

## ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ОХЛАЖДЕНИЕМ ФУРМЫ КОНВЕРТЕРА

**Ивашенко М.А., магистрант; Суков С.Ф., проф., к.т.н., доц.**

*(ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет», г. Донецк, ДНР)*

**Задачи исследования.** Кислородно-конвертерный процесс — это процесс производства стали из жидкого чугуна с добавлением стального лома в конвертер со щелочной футеровкой и продувкой кислородом сверху сквозь водоохлаждаемую фурму. Фурма выполнена из трех концентрично расположенных стальных труб и снабжена снизу медной головкой с соплами. В процессе работы головка с соплами подвергается большим нагрузкам. Под ней температура вначале плавки составляет 1600 °С и развивается до 2400 °С, при этом стойкость составляет 50 – 150 плавов. Срок службы головки зачастую определяется прогаром центральной части наружной тарелки и разгаром выходных кромок сопел. В первом случае необходимо улучшить охлаждение центральной части тарелки путем улучшения регулирования давления и расхода воды. Разгар выходных кромок сопел указывает на то, что при данных давлении и расходе кислорода велик диаметр выходного сечения сопел. Струя кислорода при этом расширяется в сопле и отрывается от его стенок, а в образующиеся зоны разрежения засасываются капли металла, вызывающие износ кромок. В связи с этим следует уменьшать выходное сечение сопел, чтобы кислородная струя не полностью расширялась в сопле. Рассмотрим процесс охлаждения фурмы конвертера как ОУ.

Изменение температуры в фурме кислородного конвертера можно описать линейным звеном:

$$\frac{d\Delta T(t)}{dt} + \Delta T(t) = k \cdot \Delta F(t) \quad (1)$$

где  $\Delta T(t)$  – разность температур на фурме, °С;

$\Delta F(t)$  – разность расхода, м<sup>3</sup>/с.

Анализируя ОУ следует, что канал управления охлаждением фурмы является звеном с запаздыванием. То есть дифференциальное уравнение принимает вид:

$$\frac{d\Delta T(t)}{dt} + \Delta T(t) = k \cdot \Delta F(t - \tau) \quad (2)$$

Из этого следует, что математическая модель охлаждения фурмы конвертера, является инерционным объектом с транспортным запаздыванием [1]. В качестве исполнительного механизма выступает заслонка, регулируемая с помощью МЭО. Модель исполнительного механизма, была рассмотрена с учетом технологических реальных ограничений на входные и выходные сигналы. Передаточная функция  $W_{\text{МЭО}}(p)$  может быть описана как:

$$W_{\text{МЭО}}(p) = \frac{k_{\text{МЭО}}}{T p + 1}, \quad (3)$$

где  $W_{\text{МЭО}}(p)$  – передаточная функция механизма электрического однооборотного;

$k_{\text{МЭО}}$  – коэффициент передачи, равный  $\frac{100\%}{16\text{мА}}$ ;

$T$  – постоянная времени МЭО.

Для системы управления в качестве регулятора было предложено применить ПИ-регулятор [2], который при номинальных параметрах системы ( $a=3.6$ ,  $b=6.3$ ,  $c=0.8$ ) обеспечивает требуемые показатели качества - время переходного процесса 150 секунд,

перерегулирование 2%. Но наблюдается довольно значительное транспортное запаздывание, отношение которого к времени регулирования равно:

$$\frac{\tau}{\tau + T} = \frac{45}{45 + 105} = 0,3. \quad (4)$$

Данный переходной процесс охлаждения фурмы конвертера не удовлетворяет следующие требования: отсутствию перерегулирования. Также наблюдается значительное транспортное запаздывание. Поэтому необходимо избавиться от перерегулирования в системе, а также от транспортного запаздывания с помощью специальной структуры ПИ-регуляторов, содержащие блоки для предсказания поведения объекта через время  $t$ .

**Методика решения.** Для управления объектами с большой транспортной задержкой, обычно при:

$$\frac{\tau}{\tau + T} > 0,2 \dots 0,5, \quad (5)$$

где  $\tau$  – время запаздывания;

$T$  – время переходного процесса без запаздывания;

предложен метод решения с помощью предиктора Смита [3]. Цель предиктора Смита – предсказать, какой сигнал должен появиться на выходе объекта до того, как он там появится на самом деле.

Благодаря тому, что на основании прогнозируемого расхода хладагента имеется возможность определить требуемую производительность со значительным предварением и тем самым скомпенсировать большое запаздывание в системе охлаждения, появляется возможность предсказания поведения объекта до появления сигнала на его выходе.

Для доказательства работоспособности САУ с предиктором Смита проведем сравнительный анализ результатов моделирования двух структур САУ: с предиктором Смита и без него (рис. 1).

Управление охлаждением фурмы поддерживает заданный уровень разности температур в трубопроводе 30°C путем регулирования расхода хладагента.

Анализируя рисунок 2 видно, что уровень температуры соответствующий 30°C поддерживает САУ с предиктором Смита, исчезло перерегулирование, которое присутствовало в системе без предиктора Смита. Время переходного процесса в системе с предиктором Смита  $T = 120$  сек. Скомпенсировано время запаздывания: в системе с прогнозированием - уменьшилось время переходного процесса равное 120 секунд.

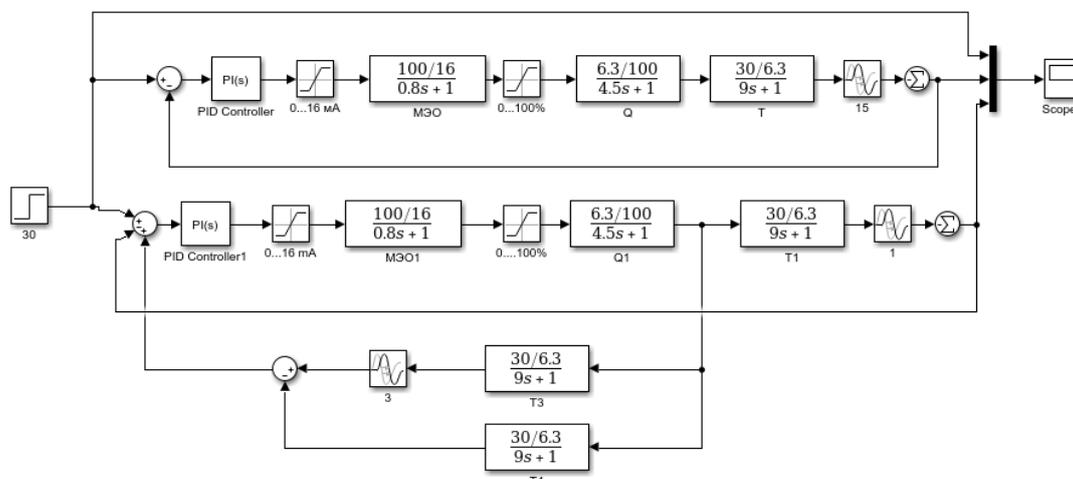
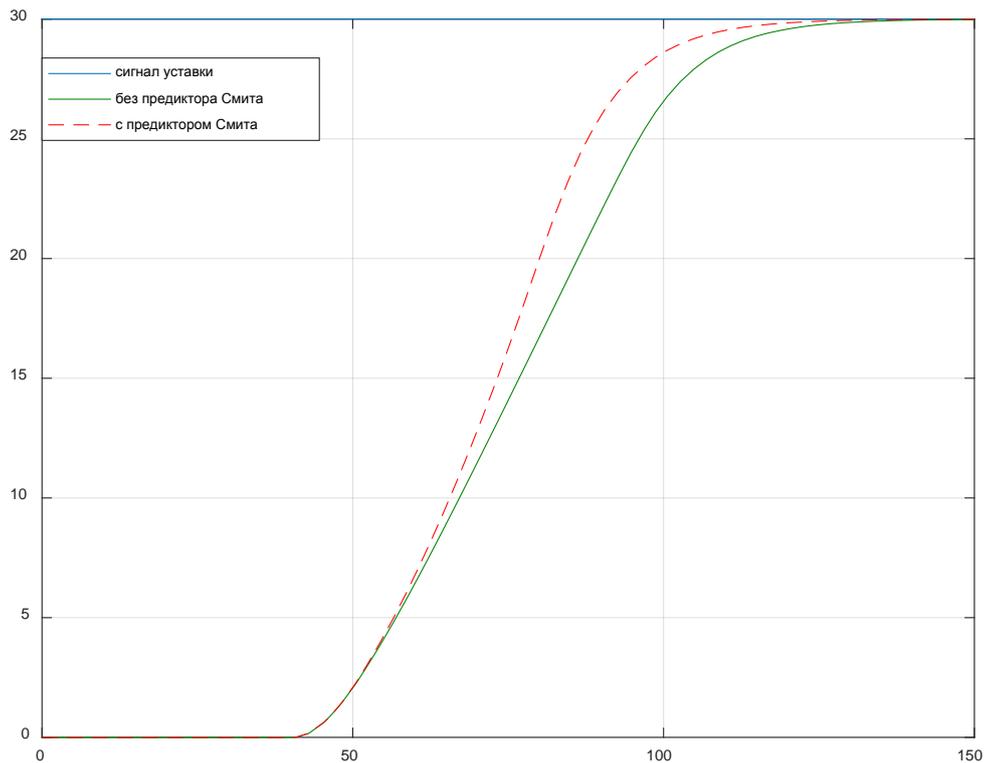
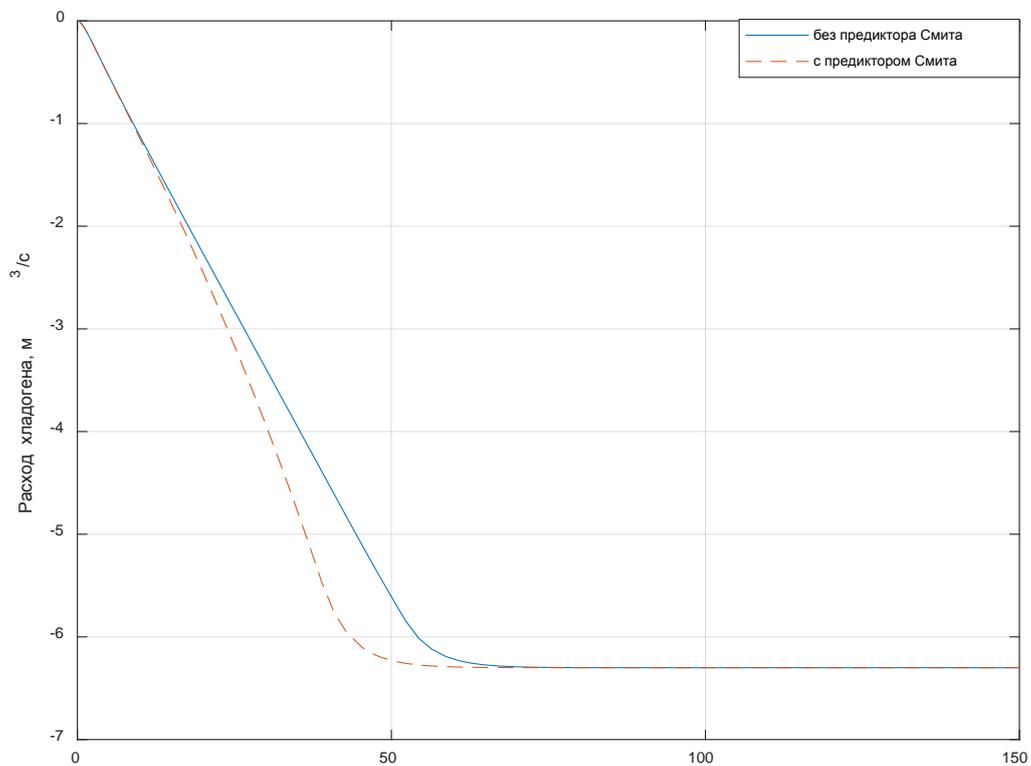


Рисунок 1 – Схема моделирования САУ охлаждения фурмы конвертера с предиктором Смита и без него



*Рисунок 2 – Переходная характеристика процесса охлаждения фурмы*

Из графиков рис.3 видно, что САУ с предиктором лучше справляется с поставленной задачей, изменяя расход раньше чем в системе без прогнозного управления.



*Рисунок 3 – Переходные характеристики расхода хладагента*

Исходя из графиков 2-4 наблюдаются плавные аperiodические процессы, нет длительной временной паузы, как в системе без прогнозирования. Следовательно, система с предиктором Смита выдает необходимое количество хладогена вовремя, что не приведет в дальнейшем к нарушениям уровня температуры на фурме.

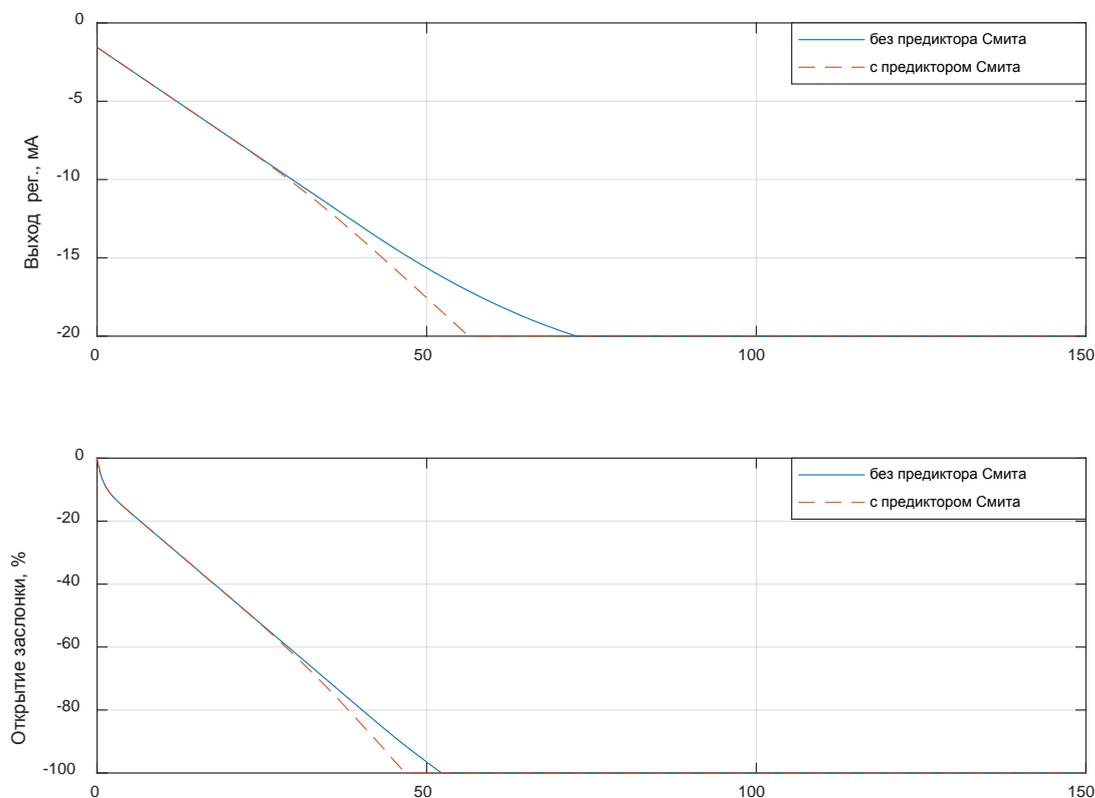


Рисунок 4 – Графики переходных процессов выхода регулятора и открытия заслонки

#### Выводы.

Система управления с ПИ-регулятором и предиктором Смита достаточно эффективна для объектов, обладающих длительным временем запаздывания. Алгоритм управления с предиктором Смита включает в себя предсказание процессов, что достаточно сильно повышает качество управления.

#### Перечень ссылок

1. Сущенко, А. В. Анализ эффективности гидродинамической работы систем охлаждения наконечников кислородно-конвертерных фурм / А. В. Сущенко, А. П. Балаба // Вісник Приазовського державного технічного університету : зб. наук. праць. – Маріуполь : ПДТУ, 2008. – Вип. 18, Ч. 1. – С. 121–125.
2. Гудвин, Г. К. Проектирование систем управления / Г. К. Гудвин, С. Ф. Гребне, М. Э. Сальгадо. - Москва : Бинум, Лаборатория базовых знаний, 2004.
3. Денисенко, В. ПИД-регуляторы: принципы построения и модификации. Ч. 1 / Виктор Денисенко // Современные технологии автоматизации. – 2006. – № 4. – С. 66-74.