



## Повышение эффективности управления точностью прокатки профилей на среднесортных станах

*Рассмотрена задача стабилизации средней толщины профилей на среднесортном стане с целью снижения разнотолщинности за счет выбора рационального режима работы автоматической системы регулирования в условиях неполной информации. Ил. 6. Библиогр.: 6 назв.*

**Ключевые слова:** сортовой профиль, разнотолщинность, стабилизация толщины, управление по возмущению, зона нечувствительности, имитационное моделирование системы, эффективность системы

*The problem of stabilization of the average thickness of profiles for medium-section mill to reduce the gage by selecting a rational mode of the automatic control system under conditions of incomplete information was viewed.*

**Keywords:** sectional bar, gage, thickness stabilization, control in the perturbation, dead zone, simulation systems, system efficiency

### Постановка задачи

Рассматривается задача стабилизации толщины сложных профилей проката на среднесортном стане 550 ПАО «ЕВРАЗ-ДМЗ им. Петровского». Влияние большого количества случайных возмущений на толщину профилей, в том числе неподдающихся измерению, в условиях изменения параметров объекта характеризует процесс прокатки, как нестационарный, подверженный случайным воздействиям. Недостаток априорной информации о качественных и количественных взаимосвязях между параметрами процесса приводит к необходимости разработки и усовершенствования алгоритмов идентификации и управления, обеспечивающих на основе минимального объема этой информации построение модели процесса и создание на ее основе эффективной системы управления.

### Состояние вопроса по теме исследования

Причинами разнотолщинности сортового профиля могут быть нестабильность температуры заготовок как от раската к раскату, так и по длине полосы, износ валков, изменение химсостава металла от плавки к плавке и др. [1]. Повышение точности проката является важной задачей, которая в значительной степени определяет удельный расход металла, себестоимость, надежность, массу оборудования и др.

Известно, что отклонение толщины полосы при прокатке определяется уравнением Головина–Симса

$$h = S_0 + \frac{P}{M_k}, \quad (1)$$

где  $\Delta S_0$  – изменение зазора между валками в клети;  $\Delta P$  – изменение усилия прокатки;  $M_k$  – жесткость клети.

Согласно правой части уравнения (1) можно выделить три причины, вызывающие отклонения тол-

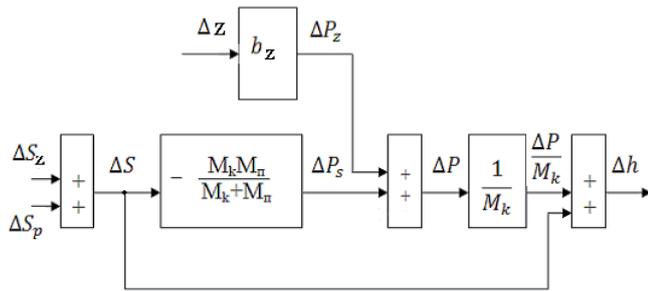
щины от заданного значения: изменение зазора ненагруженных валков; колебания усилия прокатки; изменение жесткости клети. Наиболее трудно поддается описанию изменение усилия прокатки, которое является сложной функцией и зависит от многих случайных факторов, самым существенным из которых является колебание температуры полос [2].

Системы автоматического регулирования размеров проката имеют различные структуры и конструктивные исполнения, однако все они предполагают применение таких способов управления или их комбинаций:

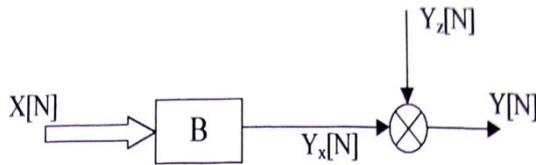
- управление зазором валков (или другим параметром) по отклонению выходного параметра с прямым его измерением;
- управление по отклонению выходного параметра с его измерением по методу Головина–Симса;
- управление по основным возмущениям.

Метод управления по отклонению предполагает либо точное измерение размеров с большим транспортным запаздыванием, либо использование метода косвенного измерения с низкой точностью. Управление по отклонению по методу Головина–Симса приводит к незначительной эффективности систем стабилизации ввиду большой статической ошибки регулирования [3]. При использовании способа управления по возмущению управление протекает с упреждением, что увеличивает эффективность системы, однако она зависит, во-первых, от тесноты связи контролируемых возмущений и исходной величины и, во-вторых, от точности оценок коэффициентов передаточных функций управления.

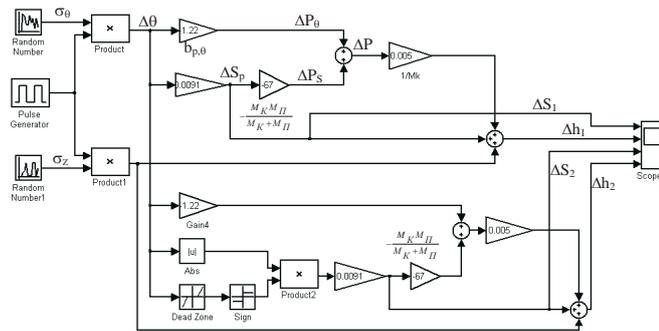
Из работы [4] известно, что системы управления технологическими процессами должны быть системами управления по возмущению, т.к. строгое решение задачи инвариантности в системе регулирования по отклонению в общем случае невозможно. Вместе с тем, полностью инвариантные системы могут быть



**Рис. 1. Модель прокатной клетки:**  $M_k$  – жесткость клетки;  $M_n$  – жесткость полосы;  $b_z$  – коэффициент, определяющий изменение усилия прокатки  $\Delta P_z$  под влиянием возмущений  $\Delta Z$ ;  $\Delta P_s$  – изменение усилия прокатки, вызванное суммарным изменением зазора валков  $\Delta S$ , включающим регулирующее воздействие  $\Delta S_p$  и изменение зазора  $\Delta S_z$  из-за износа и эксцентриситета валков;  $\Delta h$  – отклонение толщины профиля



**Рис. 2. Модель формирования разнотолщинности**



**Рис. 3. Модель АССТ**

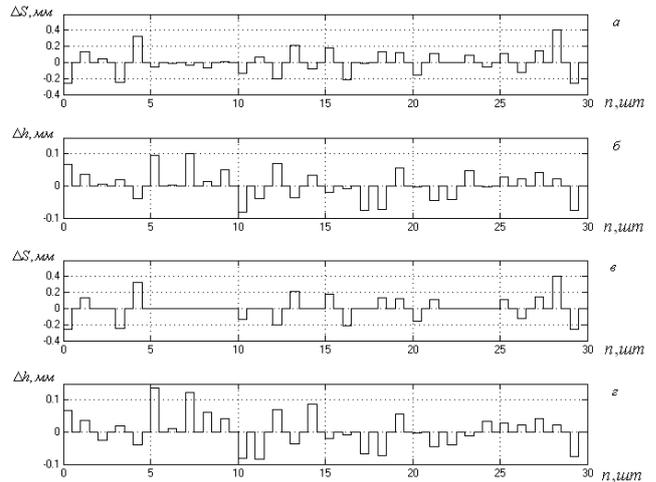
созданы на основе комбинированного способа регулирования. Однако, основной экономический эффект может быть получен за счет компенсации возмущений.

Непосредственно экспериментальное изучение функционирования автоматической системы стабилизации средней толщины (АССТ) часто требует чрезмерно больших затрат средств и времени, а иногда и принципиально невозможно. Так, например, экспериментальное изучение функционирования автоматической системы невозможно до тех пор, пока система не создана. Между тем, необходимо еще на стадии проектирования системы изучить все ее основные свойства, в частности эффективность ее функционирования в различных режимах с учетом всех действующих на нее случайных возмущений.

Изучение функционирования автоматических систем на действующем прокатном производстве вызывает трудности, поэтому целесообразно прибегнуть к статистическому моделированию. Прокатный стан можно отнести к классу линейных моделей, т.к. при налаженном производстве возмущения изменяются в узком диапазоне.

**Формулирование целей статьи**

Целью статьи является исследование АССТ с це-



**Рис. 4. Результаты моделирования управления средней толщиной профиля по температуре:** а – управляющее воздействие; б – отклонение толщины проката (без зоны нечувствительности); в – управляющее воздействие (с зоной нечувствительности, равной 10 °С); г – отклонение толщины проката

лю выбора рациональных режимов ее работы и достижения максимальной эффективности.

**Основная часть**

Учитывая стохастический характер процесса прокатки, при анализе разнотолщинности следует использовать математический аппарат теории вероятности и математической статистики. В качестве характеристики точности прокатки удобно принимать дисперсию отклонения размеров готового профиля. Тогда в качестве показателя эффективности (АССТ) целесообразно использовать отношение компенсируемой при управлении дисперсии толщины к дисперсии последней при отсутствии управления [5]

$$\alpha = D_k / D, \tag{2}$$

где компенсируемая дисперсия  $D_k = D - D_a$ , т.е. разница между дисперсией без управления  $D$  и дисперсией при наличии управления  $D_a$ .

Очевидно, что этот показатель теоретически может принимать значения в пределах от нуля (при  $D = D_a$ ) до единицы (при  $D_a = 0$ ).

В работе [1] показано, что в суммарном диапазоне рассеивания значений толщины проката 50–60 % занимает поле колебаний средней толщины, а 40–50 % – продольная разнотолщинность.

Прокатный стан обычно относят к классу линейных моделей, т.к. при налаженном производстве возмущения изменяются в узком диапазоне. Этот класс моделей является относительно простым с точки зрения идентификации. Описание стана такой моделью базируется на предположении, что на ограниченных интервалах как пространственных, так и временных, условия стационарности и линейности выполняются. Кроме того, построение более сложных моделей не позволяет значительно повысить эффективность из-за влияния помех [3].

В соответствии с (1) и с учетом работы [2] модель клетки можно представить в виде, показанном на рис. 1.

Рассмотрим модель объекта при учете только одного основного возмущения – изменения темпера-

туры подката. Ее модель можно представить в виде

В этом случае суммарная дисперсия толщины

$$\sigma_y^2 = \sigma_{y_x}^2 + \sigma_{y_z}^2 = b^2 \sigma_x^2 + \sigma_{y_z}^2, \quad (4)$$

где  $\sigma_{y_x}^2$  – дисперсия, обусловленная контролируруемыми возмущениями;  $\sigma_{y_z}^2$  – дисперсия выхода, обусловленная помехами.

Оценка коэффициента корреляции

$$r = \sqrt{1 - \sigma_{y_z}^2 / \sigma_y^2} = \sqrt{1 - \sigma_{y_z}^2 / (b^2 \sigma_x^2 + \sigma_{y_z}^2)}. \quad (5)$$

Откуда дисперсия помехи

$$\sigma_{y_z}^2 = b^2 \sigma_x^2 (1 - \hat{r}^2). \quad (6)$$

Модель и результаты имитационного моделирования функционирования подсистемы стабилизации средней толщины проката применительно к стану 550 ПАО «ЕВРАЗ-ДМЗ им. Петровского» в пакете Matlab/Simulink приведены на рис. 3, 4, соответственно.

На основании априорной информации можно выбрать диапазон изменения контролируемого возмущения, существенно не влияющего на выход, поскольку уровень влияния помех соизмерим с влиянием контролируемой переменной, т.е. выбрать зону нечувствительности. При выборе этой зоны необходимо учитывать взаимосвязь эффективности управления со статистическими характеристиками контролируемых переменных.

Для определения вероятности попадания нормально распределенной случайной величины в интервал  $(-\varepsilon, \varepsilon)$  воспользовались функцией Лапласа

$$\phi(u) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^u e^{-t^2/2} dt, \quad (7)$$

для которой составлены таблицы [6]. (Здесь  $t = (\theta - m_\theta) / \delta_\theta$ ).

При помощи функции Лапласа формула для симметричного интервала может быть представлена в виде

$$P(|\Delta\theta| < \varepsilon) = 2\phi\left(\frac{\varepsilon}{\sigma_\theta}\right). \quad (8)$$

Полагая в формуле (8) последовательно  $\varepsilon = h\delta_\theta$ ,  $h = 0.2, 0.4, \dots, 2$ , и пользуясь таблицей функций Лапласа [6], нашли зависимость вероятности попадания отклонений температуры  $P(|\Delta\theta| < \varepsilon)$  в заданный интервал (рис. 5).

Затем, варьируя величиной зоны нечувствительности по температуре ( $\delta\theta$ ), оценили дисперсию выходной толщины. В результате получили ее зависимость от величины зоны нечувствительности, показанную на рис. 6.

При регулировании толщины проката в условиях помех, даже при незначительном отклонении любого возмущения, привод нажимных винтов приводится в действие. Таким образом, он практически непрерывно работает в режиме пуска-торможения, нажимные механизмы изнашиваются, а эффект от компенсации незначительных возмущений невелик.

Для того чтобы оценить взаимосвязь числа включений привода нажимных винтов с величи-

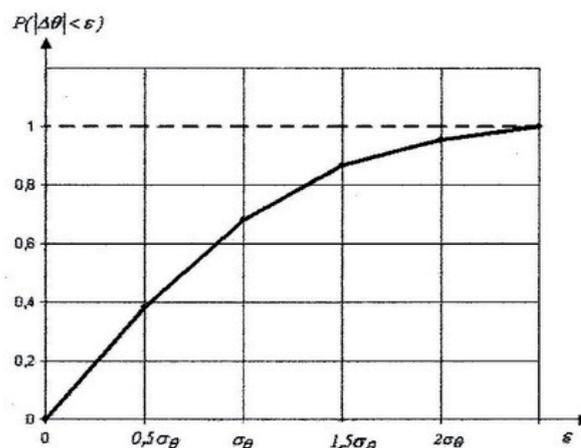


Рис. 5. Зависимость  $P(|\Delta\theta| < \varepsilon) = f(\varepsilon)$

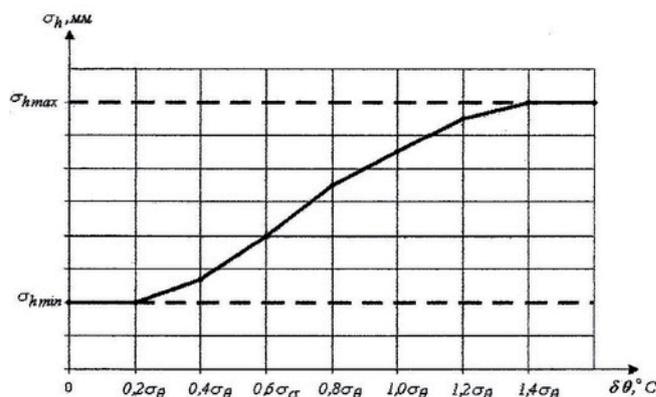


Рис. 6. Теоретическая зависимость среднеквадратического отклонения от величины зоны нечувствительности

ной зоны нечувствительности, необходимо определить вероятность попадания в симметричный относительно математического ожидания интервал  $(\alpha = m_\theta - \varepsilon; \beta = m_\theta + \varepsilon)$ . Так как управление ведется в отклонениях от текущего среднего значения температуры, то математическое ожидание возмущения равно нулю и, таким образом, необходимо определить вероятность попадания в интервал  $(-\varepsilon \div \varepsilon)$ .

Выражение для нормальной одномерной плотности распределения температуры можно записать в виде

$$f(\theta) = \frac{1}{\sigma_\theta \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\theta - m_\theta)^2}{2\sigma_\theta^2}}, \quad (9)$$

или, с учетом  $T_\theta = 0$ ,

$$f(\theta) = \frac{1}{\sigma_\theta \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{\theta^2}{2\sigma_\theta^2}}. \quad (10)$$

Из анализа рис. 6 следует, что введение зоны нечувствительности  $\delta\theta = 15 \div 20^\circ\text{C}$  практически не сказывается на дисперсии выходной толщины при работе системы управления. Анализируя результаты моделирования (см. рис. 5) видим, что при введении зоны нечувствительности около 40 % проката прокатывается при номинальном зазоре валков, т.е. привод нажимных винтов не приводится в действие. Это позволяет существенно уменьшить износ нажимного механизма и сократить расход электроэнергии, потребляемой системой.

**Выводы и перспективы дальнейших исследований**

Проведенные исследования показали, что система автоматического регулирования средней толщины проката уменьшает ее дисперсию на 35-65 %.

Статистическое моделирование функционирования системы управления средней толщиной проката показало, что введение зоны нечувствительности уменьшает износ нажимного механизма и снижает расход электроэнергии, практически не снижая при этом эффективность управления, причем сравнение экспериментальных и теоретических результатов показало их соответствие.

В перспективе целесообразно исследовать поведение системы при влиянии на нее в качестве возмущения не только температуры подката, но и его толщины.

**Библиографический список**

1. Чекмарёв А.П., Бойко В.И., Щербина Г.С. Исследование стана 550 как объекта автоматизации и синтез системы автоматического регулирования толщины проката. – В кн.: АСУ технологическими процессами в прокатном производстве. – К.: Техніка, 1975. - С. 61–65.

2. Чернышев А.Н., Щербина Г.С., Беда Н.И. и др. Экспериментальное исследование влияния температурного режима на размеры фасонных профилей проката // *Металлург. и горноруд. пром-сть.* – 1977. - № 4. - С. 16-19.

3. Коротченко В.Н., Щербина Г.С., Кирсанов В.В. Стабилизация размеров проката и труб в условиях отсутствия полной информации // *Теоретические проблемы прокатного производства. Тр. V Междунар. науч.-техн. конф. // *Металлург. и горноруд. пр-ность:* - 2000. - №8-9. - С. 343-345.*

4. Основы управления технологическими процессами / Под ред. Н.С. Райбмана. Главная редакция физико-математической литературы. - М.: Наука, 1978. - 440 с.

5. Исследование точности труб ТПА-140 завода им. Ленина / В.Н. Данченко, А.Н. Чернышев, Е.Н. Панюшкин и др. - Днепропетровск, 1981. - 16 с. - рук. представлена Днепропетр. металлург. инст-том, Деп. в ГРНТБ УкрНИИТИ 13 июля 1981 г., № 2937.

6. Пугачев В.С. Теория вероятности и математическая статистика. - М.: Наука, 1979. - 497 с.

**Поступила 23.11.2012**

УДК 621.311.4

**Чуприна Е.В.**

ПАО «КЖРК»

**Ткаченко Г.И., Мохнатый А.В., Кучеренко М.А.**

ООО «Криворожэлектромонтаж»

**Производство**

**Хижняк В.Я. /к.т.н./**

ГВУЗ «КНУ»

**Система диспетчеризации электроснабжения подстанции**

*Дана информация о принципах и средствах построения системы телеизмерения и телесигнализаии. Представлены технические характеристики системы. За счет использования примерно 65 % нестандартных подходов и средств система обеспечивает решение поставленных задач при ограниченном объеме финансирования. Система трехуровневая. Статья может быть полезна руководителям энергослужб предприятий. Ил. 3. Библиогр.: 5 назв.*

**Ключевые слова:** электроснабжение, телеизмерения, телесигнализация, микропроцессорный контроллер, погрешности измерений

*The information on the principles and means of building a system of telemetry and remote indication is given. Technical specifications of the system are provided. Through the use of approximately 65% of non-standard approaches and means the system provides the solution of tasks with limited funding. The system is three-tier. The article can be useful for energy service companies executives.*

**Keywords:** power supply, telemetry, remote signaling, microprocessor controller, measurement errors

В настоящее время по предписаниям Днепроблэнерго существующие п/ст должны быть оснащены средствами, позволяющими автоматически передать диспетчеру предприятия информацию о состоянии аппарата (включен – отключен с указанием даты и причины) и выполнить по командам диспетчера требуемые переключения.

Ниже описан подход к построению системы диспетчеризации электроснабжения, установленной на одной из п/ст ПАО «КЖРК». П/ст содержит ОРУ

-154/6 кВ и два ЗРУ. Общее количество аппаратов (силовые и измерительные трансформаторы, ячейки с масляными выключателями, отделители, заземлители, короткозамыкатели и пр.) – 92 единицы. Особенность – это наличие в составе аппаратов п/ст 15 единиц устройств релейной защиты МРЗС-05 разработки и производства ПО «Киевприбор» [1].

В качестве технических средств системы использованы стандартные микропроцессорные средства и нестандартные разработки ООО «Криворожэлектро-

© Чуприна Е.В., Ткаченко Г.И., Мохнатый А.В., Кучеренко М.А., Хижняк В.Я., 2013 г.