Блок-схема программного обеспечения для расчета размыва опорного основания океанотехнической установки

Результаты исследований. Основные алгоритмы функционирования программно-аппаратного комплекса динамики морского дна были использованы для выполнения численных расчетов структуры поля скорости и характеристик размыва грунта вблизи вертикальной опоры океанотехнической установки под действием постоянного и волнового течений.

Вертикальные цилиндрические опоры широко используются в установках для освоения шельфа, а также для изучения динамики рельефа дна под действием волн и течений в контролируемых лабораторных условиях. В работе представлены результаты численного трехмерного гидродинамического расчета поля скорости при обтекании вертикальной опоры (в форме кругового цилиндра) океанотехнической установки *постоянным течением*, а также определены характеристик размыва грунта вблизи опоры.

Для решения трехмерной нестационарной задачи задаются размеры расчетной области по осям ox , oy , oz , которые в 10...15 раз превышают размеры обтекаемого цилиндра.

Граничные условия определяются следующим образом

1. Определяется геометрия обтекаемого цилиндра – координаты его поверхности в базовой системе координат. На твердой поверхности обтекаемого объекта задается условие прилипания.

2. На граничных плоскостях $AA'CC'$, $ABCD$ и $A'D'C'B'$ задается постоянная скорость течения $u_l = U_o$ (вдоль оси ox).

3. На границе вытекающего потока (плоскость $BB'DD'$) задается радиационное условие Зоммерфельда для нормальных составляющих скорости.

Расчетная схема обтекания цилиндра показана на рисунке 2.

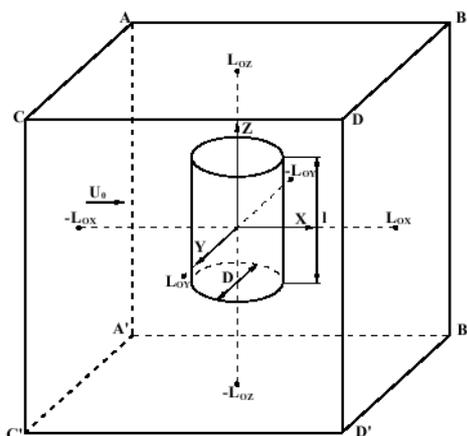


Рисунок 2 – Расчетная схема обтекания вертикального цилиндра

В качестве начальных условий задается однородный поток с постоянной скоростью U_0 , направленный по оси ox , а также, учитывая турбулентный характер течения, задаются интенсивность турбулентности I , и путь перемешивания l_p [4]. Базовая расчетная сетка задается в виде равномерно распределенных прямоугольных ячеек, количество которых определяется размерами расчетной области и обтекаемого объекта. Были выполнены численные расчеты поля скорости при обтекании цилиндра большого удлинения ($l/D \gg 1$) и цилиндра короткого удлинения ($l/D = 1$) при числах Рейнольдса (Re) в диапазоне $10^3 \dots 10^7$.

Моделирование размыва грунта вблизи вертикальной цилиндрической опоры ($D = 1$ м) выполнено при скорости течения $0,65$ м/с. Расчетная глубина равна 10 м, $\nu = 1,2 \cdot 10^{-6}$ м²/с, тип грунта – песок мелкий ракушечный с учетом процентного содержания частиц различных размеров (мм). Размеры расчетной области по оси ox $-5 \dots +20$ м, по оси oy $-5 \dots +5$ м, по оси oz минус $10 \dots 0$ м. Физическое время расчета установившегося течения составило 30 с. Характерный пример результатов расчета поля скорости и топографии поверхности дна вблизи вертикального цилиндра показан на рисунке 3.

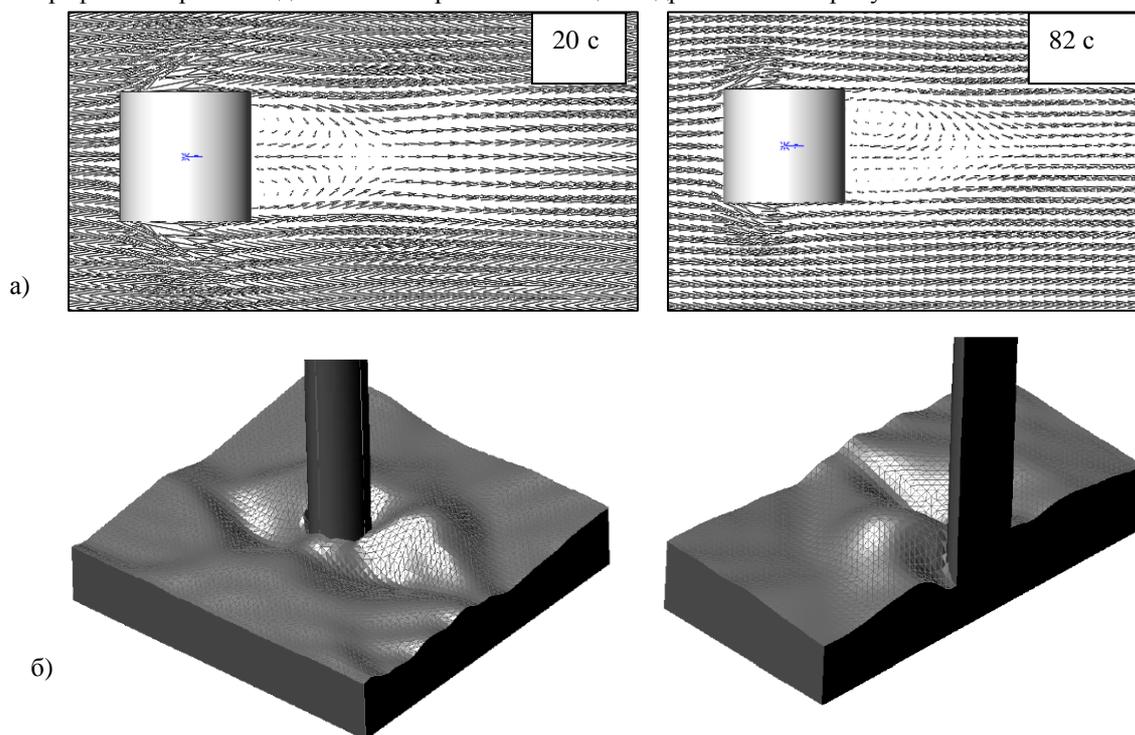


Рисунок 3 – Обтекание цилиндра конечной длины при $Re = 10^6$ (а), изменение структуры и топографии поверхности дна в виде объемного изображения (б)

Результаты расчетов показали, что в течение часа изменения глубин не превышают одного сантиметра. За 12 ч величина размыва достигает 5,5 см, а намыва – 1,5 см. За первые сутки размыв увеличивается до 7 см, за вторые – до 10 см и за третьи – до 16 см. Максимальный намыв за эти же промежутки времени равен 4, 6 и 10 см соответственно. Области размыва грунта располагаются в лобовой и тыловой частях цилиндра, области намыва – вблизи боковых поверхностей. Интересной особенностью структуры дна является формирование зон размыва и намыва грунта в следе обтекания цилиндра на расстоянии 5...8 м от его центра.

Сопоставление результатов моделирования с эмпирическими данными выполнено на основе SRICOS-EFA метода. В соответствии с этим методом временная зависимость глубины размыва вычисляется по соотношению: $z(t) = \frac{t}{(t/z_{\max}) + (1/z^*)}$, где $z_{\max} = 0,00018k_f \text{Re}^{0,635}$; k_f – коэффициент

формы обтекаемого объекта, для цилиндра его величина равна единице; $\text{Re} = UD/\nu$ – число Рейнольдса; z^* – начальная скорость размыва, которая соответствует турбулентному напряжению вблизи дна $\tau_{\text{амх}}$, равному $0,094\rho U^2 k_f (1/\log \text{Re} - 0,1)$. Результаты сопоставления показали, что разница не превышает 5 %.

Численные расчеты *волнового обтекания* вертикального цилиндра выполнены при следующих исходных данных: глубина моря $H = 10$ м, скорость ветра $W = 20$ м/с, температура воды $t = 15^\circ\text{C}$, тип грунта – песок мелкий ракушечный. Средний размер частицы донного материала равен 0,466 мм.

Средняя высота волны $h_w = 2a$, период T_w , длина λ , амплитуда волновой скорости U_{m0} и горизонтальных смещений a_w равны соответственно: 1,23 м, 4,7 с, 46,2 м, 0,46 м/с и 0,34 м; амплитуда волновой скорости – 0,615 м. Кинематическая вязкость воды $\nu = 1,24 \cdot 10^{-6}$ м²/с, максимальное волновое число Рейнольда $\text{Re} = 496$, толщина волнового придонного пограничного слоя $L_B = 0,18$ м. Скорость постоянного течения $U_p = 0,2$ м/с, толщина придонного пограничного слоя $\Delta = 3,3$ м, путь перемешивания $l = 0,0097$ м, интенсивность турбулентности $I_t = 0,011$. Расчетная схема обтекания цилиндра приведена на рисунке 1. Волна распространяется вдоль оси ox .

Граничные условия для расчета волновой скорости.

1. На плоскости $ACA''C'$ задается поле волновой скорости в следующем виде:

$$u(x, z, t, y) = \frac{\omega a \text{ch}(kz)}{\text{sh}(kH)} \sin(\omega t - kx), \quad -H \leq z \leq 0, \quad -L_{ox} \leq x \leq L_{ox},$$

$v(x, z, t, y) = 0$, т.е. волна распространяется вдоль оси ox .

На свободной поверхности (плоскость $ABCD$) задается поле давления:

$$p(x, y, t) = \rho g a \frac{\text{ch}(kz)}{\text{ch}(kH)} \sin(\omega t - kx), \quad z = 0, \quad -L_{ox} \leq x \leq L_{ox},$$

где $\omega = 2\pi/T_w$ – круговая частота волновых колебаний; $k = 2\pi/\lambda$ – волновое число; a – амплитуда волны.

2. На плоскости $DBB'D'$ задается радиационное условие Зоммерфельда для нормальных составляющих скорости течения, т.е. $\frac{\partial u}{\partial t} = \frac{\omega}{k} \frac{\partial u}{\partial x}$.

3. На поверхности цилиндра и на дне ($z = 0$) выполняется условие равенства нулю скорости течения, т.е. $u = v = w = 0$.

Граничные условия для расчета возмущений среднего течения.

1. На поверхности моря (плоскость $ABCD$) и на плоскости $ACA''C'$ задается дрейфовая скорость течения $U = 0,2$ м/с. Придонный пограничный слой в этой задаче не учитывается, так как при решении используется средняя по вертикали скорость течения $U(x, y)$.

2. На плоскости $DBB'D'$ задается радиационное условие Зоммерфельда в следующем виде $\frac{\partial u}{\partial t} = U \frac{\partial u}{\partial x}$.

3. На поверхности цилиндра и на дне ($z = 0$) выполняется условие равенства нулю скорости течения, т.е. $u = v = 0$.

Так как, фазовая скорость волны равна примерно 10 м/с, а скорость постоянного течения составляет 0,2 м/с, взаимодействие между постоянной и волновой скоростью практически отсутствует и

эти поля можно рассматривать независимо, т.е. решать две задачи: одну для волновой скорости, другую для постоянного течения.

На рисунке 4 приведены результаты распределения волновой скорости обтекания цилиндра с интервалом в 1 с и расчетов размыва и намыва донного материала вблизи вертикального цилиндра, вычисленные для указанных выше условий и за различные интервалы времени.

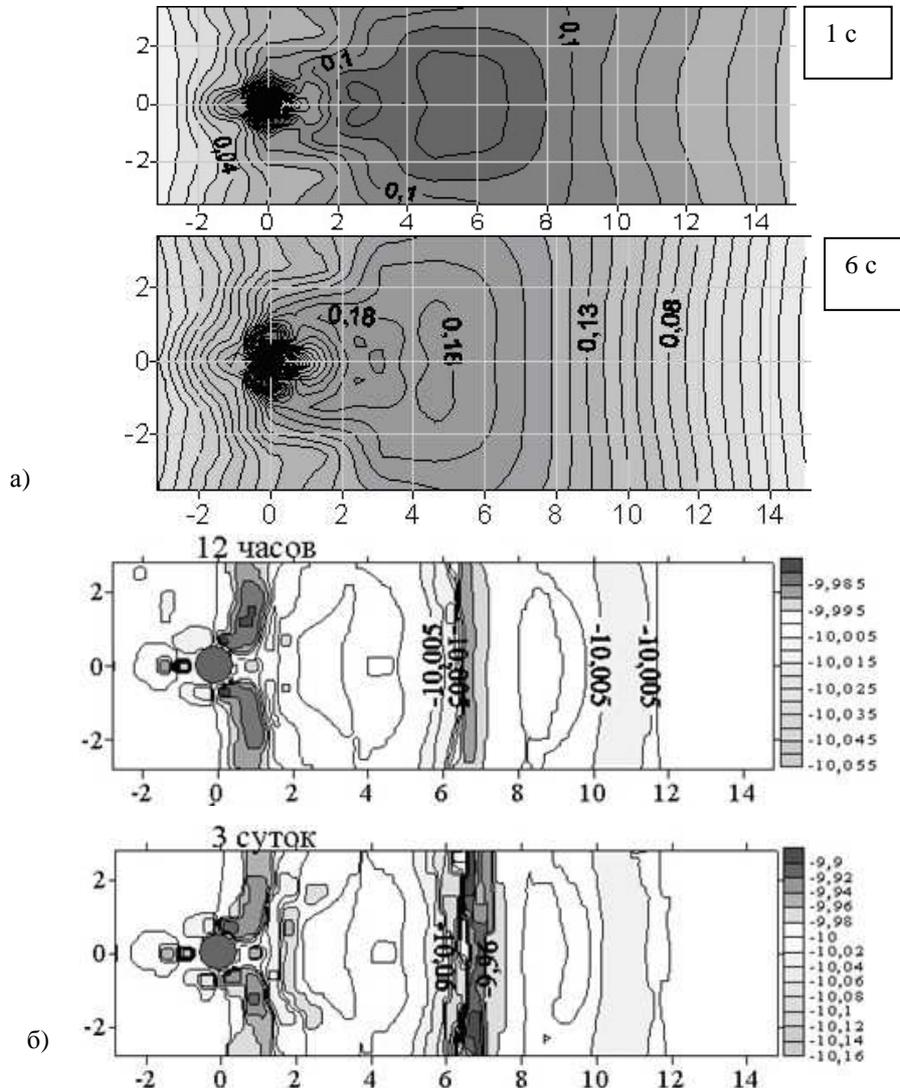


Рисунок 4 – Нестационарное волновое поле скорости обтекания вертикального цилиндра (а); пространственное распределение размыва и намыва донного материала за различные интервалы времени (б). Шкала локальных глубин в метрах

Хорошо заметно смещение зон максимальных и минимальных скоростей при движении волны. Располагая данными о поле волновых скоростей в каждой точке расчетной схемы, было вычислено пространственное распределение амплитуд волновых скоростей. Его особенностью является уменьшение амплитуды в тыловой части цилиндра и непосредственно перед его лобовой частью. Зоны увеличения амплитуды формируются вблизи боковых поверхностей цилиндра.

Видно, что в течение часа изменения глубин не превышают одного сантиметра. За 12 часа величина размыва достигает 5,5 см, а намыва – 1,5 см. За первые сутки размыв увеличивается до 7 см, за вторые – до 10 см и за третьи – до 16 см. Максимальный намыв за эти же промежутки времени равен 4, 6 и 10 см соответственно. Области размыва грунта располагаются в лобовой и тыловой частях цилиндра, области намыва – вблизи боковых поверхностей. Интересной особенностью структуры дна является формирование зон размыва и намыва грунта в следе обтекания цилиндра на расстоянии 5...8 м от его центра.

Выводы. Эффективность разработанного специализированного программно-аппаратного комплекса определяется возможностью его использования для прогноза размыва грунта при конкретных

гидродинамических условиях, параметрах донного материала и конструктивных особенностях обтекаемого объекта. Это имеет большое значение для предотвращения аварийных ситуаций, связанных с наклонами и/или сдвигами морских буровых платформ, а также позволяет определить моменты контроля реального состояния грунта вблизи опорного основания и осуществить различные мероприятия по увеличению безопасности установки в случае необходимости.

Результаты выполненных численных расчетов показали, что максимальная величина размыва грунта может достигать примерно 1...1,5 м при стационарном течении. В реальных условиях течения является переменными. Разработанная система позволяет учесть такие вариации путем усвоения текущих данных о скорости течения с интервалами производства соответствующих измерений, в том числе – на основе данных дистанционного зондирования. При этом на каждом таком шаге задача решается с теми граничными условиями на дне, которые были получены в предыдущем расчете.

Перспективы дальнейших исследований состоят в использовании разработанного программно-аппаратного комплекса для определения характеристик устойчивости океанотехнических установок на слабонесущих грунтах в условиях мелководья.

Библиографический список использованной литературы

1. Кушнир В.М. Воздействие морской среды на системы освоения шельфа: монография / В.М. Кушнир, В.Р. Душко, С.В. Федоров. — Севастополь: СевНТУ, 2009. — 303 с.
2. Roulund A. Numerical and experimental investigation of flow and scour around a circular pile / A. Roulund, B.M. Sumer, J. Fredsoe, J. Michelsen // Fluid Mech. — 2005. — Vol. 534. — P. 351–401.
3. Морские прогнозы / З.К. Абузьяров [и др.]. — Л.: Гидрометеиздат, 1988. — 319 с.
4. *SolidWorks*. Компьютерное моделирование в инженерной практике / А.А. Алямовский, А.А. Собачкин, Е.Б. Одинцов, А.И. Харитонович, Н.Б. Пономарев. — СПб.: БХВ–Петербург, 2005. — 800 с.

Поступила в редакцию 21.01.2014 г.

Душко В.Р. Специализированный программно-аппаратный комплекс для розрахунку динаміки розмиву опорних підстав океанотехнічних споруд

Розглянута структура, основні алгоритми забезпечення функціонування програмно-апаратний комплексу для визначення характеристик розмиву ґрунту поблизу опорних підстав океанотехнічних споруд під дією хвильових та постійних течій.

Ключові слова: програмно-апаратний комплекс, програмне забезпечення, модуль, блок, океанотехнічна споруда, динаміка ґрунту.

Dushko V. Specialized hardware and software system for calculating the dynamics of erosion substructures of offshore platforms

Considered the structure of the program operation basic algorithms and hardware systems for the characterization of soil erosion near the substructures offshore platforms under the influence of wave and constant currents.

Keywords: hardware-software complex, software, module, block, offshore drilling platform, soil dynamics.