

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ



**НАУКОВІ ПРАЦІ
ДОНЕЦЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО
ТЕХНІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ**

*Серія: “Обчислювальна техніка
та автоматизація”*

№ 2(27) '2014

Донецьк
2014

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

**НАУКОВІ ПРАЦІ
ДОНЕЦЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО
ТЕХНІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ**

***Серія: “Обчислювальна техніка
та автоматизація”***

Всеукраїнський науковий збірник

Заснований у липні 1998 року

Виходить 2 рази на рік

№ 2(27) '2014

**Донецьк
2014**

Друкується за рішенням Вченої ради державного вищого навчального закладу «Донецький національний технічний університет» (протокол № 6 від 20.06.2014).

У збірнику опубліковано статті науковців, аспірантів, магістрів та інженерів провідних підприємств і вищих навчальних закладів України, в яких наведено результати наукових досліджень та розробок, виконаних у 2013-2014 роках згідно напрямків: автоматизація технологічних процесів, комп'ютерні інформаційні технології, інформаційно-вимірювальні системи, електронні і мікропроцесорні прилади.

Матеріали збірника призначено для викладачів, наукових співробітників, інженерно-технічних робітників, аспірантів та студентів, що займаються питаннями розробки і використання автоматичних, комп'ютерних і електронних систем.

Засновник та видавець – Донецький національний технічний університет.

Редакційна колегія: О.А. Мінаєв, чл-кор. НАН України, д-р техн. наук, проф., головний редактор; Є.О. Башков, д-р техн. наук, проф., заступник головного редактора; Є.Б. Ковальов, д-р техн. наук, проф., відп. секретар випуску; Ахім Кінле д-р техн. наук, проф.; Іван Тауфер д-р техн. наук, проф.; А.А. Зорі, д-р техн. наук, проф.; О.Г. Воронцов, д-р техн. наук, проф.; Ю.О. Скобцов, д-р техн. наук, проф.; Н.І. Чичикало, д-р техн. наук, проф.; М.М. Заблудський, д-р техн. наук, проф.; В.В. Турупалов, канд. техн. наук, проф.; К.М. Маренич, канд. техн. наук, проф.; О.В. Хорхордін, канд. техн. наук, доц.; М.Г. Хламов, канд. техн. наук, доц.; Б.В. Гавриленко, канд. техн. наук, доц.

Свідцтво про державну реєстрацію друкованого засобу масової інформації: серія КВ № 7376 від 03.06.2003.

Збірник включено до переліку наукових фахових видань України, в яких можуть публікуватися результати дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів доктора і кандидата наук (затверджено постановою президії ВАК України № 1-05/5 від 01. 07. 2010 р., надруковано в бюлетені ВАК №7, 2010).

Збірник включено до бібліографічної бази даних наукових публікацій Російський індекс наукового цитування (РІНЦ) (http://elibrary.ru/title_about.asp?id=38108)

ЗМІСТ

	Стор.
Розділ 1 Автоматизація технологічних процесів	5
Мироненко Л.П. Два новых метода доказательства фундаментальных пределов в математическом анализе	6
Руссиян С.А. Оцінка ефективності замикання пошкодженої фази мережі на землю як засобу підвищення електробезпеки дільничої мережі шахти напругою 3 (3,3) кВ	11
Скоробогатова И.В., Бирюков А.Б., Гавриленко Б.В., Неежмаков С.В., Гнителиев П.А. Экспериментальное исследование энергосберегающих режимов в камерной печи	19
Ставицький В.М. Математична модель розгалуженої конвеєрної лінії	27
Федюн Р.В., Пихно Э.В. Математическая модель полета конвертоплана	36
Федюн Р.В., Табаленкова Т.В., Попов В.А. Автоматизация процесса химической очистки воды ТЭС	45
Ченгарь О.В. Метод Парето-оптимизации производственного расписания на основе «направленного» муравьиного алгоритма	54
Чернышев Н.Н., Волуева О.С. Компенсация застатания канала дозирования жидкого металла в системе управления уровнем металла в кристаллизаторе МНЛЗ	62
Розділ 2 Інформаційні технології та телекомунікації	70
Климаш М.М., Красько О.В., Максимюк Т.А. Метод спектрально-часового мультиплексування інформаційних потоків в оптичних мережах доступу	71
Сахаров В.И., Сахарова С.В. Экономичный Ethernet доступ на микроконтроллере	80
Світлична В.А., Землянська С.Ю., Гавенко С.С. Метод розподілу обслуговуючих робіт при виконанні замовлень	85
Серов Ю.О., Матієшин Л.М. Проблеми функціонування веб-сайтів міських рад невеликих міст України	94
Скрупський С.Ю., Доля А.С. Фрактальне ущільнення відеоінформації у розподілених комп'ютерних системах	101
Стрихалюк Б.М., Шпур О.М., Селюченко М.О. Визначення доступності програмних комплексів з сервісно-орієнтованою архітектурою	109
Ткаченко Н.О., Воропаєва В.Я. Алгоритм роботи інформаційно-пошукової системи зі зворотним зв'язком	120
Федоров Е.Е. Метод синтеза вокальных звуков речи по эталонным образцам на основе саундлетов	127
Червінська Н.В., Клімов І.О., Ігнатенко Є.Г. Аналіз дослідження протоколів маршрутизації для бездротових AD-HOC мереж	138
Шаховська Н.Б., Болюбаш Ю.Я., Верес О.М. Організація великих даних у розподіленому середовищі	147
Шрамко Н.А., Молоковський И.А., Турупалов В.В. Исследование влияния помех при распространении радиоволн в условиях ограниченного пространства	156

Щербов І.Л., Воропаєва В.Я., Вашакідзе Г.А. Алгоритм прийняття ризику з метою забезпечення безпеки ТКС	164
Розділ 3 Інформаційно-вимірювальні системи, електронні та мікропроцесорні прилади	174
Куценко В.П. Оцінка комплексних узагальнених величин спрямованого хвильовідного відгалужувача з використанням нечіткої логіки	175
Лактионов И.С., Вовна А.В. Способ уменьшения дополнительной погрешности измерителя влажности почвы оранжерей ботанического сада	183
Поздняков Е.К. Исследование входных параметров метода определения дальности в многопозиционных пассивных системах при помощи функций чувствительности	192
Соломічев Р.І. Дослідження двопроменевого оптико-абсорбційного вимірювача концентрації дисперсності пилу в умовах вугільних шахт	200
Соломичева С.В. Обоснование выбора пьезоэлектрического преобразователя измерительного канала контроля уровня жидкости в барабане котла	209
Цололо С.О. Оптимізація схеми автомата мура в базисі FPGA	220

Розділ 1

Автоматизація технологічних процесів

УДК 681.5:661.2

Н.Н. Чернышев (канд. техн. наук, доц.), О.С. Волуева
ГБУЗ «Донецкий национальный технический университет», г. Донецк
кафедра автоматики и телекоммуникаций
e-mail: cnn@donntu.edu.ua, voluevaos@gmail.com

КОМПЕНСАЦИЯ ЗАРАСТАНИЯ КАНАЛА ДОЗИРОВАНИЯ ЖИДКОГО МЕТАЛЛА В СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ УРОВНЕМ МЕТАЛЛА В КРИСТАЛЛИЗАТОРЕ МНЛЗ

Рассматривается система управления уровнем металла в кристаллизаторе МНЛЗ при помощи стопорного механизма. Используется принцип подчиненного управления с ПИ-законом регулирования и компенсацией интегрального насыщения. Улучшение качества регулирования в процессе разливки достигается за счет компенсации зарастания канала дозирования жидкого металла в кристаллизатор МНЛЗ. Методом компьютерного моделирования установлено, что компенсация отклонения расходной характеристики дозирующего устройства, в результате накопления неметаллических отложений в канале, позволяет в 2 раза уменьшить отклонение уровня металла в кристаллизаторе от заданного значения при изменении скорости разливки.

Ключевые слова: уровень металла, кристаллизатор, неметаллические включения, дозирование металла, математическая модель, компенсатор.

Актуальность

Высокая стабильность уровня металла в кристаллизаторе машины непрерывного литья заготовок (МНЛЗ) является необходимым условием получения металла высокого качества. [1,2]. Однако этот процесс подвержен влиянию возмущений, среди которых наиболее значимыми являются [1,3]:

- изменение скорости втягивания;
- нелинейность характеристик элементов системы;
- зарастание стакана-дозатора и погружного стакана;
- размывание и разбивание стакана-дозатора.
- конструктивно обусловленные возмущения: забивания, люфты и т.п.
- волновые явления на поверхности металла в кристаллизаторе.

Для ослабления влияния возмущающих воздействий на уровень металла применяются комбинированные САУ, основанные на компенсации контролируемого возмущения и обратной связи по регулируемой переменной. В работах [4,5] рассмотрены методы уменьшения воздействия первых двух возмущений. Анализ работы МНЛЗ показал, что зарастание канала дозирования жидкого металла (состоящего из стакана-дозатора и погружного стакана) является серьезной проблемой, поскольку при длительной разливке происходит уменьшение его рабочего диаметра. Слой отложений влияет на характер потока металла через дозирующее устройство, формирует несимметричный поток в кристаллизаторе и в целом создает дополнительные производственные проблемы, ухудшение качества продукции, возникает угроза отрыва неметаллических включений и загрязнения слитка. Кроме того, это влияет на работу системы управления, поскольку изменяется расходная характеристика канала дозирования и существенно ограничивается максимальный расход металла в кристаллизатор [6]. Поэтому учет степени зарастания погружного стакана для коррекции управляющих воздействий формируемых системой автоматического управления уровнем металла в кристаллизаторе МНЛЗ является актуальной задачей.

Цель и задачи исследования

Целью исследования является повышение качества управления в системе автоматического поддержания уровня в кристаллизаторе МНЛЗ за счет учета степени застывания канала дозирования жидкого металла в процессе разлива.

Для достижения данной цели необходимо решить следующие задачи:

1. При определении сигнала компенсации учесть степень застывания канала подачи жидкого металла.
2. Разработать алгоритм автоматического определения коэффициента компенсатора с учетом параметров расходной характеристики дозирующего устройства.

Комбинированная система управления уровнем металла

Для поддержания уровня металла в кристаллизаторе в работах [4,5,7] предложена структура системы управления, представленная на рис. 1. Для компенсации неконтролируемых возмущений, используется обратная связь по регулируемым переменным – уровень металла и перемещение штока гидроцилиндра.

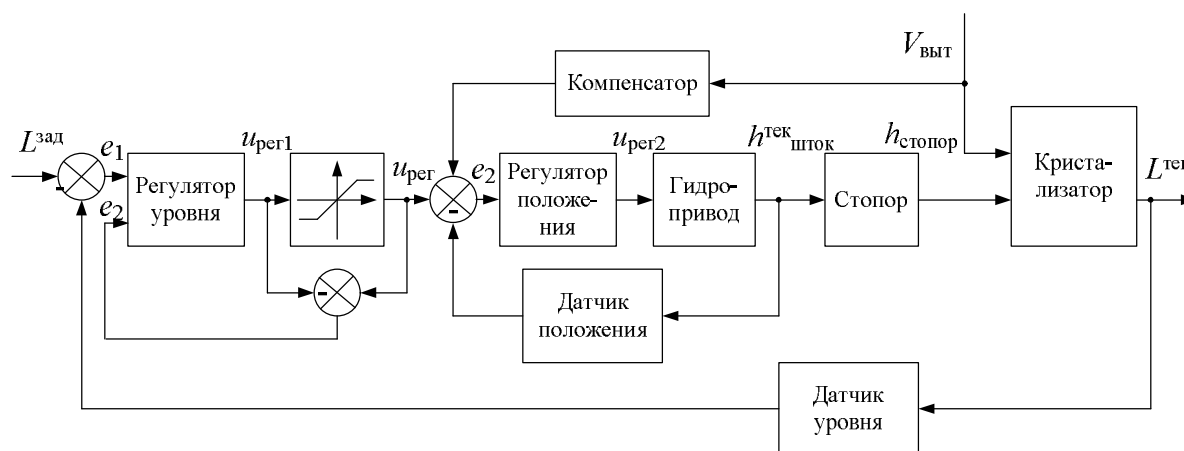


Рисунок 1 – Функциональная схема комбинированной системы регулирования уровня металла в кристаллизаторе

При синтезе компенсатора скорости вытягивания заготовки тянущей клетью, применялся принцип инвариантности, который заключается в том, что отклонение выходной переменной от заданного значения должно быть равно нулю при любых задающих или возмущающих воздействиях [8,9]. Однако, на практике полная инвариантность оказывается практически не осуществимой по ряду причин, одна из них - это физическая нереализуемость «идеального» компенсатора. Поэтому часто ограничиваются частичной инвариантностью (использованием статических моделей). На основании этого допущения в работе [4] найден «статический» компенсатор, который рассчитывается по формуле:

$$W_{\text{компенсатор}}(0) = h_{\text{шток}}(0)/V_{\text{выт}}(0) = k_{\text{компенсатор}} = k_{\text{выт}} S_{\text{кр}} k_{\text{рас}}^{-1}, \quad (1)$$

где $h_{\text{шток}}$ – перемещение штока, мм;

$V_{\text{выт}}$ – скорость вытягивания слитка, м/мин;

$k_{\text{выт}}$ – коэффициент пересчета размерности, мин/с.;

$S_{\text{кр}}$ – площадь сечения кристаллизатора, м²;

$k_{\text{рас}}$ – коэффициент расхода, (кг/с)/мм.

Поскольку застывание внутренней полости погружного стакана и стакана дозатора приводит к изменению расходной характеристики, а значит изменяется коэффициент передачи $k_{\text{рас}}$ по каналу «высота подъема стопора – расход металла в кристаллизатор», следовательно, необходимо учесть это изменение и пересчитывать коэффициент компенсатора. Сделать это можно, если известна расходная характеристика, которая соответствует текущей пропускной способности канала дозирования металла.

Оценка степени зарастания канала подачи жидкого металла

В работах [6,10] представлена методика определения расходной характеристики в системе дозирования металла при помощи стопорной системы [7]. В начале работы МНЛЗ снимается исходная («эталонная») расходная характеристика стопорной системы и сохраняется в базе данных. Через определенные промежутки времени на основе данных измерений скорости вытягивания заготовки, уровня металла и линейного перемещения стопора вычисляется текущая расходная характеристика в рабочей области. Затем определяется степень ее несоответствия исходной (рис. 2).

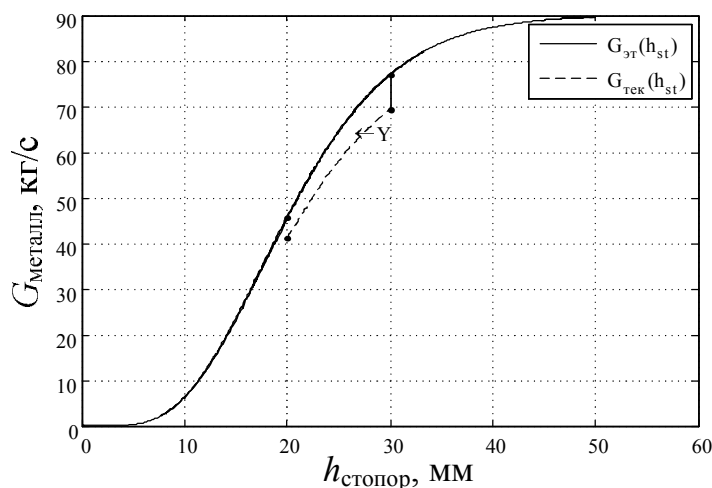


Рисунок 2 - Определение степени несоответствия исходной и текущей расходной характеристики стопорной системы

Зная текущие значения величины поднятия стопора и расхода металла в кристаллизатор можно определить актуальное значение коэффициента $k_{\text{рас}}^{\text{акт}}$ по формуле:

$$k_{\text{рас}}^{\text{тек}}(i) = G_{\text{металл}}^{\text{тек}}(i) / h_{\text{стопор}}^{\text{тек}}(i), \quad i=1,2,3\dots \quad (2)$$

где $G_{\text{металл}}^{\text{тек}}$ – расход металла из промковша в кристаллизатор на i -м такте измерения, кг/с;
 $h_{\text{стопор}}^{\text{тек}}$ – высота подъема стопора на i -м такте измерения, мм.

Подставляя полученное значение $k_{\text{рас}}^{\text{тек}}$ в формулу (1) получим формулу для «динамического» компенсатора:

$$k_{\text{компенсатор}}(i) = k_{\text{выт}} S_{\text{кр}} (k_{\text{рас}}^{\text{тек}}(i))^{-1}, \quad (3)$$

для расчета значения коэффициента компенсатора с учетом параметров реальной расходной характеристики дозирующего устройства

Моделирование переходных процессов в системе управления

С учетом предложенных методов оценки степени зарастания канала подачи жидкого металла и определения коэффициента компенсатора на основе измерений основных технологических параметров процесса производства непрерывнолитых заготовок разработана имитационная модель, структурная схема которой приведена на рис. 3.

Схема включает в свой состав: ПИ регулятор уровня с противонасыщением [5], систему автоматического управления перемещением штока гидроцилиндра [3], модель стопора и кристаллизатора [3], а так же систему “«Динамический» компенсатор” реализующую определение текущих значений расхода металла в кристаллизатор $G_{\text{металл}}$, коэффициента передачи $k_{\text{рас}}$ и сигнала компенсации, который складывается с сигналом, формируемым регулятором уровня. Разработанная модель позволяет исследовать переходные процессы в системе управления по уровню, перемещению стопора без компенсатора, со «статическим» или «динамическим» компенсатором изменения скорости вытягивания заготовки с помощью блока «Управляемый переключатель».

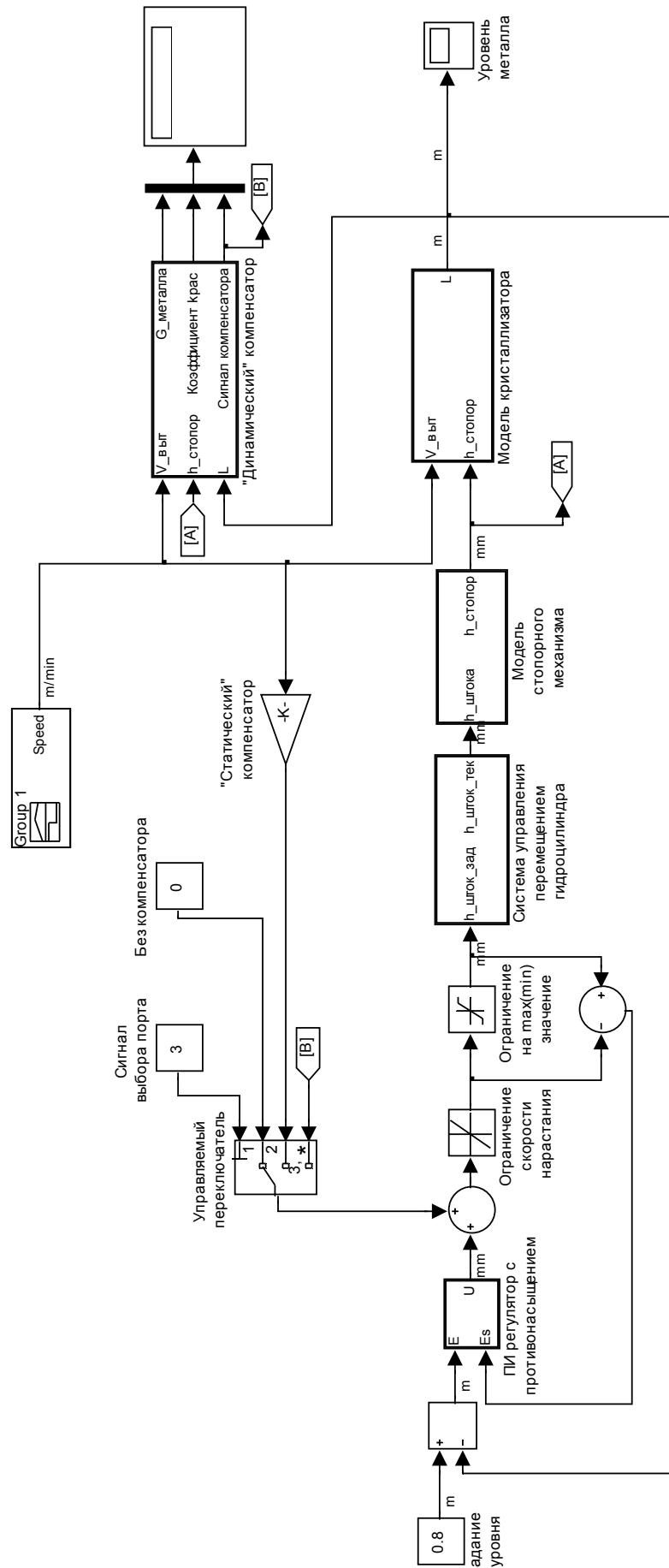


Рисунок 3 – Схема моделирования комбинированной системы управления уровнем металла в кристаллизаторе с учетом степеней зарастания канала подачи жидкого металла

В результате моделирования системы управления уровнем металла в кристаллизаторе были получены графики переходных процессов, представленные на рис. 4 и 5.

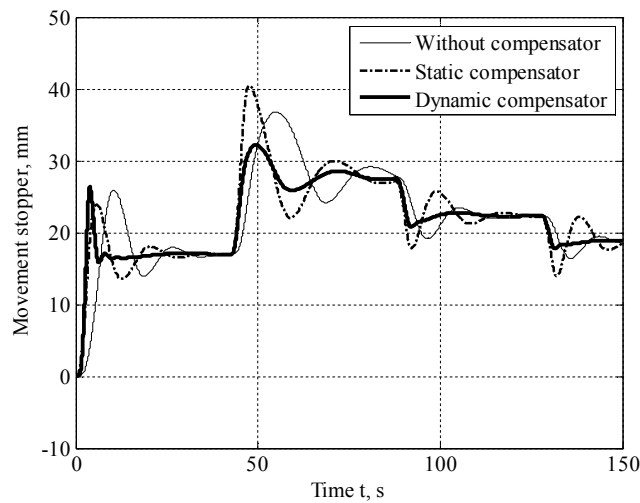


Рисунок 4 – График перемещения стопора при изменении скорости вытягивания заготовки

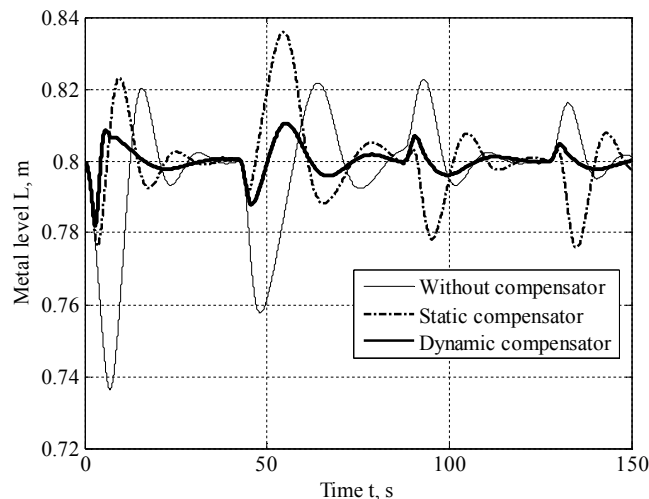


Рисунок 5 – График уровня металла при изменении скорости вытягивания заготовки

В качестве показателя оценки качества переходных процессов в системе использовано среднеквадратическое отклонение уровня от заданного значения[11]:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{k=1}^n (L_k^{\text{ист}} - L_k^{\text{зад}})^2}, \quad k=1, 2, \dots, n, \quad (4)$$

где $L_k^{\text{зад}}$ – k -е значение требуемого уровня металла в кристаллизаторе, м;
 $L_k^{\text{ист}}$ – k -е действительное значение уровня металла в кристаллизаторе, м;
 n – объем выборки.

Получены следующие значения СКО:

- без применения компенсатора, $\sigma = 0,0163$;
- «статический» компенсатор, $\sigma = 0,0111$;
- «динамический» компенсатор, $\sigma = 0,0039$.

Анализ полученных результатов позволяет сделать вывод, что использование комбинированной системы регулирования с учетом степени застоя канала дозирования, при расчете сигнала компенсации, позволяет уменьшить среднеквадратическое отклонение уровня от заданного значения в 2,5 раза по сравнению с системой без учета степени

зарастания канала дозирования и в 4 раза по сравнению с системой, которая построена по принципу обратной связи.

Выводы

1. Для определения текущего вида расходной характеристики дозирующего устройства в процессе разлива предложен метод, основанный на прямых измерениях уровня, скорости вытягивания заготовки и линейного перемещения стопорного механизма.

2. Разработана структурная схема комбинированной системы регулирования уровнем металла в кристаллизаторе непрерывной машины литья заготовок с учетом изменения параметров расходной характеристики дозирующего устройства.

3. Методом компьютерного моделирования установлено, что разработанная модификация системы автоматического регулирования обеспечивает уменьшение амплитуды отклонения уровня металла в кристаллизаторе в 3 раза по сравнению с существующей при изменении скорости вытягивания заготовки.

Список использованной литературы

1. Смирнов А.Н. Непрерывная разливка стали: Учебник / А.Н. Смирнов, С.В. Куберский, Е.В. Штепан. – Донецк: ДонНТУ, 2011. – 482 с.
2. Дюдкин Д.А. Производство стали. Непрерывная разливка металла. Т. 4 / Д.А. Дюдкин, В.В. Кисиленко, А.Н. Смирнов. - М.: Теплотехника, 2009. - 528 с.
3. Чернышев Н.Н. Синтез математической модели системы автоматического регулирования уровнем металла в кристаллизаторе / Н.Н. Чернышев; гол. ред. В.Ф.Євдокимов // Збірник наукових праць «Моделювання та інформаційні технології»; Інститут проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова. – 2012. – Випуск 65. – С. 195-202.
4. Чернышев Н.Н. Комбинированная система автоматического регулирования уровнем металла в кристаллизаторе / Н.Н. Чернышев // Наукові праці ДонНТУ. Сер. Обчислювальна техніка та автоматизація. – 2013. – Випуск 2(25). – С. 72-78.
5. Волуева О.С. Компенсация эффекта интегрального насыщения регулятора в системе управления уровнем металла в кристаллизаторе МНЛЗ / О.С. Волуева // Наукові праці ДонНТУ. Сер. Обчислювальна техніка та автоматизація. – 2013. – Випуск 2(25). – С. 13-20.
6. Ткаченко В.Н. Оценка степени зарастания канала дозирования жидкого металла в кристаллизатор МНЛЗ / В.Н. Ткаченко, Н.Н. Чернышев, О.С. Волуева // Науково-технічний журнал «Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті». – 2014. - №2(105). – С. 43-47.
7. Волуева О.С. Система регулирования положения стопорной системы промковша машины непрерывного литья заготовок / О.С. Волуева // Науковий вісник Чернівецького національного університету імені Юрія Федьковича. Серія: Комп'ютерні системи та компоненти. – 2013. – Т.3, випуск 2. – С. 74-78.
8. Чернышев Н.Н. Синтез компенсаторов для комбинированных систем автоматического регулирования / Н.Н. Чернышев // Збірник наукових праць ДонІЗТ. Серія Автоматика, телемеханіка, зв'язок. – 2012. – Випуск 32. – С. 52-57.
9. Жукова Н.В. Исследование комбинированных методов управления нелинейными неустойчивыми механическими объектами / Н.В. Жукова, Д.А. Панкин // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: “Обчислювальна техніка та автоматизація”. – 2009. - Випуск 147(16). – С. 7-13.
10. Волуева О.С. Основные функции компьютерной системы управления процессом непрерывной разливки стали / О.С. Волуева, В.М.Ткаченко, А.О.Іванова // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: “Обчислювальна техніка та автоматизація”. – 2005. - Випуск 88. – С. 63-69.

11. Бесекерский В.А. Теория систем автоматического управления: учебное пособие / В.А. Бесекерский, Е.П. Попов. - [4-е изд., перераб. и доп.]. - СПб: Изд-во «Профессия», 2003. – 752 с.

References

1. Smirnov, A.N., Kuberskij, S.V. and Shtepan, E.V. (2011), *Nepreryvnaja razlivka stali* [Continuous casting of steel], DonNTU, Doneck, Ukraine.
2. Djudkin, D.A., Kisilenko, V.V. and Smirnov, A.N. (2009), *Proizvodstvo stali. Tom 4. Nepreryvnaja razlivka metalla* [Steel production. Volume 4. Continuous casting], Teplotekhnika, Moscow, Russia.
3. Chernyshev, N.N. (2012), “The synthesis a mathematical model of the automatic control system metal level in the mold”, *Zbirnik naukovih prac' «Modeljuvannja ta informacijni tehnologii» Institut problem modeljuvannja v energetici im. G.E. Puhova*, no. 65, pp. 195-202.
4. Chernyshev, N.N. (2013), “Combined system of automatic control metal level in the mold”, *Naukovi praci Donec'kogo nacional'nogo tehnicnogo universytetu. Serija: «Obchysljuval'na tehnika ta avtomatyzacija»*, no. 2(25), pp. 72-78.
5. Volueva, O.S. (2013), “Compensation of the PI-controller Integral Windup in the Mold Level Control System for Continuous Casting Machine”, *Naukovi praci Donec'kogo nacional'nogo tehnicnogo universytetu. Serija: «Obchysljuval'na tehnika ta avtomatyzacija»*, no. 2(25), pp. 13-20.
6. Tkachenko, V.N., Chernyshev, N.N. and Volueva, O.S. (2014), “The estimation of healing of the channel for dispensing hot metal into continuous casting machine mold” / *Naukovo-tehnicnij zhurnal «Informacijno-kerujuchi sistemi na zaliznichnomu transporti» Ukraïns'ka derzhavna akademija zaliznichnogo transportu*, no. 2(105), pp. 43-47.
7. Volueva, O.S. (2013), “Control system of the tundish stopper system’s moving for continuous casting machine”, *Naukovij visnik Chernivec'kogo nacional'nogo universitetu imeni Jurija Fed'kovicha. Serija: «Komp'juterni sistemi ta komponenti»*, vol. 3, no. 2, pp.74-78.
8. Chernyshev, N.N. (2012), “The synthesis compensators for combined automatic control systems”, *Zbirnik naukovih prac' Donetskyi instytut zaliznychnoho transportu. Serija: «Avtomatika, telemehanika, zv'jazok»*, no. 32, pp. 52-57.
9. Zhukova, N.V. and Pankin, D.A. (2009), “Research of multifunction control methods for nonlinear unstable mechanical objects”, *Naukovi praci Donec'kogo nacional'nogo tehnicnogo universytetu. Serija: «Obchysljuval'na tehnika ta avtomatyzacija»*, no. 147(16), pp. 7-13.
10. Volueva, O.S., Tkachenko, V.M. and Ivanova, A.O. (2005) “The basic functions of the computer-based continuous steel casting process control system”, *Naukovi praci Donec'kogo nacional'nogo tehnicnogo universytetu. Serija: «Obchysljuval'na tehnika ta avtomatyzacija»*, no. 88, pp.63-69 .
11. Besekerskij, V.A. and Popov, E.P. (2003) *Teorija sistem avtomaticheskogo upravlenija: Uchebnoe posobie*. [Theory of automatic control systems: Tutorial], 4th ed., «Professija», St. Petersburg, Russia.

Надійшла до редакції:
30.04.2014

Рецензент:
д-р техн. наук, проф. Ткаченко В.М.

М.М. Чернишев, О.С. Волуєва

ДВНЗ «Донецький національний технічний університет»

Компенсация заростания канала дозирования рідкого металу в системі управління рівнем металу в кристалізаторі МБЛЗ. Розглядається система регулювання рівня металу в кристалізаторі МБЛЗ за допомогою стопорного механізму. Використовується принцип

підпорядкованого управління з ПІ - законом регулювання та противонасиченням. Поліпшення якості регулювання в процесі розливання досягається за рахунок компенсації заростання каналу дозування рідкого металу в кристалізатор МБЛЗ. Методом комп'ютерного моделювання встановлено, що компенсація відхилення витратної характеристики дозуючого пристрою в результаті накопичення неметалічних відкладень в каналі дозволяє в 2 рази зменшити відхилення рівня металу в кристалізаторі від заданого значення при зміні швидкості розливки.

Ключові слова: рівень металу, кристалізатор, неметалеві включення, дозування металу, математична модель, компенсатор.

N.N. Chernyshev, O.S. Volueva

Donetsk National Technical University

Nozzle clogging compensation in metal level control system for CCM. The metal level control system for continuous casting machine mold with stopper dosing mechanism is considered in this paper. A cascade control system based on principles of controllable disturbances compensation and feedback is used to decrease disturbance effect on the mold level. The invariance principle was applied during the synthesis of compensator for casting speed (withdrawal-roll set speed). The PI-controller with integral windup compensation is used as the level controller. Nozzle clogging is a serious productivity and quality problem in continuous casting of steel. The consequences of clogging include: quality decrease because of ingot pollution by non-metallic inclusions, productivity decrease, costs increase. Therefore, a method for estimating the degree of nozzle clogging during the continuous casting process based on direct measurement of level, casting speed and linear movement of the stopper mechanism is proposed. The regulation quality enhance is achieved by considering the degree of nozzle clogging during computation of compensation signal. Computer simulations established that compensation of deviations dosing system's consumption characteristic because of the buildup of non-metallic inclusions in the flow passage between tundish and mold allows reducing the metal level deviation in the mold from setpoint. The root-mean-square parameter was applied as a performance criterion of the proposed development.

Keywords: metal level, mold, nonmetallic inclusions, metal dosing, mathematical model, compensator.



Чернышев Николай Николаевич, Украина, закончил Донецкий национальный технический университет, канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры автоматики и телекоммуникаций ГВУЗ «Донецкий национальный технический университет» (ул. Артема, 58, г. Донецк, 83001, Украина). Основное направление научной деятельности – автоматизация, компьютерный анализ, проектирование систем управления технологических процессов в промышленности.



Волуева Ольга Сергеевна, Украина, закончила Донецкий национальный технический университет, ассистент кафедры автоматики и телекоммуникаций ГВУЗ «Донецкий национальный технический университет» (ул. Артема, 58, г. Донецк, 83001, Украина). Основное направление научной деятельности – автоматизация, компьютерный анализ, проектирование систем управления технологических процессов в металлургической промышленности.