

# АНАЛИЗ КАЧЕСТВА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ СИГНАЛОВ В ДИСКРЕТНЫХ СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ

*Исследуется алгоритм прогнозирования сигнала на основании его предыдущих значений, ориентированный на применение в системах автоматического управления с объектами, имеющими большой некомпенсируемый период дискретизации. Показано, что алгоритм позволяет существенно уменьшить задержку сигнала. С увеличением точности предсказания повышается колебательность системы.*

## ВВЕДЕНИЕ

Повышение точности и быстродействия системы автоматического управления является ключевым аспектом в обеспечении эффективности и надежности работы технических систем. Быстрая система управления способна эффективно поддерживать заданные параметры, быстро компенсировать возмущения и минимизировать отклонения от заданных значений.

Так, в сфере беспилотной аэро съемки может стоять задача стабилизации видеокамеры на подвесе беспилотника по отклонению с автомата сопровождения изображения. Основная проблема такой системы заключается в сложности использования сигнала отклонения с видеокамеры напрямую из-за редких кадров видеокамеры и задержки обработчика изображения для управления относительно быстрыми электроприводами стабилизатора.

Для решения задачи повышения быстродействия системы автоматического регулирования при значительной дискретизации входного сигнала в настоящей статье предлагается использование алгоритма его упреждения, использующего значения сигнала на предыдущих дискретах для прогнозирования его значения на следующем.

Применение метода прогнозирования, описываемого в этой статье, позволит системе автоматического управления реагировать на изменения входного сигнала заранее, что увеличит ее быстродействие и точность.

## I. ИССЛЕДУЕМЫЙ АЛГОРИТМ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ

Идея предлагаемого алгоритма прогнозирования строится на предположении, что если сигнал  $u$  имеет малую величину второй производной, то его значение на следующем  $n + 1$  такте будет приближенно отличаться на величину дифференциала (приращения) сигнала в текущий момент времени (за предыдущий такт дискретизации):

$$u_{n+1} = u_n + \frac{du_n}{dt} \cdot dt \approx u_n + \Delta u_{n-1}. \quad (1)$$

Применительно к сигналу рассогласования угла поворота видеокамеры относительно отслеживаемого объекта, это предположение приобретает ясный физический смысл: угол  $\varphi_{n+1}$  на следующем такте приближенно отличается от угла на текущем такте  $\varphi_n$  на произведение величин периода дискретизации  $\tau$  и угловой скорости  $\omega_{n-1}$ , рассчитанной как разность двух углов за период  $\tau$ :

$$\varphi_{n+1} \approx \varphi_n + \omega_{n-1} \cdot \tau = 2\varphi_n - \varphi_{n-1}. \quad (2)$$

Уточнение значения сигнала на следующем такте может быть осуществлено при наличии значений сигнала на предыдущих  $m$  тактах. Так, добавляя в формулу (1) 2-е, 3-и, ...,  $m$ -е разности значений сигнала (дифференциалы высших порядков), можно получить формулы вида (3-4) и рекуррентную формулу (5), включены в которой имеют знакопередающиеся коэффициенты треугольника Паскаля:

$$u_{n+1} \approx 3u_n - 3u_{n-1} + u_{n-2}, m = 2; \quad (3)$$

$$u_{n+1} \approx 4u_n - 6u_{n-1} + 4u_{n-2} - u_{n-3}, m = 3; \quad (4)$$

...

$$\sum_{k=0}^{m+1} (-1)^{k+1} C_m^k \cdot u_{n-k+1} \approx 0. \quad (5)$$

## II. РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ

Моделирование работы алгоритма упреждения произведено на языке C++ в среде MATLAB Simulink на разных типах входных воздействий. Так, на рисунках 1, 2 представлены осциллограммы линейно аппроксимированных сигналов, полученных в соответствии с уравнением (5) при  $m = 0$  и  $m = 1, 3$  (без упреждения и с упреждением соответственно) дискретных (цифровых) аperiodического [1] и гармонического сигналов.

Показано, что прогнозирование уточняется с использованием информации о значениях сигнала на более ранних тактах дискретной системы. Так, упреждение сигнала при  $m = 1$  имеет большее перерегулирование в точках изменения знака производной сигнала по сравнению с упреждением сигнала при  $m = 2$ .

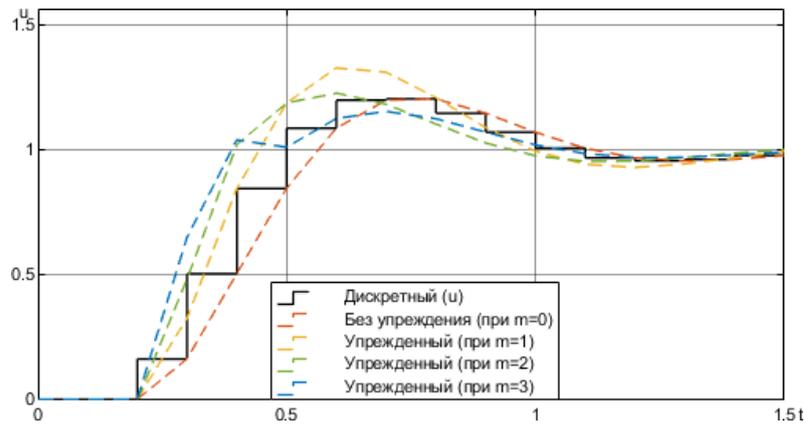


Рис. 1 – Осциллограмма полученных сигналов

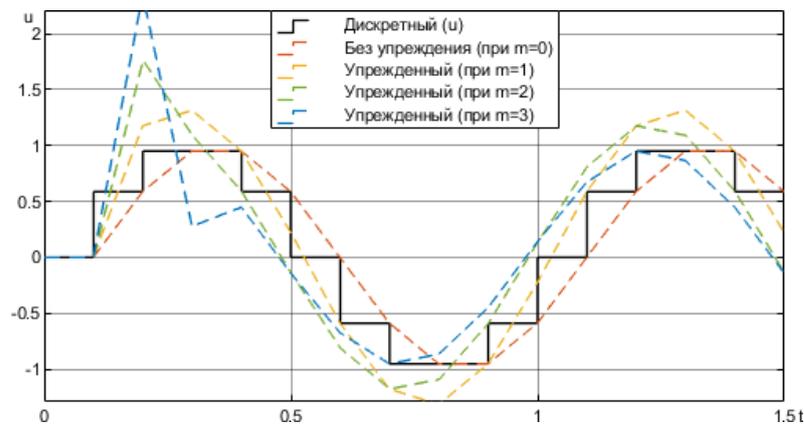


Рис. 2 – Осциллограмма полученных сигналов

По рисунку 2 видно, что с увеличением количества слагаемых в уравнении (5) повышается колебательность системы. На начальных тактах моделирования, когда отсутствует информация о более предыдущих состояниях сигнала, система может выйти на границу устойчивости из-за интенсивной осцилляции. Решением данного недостатка на начальном интервале работы системы может являться как уменьшение коэффициента передачи прямой цепи, так и уменьшение влияния значений сигнала с предыдущих тактов с помощью весовых коэффициентов у разностей требуемого порядка

### III. Выводы

В результате исследования установлено, что предлагаемый алгоритм прогнозирования позволяет существенно уменьшить задержку сигнала. С увеличением количества слагаемых разностного многочлена (5) повышается точность предсказания, однако увеличивается колебательность системы, что наиболее заметно на первых

$m - 1$  тактах моделирования, когда информация о значении сигнала, отстающего на  $m$  тактов, отсутствует. Коррекция влияния значений сигнала на предыдущих тактах на сигнал на следующем такте может быть произведена с помощью введения весовых коэффициентов к разностям требуемого порядка. Поведение алгоритма в общем случае на входных сигналах случайного характера требует дополнительных исследований.

1. Кузнецов, В. П. Теория автоматического управления. Конспект лекций. В 2 ч. Ч. 1: Линейные непрерывные системы / В. П. Кузнецов, С. В. Лукьянец, М. А. Крупская // БГУИР. – 2007. – С. 40.
2. Кузнецов, В. П. Теория автоматического управления. Конспект лекций. В 2 ч. Ч. 2: Дискретные системы, нелинейные системы, случайные процессы в системах автоматического управления / В. П. Кузнецов, С. В. Лукьянец, М. А. Крупская // БГУИР. – 2009. – 135 с.
3. Жиленков, А. А. Моделирование систем и комплексов: Дискретные системы прогностического управления в теории, задачах и примерах в MATLAB / А. А. Жиленков // СПб: Университет ИТМО. – 2019. – 79 с.

*Сидоров Даниил*, магистрант кафедры информационных технологий автоматизированных систем БГУИР, sam65th@mail.ru.

*Научный руководитель: Марков Александр Владимирович*, заведующий кафедрой систем управления БГУИР, кандидат технических наук, доцент, markov@bsuir.by.