

характеристики различны. Для датчика температуры с металлической монтажной частью постоянные времени меньше, но запаздывание больше, что обусловлено большому проявлению распределенности для датчика с большой долей металла в конструкции. Проведение экспериментов с одинаковым управляющим воздействием показало вариацию коэффициентов передаточных функций для всех шаблонов более 5% при сохранении отношения динамических параметров.

Увеличение показателя  $n$  для шаблона формулы (5) приводит к перераспределению временных параметров передаточных функций, в первую очередь, уменьшению запаздывания и малой величины постоянной в шаблоне (5).

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Mikles J., Fikar M. Process Modelling, Identification, and Control. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag. 2007. 497 p.

2. Олиферович Н. М. Гринюк Д. А., Оробей И. О. Алгоритмы гармонической идентификации для технологических объектов и их апробация на тепловом объекте // Труды БГТУ. 2017. Сер. 3, Физико-математические науки и информатика, № 2 (200). С. 76–81.

3. Oliferovich N., Hryniuk D., Orobei I. The use of harmonic identification algorithms to air heat exchanger // Electrical Electronic and Information Sciences (eStream): Open Conference, 2017, p. 1–5.

4. Гринюк Д. А., Олиферович Н. М., Сухорукова И. Г., Оробей И. О. Моделирование и настройка систем с нелинейной динамикой // Труды БГТУ. Сер. 3, Физ.-мат. науки и информ. 2021. № 2, С. 65–71.

5. Marozava M., Hryniuk D. Experimental study of the variation dynamic's for air heat exchanger // Mokslas – Lietuvos ateitis / Science – Future of Lithuania. 2017. Vol. 9, no. 3. P. 297–301.

УДК 621.39

**Гринюк Д.А., Олиферович Н.М.,  
Сухорукова И.Г., Карпук П.О.**

(Белорусский государственный технологический университет)

#### **ВЛИЯНИЕ ВРЕМЕНИ КВАНТОВАНИЯ НА ПРОЦЕСС РЕГУЛИРОВАНИЯ**

Современные системы управления массово строятся на базе программируемых логических контроллеров в цифровом виде. Алгоритмы аналоговой обработки, к которой относится ПИД, реализуются путем

преобразования аналоговой формы к дискретной [1]. Наибольшее распространение получили две формы цифрового регулятора

$$y_1(z) = kp + T_I T_s \frac{1}{z-1} + T_d \frac{1}{T_s} \frac{z-1}{z} \quad \text{или} \quad y(z) = \frac{q_0 + q_1 z^{-1} + q_2 z^{-2}}{1 - z^{-1}}; \quad (1)$$

$$y_2(z) = kp + T_I T_s \frac{1}{z-1} + T_d \frac{1}{T_s} \frac{N}{1 + N T_s \frac{1}{z-1}}, \quad (2)$$

где  $kp$ ,  $T_I$ ,  $T_d$  – классические параметры настройки ПИД-регулятора;  $T_s$  – sample time;  $N$  – коэффициент аппроксимации дифференцирования.

Sample time, как и  $kp$ ,  $T_I$ ,  $T_d$ , оказывает влияние на эффективность обработки данных. Современные программируемые логические контроллеры (ПЛК) имеют возможность настройки данного параметра. Особенно это касается средних и больших ПЛК. Проведение такой оптимизации особенно актуально при использовании электрических исполнительных механизмов. В этом случае увеличение sample time позволяет улучшить энергетические показатели работы. При использовании нагревателей, мощность для которых регулируется путем широтно-импульсной модуляции силовых ключей, оптимизация sample time может повлиять на энергетические показатели.

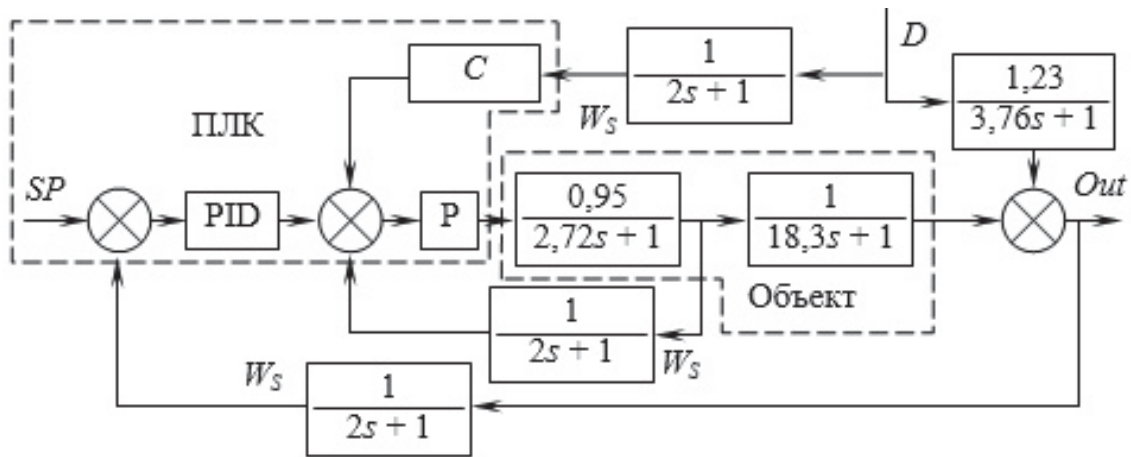
В случае простых локальных контуров регулирования в литературе можно найти расчетные формулы оптимального диапазона  $T_s$ , тогда как при более сложных структурах, особенно с нелинейностями, определение  $T_s$  более сложная задача. С целью оптимального выбора проведем оптимизацию sample time путем проверки эффективности работы синтезированной каскадной АСР при различном значении sample time. Рассмотренная структура представлена на рис. 1. Численные параметры на схеме указаны в минутах.

Параметры PID и  $C$  найдены по интегральному критерию [2-3]

$$I_1 = \int_0^{td} |e(t)| t^2 dt \quad (3)$$

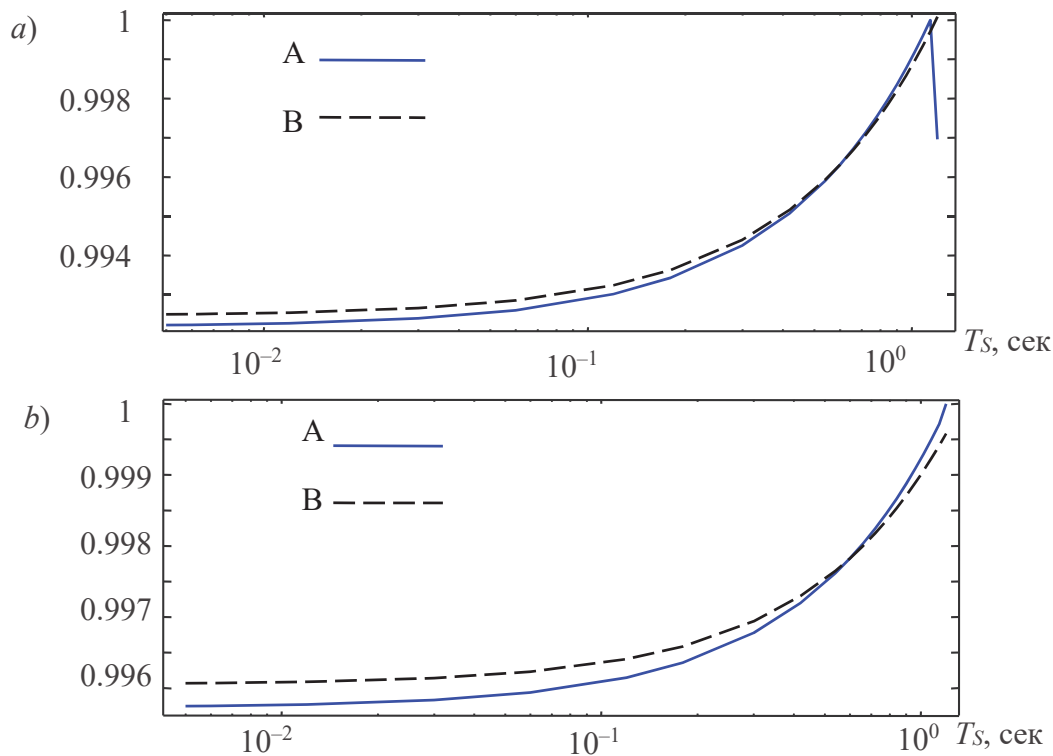
где  $td$  – время наблюдения;  $e(t)$  – сигнал ошибки.

В процессе исследования оценивали такие параметры как перерегулирование, время переходного процесса по уровню 5%, интегральный критерий и среднеквадратичное отклонение (СКО). Нормированные результаты можно видеть на рисунках 2–5.



**Рисунок 1 – Структурная схема управления:**

$C$  – компенсатор;  $W_s$  – датчик;  $D$  – сигнал возмущения;  $SP$  – сигнал задания;  $PID$  – ПИД-регулятор основного параметра;  $P$  – П-регулятора вспомогательного параметра;  $Out$  – выход



**Рисунок 2 – Зависимость времени регулирования (a) и интегрального критерия  $I_2$  (b) от sample time при использовании ПИД как (1) – А; как (2) – В при изменении  $SP$**

Возможность вариации sample time с одной стороны ограничены быстродействием ПЛК, с другой – устойчивостью системы. Критическим значением для системы на рис. 1 является  $T_s = [0,005 \dots 1,2]$  сек. Время  $T_s$

больше всего влияет на значение перегулирования. При этом для данной системы, выбор цифровой формы ПИД-регулятора оказывает больше влияние.

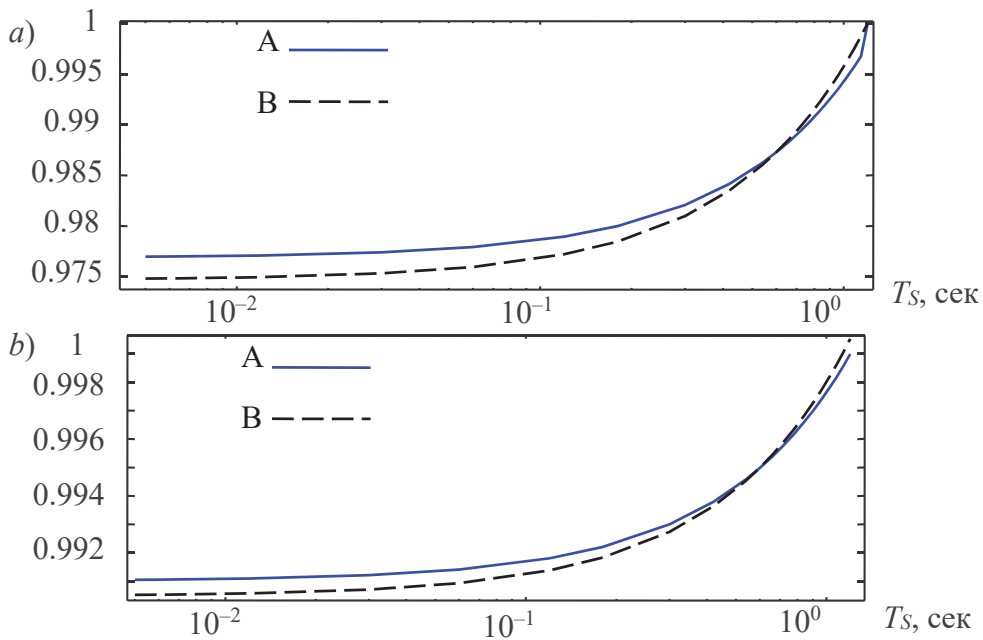


Рисунок 3 – Зависимость перегулирования (a) и СКО (b) от sample time при использовании ПИД как (1) – А; как (2) – В при изменении  $SP$

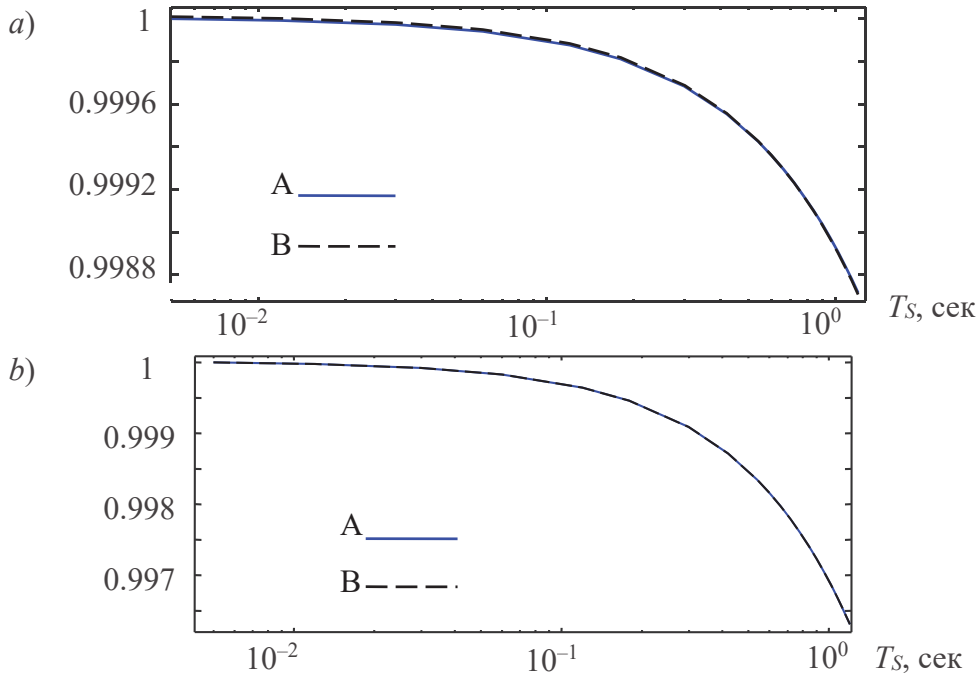
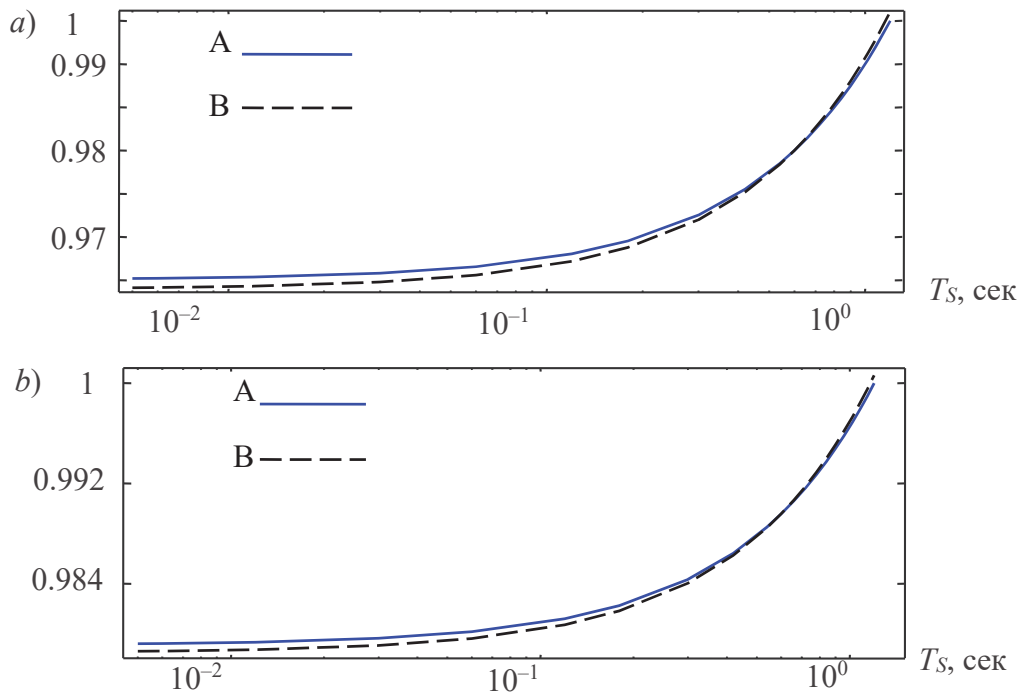


Рисунок 4 – Зависимость время регулирования (a) и интегрального критерия  $I_2$  (b) от sample time при использовании ПИД как (1) – А; как (2) – В при изменении  $D$



**Рисунок 5 – Зависимость перерегулирования (a) и СКО (b) от sample time при использовании ПИД как (1) – А; как (2) – В при изменении  $D$**

Sample time по разному влияет на время регулирования и критерий  $I_2$  при изменении возмущения и сигнала задания. Из этого следует, что использование sample time в 100 мс для данной системы является оптимальным. Одна следует заметить, что  $T_s$  может по разному влиять на регулирование [4].

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Oliferovich N., Hryniuk D., Orobei I., Suhorukova I. Increasing the robustness of the digital controller// 2018 Open Conference of Electrical, Electronic and Information Sciences (eStream) 1-6.
2. Гринюк Д.А., Сухорукова И.Г., Олиферович Н. М., Оробей И. О. Использование нелинейных регуляторов в каскадных системах регулирования при одновременной настройке четырех параметров // Труды БГТУ. Сер. 3, Физ.-мат. науки и информ. - Минск : БГТУ, 2020. - № 2 (236). - С. 61-68.
3. Hryniuk D., Suhorukova I., Oliferovich N., Orobei I. Complex tuning of the PID controller according to integral criteria // 2018 Open Conference of Electrical, Electronic and Information Sciences. P. 1-4.
4. Гринюк Д.А., Оробей И. О., Сухорукова И.Г., Оптимизация каскадной системы регулирования для распределенный объектов на основе интегральных критериев // Труды БГТУ. Сер. VI. Физ.-мат. науки и информ. — 2007. — Вып. XV. — С.97-100.