

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ УПРАВЛЯЕМОГО ДВИЖЕНИЯ СТД-ЗОНДОВ ПРИ ПРОФИЛЬНЫХ ИЗМЕРЕНИЯХ

B.B. Альчаков

Севастопольский национальный
технический университет
г. Севастополь, ул. Университетская, 33
E-mail: alchakov@mail.ru

В статье рассматривается возможность применения расширения пакета Matlab Stateflow для компьютерного моделирования управляемого движения СТД-зондов. Приведена математическая модель объекта управления и результаты компьютерного моделирования. Даны оценка полученных результатов и рекомендации по применению Stateflow для моделирования технических систем.

Введение. Автономные СТД-зонды являются основным поставщиком информации о распределении физических свойств морской воды (давление, температура и соленость) по глубине [1]. Данные о структурных свойствах океанской среды могут быть использованы для построения прогнозов дальности действия корабельных гидроакустических средств, выполнения экологического мониторинга в заданном морском регионе и решения других актуальных задач.

Известные конструктивные решения СТД-зондов позволяют управлять процессом погружения/всплытия с помощью нескольких способов: изменения объема или изменения массы зонда [2]. В результате этих изменений меняется

$$\ddot{z}(t) = \begin{cases} K_1(t) \frac{t}{\Delta t_{n6}} + K_1(t) \frac{1}{r-1} - K_2(t) \dot{z}^2(t) & \text{при } \Delta z(t) \geq 0 \\ K_1(t) \frac{t}{\Delta t_{n6}} + K_1(t) \frac{1}{r-1} + K_2(t) \dot{z}^2(t) & \text{при } \Delta z(t) < 0 \end{cases}, \quad (1)$$

$$\ddot{z}(t) = K_{1\phi n} \frac{r}{r-1} - K_{2\phi n} \dot{z}^2(t), \quad (2)$$

$$\ddot{z}(t) = \begin{cases} -K_1(t) \frac{t}{\Delta t_{e6}} + K_1(t) \frac{r}{r-1} - K_2(t) \dot{z}^2(t) & \text{при } \Delta z(t) \geq 0 \\ -K_1(t) \frac{t}{\Delta t_{e6}} + K_1(t) \frac{r}{r-1} + K_2(t) \dot{z}^2(t) & \text{при } \Delta z(t) < 0 \end{cases}, \quad (3)$$

плавучесть зонда, вследствие чего и осуществляются процессы погружения или всплытия. Далее будет рассмотрена модель зонда с изменяемой массой.

Математическая модель объекта управления. При рассмотрении модели зонда с изменяемой массой предполагается что зонд оснащен камерой плавучести, способной принимать и сбрасывать некоторую массу балласта (в качестве которого может выступать за бортная морская вода). Структурная схема зонда приведена на рис. 1.

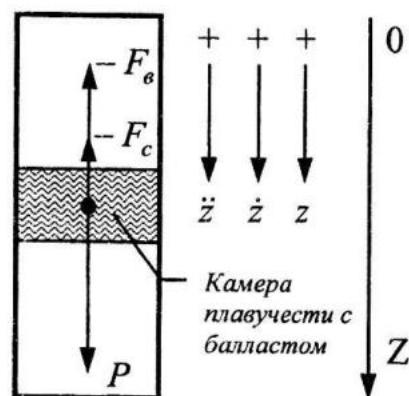


Рис. 1. Структурная схема зонда и система сил, действующих на зонд

Условно движение зонда может быть разбито на отдельные фазы, каждая из которых имеет свое математическое описание.

Для случая погружения/всплытия зонда имеют место четыре фазы: 1) фаза приема балласта; 2) фаза погружения; 3) фаза сброса балласта; 4) фаза всплытия.

Тогда, уравнения, соответствующие каждой фазе движения, могут быть записаны в виде

$$\ddot{z}(t) = K_{1\phi\theta} \frac{1}{r-1} + K_{2\phi\theta} \dot{z}^2(t), \quad (4)$$

где $\Delta t_{\text{пб}}$, $\Delta t_{\phi\theta}$ – интервалы времени, в течение которых происходит прием и вытеснение балластной жидкости; z , \dot{z} , \ddot{z} – соответственно перемещение, скорость и ускорение зонда; r – безразмерный коэффициент плавучести; номер уравнения соответствует номеру фазы движения.

$$K_1(t) = \frac{\Delta F}{m(t)} = \frac{\rho_b V_{\text{кн}} g}{m(t)}; \quad K_2(t) = c \frac{\rho S}{2} \frac{1}{m(t)}. \quad (5)$$

В (5) приняты следующие обозначения: ρ_b – плотность балластной жидкости; $V_{\text{кн}}$ – объем камеры плавучести; g – ускорение свободного падения; c – безразмерный коэффициент сопротивления, зависящий от формы зонда; ρ – плотность среды, в которой происходит движение (в рассматриваемом случае $\rho_b = \rho$); S – площадь наибольшего сечения зонда в плоскости, перпендикулярной направлению движения.

Коэффициенты $K_{1\phi\theta}$, $K_{2\phi\theta}$, $K_{1\phi\theta}$ являются постоянными и могут быть получены из соотношений (5) при условии $m = \text{const}$, где $m(t) = m_{\text{CTD}} + m_b(t)$ – полная масса зонда с балластом.

Моделирование погружения и всплытия зонда с помощью пакета Matlab/StateFlow. При моделировании фаз движения СТД-зонда удобно использовать так называемый событийный подход. При этом каждая фаза движения зонда рассматривается в качестве некоторого события или состояния, а смена событий происходит при наступлении того или иного условия. Например, событие «Прием балласта» наступает, когда необходимо начать погружение, и завершается в тот момент, когда балластная камера полностью заполнена. Событие «Погружение» начинается сразу после события «Прием балласта» и за-

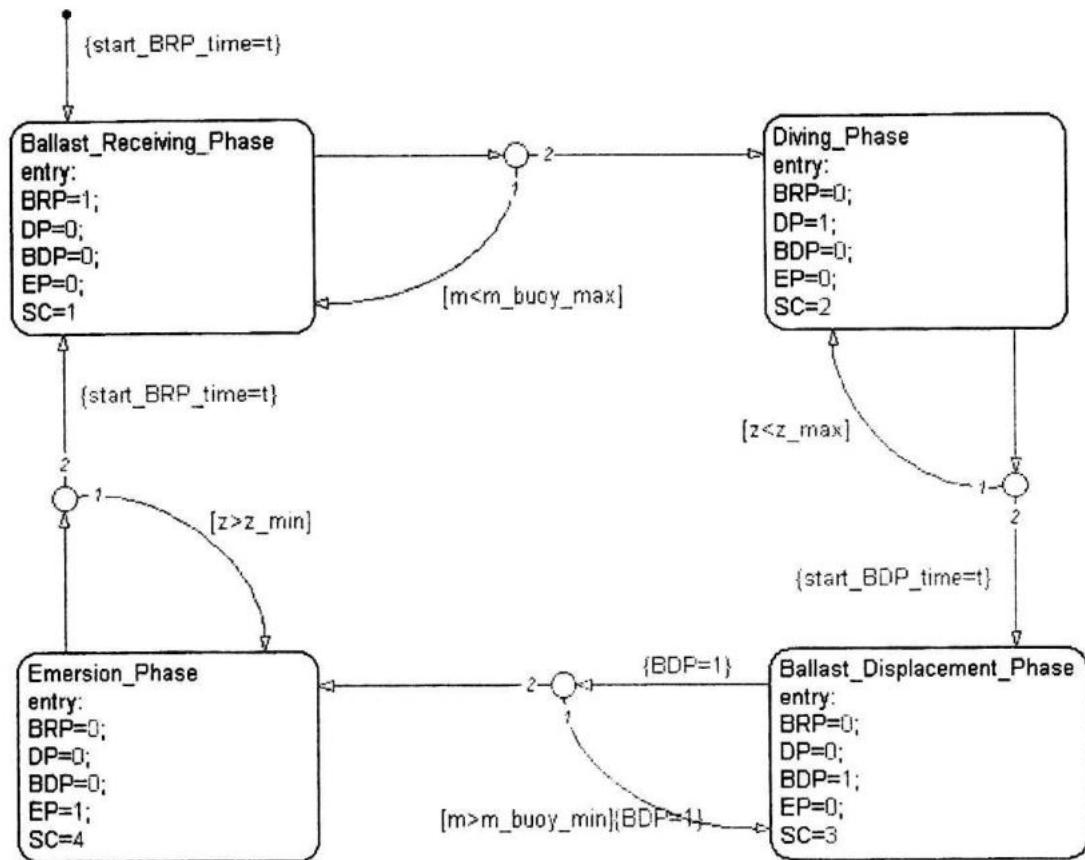
вершается после достижения заданного коридора глубин, и т.д.

Для моделирования подобных событий в среде Matlab предусмотрено расширение Stateflow – пакет моделирования событийно-управляемых систем, основанный на теории конечных автоматов. Stateflow легко интегрируется в широко распространенные Simulink-модели, позволяя расширить их возможности. Stateflow-модель представляет собой диаграмму, каждое событие в которой обозначено в виде прямоугольника со скругленными углами. Стрелки между блоками определяют переходы между событиями, а кружки – условные точки в которых принимается решение о переходе к тому или иному событию.

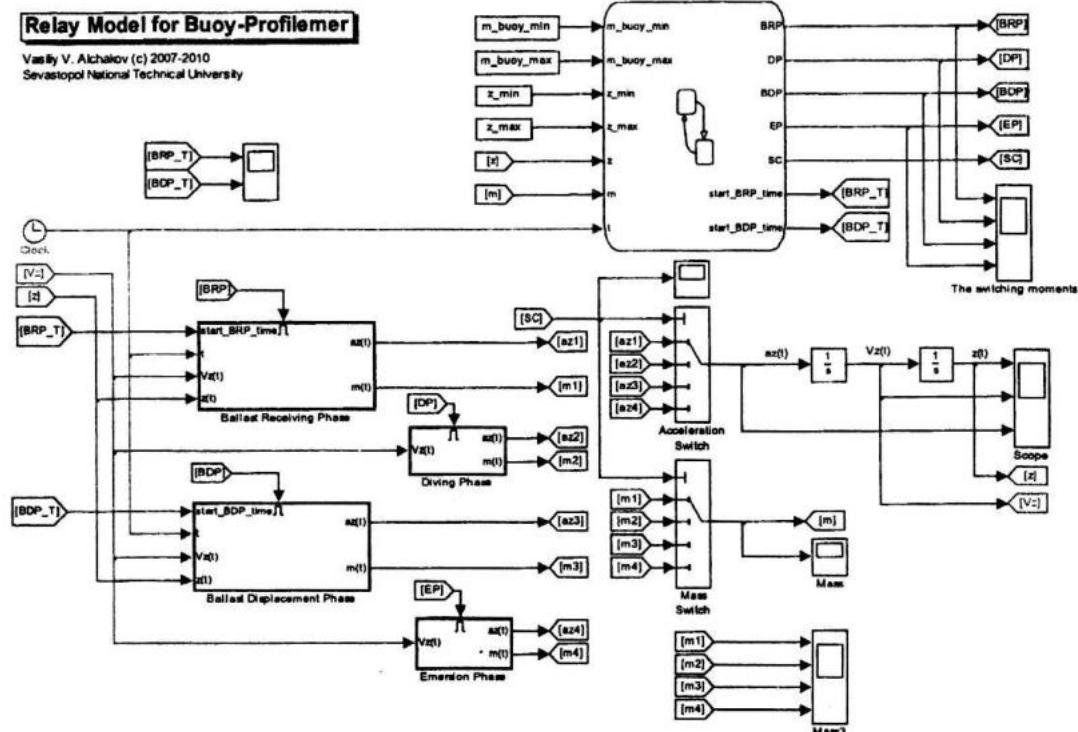
На рис. 2. приведена модель, позволяющая стабилизировать СТД-зонд в заданном коридоре глубин.

В качестве управляющего блока модели выступает Stateflow-диаграмма, которая на основе анализа информации о текущем положении зонда и уровня балластной жидкости в камере плавучести выдает управляющие сигналы на переключение фаз движения соответствующим блокам simulink-модели.

При наступлении каждого из событий, инициализируются локальные переменные-флаги, которые используются для переключения Simulink-подсистем, реализующих уравнения (1) – (4). Интеграция Stateflow диаграммы в Simulink-модель приведена на рис. 3.



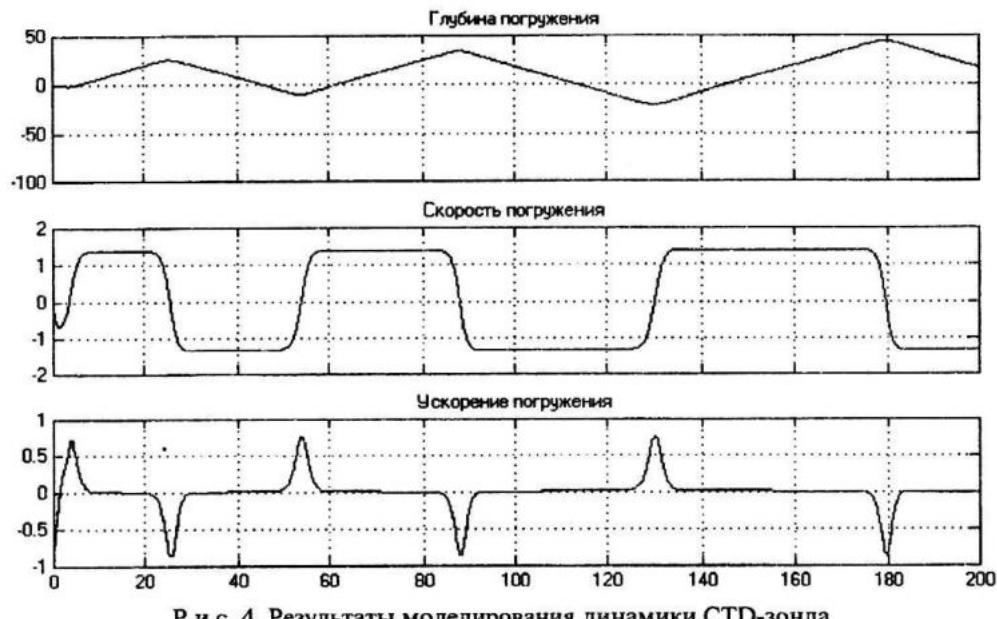
Р и с. 2. StateFlow-диаграмма для управления динамикой погружения/всплытия зонда



Р и с. 3. Simulink-модель динамики погружения CTD-зонда с управляемой Stateflow-диаграммой

Результаты моделирования. При моделировании динамики погружения и всплытия CTD-зонда с помощью составленной Simulink-модели были приняты следующие значения параметров модели: плотность морской воды $\rho = 1022 \text{ кг}/\text{м}^3$; масса CTD-зонда без балласта $m_{CTD} = 50 \text{ кг}$; время приема балласта $\Delta t_{nb} = 4 \text{ с}$; время вытеснения балласта $\Delta t_{ab} = 2 \text{ с}$; коэффициент сопротивления $c = 0,82$; сечение $S = 0,0079 \text{ м}^2$.

Результаты моделирования приведены на рис. 4. На графиках представлено колебательное движение зонда относительно условного нулевого уровня в диапазоне $\pm 50 \text{ м}$. Проиллюстрирована динамика изменения скорости и ускорения движения зонда. Следовательно, построенная управляющая Stateflow-диаграмма полностью решает задачу стабилизации CTD-зонда в заданном горизонте глубин. При этом соблюдаются ограничения на реальную динамику движения зонда: скорость погружения не превышает $1,5 \text{ м}/\text{с}$, а ускорение – $1 \text{ м}/\text{с}^2$.



Р и с. 4. Результаты моделирования динамики CTD-зонда

Заключение. При моделировании сложных, управляемых событиями систем, пакет Matlab/Stateflow позволяет значительно упростить создание компьютерной модели системы. От разработчика лишь требуется выделить отдельные события исследуемого процесса и установить логические взаимосвязи между этими событиями. Построенная Stateflow модель позволяет в реальном масштабе времени следить за сменой событий и более детально исследовать проектируемую систему, при этом переработка уже существующих Simulink-моделей практически не требуется.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Краснодубец Л.А. Алгоритмическое обеспечение морских наблюдательных систем с подвижными платформами сбора данных / Л.А. Краснодубец // Изв. РАН. ТиСУ. 2001. № 3. – С. 15 – 26.
2. Краснодубец Л.А. Синтез цифрового регулятора для терминалной системы профильных измерений океанской среды / Л.А. Краснодубец, В.В. Альчаков // Вестник СевГТУ. Сер. Автоматизация процессов и управление. – Севастополь, 2007. – Вып. 83. – С. 9 – 16.