

Давидченко В. М.
ООО «Фирма Системосервис»
Самборский Ю. Г.
ПАО «АМКР»

Хижняк В. Я. /к. т. н./
КМИ

Автоматизированная система зачистки переднего и заднего концов раската на 1250-т ножницах блюминга (АСЗКР)

Представлена информация о разработке системы автоматического управления движением раската для обрезки его дефектных концов. Разработаны алгоритмы работы, выполнен расчет погрешностей измерения и управления. Статья может представлять интерес для прокатчиков и разработчиков подобных систем управления. Ил. 2. Табл. 1. Библиогр.: 7 назв.

Ключевые слова: стационарные ножницы, алгоритмы измерения длины при движении проката, погрешности измерений и управления

Data concerning development of automatic control system of breakdown bar motion for trimming of ends is stated. Operating procedures are developed, calculation of measuring and control errors is fulfilled. The article may be interesting for rollermen and developers of similar systems of control.

Keywords: stationary shears, algorithms of length measurement of rolled stock in motion, measuring and control errors

Характеристика объекта

Стационарные гильотинные ножницы с усилием реза 1250 т предназначены для зачистки (обрезки) дефектных передних и задних концов раската, прокатанного в валках обжимной клетки, перед подачей для дальнейшего переката на непрерывно заготовочный стан. Длина раската перед ножницами составляет 15-18 м, сечение – квадрат 320 мм, вес 12-14 т. Упор для остановки раската на ножницах отсутствует. Максимальная скорость рольгангов 2,1 м/сек. Привод рольгангов ТП-Д. Требуемая длина обрезки переднего и заднего концов раската 350-450 мм. Согласно технологии прокатки, перед подачей раската в непрерывно-заготовочный стан, зачистку концов необходимо выполнить до полного удаления дефектов. Управление процессом зачистки производит оператор, как правило, за несколько резов, что снижает темп прокатки, а также увеличивает расход электроэнергии и приводит к ускоренному износу оборудования.

Назначение АСЗКР – автоматическое управление рольгангами и остановка раската на линии реза для зачистки передних и задних концов раската заданной длины и выдача команды на рез.

Основными функциями АСЗКР являются:

1. Измерение скорости и положения раската относительно реперных точек.

2. Регулирование скорости раската на промежутках «реперная точка-линия реза».

3. Остановка раската и выдача сигнала в СУП ножниц сигнала на рез.

4. Измерение длин раската до и после обрезки концов.

5. Измерение длин обрезки переднего и заднего концов.

6. Привязка данных п. 4-5 к дате, времени и номеру бригады.

7. Выдача данных п. 6 на пульт оператора.

8. Архивирование данных п. 7.

На рис. 1 представлена структурная схема системы, где приняты следующие условные обозначения: 1, 2, ..., 4 – датчики положения металла (фотореле); В – вентилятор со встроенным фильтром для очистки входящего воздуха; ШУВ – шкаф управления вентиляторными (содержит преобразователь частоты, контроллер и датчики температуры воздуха в районе фотореле); Lбi – базовые расстояния, на которых расчетным путем определяется скорость движения раската; РП – реперная точка (фотореле) для определения момента времени появления переднего конца раската на участке рольгангов, управляемых двигателем Дв2 (за ножницами) и двигателем Дв3 (перед ножницами); ТП – тиристорный преобразователь; ДР – датчик положения ножей (абсолютный энкодер) с выдачей сигнала о факте выполнения реза раската; СУП – система управления приводом; СД – сигналы датчиков; СУ – сигналы управления; ШК – шкаф контроллера (содержит модульный кон-

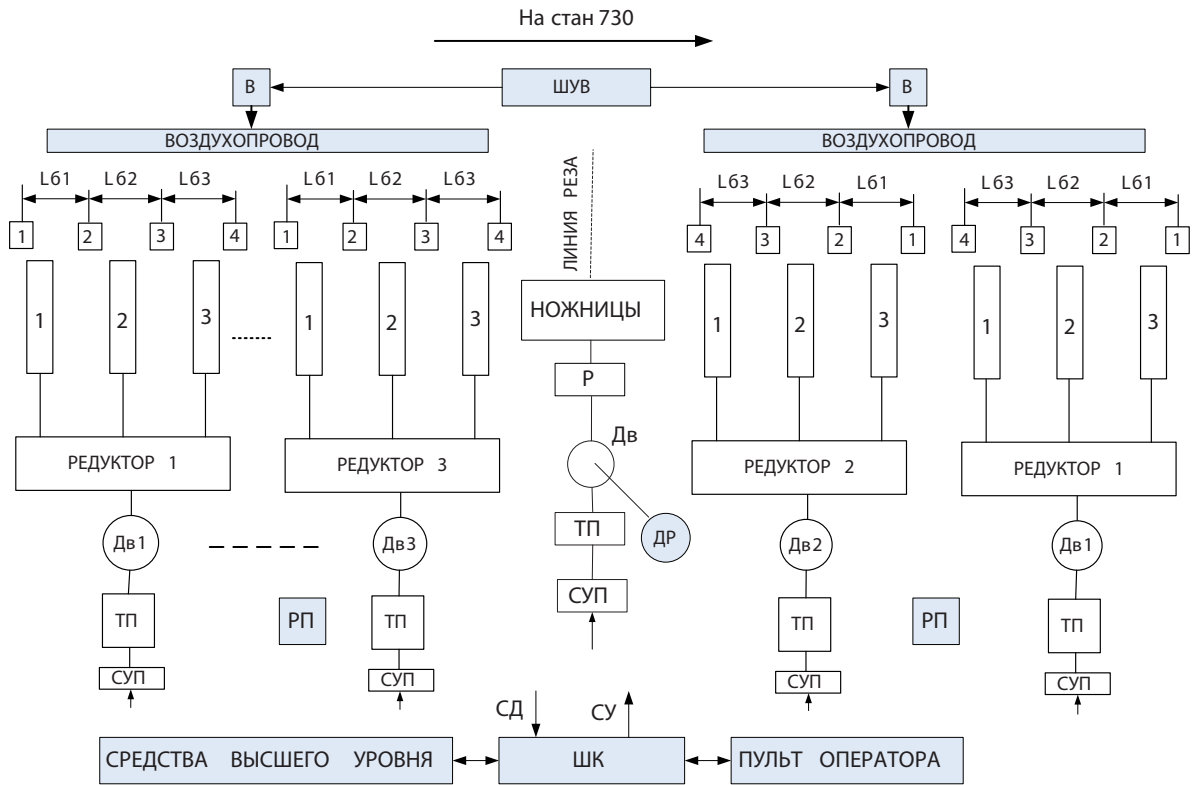


Рис. 1. Структура системы АСЗКР

троллер, выполняющий функции системы, перечисленные выше).

Принцип работы системы – определение положения и регулирование скорости передвижения раската таким образом, чтобы передний (задний) конец при его остановке вышел за линию реза на заданную величину.

Ограничение – расстояние между двумя соседними раскатами при работе системы должно быть не менее $0,8 L_{bi}$ минимальной величины.

Алгоритмы работы

В основу алгоритмов работы заложен подход представленный в [1] и [2]. В приведенных материалах сообщается, что абсолютная погрешность измерения труб длиной 5-15 м не превышает ± 10 мм [1] и соответственно ± 50 мм для раската длиной 50-70 м прокатанного в черновой группе непрерывно-заготовочного [2].

Скорость раската (V_p) при его движении определяется из выражения

$$V_p = L_{bi} / [(t_n - 1) - t_n], \quad (1)$$

где t_n – момент появления сигнала датчика, определяющего начало участка L_{bi} ; t_{n-1} – момент появления сигнала датчика, определяющего конец участка L_{bi} .

Длина исходного раската ($L_{p \text{ исх.}}$)

$$L_{p \text{ исх.}} = (t_n - t_{n \text{ п}}) \times V_p, \quad (2)$$

где t_n и – момент исчезновения сигнала датчика, определяющего конец участка L_{bi} ; $t_{n \text{ п}}$ –

момент появления сигнала датчика, определяющего конец участка L_{bi} .

Длина раската после зачистки определяется аналогично (2), только по сигналам датчиков, установленных после ножниц.

Длина обрезки ($L_{обр.}$) определяется следующим образом:

$$\begin{aligned} L_{обр. \text{ пк}} &= L_{p \text{ исх.}} - L_{p \text{ исх. 1}} \\ L_{обр. \text{ зк}} &= L_{p \text{ исх. 1}} - L_{p \text{ кон.}}, \end{aligned} \quad (3)$$

где $L_{обр. \text{ пк}}$ ($L_{обр. \text{ зк}}$) – соответственно длина обрезки переднего (заднего) конца раската; $L_{p \text{ исх.}}$ – длина раската из (2); $L_{p \text{ исх. 1}}$ – длина раската, полученная после обрезки переднего конца из (2) при его движении в сторону стана 1300; $L_{p \text{ кон.}}$ – окончательная длина раската, полученная из (2), после обрезки заднего конца при его движении в сторону стана 730.

Определение момента **включения** вентиляторов для дсува пара

$$S_{вв} = n_1, \text{ если } -4 \text{ }^\circ\text{C} \leq T_v \leq 4 \text{ }^\circ\text{C}, \quad (4)$$

где $S_{вв}$ – сигнал включения вентилятора на скорости вращения n_1 ; $T_v - n_1$ – первый диапазон скорости, равный $n_n / 3$ (n_n – номинальная скорость приводного двигателя вентилятора).

При достижении T_v уровня минус $6 \text{ }^\circ\text{C}$ скорость двигателя по требованиям (4) увеличивается до $2n_n / 3$. При минус $10 \text{ }^\circ\text{C}$ скорость устанавливается равной n_n .

Определение момента **выключения** вентиляторов для дсува пара

$$C_{свв} = 0, \text{ если } T_{в} \geq 6 \text{ } ^\circ\text{C}, \quad (5)$$

где обозначения – $C_{свв}$ и $T_{в}$ см. (4).

На рис. 2 условно показано изменение скорости движения раската на участке редуктора 3 (см. рис. 1). Расшифровка условных обозначений на рис. 2 следующая: V_1 – скорость раската при подходе к реперной точке (РП); V_2 – скорость «дотяжки» раската под линию реза; 1, 2, ..., 4 – фотореле на участке рольганга 3; 5 – ножи на линии реза; $L_{обр. пк}$ – длина обрезки переднего конца раската; $V_{тр}$ – требуемая скорость раската в т. А (величина $V_{тр}$ обеспечивает остановку раската для обрезки заданной величины обрезки); А – реперная точка (фотореле 3), в которой по приходе в нее переднего конца раската выполняется изменение скорости раската, если фактическая величина скорости в т. А не соответствует $V_{тр}$, т. е. $V_{тр} \neq V_{ф}$; В – область уменьшения скорости при условии, что в т. А имеет место условие $V_{ф} \geq 1,3 V_{тр}$; С – область увеличения скорости при условии, что в т. А имеет место условие $V_{ф} \leq 1,3 V_{тр}$; D – реперная точка (заданный интервал времени от момента появления сигнала ФР4), в которой снимается сигнал задания в СУП привода двигателя 3, для обеспечения выхода по инерции переднего конца раската на расстояние $L_{обр. пк}$; U_3 – сигнал задания, поступающий из контроллера в СУП электропривода двигателем Дв3 (см. рис. 1).

Реальный график скорости, в силу разных причин, крайне редко может отличаться от заданного командами рис. 2в. Например, загнутый вниз конец раската, который не дает последнему двигаться с равномерной скоростью.

Рольганги при этом буксуют. Для уточнения необходимости корректировки скорости в процессе движения раската по рольгангам редуктора 3, целесообразно рассчитывать их линейную скорость по выражению:

$$V_p = 2\pi \times n_{дв} \times i \times R_p / 60, \quad (6)$$

где $n_{дв}$ – скорость вращения вала двигателя 3 (показания ДУП); i – передаточное число редуктора; R_p – радиус рольгангов.

Корректировка выполняется при выполнении условия

$$|V - V_p| \geq K, \quad (7)$$

где V – скорость раската, вычисленная по (1); K – константа, определяемая в процессе наладки.

Условие для принятия решения о факте выполнении реза

$$C_p = 1, \text{ если } C_{др} = 1 \text{ и } C_{фр4} = 1, \quad (8)$$

где $C_{др}$ – сигнал датчика реза, установленного в приводе ножниц; $C_{фр4}$ – сигнал 4-го фотореле (см. рис. 2).

Анализ функций и схемы рис. 1 позволил определить количество и основные требования к датчикам выходным сигналам системы, которые представлены в таблице.

Фотореле (ФР) предназначены для определения факта наличия металла в их зоне видимости, расположены на линии стана вдоль рольгангов. Запаздывание (графа 4) – промежуток времени от момента заполнения металлом 60 % угла зрения ФР до выдачи выходного сигнала. Диапазон температур металла, на который должно реагировать ФР, 700-1200 °С. Датчик угла поворота (ДУП) или энкодер используется

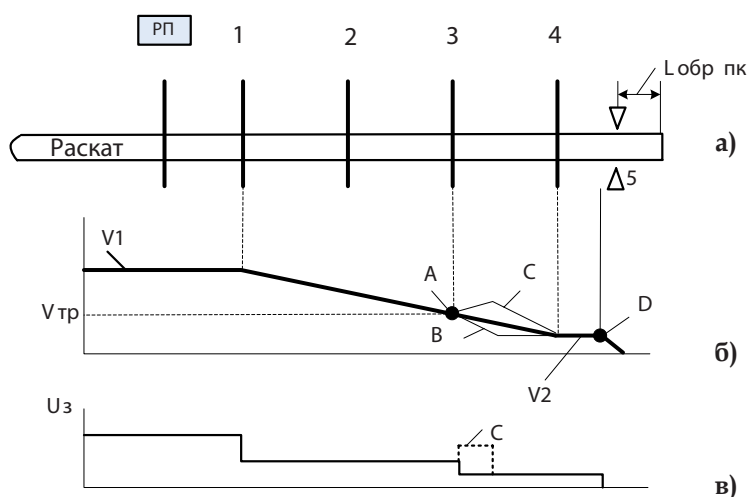


Рис. 2. К алгоритму позиционирования:

а – положение раската при его остановке в момент выполнения реза;

б – график линейной скорости переднего конца раската за время прохождения расстояния от фотореле 1 до т. D;

в – изменение сигнала задания в СУП рольгангов в моменты прохождения переднего конца фотореле 1, 3 и 4

Характеристика входных-выходных сигналов

№ п/п	Наименование	К-во	Форма выходного сигнала	Параметры	Погрешность	Примечание
	1		2	3	4	5
1	Фотореле	21	Двухпозиционный	0-24 В	0,005 сек	Запаздывание
2	Датчик угла поворота	5	Числоимпульсный	0-24 В	0,1 %	≤ 7 кГц
3	Датчик реза	1	Двухпозиционный	0-24 В	0,5 сек	Длительность
4	Датчик температуры	2	Аналоговый	0-10 В	±0,5 °С	-30, ..., +80 °С
5	Первичный датчик тока	5	Аналоговый	±10 В	0,5 %	Вход -шунт
6	Задание в привод на изменение скорости	7	Аналоговый	±10 В Rнагр 2кОм	0,2 %	ЦАП контроллера
7	Последовательный канал	4	Числоимпульсный	RS-485	-	Шкафы, пульт, диспетчер
8	Сигнализация	16	Двухпозиционный	0-24 В	-	Двери ШК и ШВ

в качестве первичного датчика импульсов для цифрового измерения скорости вращения вала двигателя рольгангов. Частота (графа 5) – предельная частота импульсов от ДУП, обусловленная количеством импульсов на оборот и максимальной скоростью вращения вала двигателя.

Датчик реза выдает сигнал при схождении ножей, т. е. в момент реза.

Датчик температуры устанавливается на внешней стороне шкафа управления вентиляторами. По его показаниям контроллер шкафа определяет требуемую интенсивность воздушного потока и регулирует частоту вращения приводного двигателя вентилятора.

Датчик тока. Первичный датчик – шунт, включенный в якорную цепь двигателя. Сигнал шунта усиливается до уровня ±10 В и гальванически развязывается первичным датчиком тока (расположен в шкафу ШК, на рис. 1 не показан).

Последовательный канал для обмена данными между шкафами ШК- ШВ, ШК-пульт, ШК-сервер диспетчера.

Сигнализация на светодиодах: наличие напряжения питания, работа контроллеров, авария и пр.

Расчет погрешностей

По технологическим требованиям абсолютная величина допустимой погрешности обреза не должна превышать 50 мм длины обреза (11 %). В эту погрешность входят погрешности измерений и управления. Условимся, что погрешности измерений не должны превышать 2,5 %.

Как видно из таблицы, наиболее быстродействующий процесс контролирует датчик тока. В связи с чем рассмотрим максимально возможную погрешность (β) измерения тока из следующего выражения

$$\beta = \beta_{ш} + \beta_{бгн} + \beta_{ащп} + \beta_{м} + \beta_{р}, \quad (9)$$

где βш – погрешность шунта (1 %); βбгн – погрешность блока нормализации и гальваниче-

ской развязки (0,2 %); βащп – погрешность АЦП (0,15 %); βм – методическая погрешность, обусловленная дискретностью работы контроллера (определяется частотой съема сигналов); βр – погрешность расчетов (принята равной нулю).

Тогда из (9) на долю βм приходится

$$\beta_{м} = 2,5 - 1 - 0,2 - 0,15 = 1,15 \%. \quad (10)$$

Номинальный ток КТЭУ равен 1000 А. Откуда абсолютная величина погрешность погрешности измерения тока 1000×0,0115 = 11,5 А.

Найдем частоту (f) съема сигналов тока следующим образом

$$f = 1 / t_{и} = 1 / 0,0015 \approx 670 \text{ Гц}, \quad (11)$$

где tи – период обращения:

$$t_{и} = 1000 \times 11,5 / 8000 \approx 1,5 \text{ мсек.},$$

где 1000 – количество мсек в секунде; 8000 = di/dt (скорость изменения тока в А).

Максимальная абсолютная погрешность (λ) измерения длины раската по (2) определяется

$$\lambda = (| \lambda_{фрi} - (\lambda_{фрi} - 1) | + t_{и}) \times V_{р \text{ max}}, \quad (12)$$

где λфрi, λфрi - 1 – разность в величинах запаздывания в выдаче сигналов двух фотореле (в начале и конце Lби) по отношению к моменту появления переднего конца раската в их зоне видимости (может достигать 12 мсек.); tи – см. (11); Vр max – максимальная скорость раската (2,1 м/сек).

После подстановки численных значений в (12) находим, что λ ≈ 30 мм.

Скорость «дотяжки» V2 (см. рис. 2) равна 0,2-0,3 м/сек. Следовательно, в этом режиме согласно (12) λ ≈ 4 мм.

Погрешность привода включает погрешности ЦАП контроллера, СУП и статическую погрешность установки скорости. Погрешность ЦАП примем равной нулю. Статическую погрешность (λп), обусловленную погрешностью

работы регуляторов тока СУП, на скорости «до-тяжки» примем равной 15 % и абсолютную ее величину определим из (16).

$$\lambda_{п} = (|\lambda_{фрi} - (\lambda_{фрi} - 1)| + t_{и}) \times 0,15V2 \approx 1 \text{ мм. (13)}$$

Информация о производителях технических средств системы: фотореле [3]; контроллер шкафа ШВ [4]; контроллер шкафа ШК [5]; пульт оператора [6]; датчики тока и вторичные источники питания [6]; датчики скорости и положения [7].

Информация об условиях эксплуатации технических средств системы, располагаемых на линии стана:

- температура раската 1150-1200 °С;
- запыленность;
- при суточном ремонте, зимой температура воздуха в цехе может опускаться до минус 20 °С;
- высокий уровень инфракрасного излучения;
- наличие капель воды и масла;
- интенсивное парообразование зимой;
- наличие вибраций;
- высокий уровень ударных динамических воздействий.

Выводы

1. Предложена структура системы зачистки передних и задних концов раската, включаю-

щая микропроцессорные контролеры, датчики наличия металла, скорости и положения механизмов и средства автоматического сдува пара в зимнее время.

2. Приведены алгоритмы управления рольгангами, измерения длин раската при его движении и длин обрезки при выполнении реза, а также управления средствами сдува пара.

3. Выполнен анализ погрешностей измерения и управления. Показано, что величина абсолютной погрешности измерений длины обрезки не превышает 30 мм.

Библиографический список

1. Ободан В. Я. и др. Автоматический высокоточный измеритель длины проката и труб // *Металлург. и горноруд. пром-сть.* – 2009. – № 3. – С. 148-149.
2. Учитель А. Д и др. Средства и системы автоматизации в горно-металлургическом комплексе. – Киев, 2013. – 187 с.
3. <http://www.automation.dp.ua>
4. pplait@ukr.net
5. <https://www.cee.siemens.com>
6. <http://www.promsat.com>
7. <http://www.ua.all.biz>

Поступила 23.01.2015

