

УДК 532.59

Н.А. Миклашевская, Л.В. Черкесов

Развитие вынужденных нелинейных волн в ограниченном бассейне

В рамках теории длинных волн с учетом диссипативных сил численными методами изучается процесс развития нелинейных колебаний свободной поверхности жидкости, возникающих в ограниченном бассейне под действием периодической массовой силы. Выполнен анализ влияния нелинейности и геометрических характеристик бассейна на параметры генерируемого волнового поля.

Изучение динамики длинных нелинейных волн в ограниченных бассейнах представляет интерес в связи с возможностью выявления эффектов, не имеющих места в рамках линейной теории. В работах [1–5] анализируются свободные нелинейные колебания жидкости (сейши) в ограниченном бассейне. Установлено, что при существенном влиянии нелинейности с течением времени в колебаниях уровня свободной поверхности проявляются высшие гармоники. У берега подъем жидкости происходит быстрее, чем опускание [1–5], средний уровень свободной поверхности уже не совпадает с невозмущенным положением [3]. Трение сглаживает эти эффекты, так как более высокие гармоники затухают быстрее. В работе [6] в линейной постановке получено аналитическое решение задачи о вынужденных волнах, возникающих в каналах постоянной глубины под действием приливообразующей силы без учета диссипации.

В данной работе с учетом диссипативных сил исследуются вынужденные нелинейные колебания жидкости в замкнутом бассейне, вызываемые действием периодической массовой силы.

1. Пусть жидкость заполняет бассейн, глубина которого зависит от одной пространственной координаты x (вдоль оси y рельеф принимается постоянным). Предполагая жидкость однородной и несжимаемой и учитывая действие диссипативных сил, приходим к следующей нелинейной системе уравнений мелкой воды [1]:

$$u_t + g\xi_x + uu_x + \mu u = X, \quad (1)$$

$$\xi_t = -[u(\xi + h)]_x. \quad (2)$$

На боковых вертикальных стенках бассейна $x = 0$, $x = l$ должны выполняться условия непротекания

$$u(0, t) = 0, \quad u(l, t) = 0. \quad (3)$$

В начальный момент времени ($t = 0$) жидкость находится в состоянии покоя:

© Н.А. Миклашевская, Л.В. Черкесов, 2005

$$u(x, 0) = 0, \quad \zeta(x, 0) = 0. \quad (4)$$

Здесь $u = u(x, t)$ – горизонтальная составляющая скорости частиц жидкости, $\zeta = \zeta(x, t)$ — отклонение свободной поверхности от невозмущенного уровня, $X = X(x, t)$ — вынуждающая сила, $h = h(x)$ — глубина бассейна, g — ускорение свободного падения, μ — коэффициент диссипации.

Для получения численного решения системы (1) – (2) с граничными и начальными условиями (3) – (4) построим неявную квазилинейную разностную схему. Будем рассматривать функции u , ζ , X на обычной сетке с равномерным шагом Δx по пространственной переменной и шагом Δt по времени. Обозначим через k ($k = 0, 1, \dots$) номер временного шага. При этом дифференциально-разностный аналог уравнения (1) имеет вид

$$(u^{k+1} - u^k)/\Delta t + u^k u_x^{k+1} + g \zeta_x^{k+1} + \mu u^{k+1} = X^{k+1}. \quad (5)$$

Для определения горизонтального градиента ζ на $(k + 1)$ -м шаге воспользуемся уравнением (2). Дифференцируя его по x и заменяя затем оператор $\partial/\partial t$ его разностным аналогом [7], находим

$$\zeta_x^{k+1} = \zeta_x^k - (\Delta t/2) \{ [u(\zeta + h)]_{xx}^k + [u^{k+1}(\zeta + h)]_{xx}^k \}. \quad (6)$$

Подставив (6) в (5), получим окончательное выражение для вычисления u на $(k + 1)$ -м шаге:

$$\begin{aligned} u^{k+1} + \Delta t u^k u_x^{k+1} - g (\Delta t^2/2) [u^{k+1}(\zeta + h)]_{xx}^k + \Delta t \mu u^{k+1} = \\ = u^k + g (\Delta t^2/2) [u(\zeta + h)]_{xx}^k - g \Delta t \zeta_x^k - \Delta t X^{k+1}. \end{aligned} \quad (7)$$

Аппроксимируем центрально-разностными отношениями производные по x и решаем разностное уравнение (7) методом прогонки [8] на каждом временном шаге. Для определения ζ^{k+1} используем разностный аналог уравнения (2):

$$\zeta^{k+1} = \zeta^k - (\Delta t/2) \{ [u(\zeta + h)]_x^k + [u^{k+1}(\zeta + h)]_x^k \}. \quad (8)$$

Линейное решение исходной системы можно получить, приравнявая нулю второе слагаемое левой части (7) и заменяя во всех формулах $(\zeta + h)$ на $h(x)$.

Вынуждающую силу задаем в виде

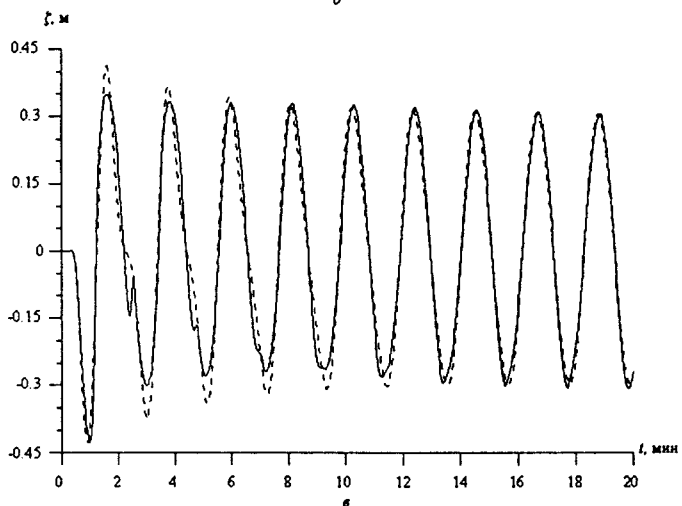
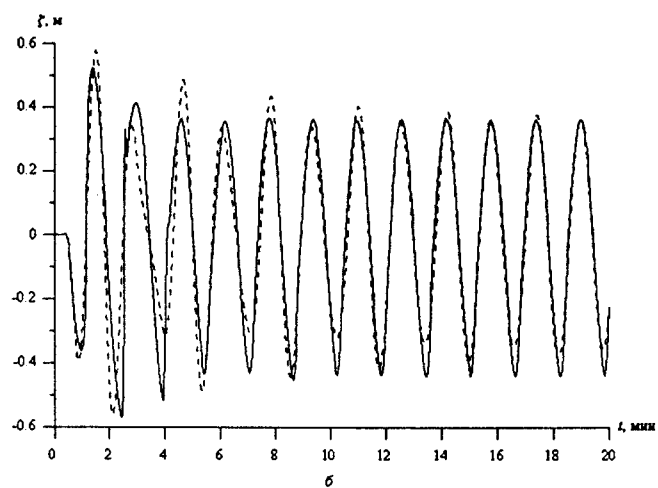
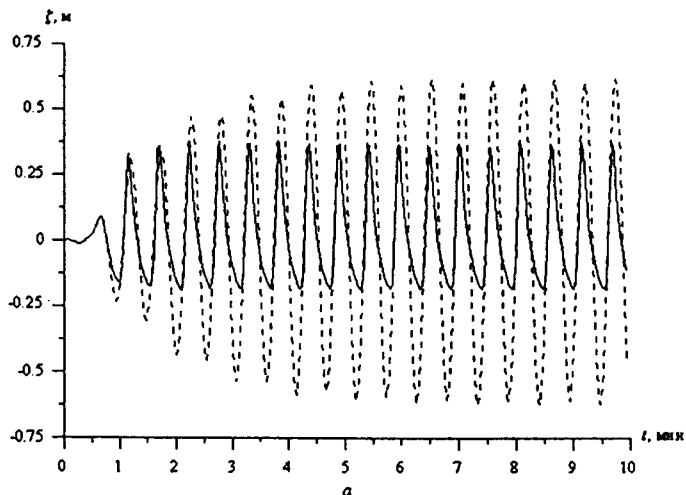
$$X(x, t) = a_0 \sin(kx - \sigma t). \quad (9)$$

2. По представленной модели проведены численные расчеты для бассейнов постоянной и переменной глубины. Длина бассейна l принималась для всех циклов численных экспериментов равной 100 м. Постоянная глубина варьировалась от 1 до 5 м, так же изменялась максимальная глубина для бассейнов с параболическим профилем дна. Глубина у вертикальных боковых стенок в таких бассейнах равна 0,7 м при $h_{\max} = 1$ м и 1,0 м при $h_{\max} = 2, \dots, 5$ м. Профиль дна менялся по закону

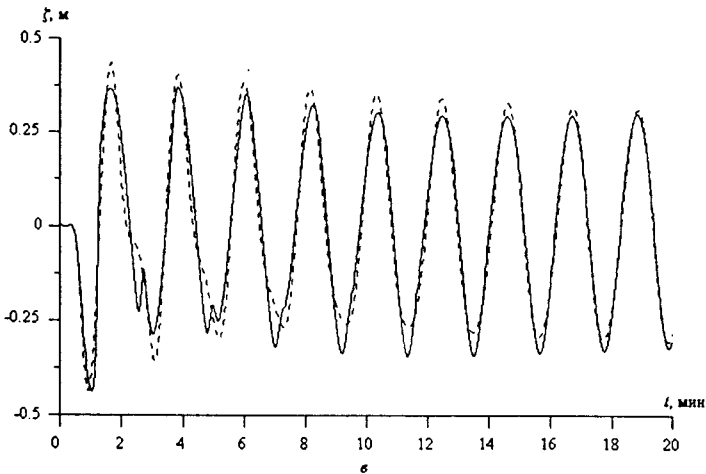
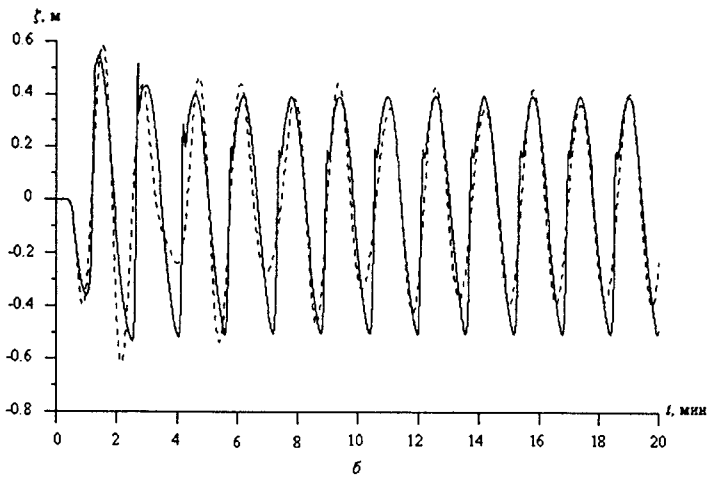
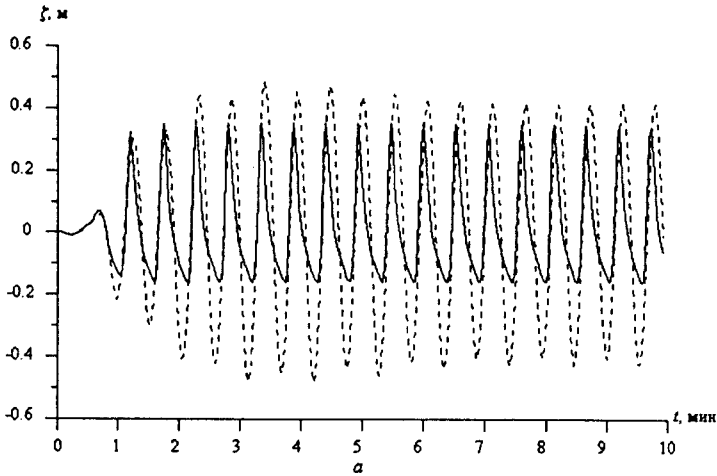
$$h(x) = h_2 x^2 + h_1 x + h_0,$$

где h_0 — глубина при $x = 0$; h_1, h_2 — постоянные коэффициенты, определяемые из условий $h(0) = h_0, h(l) = h_1, h(l/2) = h_{\max}$; h_l — глубина при $x = l$; h_{\max} — максимальная глубина водоема. Длина волны массовой (вынуждающей) силы λ выбиралась равной 100; 300; 400 м. Коэффициент диссипации μ составлял 0,5% частоты вынужденных колебаний σ (она совпадает с частотой свободных линейных колебаний для бассейна постоянной глубины). Амплитуда вынуждающей силы a_0 из (9) равна $0,05 \text{ м/с}^2$. Количество расчетных точек по пространственной переменной во всех вычислениях принималось равным 25, шаг по времени составил 1 с.

2.1. На рис. 1 приведены колебания уровня на левой границе бассейна ($x = 0$) постоянной глубины ($h = 1 \text{ м}$) при $\lambda = 100 \text{ м}$ (рис. 1, а), $\lambda = 300 \text{ м}$ (рис. 1, б), $\lambda = 400 \text{ м}$ (рис. 1, в). Штриховая линия соответствует линейной задаче, сплошная — нелинейной. Как следует из рисунков, наибольшее отличие между линейным и нелинейным вариантами наблюдается при длине волны 100 м (рис. 1, а). В линейном случае колебания жидкости относительно невозмущенного уровня симметричны, при учете нелинейности максимальные возвышения превышают минимальные опускания примерно в 2 раза. Кроме того, в случае нелинейности убывание уровня идет медленнее, чем нарастание, тогда как в линейном варианте уменьшение и увеличение уровня жидкости происходит с одинаковой скоростью. Когда $|\text{extr } \zeta_1 - \text{extr } \zeta_2| / \max(|\zeta_1|, |\zeta_2|) \leq 0,01$, т. е. разница между величинами соседних максимумов ζ_1 и ζ_2 составляет не более 1% амплитуды колебаний, волновой процесс можно считать установившимся. В линейном случае время выхода колебаний на установившийся режим 11 мин 51 с, в нелинейном случае 12 мин 20 с. Из рис. 1, б видно, что для длины волны 300 м отличие между экстремумами в линейном и нелинейном вариантах менее существенное, чем в рассмотренном выше случае ($\lambda = 100 \text{ м}$). Максимальное различие для опусканий уровня (20,2 см) достигается примерно через 4 мин после начала колебаний ($|\zeta_n| = 31,7 \text{ см}$ при $t = 4 \text{ мин}$, а $|\zeta_{\text{нл}}| = 51,9 \text{ см}$ при $t = 3 \text{ мин } 55 \text{ с}$). Для возвышений свободной поверхности $\max|\zeta_{\text{нл}} - \zeta_n| = 12,4 \text{ см}$ ($t = 4 \text{ мин } 40 \text{ с}$ в линейном случае и $t = 4 \text{ мин } 35 \text{ с}$ — в нелинейном). Время выхода на режим установившихся колебаний в нелинейном случае гораздо меньше, чем в линейном (9 мин 23 с и 32 мин 33 с соответственно). При $\lambda = 400 \text{ м}$ (рис. 1, в) кривая колебаний уровня жидкости в случае нелинейности имеет локальные экстремумы, исчезающие со временем. Эта особенность профиля является существенным отличием по сравнению с рассмотренными случаями. В линейном варианте временем выхода колебаний на установившийся режим можно считать 8 мин 05 с, в нелинейном — 3 мин 50 с. Наибольшая разница между максимальными возвышениями уровня свободной поверхности в линейном и нелинейном случаях наблюдается при $t = 1 \text{ мин } 37 \text{ с}$ и составляет 6,4 см. Для опусканий это различие увеличивается до 7,5 см (при $t = 3 \text{ мин } 01 \text{ с}$).



Р и с. 1. Колебания уровня свободной поверхности на левой границе бассейна постоянной глубины при: $l = 100$ м, $h = 1$ м, $\lambda = 100$ м (а); $l = 100$ м, $h = 1$ м, $\lambda = 300$ м (б); $l = 100$ м, $h = 1$ м, $\lambda = 400$ м (в)



Р и с. 2. Колебания уровня свободной поверхности на левой границе бассейна переменной глубины при: $l = 100$ м, $h_{\max} = 1$ м, $h_0 = h_l = 0,7$ м, $\lambda = 100$ м (а); $l = 100$ м, $h_{\max} = 1$ м, $h_0 = h_l = 0,7$ м, $\lambda = 300$ м (б); $l = 100$ м, $h_{\max} = 1$ м, $h_0 = h_l = 0,7$ м, $\lambda = 400$ м (в)

На рис. 2 отражено развитие волнового процесса на левой границе бассейна ($x = 0$) с параболическим профилем дна, максимальная глубина которого равна 1 м, глубины у вертикальных боковых стенок $h_0 = h_1 = 0,7$ м, а длина волны вынуждающей силы составляет 100 м (рис. 2, а), 300 м (рис. 2, б), 400 м (рис. 2, в). Штриховая линия соответствует линейной задаче, сплошная — нелинейной. Как видно из рисунков, и для этого типа бассейнов влияние нелинейности наиболее ощутимо при длине волны 100 м (рис. 2, а). Все сказанное выше для бассейна постоянной глубины при такой же длине волн справедливо и для бассейна с параболическим профилем дна. Время выхода колебаний на установившийся режим в нелинейном случае составляет 2 мин 16 с, в линейном — превышает 15 мин. Стоит отметить, что в линейном случае наибольшие значения поднятий и опусканий уровня для бассейна переменной глубины меньше соответствующих значений для бассейна постоянной глубины на 28,1 – 28,9%. Для нелинейного варианта эти отличия значительно меньше (9,8 – 15,1%). При длине волны 300 м (рис. 2, б) разница между максимумами подъемов и опусканий в бассейнах постоянной и переменной глубин не превышает 9,8% в линейном случае, 6,7% — с учетом нелинейности. Небольшое отличие процесса развития вынужденных нелинейных волн в бассейнах рассматриваемых типов при $\lambda = 300$ м заключается в том, что в бассейне с параболическим профилем дна при поднятии уровня имеют место локальные подъемы и опускания. В случае, когда длина волны массовой силы составляет 400 м (рис. 2, в), отличие между $\text{extr} |\zeta|$ в рассматриваемых бассейнах с различными профилями дна уменьшается до 5,7% как в линейном, так и в нелинейном вариантах. Для всех остальных изучаемых бассейнов процесс развития вынужденных волн качественно не отличается от рассмотренных выше случаев. Имеют место только некоторые количественные различия, частично отображенные в приведенных ниже таблицах.

2.2. В табл. 1, 2 представлены наибольшие значения подъемов и опусканий уровня свободной поверхности на левой границе в точке $x = 0$ для бассейнов постоянной глубины (табл. 1) и с параболическим профилем дна (табл. 2), а также время наступления этих экстремумов. Как видно из таблиц, при длине волны 100 м максимальные и минимальные отклонения свободной поверхности в линейном случае отличаются друг от друга очень незначительно, менее чем на 1%. При $\lambda = 300; 400$ м отличие абсолютных значений максимумов и минимумов увеличивается до 3,1 – 6,9 % для бассейна постоянной глубины и до 2,5 – 11,6% для бассейна с параболическим профилем дна. Разница между $|\max \zeta|$ и $|\min \zeta|$ в нелинейном варианте более существенна. Так, минимальное отличие для бассейна постоянной глубины (1,2%) наблюдается при $\lambda = 300$ м, $h = 5$ м, максимальное (110,2%) — при $\lambda = 100$ м, $h = 1$ м. Для бассейна переменной глубины соответствующие минимальная и максимальная разницы составляют 0,7% ($\lambda = 400$ м, $h_{\max} = 4$ м) и 121,1% ($\lambda = 100$ м, $h_{\max} = 1$ м). Анализ результатов показывает, что количество точек экстремумов для линейных и нелинейных колебаний в бассейнах обоих типов при $\lambda = 100$ м не совпадает. Более того, крайне редко совпадает время наступления этих экстремумов. При длинах волн массовой силы 300 и 400 м колебания уровня свободной поверхности в линейном и нелинейном случаях имеют одинаковое количество максимальных по модулю точек экстремумов. Время наступления этих экстремумов отличается не более чем на 7 с (за исключением случаев, когда $\lambda = 300$ м, $h = 1$ м; здесь отличие составляет 18 с для бассейна постоянной глубины и 21 с для бассейна с параболическим профилем дна).

Таблица 1

Наибольшие значения подъемов и опусканий уровня свободной поверхности (см) на левой границе бассейна постоянной глубины и время их достижения

h, м	Экстремум и время	$\lambda = 100$ м		$\lambda = 300$ м		$\lambda = 400$ м	
		Л	НЛ	Л	НЛ	Л	НЛ
1	min	-62,4	-18,6	-56,2	-57,0	-42,6	-42,9
	t_1	7 мин 20 с	2 мин 05 с	2 мин 8 с	2 мин 26 с	0 мин 54 с	1 мин 0 с
	t_2	8 мин 24 с	—	—	—	—	—
	max	62,4	39,1 см	58,0	52,6	41,3	34,9
	t_1	7 мин 36 с	2 мин 45 с	1 мин 30 с	1 мин 24 с	1 мин 37 с	1 мин 37 с
	t_2	—	3 мин 49 с	—	—	—	—
2	min	-41,8	-26,1	-53,8	-62,0	-41,6	-41,8
	t_1	3 мин 40 с	2 мин 12 с	1 мин 31 с	1 мин 36 с	0 мин 38 с	0 мин 40 с
	t_2	5 мин 11 с	2 мин 57 с	—	—	—	—
	t_3	5 мин 56 с	—	—	—	—	—
	max	41,9	39,6	55,8	53,6	39,6	36,4
	t_1	3 мин 52 с	4 мин 13 с	1 мин 4 с	1 мин 1 с	1 мин 9 с	1 мин 8 с
t_2	4 мин 37 с	—	—	—	—	—	
3	min	-32,7	-26,0	-52,2	-57,3	-40,9	-41,0
	t_1	2 мин 23 с	1 мин 47 с	1 мин 14 с	1 мин 17 с	0 мин 31 с	0 мин 32 с
	t_2	3 мин 00 с	2 мин 24 с	—	—	—	—
	max	32,6	33,3	54,4	53,1	38,5	36,6
	t_1	2 мин 32 с	2 мин 50 с	0 мин 52 с	0 мин 50 с	0 мин 56 с	0 мин 56 с
	t_2	3 мин 09 с	3 мин 27 с	—	—	—	—
t_3	—	7 мин 08 с	—	—	—	—	
t_4	—	7 мин 45 с	—	—	—	—	
4	min	-27,0	-24,0	-50,8	-54,3	-40,3	-40,3
	t_1	2 мин 4 с	1 мин 32 с	1 мин 5 с	1 мин 6 с	0 мин 27 с	0 мин 27 с
	t_2	—	2 мин 4 с	—	—	—	—
	max	27,0	27,8 см	53,2	52,5	37,8	36,5
	t_1	1 мин 40 с	4 мин 35 с	0 мин 45 с	0 мин 44 с	0 мин 49 с	0 мин 49 с
	t_2	2 мин 12 с	5 мин 7 с	—	—	—	—
t_3	—	5 мин 39 с	—	—	—	—	
5	min	-23,5	-21,6	-49,9	-52,2	-39,8	-39,8
	t_1	1 мин 22 с	1 мин 22 с	0 мин 58 с	0 мин 59 с	0 мин 24 с	0 мин 24 с
	max	23,4	24,1	52,2	51,6	37,2	36,2
t_1	1 мин 29 с	1 мин 29 с	0 мин 40 с	0 мин 40 с	0 мин 44 с	0 мин 44 с	

Примечание: Л — линейный вариант, НЛ — нелинейный.

Наибольшие значения подъемов и опусканий уровня свободной поверхности (см) на левой границе бассейна переменной глубины и время их достижения

h_{\max} , М	Экстремум и время	$\lambda = 100$ м		$\lambda = 300$ м		$\lambda = 400$ м	
		Л	НЛ	Л	НЛ	Л	НЛ
1	min	-48,4	-16,1	-61,7	-53,4	-43,6	-43,7
	t_1	4 мин 12 с	2 мин 08 с	2 мин 9 с	2 мин 30 с	0 мин 55 с	1 мин 2 с
	t_2	-	3 мин 12 с	-	-	-	-
	t_3	-	6 мин 23 с	-	-	-	-
	t_4	-	7 мин 27 с	-	-	-	-
	t_5	-	8 мин 31 с	-	-	-	-
	t_6	-	9 мин 35 с	-	-	-	-
max	48,7	35,6	58,9	54,7	43,6	36,9	
t_1	3 мин 24 с	2 мин 16 с	1 мин 31 с	1 мин 24 с	1 мин 39 с	3 мин 49 с	
2	min	-30,2	-20,6	-62,9	-64,7	-43,3	-43,5
	t_1	1 мин 28 с	1 мин 30 с	1 мин 33 с	1 мин 41 с	0 мин 39 с	0 мин 42 с
	max	31,0	32,1	58,1	56,6	43,6	39,8
t_1	1 мин 40 с	1 мин 39 с	1 мин 5 с	1 мин 1 с	1 мин 11 с	1 мин 9 с	
3	min	-23,2	-18,8	-64,5	-64,9	-43,1	-43,3
	t_1	1 мин 13 с	1 мин 14 с	1 мин 17 с	1 мин 21 с	0 мин 33 с	0 мин 34 с
	max	22,9	23,4	58,3	58,0	44,2	41,6
t_1	1 мин 23 с	1 мин 22 с	0 мин 53 с	0 мин 51 с	0 мин 59 с	0 мин 57 с	
4	min	-18,8	-16,6	-64,7	-64,6	-42,7	-42,8
	t_1	1 мин 4 с	1 мин 5 с	1 мин 7 с	1 мин 10 с	0 мин 29 с	0 мин 30 с
	max	18,2	18,2	58,1	58,3	44,4	42,5
t_1	1 мин 13 с	1 мин 12 с	0 мин 46 с	0 мин 45 с	0 мин 51 с	0 мин 50 с	
5	min	-15,7	-14,1	-64,4	-63,9	-42,3	-42,4
	t_1	0 мин 58 с	0 мин 58 с	1 мин 0 с	1 мин 2 с	0 мин 26 с	0 мин 26 с
	max	14,8	14,8	57,7	58,2	44,5	43,0
t_1	1 мин 6 с	1 мин 5 с	0 мин 42 с	0 мин 40 с	0 мин 46 с	0 мин 45 с	

Примечание: Л — линейный вариант, НЛ — нелинейный.

В табл. 3 приведены отношения наибольших по модулю экстремальных значений ζ в линейном и нелинейном варианте для бассейнов постоянной и переменной глубины. Анализ приведенных в таблице результатов показывает, что при одной и той же длине волны вынуждающей силы разница между экстремумами возвышения свободной поверхности для линейных и нелиней-

ных колебаний уменьшается с увеличением глубины бассейна. Так, для бассейна постоянной глубины при $\lambda = 100$ м и глубине бассейна 1 м минимальное значение ζ в линейном варианте превышает $\min \zeta$ в нелинейном случае в 3,35 раза. Максимумы ζ при этом отличаются в 1,6 раз. С увеличением глубины бассейна до 5 м отношения $\min \zeta_l / \min \zeta_{нл}$ и $\max \zeta_l / \max \zeta_{нл}$ уменьшаются до 1,09 и 0,97 соответственно. Для бассейна с параболическим профилем дна при такой же длине волны и максимальной глубине 1 м разница между экстремальными значениями ζ в линейном и нелинейном вариантах несколько меньше: $\min \zeta_l / \min \zeta_{нл} = 3,0$; $\max \zeta_l / \max \zeta_{нл} = 1,37$. При $h_{\max} = 5$ м отношения экстремальных значений линейных колебаний к экстремумам нелинейных составляют 1,11 для минимумов и 1,00 для максимумов. Однако стоит отметить, что при длине волны массовой силы 300 м для обоих типов бассейнов отношения минимальных значений ζ не подчиняются общей закономерности. Так, для бассейна постоянной глубины наибольшее отличие между минимумами ζ_l и $\zeta_{нл}$ имеет место при $h = 2$ м ($\min \zeta_l / \min \zeta_{нл} = 0,87$), с ростом глубины оно уменьшается, и при $h = 5$ м отношение $\min \zeta_l / \min \zeta_{нл} = 0,96$. Но минимальное отличие между наименьшими значениями уровня линейных и нелинейных колебаний достигается в бассейне глубиной 1 м ($\min \zeta_l / \min \zeta_{нл} = 0,99$).

Т а б л и ц а 3

Отношения экстремальных значений возвышения свободной поверхности на левой границе бассейна в точке $x = 0$

Отношение	h_{\max} , м	$\lambda = 100$ м	$\lambda = 300$ м	$\lambda = 400$ м
Бассейн постоянной глубины				
$\min \zeta_l / \min \zeta_{нл}$	1	3,35	0,99	0,99
	2	1,60	0,87	0,99
	3	1,25	0,91	0,99
	4	1,13	0,93	1,00
	5	1,09	0,96	1,00
$\max \zeta_l / \max \zeta_{нл}$	1	1,60	1,10	1,18
	2	1,05	1,04	1,09
	3	0,98	1,02	1,05
	4	0,97	1,01	1,04
	5	0,97	1,01	1,03
Бассейн переменной глубины				
$\min \zeta_l / \min \zeta_{нл}$	1	3,00	1,16	0,99
	2	1,47	0,97	0,99
	3	1,23	0,99	0,99
	4	1,13	1,00	0,99
	5	1,11	1,01	0,99
$\max \zeta_l / \max \zeta_{нл}$	1	1,37	1,08	1,18
	2	0,97	1,03	1,10
	3	0,98	1,01	1,06
	4	1,00	0,99	1,04
	5	1,00	0,99	1,03

Проведенный анализ численных исследований позволяет сформулировать следующие основные выводы:

– влияние нелинейности на развитие волнового процесса наиболее ощутимо для самых мелких бассейнов постоянной и переменной глубины ($h = 1$ м, $h_{\max} = 1$ м соответственно) при длине волны вынуждающей силы 100 м. В этих случаях с учетом нелинейных членов максимальные подъемы уровня превышают минимальные опускания примерно в 2 раза, а убывание уровня идет медленнее, чем нарастание;

– при одном и том же значении λ разница между экстремумами возвышения свободной поверхности для линейных и нелинейных колебаний уменьшается с увеличением глубины бассейна. Такая же закономерность наблюдается и в случае, когда зафиксирована глубина бассейна, а длина волны возрастает.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Вольцингер Н. Е., Пясковский Р. В.* Основные океанологические задачи теории мелкой воды. — Л.: Гидрометеиздат, 1968. — 300 с.
2. *Коновалов А. В., Манилюк Ю. В., Черкесов Л. В.* Влияние нелинейности на сейшевые колебания // Теоретические и экспериментальные исследования поверхностных и внутренних волн. — Севастополь: МГИ НАН Украины. — 1991. — С. 68 – 75.
3. *Алексеев Д.В., Черкесов Л.В.* Исследование влияния диссипации на свободные нелинейные волны в ограниченном бассейне переменной глубины // Системы контроля окружающей среды. — Севастополь: МГИ НАН Украины, 2002. — С. 298 – 302.
4. *Алексеев Д.В., Черкесов Л.В.* Исследование влияния начальных возмущений и диссипативных сил на характеристики нелинейных сейш // Доп. Нац. акад. наук України. — 2002. — № 6. — С. 114 – 119.
5. *Алексеев Д. В., Черкесов Л. В.* Исследование нелинейных сейшевых колебаний с учетом диссипативных сил // Морской гидрофизический журнал. — 2002. — № 6. — С. 27 – 35.
6. *Кочин Н.Е., Кибель И.А., Розе Н.В.* Теоретическая гидромеханика. — М.: Гостехиздат, 1955. — 560 с.
7. *Марчук Г. И., Каган Б. А.* Океанские приливы. — Л.: Гидрометеиздат, 1977. — 296 с.
8. *Годунов С. К., Рябенский В. С.* Разностные схемы. — М.: Наука, 1977. — 440 с.

Морской гидрофизический институт НАН Украины,
Севастополь

Материал поступил
в редакцию 30.04.04

ABSTRACT The process of development of non-linear oscillations of the fluid free surface caused by the periodic mass force in a bounded basin is studied numerically within the framework of the long wave theory by taking into account the dissipative forces. The effect of non-linearity and the basin geometric characteristics upon the parameters of the generated wave field is analyzed.