Математическая модель вдавливания строительного элемента с платформы на поверхности неспокойной воды

Черников А. В.

Пермский Государственный Университет

Пермь, Россия

Погружение в грунт строительных элементов с платформы, расположенной на поверхности неспокойной воды, можно осуществлять различными способами. Одним из способов может быть способ застреливания строительного элемента из артиллерийского орудия. При практической реализации этого способа возникают вопросы о необходимости решения задач соблюдения во время выстрела вертикального положения ствола, рассмотрения движения строительного элемента в канале ствола, воде и грунте, а так же поведения платформы в момент выстрела и после него. Также важно изучение вопроса поведения платформы до и после выстрела.

Будем рассматривать волнение на поверхности воды до трех баллов, соответствующее длине платформы-понтона не меньшей половине длине волны. В противном случаем уравнение колебания платформы соответствует уравнению колебания волны. Для описания колебания платформ при шторме менее трех баллов необходимо учесть условие: колебание воды – синусоидальные, то есть ему соответствует следующее уравнение колебания $x = ASin(\omega t)$, где A – амплитуда колебаний, ω – частота колебаний.

На рис. 1 представлена модель установки: качающаяся платформа – строительное артиллерийское орудие – устройство отслеживания горизонтального положения качающейся платформы.

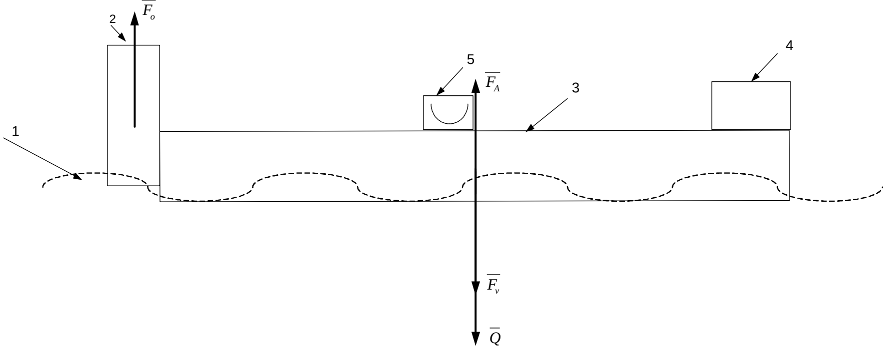

Рис. 1. Модель установки платформы со строительным артиллерийским орудием и устройством отслеживания горизонтального положения качающейся платформы, где Q – вес артиллерийского орудия с платформой, F_A – сила Архимеда, F_v – сила сопротивления движению, $\overline{F_o}$ – сила отдачи артиллерийского орудия, 1 – поверхность воды, 2 –

строительное артиллерийское орудие, 3 – платформа, 4 – противовес, 5 – устройство отслеживания горизонтального положения качающейся платформы

В данном случае в явлении погружения строительного элемента в грунт через слой воды будем рассматривать шесть этапов: первый этап – настройка системы – принятие горизонтального положения качающейся платформой; второй этап – предварительный период выстрела; третий этап – первый период выстрела и движение артиллерийского орудия с платформой вверх; четвертый этап – второй период выстрела и движение артиллерийского орудия с платформой вверх; пятый этап – движение строительного элемента в грунте; шестой этап – колебание артиллерийского орудия с платформой.

Для описания первого этапа погружения строительного элемента справедлива система уравнений

$$\ddot{\varphi}+\frac{10gd(m_{nc}+m_{ym})}{4m_{nc}d^2+5m_{ym}(R_1^2+R_2^2+d^2)}\varphi-\frac{10A}{4m_{nc}d^2+5m_{ym}(R_1^2+R_2^2+d^2)}Sin(\omega t)=0,$$

$$M\ddot{x}+ab\rho gx+ab\rho\dot{x}-BSin(\omega t)=0\,,\qquad A=\arcsin\frac{2x_{\max}}{a}\,,$$

, где $x_{\max}$ – максимальный подъем платформы.

Для второго этапа погружения строительного элемента:

$$\Psi_0=\frac{\frac{1}{\Delta}-\frac{1}{\delta}}{\frac{f}{p_0}+\alpha-\frac{1}{\delta}}\,.$$

Для третьего этапа погружения строительного элемента:

$$\frac{dp}{dt}=\frac{f\,\omega\Gamma p-\theta m v_a\frac{dv_a}{dt}+\theta q(v-V)}{s(L_\Psi+L)}-\frac{p(v-a_1\Gamma p)}{L_\Psi+L}-\frac{\theta MV\frac{dV}{dt}+\theta QV}{s(L_\Psi+L)},$$

$$m\frac{dv}{dt}=(1+\frac{m}{M})ps-F_1(v-V,L-L_n),\qquad M\frac{dV}{dt}=ps-Q-ab\rho V,$$

$$\frac{dL}{dt}=v,\qquad \frac{dL_n}{dt}=V,\qquad \frac{d\Psi}{dt}=\Gamma p,\qquad L_\Psi=\frac{W_0}{s}(1-\frac{\Delta}{\delta}-\Delta(\alpha-\frac{1}{\delta})\Psi)\,.$$

Начальные условия для системы следующие: $p_{/t=0}=p_0$, $v_{/t=0}=0$, $\Psi_{/t=0}=\Psi_0$, $L_{/t=0}=0$, $L_{n/t=0}=0$, $V_{/t=0}=0$.

Для четвертого этапа:

$$p=p_k\frac{(L_1+L_k)^{1+\theta}}{(L_1+L)^{1+\theta}},\qquad m\frac{dv}{dt}=(1+\frac{m}{M})ps-F_1(v-V,L-L_n),$$

$$M\frac{dV}{dt} = ps - Q - ab\rho V, \qquad \frac{dL}{dt} = v, \qquad \frac{dL_n}{dt} = V\ .$$

Начальные условия для системы уравнений будут следующими: полученные значения переменных $p(t)$, $v(t)$, $V(t)$, $L(t)$, $L_n(t)$ решения системы для третьего этапа.

Для пятого этапа будет динамку застреливающей системы описывают уравнения:

$$m\frac{dv}{dt} = -F_1(v - V, L - L_n), \quad M\frac{dV}{dt} = -Q - ab\rho V,$$

$$\frac{dL_n}{dt} = V, \qquad \frac{dL}{dt} = v.$$

Начальные условия для системы уравнений следующие: полученные значения переменных $v(t)$, $L(t)$, $V(t)$, $L_n(t)$ решения системы для четвертого этапа [1, 2].

После выхода строительного элемента из ствола артиллерийского орудия наступает шестой этап, платформа продолжает колебательное движение, описываемое уравнением

$$\ddot{x} + \frac{ab\rho}{M}\dot{x} + \frac{ab\rho g}{M}x = ASin(\omega t)\ .$$

Начальные условия для уравнения будут следующими: $x(t) = L_n, \dot{x}(t) = V$, где t – момент времени конца четвертого этапа.

Условные обозначения в описанных уравнениях эквивалентны обозначениям, приведенным в работе [2].

Полученные результаты расчетов динамики системы пушка-строительный элемент-понтон-вода-грунт показывают возможность застреливания на достаточную глубину в глинистое дно водоема (до 4 м) строительных элементов из откатных артиллерийских орудий типа УЗАС-2 [2], расположенных на понтонах, находящихся на водной поверхности.

Список литературы

1. Серебряков М.Е. Внутренняя баллистика ствольных систем и пороховых ракет/ М.Е. Серебряков. – М.: Оборонгиз, 1962. – 703 с.

2. Пенский О.Г. Сопряженные модели динамики импульсно-тепловых машин и проникания недеформируемых тел в сплошную среду: монография/ В.В. Маланин, О.Г. Пенский; Перм. ун-т. – Пермь, 2007. – 199 с.