



Измерительно-вычислительный комплекс для определения натяжения полосы проката

Тлеухан Намазбаев, Юрий Критский, Валерий Лигай, Владимир Нагих, Райфа Рахимова, Еркем Жуматаев

В статье представлен измерительно-вычислительный комплекс ИНД-7681, предназначенный для определения натяжения полосы проката на непрерывных станах холодной прокатки 1700.

ВВЕДЕНИЕ

Современное металлопрокатное производство характеризуется интенсификацией нагрузок на технологическое оборудование, увеличиваются скорости прокатки, обжатия и т.д. В этих условиях возрастает роль различных систем автоматического регулирования, обеспечивающих повышение производительности и качества выпускаемой продукции.

Оптимизация натяжения полосы проката в межклетевых промежутках, а также между последней клетью и моталкой является обязательным условием нормального протекания технологического процесса на непрерывных станах холодной прокатки. При ослаблении натяжения ниже определенного предела нарушается равномерность вытяжки полосы и появляются дефекты в виде «коробоватости» профиля или «волны». Существенное ослабле-

ние натяжения, близкое к полному его исчезновению, приводит к неустойчивости полосы в валках, что, как правило, сопровождается обрывом полосы проката. К такому же результату приводит и чрезмерное увеличение натяжения.

Таким образом, одним из главных технологических требований при непрерывной прокатке металлической полосы является обеспечение заданных значений межклетевых натяжений как в переходных, так и в установившихся режимах прокатки.

Межклетевое натяжение, помимо предотвращения смещения полосы в валках, оказывает стабилизирующее действие на сам процесс непрерывной прокатки, делая допустимыми некоторые отклонения в установленных соотношениях скоростей рабочих валков. Вместе с тем неотрегулированное межклетевое натяжение приводит к полу-

чению разной толщины по продольной оси на концах прокатываемой полосы, что устраняется уменьшением величины натяжения при входе и выходе металла из клетки.

Высокие требования к контролю и регулированию натяжения предъявляются при дрессировке холоднокатаного отожженного металла (прокатка с обжатием от 0,5 до 5%). Дрессировка позволяет придать металлу повышенные механические свойства, повысить планшетность, улучшить внешний вид. Дрессировка металла, предназначенного, например, для получения жести, производится на двухклетевых станах, где полоса обжимается дважды с натяжением между клетями, близким к пределу текучести. Это придает металлу мелкозернистую структуру, поверхностную твердость и вязкость, необходимые при глубокой вытяжке.



Шестиклетевый стан холодной прокатки



Участок готовой продукции металлопрокатного производства

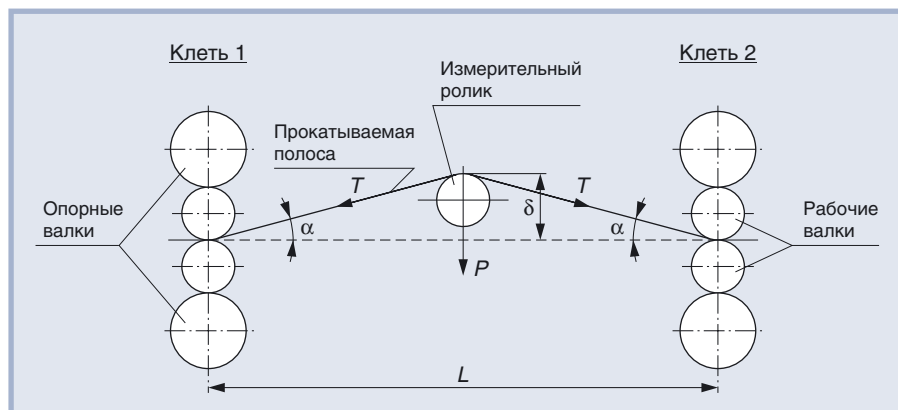


Рис. 1. Определение усилия натяжения полосы с помощью измерительного ролика

Не менее высокие требования к контролю и регулированию натяжения действуют при прокатке цветных металлов и их сплавов. Поэтому все современные реверсивные станы холодной прокатки цветных металлов оснащены системами автоматического регулирования натяжения (САРН), без которых процесс прокатки на этих станах, в принципе, невозможен.

Таким образом, вопрос контроля и регулирования натяжения металлической полосы при прокатке актуален как в черной, так и в цветной металлургии.

Методы и устройства для измерения натяжения полосы

На непрерывных станах натяжение полосы измеряют преимущественно косвенным методом по вертикальной составляющей усилия натяжения, которая действует на измерительный ролик, отклоняющий полосу от линии прокатки (рис. 1).

Подшипники измерительного ролика опираются на датчики усилия, преобразующие натяжение в электрический сигнал. Вертикальная составляющая усилия, действующего на ролик, определяется по формуле:

$$P = 2T \sin \alpha \approx 2T \frac{\delta}{L/2},$$

где

P — вертикальная составляющая усилия натяжения полосы;

T — усилие натяжения полосы;

L — расстояние между клетями;

α — угол отклонения полосы от линии прокатки;

δ — высота отклонения полосы от линии прокатки в месте установки измерительного ролика.

Из приведенной формулы видно, что важнейшим условием определения величины натяжения с заданной точнос-

тью является постоянство параметра δ . Для обеспечения этого условия необходимо после каждой «перевалки» (смены опорных или рабочих валков) проверять величину δ . Кроме того, деформация измерительного ролика и датчиков при приложении усилия должна быть минимальной.

Измеритель межклетевых натяжений полосы на основе сельсинных датчиков

До последнего времени на станах холодной прокатки для измерения межклетевых натяжений применяли сельсинные датчики. Принцип действия сельсинного датчика основан на изменении угла поворота ротора, установленного под измерительным роликом, при этом угол поворота ротора сельсина пропорционален перемещению упругих опор (рессор) ролика под действием межклетевого натяжения полосы. Применение таких датчиков приводит к значительным погрешностям измерения (до 10-15%) вследствие изменения высоты отклонения полосы δ при деформации рессоры, на которой устанавливается измерительный ролик, а также в результате трения в механизме.

Малая жесткость рессоры обуславливает низкую частоту собственных колебаний измерителя натяжения, что приводит к появлению динамических погрешностей (до 20%), особенно при высоких скоростях прокатки.

Кроме того, вследствие частых поломок узла преобразования поступательного движения ролика во вращательное движение ротора сельсина и нарушения изоляции его обмоток сельсинные датчики в эксплуатации ненадежны.

Измеритель межклетевых натяжений полосы на основе магнитоанизотропных датчиков

Гораздо более высокую точность обеспечивает применение магнитоанизотропных датчиков (МД).

Принцип действия таких датчиков основан на изменении магнитной проницаемости ферромагнитных материалов под действием внутренних механических напряжений. Этот эффект, названный магнитоупругим, в наибольшей степени проявляется тогда, когда направления векторов магнитной индукции и механического напряжения совпадают. При этом под действием растягивающего усилия магнитная проницаемость уменьшается, а под действием сжимающего усилия — увеличивается. На непрерывных станах холодной прокатки 1700 ОАО «Испат-Кармет» для измерения межклетевых натяжений полосы используют магнитоанизотропные датчики усилия МАД-7681, разработанные в ОАО «Казчерметавтоматика» (рис. 2).

МД устанавливают в специальных пластинчатых пружинных стойках с гнездами под подшипниками качения, на которых покоится измерительный ролик. В конструкциях измерителей натяжения с МД недостатки, отмеченные для системы с сельсинными датчиками, практически отсутствуют: жесткость конструкции измерителя натяжения с МД выше в несколько раз, их эксплуатация намного проще, а точность измерения натяжения полосы с использованием МД повышается до 1%.

Минимальные потери на трение в измерителях с МД достигаются тем, что все перемещения происходят в пределах упругих деформаций пружины и датчиков. Подвешивание ролика на пластинчатых пружинах позволяет устранить влияние горизонтальной составляющей натяжения на датчик, причем доля вертикальной составляющей натяжения, затрачиваемая на деформацию пружины, не меняется во времени и составляет не более 5% от измеряемого усилия.



Рис. 2. Магнитоанизотропные датчики усилия МАД-7681

Таблица 1. Основные технические характеристики ИВК ИНД-7681

Число каналов измерения, шт.	2
Диапазон измерения вертикальной составляющей усилия натяжения, кН	0,4...20
Пределы допускаемых значений основной погрешности, %	± 2
Перегрузочная способность датчиков, %	не менее 100
Период опроса датчиков, мс	не более 10
Напряжение питания от сети переменного (50 $\pm$ 1 Гц) тока, В	220 ⁺²² ₋₃₃
Выходы для каждого канала: ● аналоговый выход, напряжение постоянного тока, В ● цифровой выход	0...10 RS-232 или RS-485

Максимальная величина вертикальной составляющей натяжения, измеряемая датчиками МАД-7681, составляет 20 кН, нелинейность характеристик не более $\pm 0,5\%$, выходное напряжение при полном усилии на датчик равно 3 В, а выходная мощность одного датчика составляет 4 мВт, гистерезис отсутствует.

Основной деталью датчика является чувствительный элемент, представляющий собой монолитный магнитопровод из железоникель-алюминиевого сплава. В теле магнитопровода просверливают отверстия, в которые укладывают одну первичную и две вторичные взаимно перпендикулярные обмотки, причём одна из них расположена соосно направлению действия механического усилия. Первичная обмотка размещена под углом 45° к каждой из вторичных обмоток. Первичную обмотку подключают к генератору синусоидального напряжения (5 В, 400 Гц), а с вторичных обмоток снимают напряжение, которое наводится вследствие проявления анизотропии магнитных свойств в результате приложения усилия к магнитопроводу.

При отсутствии магнитной и механической анизотропии силовые линии магнитного поля, созданного первичной обмоткой, не охватывают вторичные обмотки, и э.д.с на выходе датчика равна нулю.

Когда на магнитопровод датчика действует сжимающее усилие, магнитная проницаемость в определённом направлении увеличивается, а силовые линии магнитного поля деформируются и пересекают вторичную обмотку, в результате чего устанавливается магнитная связь первичной обмотки с вторичными обмотками датчика, в которых наводится э.д.с. На выходе датчика э.д.с. будет возрастать по мере увеличения механического напряжения в магнитопроводе. Следует отметить, что магнитоанізотропные свойства материалов проявляются лишь до определённого предела механического напряжения, после превышения которого наступает состояние насыщения.

Для защиты от механических повреждений и воздействия агрессивных сред чувствительный элемент устанавливают в корпусе и заливают эластич-

ным компаундом. Кроме того, для исключения случаев перегрузки датчиков, а также для обеспечения возможности регулирования в них начальных механических напряжений в пружины измерительного ролика рядом с датчиками устанавливают винтовые домкраты.

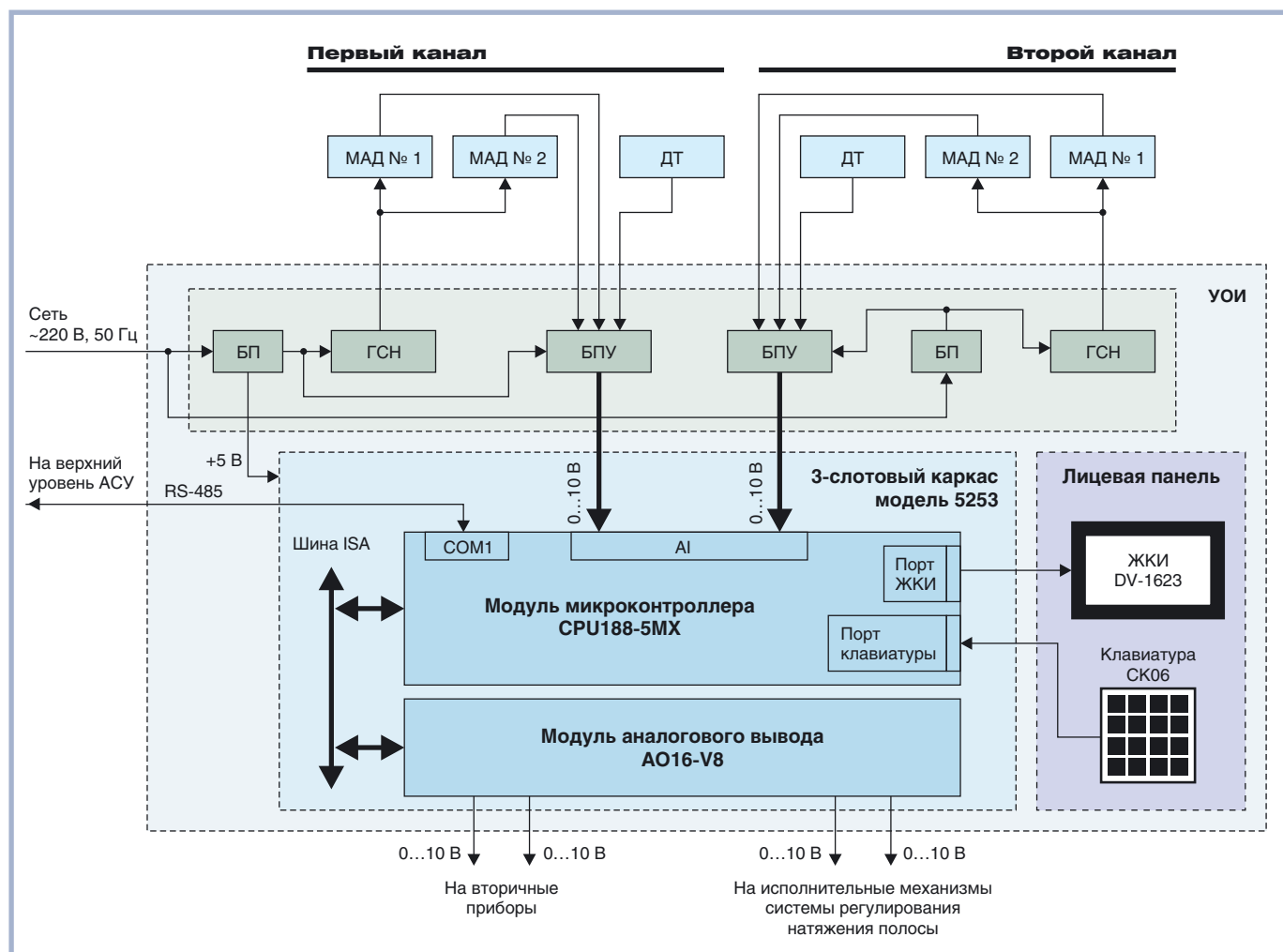
Двухканальный измерительно- вычислительный комплекс ИНД-7681

Для решения задачи измерения усилий натяжения полосы в условиях металлопрокатного производства ОАО «Казчерметавтоматика» разработало двухканальный измерительно-вычислительный комплекс (ИВК) ИНД-7681. Комплекс использует информацию, полученную от специально разработанных магнитоанізотропных датчиков МАД-7681.

Основные технические характеристики ИВК ИНД-7681 представлены в табл. 1.

ИВК ИНД-7681 в 2001 году успешно прошел Государственные приемочные испытания и внесен в Государственный Реестр средств измерений Республики Казахстан (№ РК 311-01), сертификат об утверждении типа средств измерений № 718 от 11.12.2001.

Структурная схема ИВК ИНД-7681 приведена на рис. 3. Каждый из двух каналов позволяет определить и сумму сигналов от двух датчиков, установленных под обоими подшипниками измерительного ролика, и величину сигнала от каждого датчика в отдельности. Такая возможность иногда используется



Условные обозначения: МАД — магнитоанізотропный датчик; БП — блок питания; БПУ — блок преобразования и усиления; ГСН — генератор синусоидального напряжения; ДТ — датчик температуры; УОИ — устройство обработки информации; ЖКИ — жидкокристаллический индикатор.

Рис. 3. Структурная схема ИВК ИНД-7681

вальцовщиками для выявления отклонений в распределении натяжения по ширине полосы.

Рассмотрим работу комплекса на примере его первого канала.

Сигналы с магнитоанізотропных датчиков МАД-1, МАД-2 и датчика температуры ДТ (измеряет температуру корпусов датчиков МАД-1 и МАД-2) поступают в блок преобразования и усиления (БПУ). Этот блок имеет два канала преобразования сигналов с соответствующих магнитоанізотропных датчиков, в которых производится фильтрация, выпрямление и усиление сигналов, и один канал преобразования сигнала с датчика температуры в напряжение.

На обмотки возбуждения магнитоанізотропных датчиков подается стабилизированное синусоидальное напряжение 5 В с частотой 400 Гц от генератора синусоидальных напряжений (ГСН).

На электронные схемы подается стабилизированное напряжение с номи-

налами +5 В, +15 В, -15 В от блока питания (БП).

В устройстве обработки информации (УОИ) производится линеаризация характеристик магнитоанізотропных датчиков МАД-1 и МАД-2, осуществляется вычисление вертикальной составляющей усилия натяжения P и величины усилия натяжения полосы T . Информация о полученных значениях усилия натяжения через аналоговые выходы (по два выхода типа 0...10 В на каждый канал) передается на вторичные показывающие приборы и в систему регулирования натяжения полосы; связь с верхним уровнем АСУ реализована через интерфейс RS-485.

В состав УОИ входят микроконтроллер CPU188-5MX и модуль аналогового вывода АО16-V8, являющиеся изделиями фирмы Fastwel и соответствующие стандарту MicroPC, а также клавиатура СК06 и жидкокристаллический индикатор DV-1623.

Необходимо отметить, что функциональные возможности микроконтрол-

лера CPU188-5MX наиболее полно отвечают техническим требованиям, поставленным при разработке ИВК ИНД-7681, и, что особенно важно, этот модуль имеет достаточно высокое быстродействие процессора и реализует аналого-цифровое преобразование входных сигналов.

Применение модуля CPU188-5MX позволило:

- подключить все датчики измерительного комплекса к одному микроконтроллеру;
- сделать комплекс двухканальным и контролировать натяжения полосы во всем диапазоне допускаемых скоростей прокатки (до 30 м/с) с периодом опроса датчиков 10 мс;
- создать архив измеренных значений усилий натяжения;
- диагностировать текущее состояние датчиков;
- производить кусочно-линейную аппроксимацию номинальной статической характеристики (НСХ) датчиков и т.д.



Рис. 4. Шкаф с аппаратурой комплекса ИНД-7681 (вид спереди и вид сзади)

Всё это в конечном счёте создало условия для повышения точности и расширения диапазона измерений комплекса ИНД-7681.

На рис. 4 показан шкаф с аппаратурой ИВК ИНД-7681, а на рис. 5 трехслотовый каркас 5253 фирмы Octagon Systems с модулем микроконтроллера CPU188-5MX и модулем аналогового вывода АО16-V8.



Рис. 5. Каркас 5253 с модулями CPU188-5MX и АО16-V8

Настройка и калибровка комплекса

Настройка комплекса в условиях завода-изготовителя сводится к снятию на тарировочной установке НСХ датчиков усилий $U_{\text{вых}} = f(P)$ и назначению необходимых коэффициентов передачи усилителей.

Калибровку комплекса производят по полученным на этапе настройки но-

минальным статическим характеристикам датчиков с использованием метода кусочно-линейной аппроксимации. Для этого НСХ каждого датчика разбивают на пять линейных участков, находят координаты точек перелома НСХ, а также точек начала и конца диапазона измерений. Пример кусочно-линейной аппроксимации типовой НСХ датчиков показан на рис. 6.

Найденные градуировочные значения P и $U_{\text{вых}}$ (координаты точек А, В, С, D, E, F) заносятся с помощью клавиатуры во флэш-память микроконтроллера CPU188 и в дальнейшем используются при выполнении проверок и вычислении градуировочных коэффициентов.

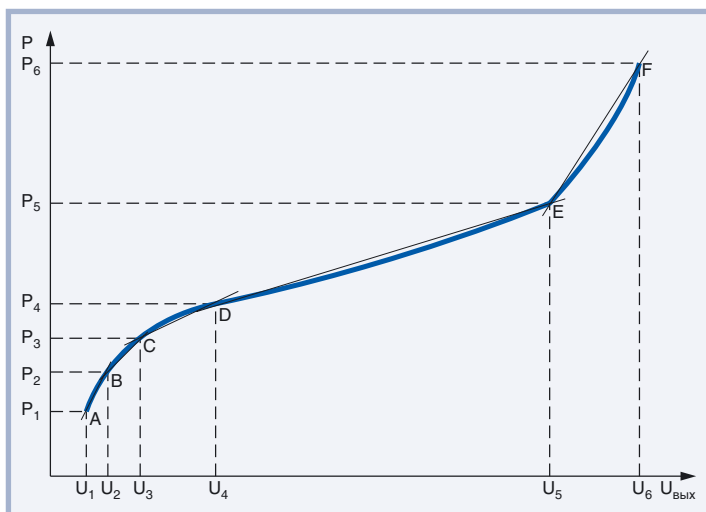
Проверка работоспособности измерительных каналов производится подачей на вход комплекса эталонных напряжений, соответствующих градуировочным значениям $U_{\text{вых}}$ (координатам точек А, В, С, D, E, F по оси напряжения).

Настройку комплекса после установки на месте эксплуатации производят посредством определения начальных показаний при значении натяжения $T=0$. Эти показания заносят в микроконтроллер, где они используются для коррекции начального смещения нуля.

В микроконтроллер также вводятся текущие дата и время, коэффициент геометрии по каждому каналу, минимальное и максимальное допустимые по технологии значения натяжения, значения температурной поправки для каждого канала.

Программное обеспечение

Программное обеспечение комплекса разработано на базе встроенной опера-



Условные обозначения: P — вертикальная составляющая усилия натяжения полосы; $U_{\text{вых}}$ — выходное напряжение; В, С, D, E — точки перелома НСХ; А, F — точки начала и конца диапазона измерений.

Рис. 6. Пример кусочно-линейной аппроксимации номинальной статической характеристики магнитоанизотропного датчика

ционной системы модуля CPU188-5MX, совместимой с MS-DOS 6.22. Используются языки программирования Паскаль и Ассемблер, причём Ассемблер использован только для организации ввода и вывода информации. Ввод комплекса в действие осуществляется через главное меню программы, высвечиваемое на индикаторе лицевой панели сразу после включения электропитания. Блок-схема алгоритма работы ИНД-7681 приведена на рис. 7.

Главное меню программы содержит следующие пункты:

- «Ввод технологических параметров»;
- «Расчет градуировочных коэффициентов»;
- «Измерение».

Пункт «Ввод технологических параметров» подразумевает выполнение операции ввода технологических параметров, необходимых для выбора режима эксплуатации. К числу этих параметров относятся:

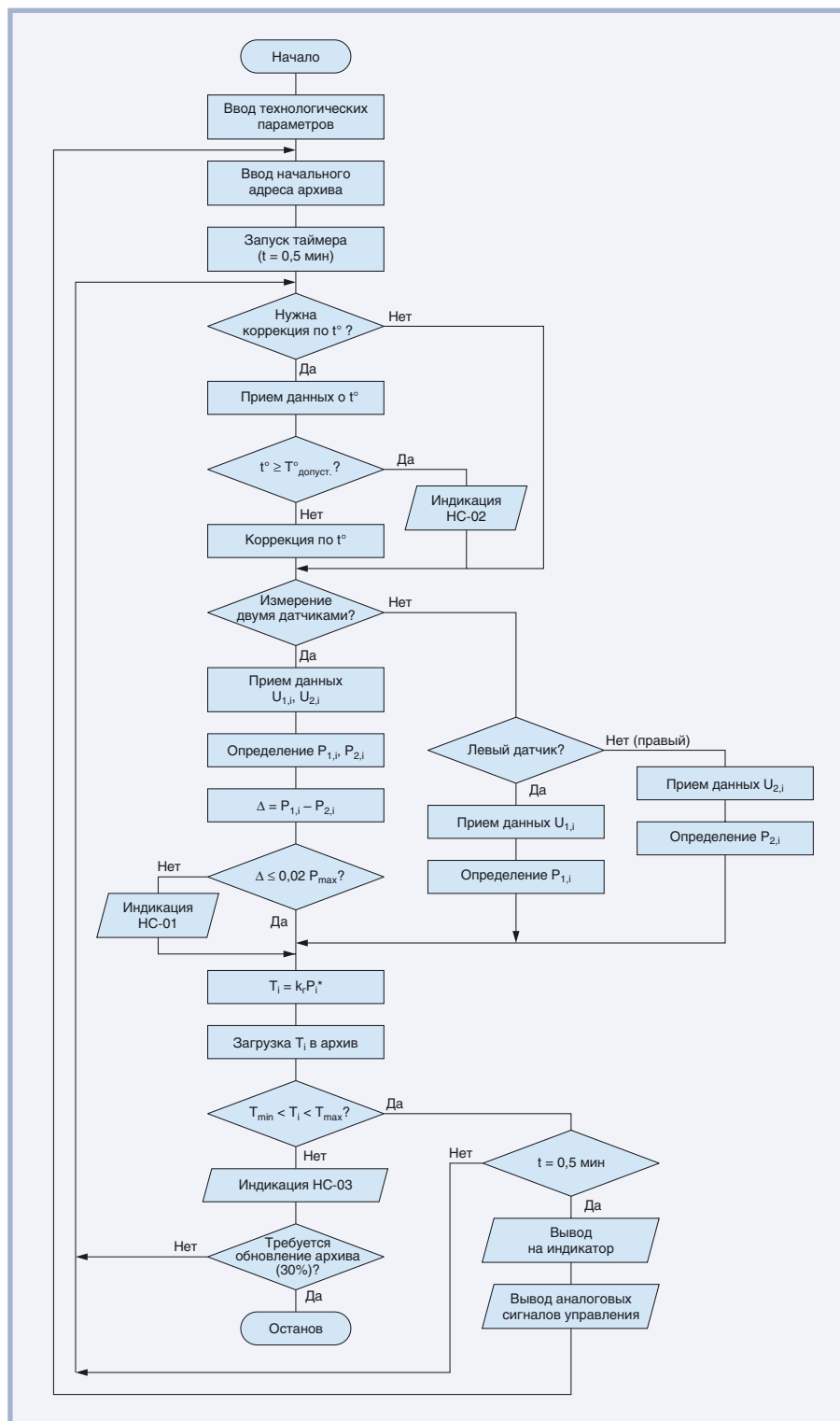
- дата и время;
- номер канала измерения;
- номер датчика;
- вид индицируемой информации (P_i или T_i);
- поддиапазон измерений;
- коррекции по температуре («да» или «нет»);
- диапазоны измерений температуры и силы натяжения;
- значения нулевого смещения вертикальной составляющей по каждому датчику.

Пункт «Расчет градуировочных коэффициентов» предполагает ввод данных, полученных в процессе градуировки, и расчет градуировочных коэффициентов для каждого датчика. Значения градуировочных коэффициентов a_i и b_i микроконтроллер определяет, решая для каждого i -го линейного участка НСХ систему уравнений:

$$\begin{cases} P_1 = a_1 + b_1 U_1 - \text{участок АВ;} \\ P_2 = a_1 + b_1 U_2 \\ P_2 = a_2 + b_2 U_2 - \text{участок ВС;} \\ P_3 = a_2 + b_2 U_3 \\ P_3 = a_3 + b_3 U_3 - \text{участок CD;} \\ P_4 = a_3 + b_3 U_4 \\ P_4 = a_4 + b_4 U_4 - \text{участок DE;} \\ P_5 = a_4 + b_4 U_5 \\ P_5 = a_5 + b_5 U_5 - \text{участок EF;} \\ P_6 = a_5 + b_5 U_6 \end{cases}$$

Пункт «Измерение» соответствует выполнению основной программы функционирования измерительного комплекса.

Основная программа осуществляет приём и обработку информации от че-



Условные обозначения: t° — значения температуры; $T^\circ_{\text{допуст.}}$ — предельно допустимое значение температуры в зоне измерения; U — выходное напряжение датчика усилия; P — вычисленное значение вертикальной составляющей усилия; Δ — разность результатов, полученных по показаниям правого и левого датчиков; P^* — значение P_i , вычисленное по показаниям одного из датчиков или по усреднённым показаниям двух датчиков; K_t — коэффициент геометрии, равный $2\sin\alpha$ (см. рис. 1); T — вычисленное значение усилия натяжения; НС — код нештатной ситуации.

Рис. 7. Блок-схема алгоритма работы ИНД-7681 в одноканальном режиме

тырёх датчиков усилия и от двух датчиков температуры по заданному алгоритму. Вычисление значения вертикальной составляющей усилия натяжения (P_i) происходит в программе «Определение P_i » по алгоритму, блок-схема которого приведена на рис. 8.

В процессе обработки информации также производятся:

- диагностирование датчиков (если абсолютная величина разности значений вертикальной составляющей от двух датчиков одного канала превышает 2% максимального значения вертикаль-

ной составляющей в измеряемом поддиапазоне, то формируется сигнал «Нештатная ситуация», НС-01, загорается светодиод на панели блока управления и на индикаторе появляется код «01»;

- анализ текущего значения температуры (при превышении текущим значением максимально допустимого значения температуры формируется сигнал «Нештатная ситуация», НС-02, загорается светодиод на панели блока управления, на индикаторе появляется код «02»);
- оценка соответствия полученного значения усилия натяжения граничным условиям (если текущее значение усилия натяжения выходит за пределы допустимых значений, то формируется сигнал «Нештатная ситуация», НС-03, загорается светодиод на панели блока управления и на индикаторе появляется код «03»).

Полученные значения усилия натяжения записываются в архив, глубина которого соответствует функциони-



Общий вид машинного зала, в котором установлен шкаф с аппаратурой комплекса ИНД-7681

ванию комплекса в течение 0,5 минуты. Информация в архиве имеет привязку к реальному времени. При выявлении недопустимого значения усилия натяжения с необходимой временной задержкой в архиве фиксируется информация, 70% которой относится к периоду до возникновения нештатной ситуации, а 30% — к последующему периоду.

Вся информация, выводимая на индикатор комплекса, представлена в доступном для понимания виде и не требует от обслуживающего персонала знаний в области языков программирования.

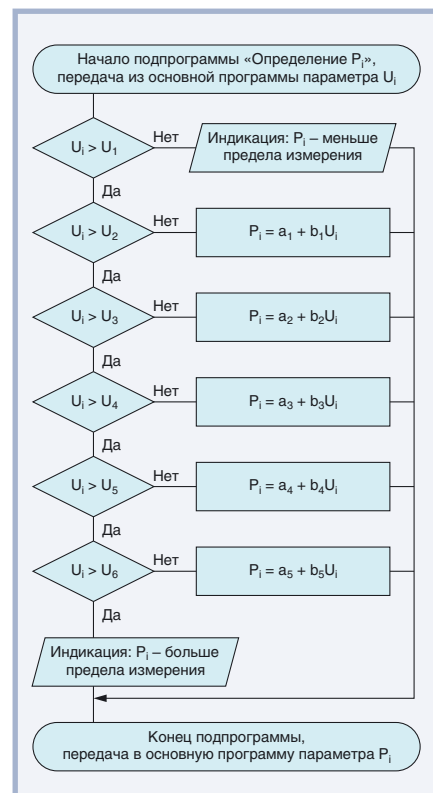


Рис. 8. Блок-схема алгоритма вычисления вертикальной составляющей усилия натяжения (P_1)

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ОАО «Казчерметавтоматика» работа над ИВК ИНД-7681 успешно завершена проведением Государственных приемочных испытаний с получением сертификата об утверждении типа средств измерений, Государственной лицензии на поверку и Государственной лицензии на изготовление.

Внедрение двухканального измерительно-вычислительного комплекса для измерения натяжения полосы ИНД-7681 на станах холодной прокатки ОАО «Испат-Кармет» позволяет повысить точность регулирования натяжения полосы в 1,5–2 раза, что приводит к уменьшению размеров отклонений по ширине полосы и увеличению выхода годного проката на 0,25% за счёт сокращения количества металла, попадающего в обрез по ширине. Годовой экономический эффект от внедрения ИНД-7681 с учетом капитальных затрат, а также затрат на амортизацию и текущий ремонт на прокатном стане 1700 составляет примерно 82,0 тыс. долларов США. ●

Авторы – сотрудники
ОАО «Казчерметавтоматика»
РГП «НЦ КПМС РК»
Телефон: (3212) 44-0995