УДК 681.5

Студ. В.А. Стаблецкий, Д.И. Чакур
Науч. рук. доц. Д.А. Гринюк
(кафедра автоматизации производственных процессов и электротехники, БГТУ)

МОДЕЛИРОВАНИЕ ГИБРИДНЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

Множество реальных объектов управления в различных ситуациях проявляют различные свойства и не всегда описываются целиком. Использование классической теории автоматического управления возможно лишь при найденной аналитической модели объекта и регулятора, но определить адекватную аналитическую модель объекта сложно и не всегда возможно, поэтому решение задачи управления объектом проводится при недостатке информации – неопределённости.

Для решения задач управления объектами в условиях неопределённости применяют интеллектуализированные гибридные системы, главной особенностью которых является одновременное использование методов из классической теории управления и методов искусственного интеллекта.

В качестве гибридной системы понимают математическую модель, которая предназначена для описания реальных объектов, меняющих своё непрерывное поведение (заданное в форме классической динамической системы) при наступлении некоторых определённых событий. Гибридными системами также могут называть событийно-управляемыми динамическими системами или непрерывно-дискретными системами, причём, непрерывная динамика системы задаётся дифференциальными уравнениями, а дискретная динамика характеризуется применением передаточной функции с конечным количеством состояний. Непрерывный и дискретный процессы взаимодействуют в моменты, когда текущее состояние системы достигает некоторых заданных множеств в непрерывном пространстве состояний.

Впервые модель гибридной системы была определена в виде набора:

$$H_w = < M, \omega, f, d, J, \Omega >, \tag{1}$$

где M, Ω – конечные множества (дискретные пространства) состояний и выходов; f: M×Rn – непрерывная функция перехода от двух аргументов; R – множество действительных чисел; Rn – пространство непрерывных состояний размерности n; d: M×J→M – дискретная функция перехода, вычисляющая очередное значение дискретной компоненты состояния, когда значение непрерывной компоненты состояния достигло одного из переходных множеств ω; M→Ω – функция выхода и J ∈ P(Rn n) – множество переходных множеств. Гибридное состояние определяется в виде вектора (m,x) ∈ MRn. Достоинство модели (1) состоит в возможности представления гибридного состояния для имитации неоднородности в поведении системы.

Рассмотрим метод описания систем управления, основанный на представлении цифровой системы автоматического управления (ЦСАУ) в виде гибридного автомата, который позволяет учесть поведение гибридной системы в непрерывном времени и, используя минимум изобразительных средств, смоделировать реальные процессы, происходящие как в непрерывной, так и в дискретной части ЦСАУ.

Представление в виде гибридного автомата ЦСАУ с промышленным регулятором, реализующим один из типовых и распространенных законов регулирования (П, ПИ, ПИД). В этом случае действие перехода заключаются в вычислении управления по формул [2]:

$$u(K) = a_p e(K) \tag{1}$$

$$u(K) = a_{1PD} e(K) + a_{2PD} e(K-1) \tag{2}$$

$$u(K) = u(K-1) + a_{1PI} e(K) + a_{2PI} e(K-1) \tag{3}$$

$$u(K) = u(K-1) + a_{1PID} e(K) + a_{2PID} e(K-1) + a_{3PID} e(K-2) \tag{4}$$

для П, ПД, ПИ и ПИД-закона соответственно. В выражениях (1) – (4) u(i) и e(i) соответственно – управление и ошибка в i-й момент времени, a_p, a_{1PD}, a_{2PD}, a_{1PI}, a_{2PI}, a_{1PID}, a_{2PID} и a_{3PID} – параметры.

При стабильном шаге квантования условием перехода будет выражение [t = kh] , где t – текущее время, h – шаг квантования по времени, Kh – момент выдачи K-го управляющего сигнала (рис. 1). Если шаг квантования подвержен случайным колебаниям, условие перехода приобретет следующий вид: [t = K (h + δ_k)] , где δ_k – случайная вариация K-го шага квантования (рис. 2).

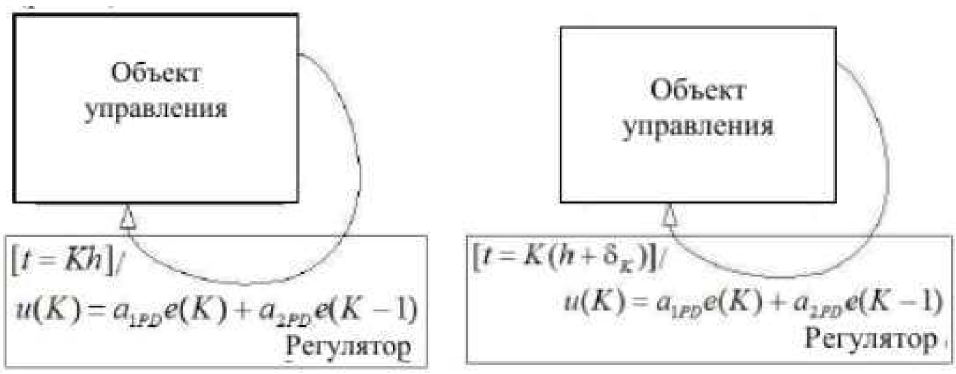

Рисунок 1 – ПД-регулятор со стабильным и нестабильным шагами квантования

Модель непрерывной системы приведена на рисунке 3.

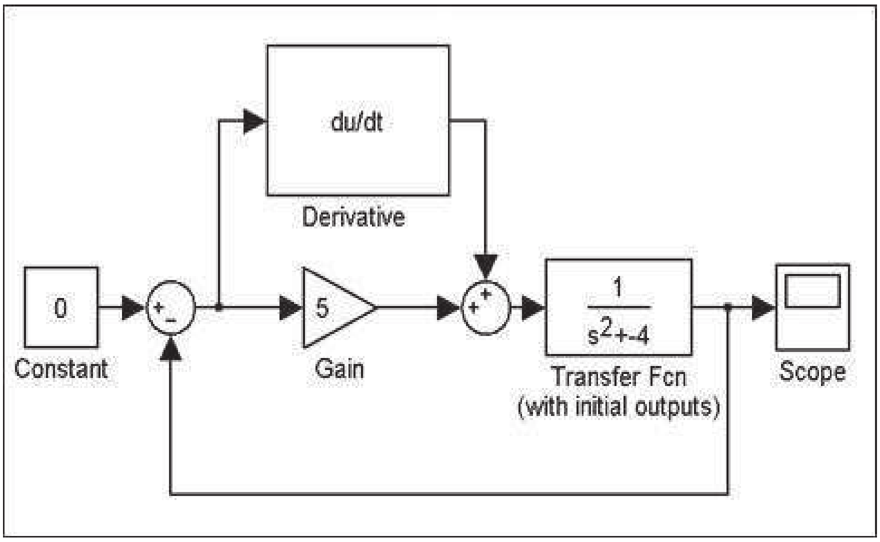

Рисунок 3 – Модель непрерывной системы стабилизации маятника

Рассмотрим цифровую систему, которую будет представлять регулятор из Simulink-stateflow, данная модель представлена на рисунке 4. Stateflow – модель цифрового регулятора представлена на рисунке 5.

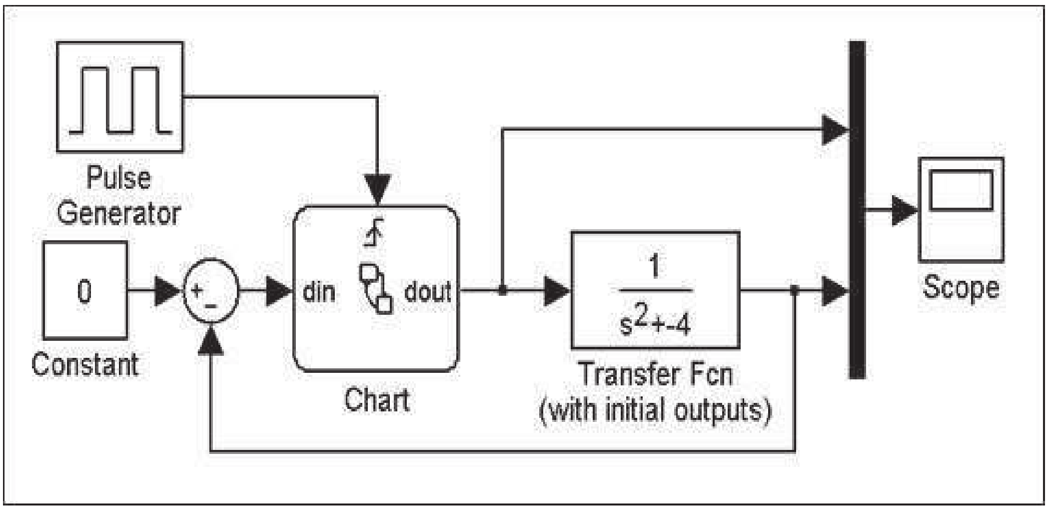

Рисунок 4 – Модель цифровой системы

Данная модель реализует переменную временную задержку в канале управления, которая изменяется случайным образом в соответствии с нормальным законом с параметрами 0,2 и 0,08 с. Переход из одного состояния в другое сопровождается вычислением значения нового сигнала управления, который действует на объект весь последующий такт времени.

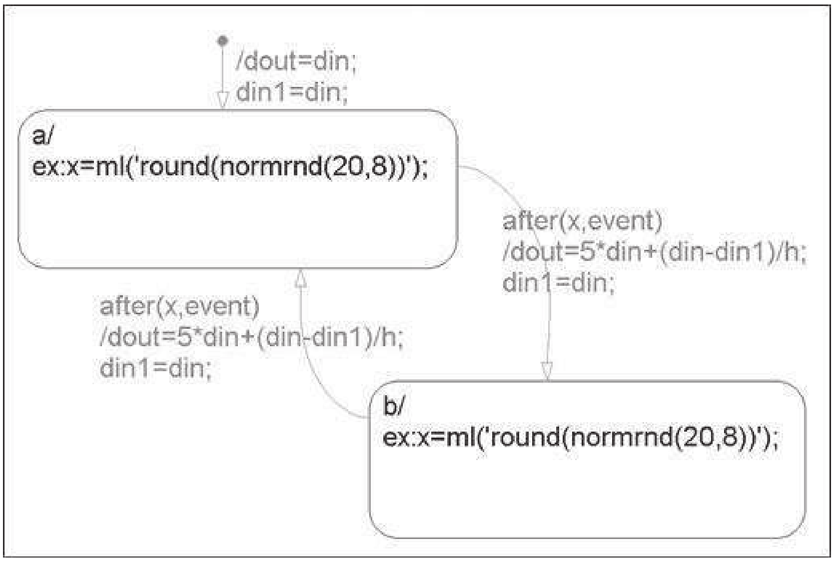

Рисунок 5 – Stateflow – модель цифрового регулятора

Качество работы системы может оцениваться по косвенному показателю – критерию интегральной квадратичной ошибки:

$$J = \int_0^t \varepsilon^2(t) \cdot dt$$

где ε - ошибка системы, t - время окончания процесса регулирования.

Заключение: анализ временных диаграмм работы регулятора позволил установить, чем худшие варианты отличаются от лучших. В первом случае сигнал задания приходит сразу после очередного момента срабатывания регулятора, т.е. сигнал ошибки держится на максимальном уровне в течение одного такта работы регулятора и обработка ошибки начинается только при наступлении следующего момента работы регулятора. Во втором случае сигнал задания приходит перед очередным моментом срабатывания регулятора, а именно сигнал ошибки начинает обрабатываться мгновенно. Синхронизация работы регулятора с моментами значительного изменения сигнала задания позволит избежать появления худших вариантов развития событий. Так же исследование показало, что непрерывная система обладает наилучшим качеством, интегральный квадратичный критерий J = 0,0099. Для цифровой системы, а шаг квантования был постоянен h = 0,2 с.. В случае с переменным шагом квантования среднее значение интегрального квадратичного критерия равнялось J = 0,010. Однако было замечено, что в некоторых редких случаях интегральный квадратичный критерий был меньше, чем у непрерывной системы.