

ВЫБОР ЗАКОНА РЕГУЛИРОВАНИЯ САР ПЛОТНОСТИ СЛИВА СПИРАЛЬНОГО КЛАССИФИКАТОРА

Орынбет М.М.¹, Султан Б.Е.²

⁽¹⁾к.т.н., ассоц. профессор Сатпаев Университет, Казахстан, г. Алматы, orynbet.marat@mail.ru

⁽²⁾магистрант кафедры “Автоматизации и роботизации” им. Сатпаевского Университета, Казахстан, г. Алматы, sultan_beibars1@mail.ru

Аннотация. Спиральный классификатор представляет собой оборудование для обогащения минералов, которое получает рудный пульп на входе и выполняет гравитационную сепарацию между твердыми частицами руды и водой. Классификатор имеет два выхода: “нижний”, образованный осажденными крупными твердыми частицами и “перелив”, в виде рудной суспензии с мелкодисперсными частицами твердых частиц. Для правильной работы спирального классификатора плотность его перелива должна контролироваться подачей воды для разбавления на входе в классификатор. Даже в настоящее время этот контроль все еще осуществляется вручную из ручных проб плотности перелива, в связи с отсутствием стандартного инструментального решения для данного применения.

Ключевые слова: Спиральный классификатор, закон регулирования, ПИД – регулятор, плотность слива.

CHOICE OF THE LAW OF REGULATION OF THE SAR DENSITY OF THE SPIRAL CLASSIFIER DISCHARGE

Orynbet M.M.¹, Sultan B.E.²

¹ PhD, Associate Professor Satpayev University, Kazakhstan, Almaty, orynbet.marat@mail.ru

² Master's student, Department of "Automation and Robotics" named after Satpayev University, Kazakhstan, Almaty, sultan_beibars1@mail.ru

Abstract. The spiral classifier is a mineral beneficiation equipment that receives ore slurry at the inlet and performs gravity separation between ore solids and water. The classifier has two outlets: a "bottom" outlet, formed by deposited coarse solids, and an "overflow" outlet, in the form of an ore slurry with finely dispersed particulate solids. For proper operation of the spiral classifier, the density of its overflow must be controlled by the dilution water supply at the inlet to the classifier. Even at present, this control is still done manually from manual overflow density samples, due to the lack of a standard instrumental solution for this application.

Keywords: Spiral classifier, control law, PID controller, overflow density.

Введение. Автоматизация технологических процессов является одним из решающих факторов повышения производительности и улучшения условий труда. Повышение производительности труда при современном состоянии техники возможно лишь на основе комплексной механизации и автоматизации производственных процессов. Многие современные технологические процессы без их автоматизации

вообще не могут быть реализованы, что объясняется использованием высоких скоростей, температур, давлений, усложнением конструкций машин, использованием новых источников энергии.

Основным направлением в развитии автоматизации металлургических процессов в настоящее время является применение АСУ ТП, осуществляющих оптимизацию этих процессов. При этом особенно важное значение приобретают качество проектирования и наладки АСУ ТП.

Для создания автоматических систем управления применяются различные технические средства автоматики: контрольно-измерительная аппаратура, разнообразные датчики, усилительные и исполнительные устройства. Вместе с тем следует отметить, что, несмотря на разнообразие технологических процессов и задач управления, более эффективной оказалась концепция универсальных регуляторов и приборов, которые можно использовать для управления самыми различными процессами.

Актуальность темы и постановка задач. Основными задачами автоматизации процесса измельчения и классификации являются: автоматический контроль процесса измельчения и классификации и состояния технологического оборудования, автоматическое регулирование параметров процесса и управление работой машин и механизмов с целью обеспечения установленного качества готовой продукции. Автоматизация управления процессов обогащения усложняется тем, что технологическое оборудование (рабочие поверхности мельниц, ленты конвейеров и др.) в большой степени подвержены износу обрабатываемым материалом.

За последние годы значительно возросли требования к техническому уровню и качеству средств и систем автоматизации. Простейшее программное управление в ряде случаев становится недостаточным для наилучшего ведения производственного процесса и уступает место оптимальному управлению. Вычислительные системы на базе современных ЭМВ являются основными техническими средствами управления производственными процессами.

Выбор закона регулирования АСР плотности слива спирального классификатора

Показатели качества регулирования, определяемые технологическим процессом:

- $\Delta X_{\text{вх.макс.}} = 1,5 \text{ мА}$;
- время регулирования $t_p \leq 95 \text{ с}$;
- динамическое отклонение $\Delta \rho_1 = 0,13 \text{ г/см}^3$;
- статическая ошибка $\Delta \rho_{\text{ст.}} = 0 \text{ г/см}^3$;

- требуемый характер переходного процесса с минимумом интегрального квадратичного критерия.

С Целью подбора закона регулирования (вида регулятора) используем аппроксимацией предмета заключением дифференциального уравнения 1-го порядка с запаздыванием.

Начальные данные с целью установления настроек регулятора представлены в виде:

- данные объекта управления – $K_{об} = 0,2464$ (г/см³)/мА, $T_{об} = 28,97$ с, $\tau_{об} = 16,13$ с;

- требования к качеству переходного процесса в АСР, приведенные выше.

Вид данного регулятора приблизительно выбирается по отношению $\tau_{об}/T_{об}$.

$$\tau_{об}/T_{об} = 16,13/28,97 = 0,557 < 1,$$

В процессе получения необходимого качества переходного процесса (в пределах досягаемости Δp_1 , t_p и $\rho_{ст}$) следует выбрать принцип управления, отсюда необходимо рассчитать динамический коэффициент регулирования.

$$R_d = \frac{\Delta p_1}{K_{об} \Delta X_{вх.макс.}} = \frac{0,13}{0,2464 \cdot 1,5} = 0,352.$$

(1)

Для получения переходного процесса с минимальной интегральной квадратичностью следует выбрать простейший закон управления, чтобы получить значение R_d ниже вычисленного. Тогда чтобы получить $R_d = 0,352$ и $\tau_{об}/T_{об} = 0,557$ необходимо с помощью закона ПИД – регулирования получить подобное значение.

Следующим этапом будет произвести проверку, для того чтобы узнать гарантирует ли этот регулятор допустимое время регулирования. Целью закона ПИД – регулирования $\frac{t_p}{\tau_{об}} = 5$, получаем время регулирования $t_p = 5 \cdot \tau_{об} = 5 \cdot 16,13 = 80,65$ с, что меньше допустимого времени регулирования $t_p = 95$ с.

Полученный закон управления обеспечит отсутствие статической ошибки, т.е. $\Delta p_{ст} = 0$.

В итоге был выбран закон ПИД – регулирование.

Спецификация опций регулятора АСР плотности слива спирального классификатора

Вычисление опций регулятора способен осуществляться соответствующими методами:

- графоаналитическим на основе АФХ объекта и М-критерия (показателя колебательности);

- по расширенным АФХ;

- по приближенным формулам;

- при помощи математического моделирования.

Настроить ПИД-регулятор можно согласно приближённым формулам для процесса с минимальной интегральной квадратичностью критерия которые имеют следующие значения:

$$K_p = 1,4 \frac{T_{об}}{K_{об} \cdot \tau_{об}} = 1,4 \frac{28,97}{0,2464 \cdot 16,13} = 10,2 \frac{\text{мА}}{(\text{г/см}^3)},$$

(2)

$$T_i = 1,3 \cdot \tau_{об} = 1,3 \cdot 16,13 = 20,97\text{с},$$

(3)

$$T_d = 0,5 \cdot \tau_{об} = 0,5 \cdot 16,13 = 8,065\text{с}.$$

(4)

С помощью MATLAB был построен одноконтурная система автоматического регулирования, данная модель представлена на рисунке 1.

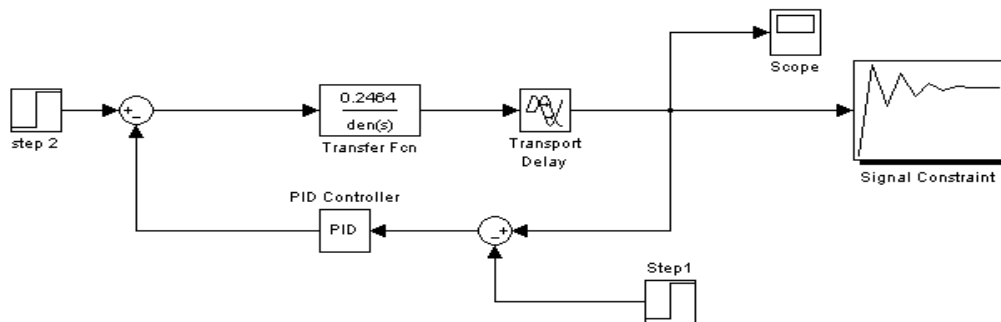


Рисунок 1 – Модель одноконтурной системы автоматического регулирования для оптимизации настроек ПИД-регулятора

Для задания настроек встроенного в Simulink ПИД-регулятора необходимо перевести значения времени интегрирования и времени предварения в значения коэффициентов интегральной и дифференциальной составляющих ПИД-закона регулирования:

- коэффициент пропорциональной составляющей $K_n = K_p = 10,2 \frac{\text{мА}}{(\text{г/см}^3)}$;

- коэффициент интегральной составляющей $K_i = K_p/T_i = 0,478 \frac{\text{мА}}{(\text{г/см}^3) \cdot \text{с}}$;

- коэффициент дифференциальной составляющей $K_d = K_p \cdot T_d = 82,263 \frac{\text{мА} \cdot \text{с}}{(\text{г/см}^3)}$.

При задании в командной строке MATLAB значений коэффициентов, составляющих закона регулирования:

$$K_p=10.2;K_i=0.478;K_d=82.263$$

и моделировании в Simulink получается переходной процесс, изображённый на рисунке 2.

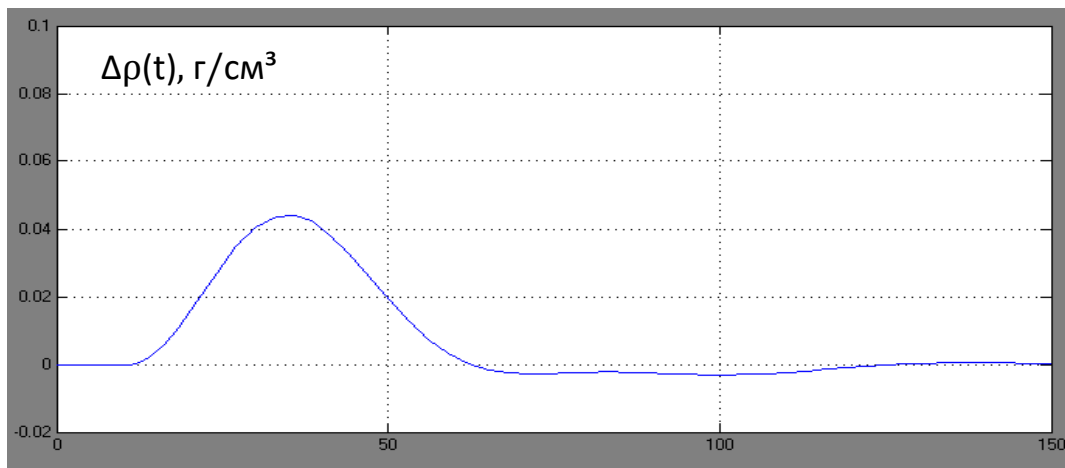


Рисунок 2 – Переходной процесс при внешнем ступенчатом воздействии 0,5 мА при исходных настройках регулятора: $K_p = 10,2 \text{ мА}/(\text{г}/\text{см}^3)$, $T_u = 20,97 \text{ с}$, $T_d = 8,065 \text{ с}$

Для оптимизации настроек регулятора необходимо в блоке Signal Constraint задать t, c ограничения на вид переходного процесса (рисунок 3), указать параметры K_p , K_i и K_d в качестве настраиваемых. После этого можно запустить процесс оптимизации.

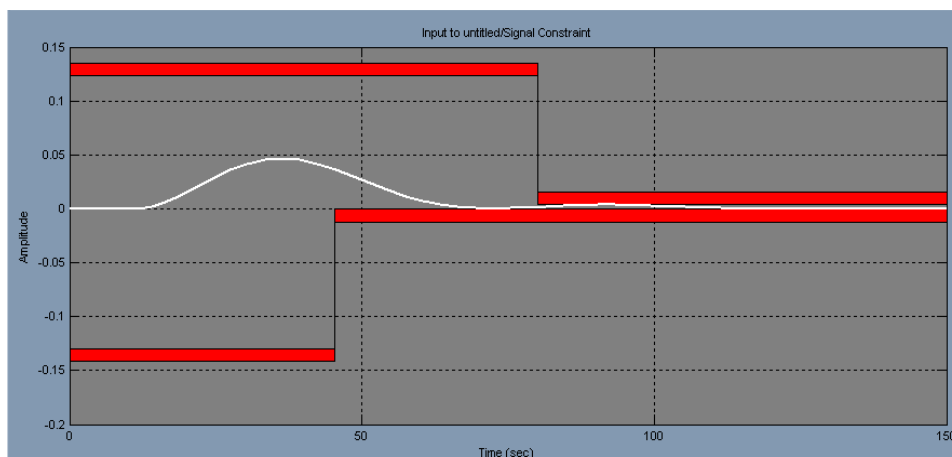


Рисунок 3 – Оптимизация параметров регулятора в блоке Signal Constraint пакета SimulinkResponseOptimization

В результате получается переходный процесс, изображённый на рисунке 4.

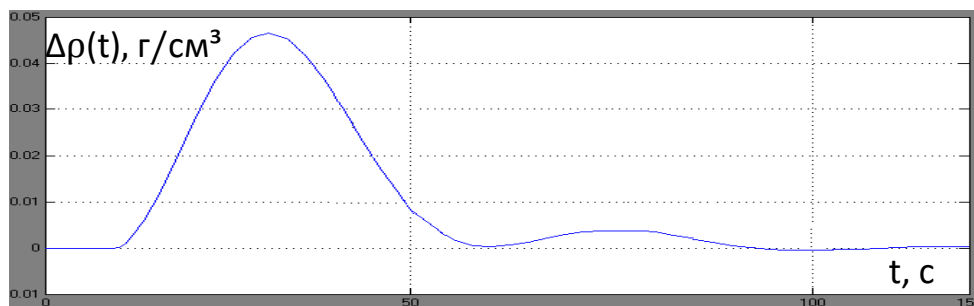


Рисунок 4 – Переходной процесс при внешнем ступенчатом воздействии 0,5 мА при оптимальных настройках регулятора: $K_p = 10,2858 \text{ мА}/(\text{г}/\text{см}^3)$, $T_u = 29,555 \text{ с}$, $T_d = 5,818 \text{ с}$

Для получения значений настроек регулятора в командной строке MATLAB вводится команда:

```
>>Kp,Ki,Kd.
```

В результате в рабочее окно будут выведены оптимизированные значения настроек регулятора:

$K_i = 0.3454;$

$K_d = 59.3922;$

$K_p = 10.2858.$

В результате оптимизации были получены следующие настройки ПИД-регулятора:

- коэффициент усиления регулятора: $K_p = 10,2858 \text{ мА}/(\text{г}/\text{см}^3);$

- время изодрома $T_n = \frac{K_p}{K_i} = 29,555 \text{ с};$

- время предварения $T_d = K_d/K_p = 5,818 \text{ с}.$

Таким образом, в данном разделе проекта выполнен расчет АСР плотности слива спирального классификатора, выполнена аппроксимация объекта дифференциальным уравнением второго порядка с запаздывающим аргументом. На основании расчетов выбран ПИД-регулятор непрерывного действия, определены оптимальные настройки регулятора ($K_p = 10,2858 \text{ мА}/(\text{г}/\text{см}^3)$, $T_n = 29,555 \text{ с}$, $T_d = 5,818 \text{ с}.$) и выполнена проверка настроек на оптимальность. Разработанная АСР исследована на устойчивость и робастность.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРА:

1. *Лапаев И. И., Буралков А. А. Автоматизация технологических процессов металлургических предприятий: Учебно - методическое пособие/ ГАЦМиЗ.- Красноярск, 1998.*

2. *Автоматизация управления обогатительными фабриками [Текст]: уч.пособ./ Б.Д. Кошарский, А.Я. Ситковский, А.В. Красномовец и др. – Изд. 2-е, перераб. и доп. М.: "Недра", 1977.*

3. *Дробление, измельчение и подготовка руд к обогащению: учеб. пособие/ М.В. Верхотуров, Л.П. Пехова, Т.А. Колесникова; ГОУ ВПО «Государственный университет цветных металлов и золота». – Красноярск, 2005.*

5. *Автоматизация обогатительных фабрик: учебное пособие/ Г.А. Хан, В.П. Картушин, Л.В. Сорокер, Д.А. Скрипчак М.: «Недра», 1974.*

6. *Теория автоматического управления: учеб. для вузов / В.Н. Брюханов, М.Г. Косов, С.П. Протопопов и др., Под ред. Ю.М. Соломенцева. – 3-е изд., стер. – М.: Высш. шк.; 2000.*

7. *А.С.Клюев. Проектирование систем автоматизации. Справочное пособие. - М.: Энергоатомиздат, 1990.*

8. *В. В. Черенков. Промышленные приборы и средства автоматизации. Справочник. - Л.: Машиностроение, 1989*

9. *А. С. Клюев. Техника чтения схем автоматического управления и технологического контроля. - М.: Энергоатомиздат, 1991.*

10. *А. А. Шарков. Автоматическое регулирование и регуляторы. - М.: Недра1990.*