

980540
2
Министерство высшего и среднего специального образования РСФСР

Московское
ордена Ленина и ордена Трудового Красного Знамени
высшее техническое училище имени Н. Э. Баумана

На правах рукописи

Инженер ШУМИЛИН В. С.

**ИССЛЕДОВАНИЕ НОВЫХ ФАЗОИМПУЛЬСНЫХ ПРИБОРОВ
С ВИНТОВОЙ РАЗВЕРТКОЙ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ
ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ РАЗМЕРОВ ГОРЯЧЕГО ПРОКАТА**

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель —
доцент, кандидат технических
наук **Федотов Г. И.**

НА ДОМ
НЕ ВЫДАЕТСЯ



980540

Шумилин В. С. Исследование

ФУНДАМЕНТАЛЬНАЯ

Для осуществления намеченного XXIII съездом партии резкого повышения уровня производства в черной металлургии важное значение имеет автоматизация прокатного производства, оснащение станов горячей прокатки средствами автоматического контроля.

Применяемые в настоящее время приборы для измерения геометрических размеров горячего проката не являются технически совершенными.

В связи с этим возникла необходимость создания новых более точных и надежных приборов.

Начиная с 1957 г. ВНИИМЕТМАШ, при участии автора работы, разработал и внедрил в прокатное производство ряд новых фазоимпульсных приборов.

Настоящая работа посвящена исследованию этих приборов.

Работа состоит из четырех глав.

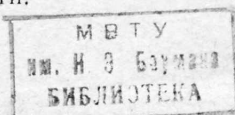
В первой главе рассмотрены существующие фотоимпульсные оптико-механические приборы для измерения геометрических размеров горячего проката и дана их оценка.

Вторая глава посвящена разработке элементов проектирования некоторых новых фазоимпульсных приборов с винтовыми развертками, отвечающих требованиям прокатного производства и определена общая оценка приборов.

Материалы этой главы подготовили основу для проведения анализа точности этих приборов.

В третьей главе проведен теоретический анализ точности основных точных приборов, где составлены структурные схемы полной погрешности приборов и дана теоретическая оценка точности их.

В четвертой главе разработана методика настройки и произведено исследование общей оптической развертывающей системы на И. К. спектр. Составлена методика настройки и испытаний приборов, на основе которой проведены испытания приборов в лабораторных условиях и на станах горячей прокатки Магнитогорского, Череповецкого, Криворожского и других металлургических заводов, и дана экспериментальная оценка их точности.



На основе исследований предложен ряд новых перспективных приборов, одобренных Комитетом по делам открытий и изобретений. Приборы, внедренные в промышленность, показали высокую экономическую эффективность и надежность работы.

За унифицированный измеритель ширины горячей полосы, экспонировавшийся на ВДНХ, институту присужден диплом первой степени, а автор настоящей работы, как соавтор разработки прибора, награжден золотой медалью. Серебряными и бронзовыми медалями была награждена большая группа работников Магнитогорского и Череповецкого металлургических заводов за активное участие во внедрении в промышленность этих приборов.

Современные фотоимпульсные оптико-механические приборы для измерения геометрических размеров проката и их оценка

В последние годы выявилась тенденция к повышению скоростей прокатки, одновременно растут требования к точности геометрических размеров проката. Эти требования обусловили переход на непрерывный контроль изделий и создание бесконтактных методов измерения, как: пневматических, индукционных, рентгеновских, радиоактивных, емкостных, телевизионных [1], фотоэлектрических и пр. Появился целый ряд фотоэлектрических приборов, обеспечивающих автоматический контроль проката, основанных на принципе фотослежения, фотокомпенсации и фотоимпульсном.

Фотоимпульсный метод завоевал доминирующее применение и характеризуется высоким быстродействием, повышенной точностью и надежностью измерений и большой помехоустойчивостью.

По фотоимпульсному методу работают приборы со спиральной (ЦЛА, СССР), цилиндрической (Дженерал Электрик, США) и зеркальной (Дейстром, США; ASEA, Швеция) развертками. Из этих разверток линейна только спиральная, но от других отличается малой площадью считывающего элемента, следовательно и малым сигналом от измеряемого горячего проката. Все приборы времяимпульсного метода имеют погрешность измерений от поперечных перемещений проката (эта погрешность значительно сокращена в двухсторонней спиральной развертке).

Таким образом, существующие приборы не являются достаточно рациональными и отвечающими растущим требова-

ниям производства. Фазоимпульсные приборы с винтовыми развертками в значительной степени избавлены от указанных недостатков.

Элементы проектирования некоторых новых фазоимпульсных приборов с винтовой разверткой

Определились три основные группы приборов по диапазонам, специфике и точности измерений, это: приборы с синфазными развертками для измерения полосы больших размеров, приборы с синфазным считыванием для измерения средних размеров и приборы для измерения абсолютных размеров.

К первой группе относятся измерители ширины горячей полосы для тонколистовых и толстолистовых станов горячей прокатки [2]. Спецификой измерений полосы является скорость до 500 м/мин, поперечные перемещения до ± 150 мм, температура 700—1100°С. Общий диапазон измеряемых ширин 600—2800 мм. Отличительной особенностью приборов является использование в них развертывающих элементов в виде барабанов со сквозными винтовыми прорезями. Винтовые барабаны обеспечили строгую линейность развертки, постоянство формы считывающего элемента и большой сигнал от измеряемого горячего проката. Применение синфазности считывания кромок полосы исключило погрешность измерений от поперечных перемещений полосы.

Для прибора определена основная кинематическая связь ходового винта с сельсином датчиком, характеризующая результирующее передаточное отношение зацепления $i_{рез}$ (II—25).

Ко второй группе относятся командный измеритель диаметра колец для автоматической кольцераскатной линии и измеритель ширины полосы для штрипсового стана [3]. Общий диапазон измерений 50—500 мм, поперечные перемещения ± 30 мм.

Применение кинематической схемы со стационарно-закрепленными оптическими системами с развертывающими винтовыми барабанами с угловой установкой номинала измерения явилось условием повышенной точности измерений. Использование синфазности считывания кромок исключило влияние поперечных колебаний объекта на точность измерений.

Для прибора определены основные кинематические зависимости масштаба уменьшения изображения оптических си-

стем m (II—32) и полного угла установки номинала A (II—40).

К третьей группе относятся измерители большой и малой петли, предназначенные для автоматических систем петле-регулирования на непрерывных группах сортовых и проволочных станов. Измеритель большой петли работает по принципу светового канала и обеспечивает замер петли в двух взаимно перпендикулярных плоскостях петлеобразования, его поле зрения $L=1000$ мм.

В измерителе малой петли использована общая оптическая развертывающая система с полем зрения $L=400$ мм. Температура сортового проката $900-1100^{\circ}\text{C}$. Для обеспечения однозначного показания величины петли в приборах введено специальное маркерное устройство, а в приборах малой петли, для повышения точности командного сигнала, используется, кроме того, устройство нулевого уровня.

Для измерителя большой петли определены основные кинематические зависимости: ширины считывающего элемента S' (II—54), длины L (II—69) и ширины поля зрения S (II—79). Для измерителя малой петли определен полный угол установки номиналов A (II—84).

Проектирование общей оптической винтовой развертывающей системы

Эта система является общей для рассматриваемых приборов и состоит из оптической системы и развертывающего барабана со сквозными винтовыми прорезями. В работе выявлена специфика и требования к оптическим системам, работающим в И. К. спектре, обоснован выбор основных параметров оптической системы. Измерение металла с температурой $700-1100^{\circ}\text{C}$ в период технологического процесса прокатки является спецификой оптической системы. Использование собственного излучения горячего металла для формирования измерительного импульса предъявляет требования в отношении чувствительности к И. К. спектру фотоприемника, в качестве которого использовано фотосопротивление типа ФСА. Важным фактором для получения высокой чувствительности и точности прибора служит способ сканирования каждой кромки проката отдельной системой. Для получения равномерности амплитуды измерительного сигнала с ФСА необходимо, чтобы лучистый поток от задней оптической системы был точно направлен на чувствительную поверхность ФСА. Поперечные перемещения кромки металла не должны

вызывать перемещения энергетического пятна по поверхности фоточувствительного слоя (из-за неодинаковости интегральной чувствительности слоя) и выходной зрачек должен занимать оптимальную площадь фоточувствительного слоя (60—80%). На основании учета требований определены фокусное расстояние объектива $f=400$ мм, средняя расчетная длина волны $\lambda=1500$ н. м., масштабы уменьшения изображения $m=4 \div 7$ и пр.

Важным элементом развертывающей системы является винтовой барабан, который определяет конструкцию и точность прибора. В работе обоснован выбор основных параметров барабана в том числе диаметры для двухголовочных $\varnothing 250$ мм и $\varnothing 180$ мм для одноголовочных приборов, шаг винтовой щели $t=144$ мм и др.

В результате технологической проработки, исследований и динамических испытаний получен высокоточный жесткий развертывающий барабан с погрешностью винтовых щелей не более 0,03 мм.

Анализ точности приборов

Несмотря на разработку значительного количества фотоэлектрических приборов с оптико-механическими развертывающими системами до настоящего времени в литературе отсутствовали анализ их точности и методика проведения анализа.

В настоящей работе делается попытка проведения анализа точности новых повышенной точности фазоимпульсных приборов первой и второй группы с винтовой разверткой — измерителя ширины полосы и измерителя диаметра колес.

Анализ точности измерителя ширины полосы

Точность прибора характеризуется полной погрешностью $\Delta_{\text{полн}}$, которая содержит статическую и ^{эксплуатационную} динамическую составляющие. Существующие нормы точности действительны только для статического режима работы прибора.

Статическая точность оценивается суммарной погрешностью прибора в статическом режиме работы $\Delta_{\text{ст}}$ и погрешностью дистанционной установки номинала измерения $\Delta_{\text{н}}$. ^{эксплуатационная} динамическая составляющая $\Delta_{\text{дин}}$ проявляется в рабочих условиях измерения на стане. Она связана с ~~переходными процессами~~ нестабильностью параметров проката, теплового режима прибора, измерительной схемы и пр. Погрешности,

обусловленные переходными процессами в работе не учитываются.

Суммарная погрешность прибора в статическом режиме работы $\Delta_{\text{ст}}$. На $\Delta_{\text{ст}}$ оказывают влияние погрешность оптико-механической части прибора $\Delta_{\text{пр}}$ и погрешность электронной измерительной схемы прибора $\Delta_{\text{сх}}$, которую мы оцениваем количественно. Погрешность $\Delta_{\text{пр}}$, содержащую систематическую ΣC и случайную $\Sigma \delta$ составляющие, можно расчленить в соответствии с кинематической схемой прибора на приведенные на линию измерения погрешности отдельных механизмов: на суммарные погрешности механизма развертывающей системы $\Sigma \delta_{\text{мр}}$, механизма привода развертывающей системы $\Sigma C_{\text{мп}}$, механизма установки номинального размера $\Sigma C_{\text{му}}$, механизма слежения $\Sigma C_{\text{мс}}$ и механизма направляющих движения головки $\Sigma C_{\text{мд}}$.

Погрешность механизма развертывающей системы $\Sigma \delta_{\text{мр}}$. На $\Sigma \delta_{\text{мр}}$ оказывают влияние погрешность винтовой щели барабана $\delta_{\text{щ}}$ (III—3), погрешность радиального биения образующей барабана $\delta_{\text{б}}$ (III—7), погрешность осевой игры подшипников барабана $\delta_{\text{о}}$ (III—10), погрешность радиального зазора подшипников барабана $\delta_{\text{з}}$ (III—11) и погрешность оптического изображения $\delta_{\text{и}}$. Таким образом, суммарная погрешность механизма развертывающей системы состоит из случайных составляющих погрешности, а с учетом двух механизмов

$$\Sigma \delta_{\text{мр}} = \pm \sqrt{2 \cdot (\delta_{\text{щ}}^2 + \delta_{\text{б}}^2 + \delta_{\text{о}}^2 + \delta_{\text{з}}^2 + \delta_{\text{и}}^2)} \quad (\text{III—12})$$

Погрешность механизма привода развертывающей системы $\Sigma C_{\text{мп}}$. В $\Sigma C_{\text{мп}}$ входит суммарная погрешность мертвого хода механизма $\Sigma C_{\text{мх}}$. $\Sigma C_{\text{мх}} = C_{\text{мв}} + C_{\text{мб}} + C_{\text{ш1}}$ (III—20), которая состоит из систематических составляющих погрешностей от люфта крестовых муфт вала $C_{\text{мв}}$ (III—18), люфта муфт барабанов $C_{\text{мб}}$ (III—19) и люфтов шпонок барабанов $C_{\text{ш1}}$ (III—19). Принимая во внимание однонаправленность развертки погрешности $\Sigma C_{\text{мх}}$ можно исключить из $\Sigma C_{\text{мп}}$. В $\Sigma C_{\text{мп}}$ остается только погрешность от перекоса рабочей поверхности шпоночного пазы $C_{\text{ш2}} = C_{\text{ш1}}$, а с учетом двух зацеплений $\Sigma C_{\text{мп}} = 2C_{\text{ш2}}$ (III—21).

Погрешность механизма установки номинального размера $\Sigma C_{\text{му}}$. На $\Sigma C_{\text{му}}$ оказывают влияние приведенная суммарная систематическая составляющая погрешности мертвого хода $\Sigma C_{\text{мх}}$ механизма раздвижения измерительных головок, погрешность, вызванная неточностью

выполнения передаточного отношения зацепления винт—сельсин C_i (III—38) и накопленная погрешность шага винта $C_{нш}$ (III—33). $\Sigma C_{мх} = C_{мвинт} + 2C_{мг} + C_{мс}$ (III—46), где: $C_{мвинт}$ (III—29) — погрешность люфта крестовой муфты винта, $2C_{мг}$ (III—34) — удвоенная для двух ходовых гаек, погрешность от зазоров в муфте ходовых гаек. Суммарная погрешность механизма $\Sigma C_{мy} = \Sigma C_{мх} + C_i + C_{нш}$ (III—47).

Погрешность механизма слежения $\Sigma C_{мс}$. $\Sigma C_{мс}$ составляет приведенная погрешность от неплоскостности направляющего уголка C_y (III—65). Для прибора $\Sigma C_{мс} = 2C_y$.

Погрешность механизма направляющих движения головок. Механизм содержит приведенную случайную составляющую погрешность от перекаса втулки измерительной головки на направляющей $\delta_{вт}$ (III—69) и погрешность от прогиба направляющих труб от втулки C_t (III—77) и от ролика C_p (III—80). Для прибора суммарная систематическая составляющая погрешность механизма составит $\Sigma C_{мд} = 2 \cdot (C_t + C_p)$ (III—81), суммарная случайная составляющая составит: $\Sigma \delta_{мд} = \pm \sqrt{2} \delta_{вт}$.

Суммарная погрешность оптико-механической части прибора $\Delta_{пр}$ состоит из систематической ΣC и случайной $\Sigma \delta$ составляющих.

$$\Sigma C = \Sigma C_{мп} + \Sigma C_{мх} + C_i + C_{нш} + \Sigma C_{мс} + \Sigma C_{мд}. \quad (\text{III—82})$$

С помощью механизма слежения введена в ΣC компенсация, величина которой

$$K = -(\Sigma C_{мп} + C_i + C_{нш} + \Sigma C_{мс} + \Sigma C_{мд}). \quad (\text{III—83})$$

Компенсация осуществляется корректировкой положения направляющего уголка для накопленной составляющей и шабровкой уголка для периодической составляющей. Компенсация вносит погрешность C_k (III—84), вызванную допуском на шабровку направляющей поверхности. После введения компенсации $\Sigma C = \Sigma C_{мх} + C_k$ (III—85), случайная составляющая

$$\Sigma \delta = \pm \sqrt{\Sigma \delta_{мп}^2 + \Sigma \delta_{мд}^2}. \quad (\text{III—86})$$

Суммарная погрешность оптико-механической части

$$\Delta_{пр} = \Sigma C_{мх} + C_k \pm \sqrt{\Sigma \delta_{мп}^2 + \Sigma \delta_{мд}^2}. \quad (\text{III—88})$$

Погрешность прибора в статическом режиме $\Delta_{ст}$ составит:

$$\Delta_{ст} = \Delta_{вр} + \Delta_{сх}. \quad (III - 89)$$

Погрешность дистанционной установки номинала Δ_n . На Δ_n оказывает влияние погрешность сельсинной передачи δ_c (III—90) и погрешность дистанционной установки номинала измерения оператором δ_o .

$$\Delta_n = \pm \sqrt{\delta_c^2 + \delta_o^2}. \quad (III - 91)$$

Эксплуатационная
Динамическая погрешность прибора $\Delta_{дин}$. Из главных компонентов, составляющих $\Delta_{дин}$ у прибора, работающего на стане горячей прокатки, являются систематическая составляющая погрешности от изменения толщины измеряемой полосы $C_{тп}$ (III—100), приведенная погрешность от тепловой деформации винта установки головок $C_{винт}$ (III—102), которая для всего прибора $\Sigma C_{винт} = 2C_{винт}$ (III—103), и погрешность от нестабильности параметров измеряемого объекта и элементов измерительной схемы $\delta_{нест}$, откуда

$$\Delta_{дин} = C_{тп} + \Sigma C_{винт} \pm \delta_{нест}. \quad (III - 109)$$

Таким образом, мы получили все составляющие полной погрешности прибора для измерения ширины полосы $\Delta_{полн}$, которая составит:

$$\Delta_{полн} = \Delta_{ст} \pm \Delta_n + \Delta_{дин}. \quad (III - 110)$$

Способ компенсации основной **Эксплуатационной**
динамической составляющей погрешности прибора $\delta_{нест}$

Существенную погрешность в результат измерений вносит нестабильность параметров измеряемого горячего проката, элементов измерительной схемы и пр., при формировании измерительного импульса от собственного излучения проката. Важным звеном нестабильности является изменение амплитуды и длительности фронтов измерительного импульса с фотоспротивления. Против амплитудной нестабильности в электронных измерительных схемах приборов применяются методы компенсации погрешности. В рассматриваемых приборах используется метод формирования измерительного импульса на уровне привязки, пропорциональном амплитуде импульса, погрешность которого выражается δ (III—108). Известны также методы привязки уровня по точкам симметрии и по точкам перегиба, но все они являются приближенными.

В работе предложен новый способ компенсации $\delta_{\text{нест}}$ от неустойчивости параметров измеряемого горячего проката и элементов измерительной схемы прибора. Способ заключается в введении калибровочных каналов, работающих в калибровочные периоды развертки развертывающих систем от того же измеряемого металла и с теми же фоточувствительными элементами, что и в измерительных каналах. Выделенные измерительные и калибровочные суммарные сигналы на разных уровнях привязки содержат одинаковые погрешности от переменных условий измерения. Благодаря этому, сравнивая сигналы, можно автоматически исключить погрешность от переменных условий измерения.

Анализ точности измерителя диаметра колец (ширины штрипса)

К данному прибору, относящемуся ко второй группе приборов с диапазоном измерения 50—500 мм, предъявляются более высокие требования к точности измерений. По аналогии с проведенным анализом точности для приборов первой группы, точность прибора будем характеризовать полной погрешностью прибора $\Delta_{\text{полн}}$, состоящую из погрешности прибора в статическом режиме работы $\Delta_{\text{ст}}$ и $\Delta_{\text{н}}$ и динамической составляющей $\Delta_{\text{дин}}$.

Суммарная погрешность прибора в статическом режиме работы содержит погрешность оптико-механической части прибора $\Delta_{\text{пр}}$ и погрешность электронной измерительной схемы $\Delta_{\text{сх}}$. $\Delta_{\text{пр}}$ в соответствии с кинематической схемой прибора можно расчленить на приведенные на линию измерения погрешность механизма развертывающей системы $\Sigma C_{\text{мр}}$, погрешность механизма привода развертывающей системы и установки номинала, состоящую из $\Sigma C_{\text{мп}}$ и $\Sigma \delta_{\text{мп}}$, и погрешность от допущений кинематической схемы $C_{\text{кс}}$.

Погрешность механизма развертывающей системы $\Sigma C_{\text{мр}}$. На $\Sigma C_{\text{мр}}$ оказывают влияние погрешность винтовой щели барабана C_6 (III—111), погрешность от радиального биения образующей барабана C_{p6} (III—112) и погрешность оптического изображения $C_{\text{н}}$. Суммарная погрешность механизма развертывающей системы

$$\Sigma C_{\text{мр}} = C_6 + \Sigma C_{p6} + 2C_{\text{н}}. \quad (\text{III} - 113)$$

Погрешность механизма привода развертывающей системы и установки номинала.

На погрешность механизма оказывают влияние погрешность от зазоров в подшипниках вала δ_z (III—114), погрешность от биения вала $C_{бв}$ (III—115), погрешность от радиального смещения барабанов на валу $C_{св}$ (III—116), погрешность от радиального смещения фланца подвижного барабана δ_ϕ (III—117), погрешность шкалы $C_{ш}$ (III—119) и погрешность установки номинала по шкале $\delta_{ш}$ (III—120). Таким образом, механизм содержит суммарную систематическую составляющую $\Sigma C_{мп}$ и суммарную квадратическую составляющую погрешности $\Sigma \delta_{мп}$.

$$\Sigma C_{мп} = 2C_{бв} + 2C_{св} + C_{ш}. \quad (\text{III} - 121)$$

$$\Sigma \delta_{мп} = \pm \sqrt{\delta_z^2 + \delta_\phi^2 + \delta_{ш}^2}. \quad (\text{III} - 122)$$

Погрешность кинематической схемы прибора $\Sigma C_{кс}$. На $\Sigma C_{кс}$ оказывает влияние погрешность, вызванная загоразиванием измеряемого диаметра большим кольцом $C_{кс}$ (III—137) и подглядыванием прибором малого кольца $C_{кс}$ (III—151). Обе погрешности имеют одинаковое аналитическое выражение и направлены в сторону увеличения показаний, по абсолютному значению большей является $C_{кс}$ от большого кольца, поэтому $\Sigma C_{кс} = C_{кс}$.

Суммарная погрешность оптико-механической части прибора $\Delta_{пр}$ состоит из систематической ΣC и случайной $\Sigma \delta$ составляющих.

$$\Sigma C = \Sigma C_{мп} + \Sigma C_{кс} + \Sigma C_{кс}. \quad (\text{III} - 152), \quad \Sigma \delta = \pm \Sigma \delta_{мп}. \quad (\text{III} - 156).$$

Причем, ΣC можно рассматривать как состоящую из накопленной $C_{нак}$ и периодической $C_{пер}$ составляющих. По результатам исследований установлено, что

$$C_{нак} = 2C_{пер}. \quad (\text{III} - 153)$$

$C_{нак}$ можно компенсировать путем корректировки масштаба изображения. Величина компенсации

$$K = -C_{нак} = -\frac{2}{3} \Sigma C. \quad (\text{III} - 154)$$

После введения компенсации

$$\Sigma C_{пер} = \frac{\Sigma C_{мп} + \Sigma C_{мп} + \Sigma C_{кс}}{3}. \quad (\text{III} - 155)$$

Следовательно

$$\Delta_{пр} = \Sigma C_{пер} \pm \Sigma \delta. \quad (\text{III} - 157)$$

Аналогично с измерителем ширины полосы

$$\Delta_{ст} = \Delta_{пр} + \Delta_{сх}. \quad (\text{III} - 158)$$

Погрешность установки номинала Δ_n . На Δ_n оказывает влияние погрешность механизма подъема, связанная с номиналом установки прибора по высоте $\delta_{вп}$ (III—159). С учетом двух развертывающих систем $\Delta_n = \pm \delta_{вп}$. (III—160).

~~Эксплуатационная~~
Динамическая погрешность прибора $\Delta_{зкс}$. К главным компонентам, составляющим $\Delta_{зкс}$ прибора относятся погрешности кинематической схемы, вызванные колебанием кольца вдоль вертикальной оси прибора δ_v (III—165) и широтное колебание кольца вдоль линии измерения $\delta_{ш}$ (III—171), погрешность от неустойчивости параметров измеряемого объекта и элементов измерительной схемы $\delta_{нест}$, и погрешность тепловой деформации прибора C_t (III—172).
~~Эксплуатационная~~
Суммарная динамическая погрешность

$$\Delta_{зкс} = C_t \pm \sqrt{\delta_v^2 + \delta_{ш}^2 + \delta_{нест}^2}. \quad (\text{III—173})$$

Получив все составляющие полной погрешности прибора, имеем:

$$\Delta_{полн} = \Delta_{ст} \pm \Delta_n + \Delta_{зкс}.$$

Методика настройки и экспериментальное исследование приборов с винтовой разверткой

Точность прибора характеризуется полной погрешностью прибора $\Delta_{полн}$. Более объективной экспериментальной оценкой является погрешность прибора в статическом режиме работы $\Delta_{ст}$, определяемая зоной предельных отклонений точностных характеристик прибора по диапазону измерения и по полю зрения. Настройка приборов производится с помощью разработанных имитаторов горячего проката.

Общая оптическая развертывающая система. Оптическая система предварительно настраивается на красный свет, при этом проверяется соосность системы, производится юстировка объектива на резкое изображение и настройка конденсора. Окончательная настройка оптической развертывающей системы осуществляется на И. К. спектр с помощью низкочастотного осциллографа (С1-4) и горячего имитатора. Объектив настраивается на минимальную длительность фронта измерительного импульса от горячей кромки металла ($\tau = 0,4 \div 0,6$ мсек). Конденсор настраивается на получение прямоугольной формы сигнала в пределах всего поля зрения системы ($I_{мин} \geq \frac{4}{5} I_{макс}$).

Измеритель ширины полосы. Настройка прибора производится на специальном стенде. Предварительно осуществляется настройка хода луча с помощью вспомогательных точечных ламп, где регулируются диафрагмы, направляющие уголки, фаза и номинал установки измерительных головок.

Далее с помощью горячих имитаторов и измерительной схемы снимаются точностные характеристики по диапазону измерений прибора и по полю зрения головок, при этом зоны их разброса характеризуют $\Delta_{\text{диап}}$ и $\Delta_{\text{пзр}}$. При этом для исправления точностной характеристики по диапазону измерения вводится компенсация K (III—83), которая осуществляется с помощью корректировки ($C_{\text{нак}}$) и профилировки ($C_{\text{пер}}$) направляющих уголков, где $K = C_{\text{нак}} + C_{\text{пер}}$ (IV—1).

Величина корректировки составляет c (IV—2). В результате чего получены $\Delta_{\text{диап}} = \pm 0,8 \text{ мм}$, $\Delta_{\text{пзр}} = \pm 0,45 \text{ мм}$, откуда $\Delta_{\text{ст}} = \Delta_{\text{диап}} + \Delta_{\text{пзр}}$ (IV—4), численно $\Delta_{\text{ст}} = \pm 1,3 \text{ мм}$.

Измеритель штрипсового диапазона. Прибор выставляется на стенде по расчетным координатам. С помощью вспомогательных точечных ламп устанавливается ход луча, фаза и номинал. Настройка прибора производится на плоском горячем имитаторе. Снимаются точностные характеристики по диапазону измерения и при поперечном перемещении проката, зоны их разброса характеризуют $\Delta_{\text{диап}}$ и $\Delta_{\text{ппер}}$. Для исправления точностной характеристики по диапазону измерения вводится компенсация $K = -\Sigma C_{\text{нак}}$, которая осуществляется с помощью корректировки высоты установки прибора. Величина корректировки составляет Δ (IV—7). В результате получены $\Delta_{\text{диап}} = \pm 0,06 \text{ мм}$, $\Delta_{\text{ппер}} = \pm 0,09 \text{ мм}$. Откуда $\Delta_{\text{ст}} = \Delta_{\text{диап}} + \Delta_{\text{ппер}}$ (IV—8), численно $\Delta_{\text{ст}} = \pm 0,15 \text{ мм}$.

В работе рассмотрена также стендовая настройка приборов третьей группы — измерителей большой и малой петли; испытания показали, что точность приборов удовлетворяет предъявленным к ним техническим требованиям.

Наладка и испытание приборов в заводских условиях осуществляется по разработанной методике. Тарировка приборов производится с помощью горячих имитаторов и непосредственных контактных измерений движущегося горячего проката. Точность работы прибора на стане характеризуется полной погрешностью прибора $\Delta_{\text{полн}}$. Для измерителя ширины полосы $\Delta_{\text{полн}} = \pm 2 \div 2,2 \text{ мм}$ (ММК,

ЧМЗ и др.), для прибора штрипсового диапазона $\Delta_{\text{полл}} = \pm 0,3 \text{ мм}$ (станы «300» КМЗ и ММК).

Испытание приборов на стенде и на станах горячей прокатки по разработанной методике подтвердили правильность проведения анализа точности, выбора и расчета основных элементов и кинематических схем приборов.

Использование приборов в промышленности и перспективные приборы

Начиная с 1959 г. на отечественных тонколистовых и толстолистовых станах горячей прокатки успешно работает ряд приборов для измерения ширины полосы (на стане «1450» ММК — два прибора, на стане «1700» и «2800» ЧМЗ, на стане «1700» ЖМЗ и пр.). С 1965 г. на стане «300» КМЗ работает измеритель штрипса. В 1964 г. на ЖМЗ была испытана исследовательская установка для измерения серповидности полосы [4]. Прошли промышленную проверку измеритель малой петли на стане «250» КМЗ и измеритель большой петли на стане «350» ЧМЗ.

Прошли стендовую проверку два измерителя диаметра колец для автоматической линии Саратовского ГПЗ и измеритель штрипса для стана «300-2» ММК. Заканчивается настройка измерителя длины раската [5] для стана «2800» ЧМЗ.

Экономическая эффективность применения измерителя ширины составляет 200 т. руб., измерителя штрипсового диапазона 20 т. руб., измерителя колец 58 т. руб. в год.

В работе на базе исследований рассмотрены разрабатываемые и перспективные приборы, в том числе: малогабаритный прибор для измерения относительных размеров с многопозиционным блоком зеркал [6], малогабаритный автоматический прибор [7], усовершенствованный штрипсовый прибор с редуктором дистанционной установки [8], прибор с большим полем зрения [9] и малогабаритный прибор с разверткой световым каналом.

Выводы

1. В работе определены элементы проектирования основных трех групп новых фазоимпульсных приборов с винтовыми развертками для измерения геометрических размеров горячего проката и их определяющие кинематические зависимости, обеспечившие основу проведения анализа точности.

2. Разработан анализ точности двух основных типов точных приборов с оптико-механическими развертывающими системами — измерителя ширины полосы с подвижными головками и измерителя штрипсового диапазона со стационарно-закрепленными оптическими системами, который определил методику проведения анализа точности приборов для измерения геометрических размеров горячего проката, ранее отсутствовавшую в литературе.

3. В результате проведения анализа точности разработаны структурные схемы и получены зависимости полной погрешности $\Delta_{\text{полн}}$ основных типов точных приборов, где $\Delta_{\text{полн}} = \Delta_{\text{ст}} \pm \Delta_{\text{н}} + \Delta_{\text{днп}}$, причем $\Delta_{\text{ст}}$ равна $\Delta_{\text{ст}} = \Delta_{\text{пр}} + \Delta_{\text{сх}}$, а $\Delta_{\text{пр}}$ включает в себя приведенные суммарные систематические и случайные составляющие погрешности всех механизмов и введенную компенсацию постоянной систематической составляющей погрешности.

4. Разработан новый способ компенсации основной динамической составляющей погрешности прибора $\delta_{\text{нест}}$ от нестабильности параметров измеряемого горячего проката и элементов измерительной схемы прибора с введением калибровочных каналов.

5. На базе исследований разработана новая оптическая развертывающая система с высокоточным элементом развертки — барабаном со сквозными винтовыми прорезями и методика настройки ее на И. К. спектр.

6. Разработана методика настройки приборов; критерием настройки являются точностные характеристики по диапазону измерения и по полю зрения, зона разброса величин характеризует $\Delta_{\text{диап}}$ и $\Delta_{\text{пзр}}$, сумма их — $\Delta_{\text{ст}}$.

Методика настройки предусматривает введение компенсатора для $\Delta_{\text{днп}}$.

7. Произведенная оценка фазоимпульсных приборов с винтовой разверткой, в том числе оценка точности, которая подтверждена при промышленных испытаниях приборов, характеризует их как точные и надежные в работе.

8. Рассмотренные в работе приборы успешно применяются в металлургической промышленности на станах горячей прокатки и обеспечивают весьма значительную технико-экономическую эффективность.

9. В работе предложен ряд перспективных приборов на базе исследованных, которые одобрены Комитетом по делам открытий и изобретений.

**Основные положения диссертации
опубликованы в следующих соавторских работах**

1. Устройство для визуального контроля внутренних сварных швов в трубах. Авт. свид. № 123330, 1958 г. Опубликовано в «Бюллетене изобретений», № 20 за 1959 г.

2. Фотоэлектрическое устройство для измерения внешних линейных размеров изделий в процессе прокатки и волочения. Авт. свид. № 124633, 1958 г., Опубликовано в «Бюллетене изобретений», № 23 за 1959 г.

3. Фотоэлектрическое устройство для измерения линейных размеров движущихся объектов. Заявка № 810108/26—10 за 1962 г.

4. Фотоэлектрический прибор для измерения внешних линейных размеров изделий в процессе прокатки и волочения. Авт. свид. № 144035, 1961 г. Опубликовано в «Бюллетене изобретений», № 1 за 1961 г.

5. Способ измерения продольного размера движущегося проката. Авт. свид. № 142035, 1961 г. Опубликовано в «Бюллетене изобретений», № 20 за 1961 г.

6. Способ измерения линейных размеров движущегося проката. Авт. свид. № 160832, 1963 г. Опубликовано в «Бюллетене изобретений», № 5 за 1964 г.

7. Фотоэлектрическое устройство для измерения линейных размеров проката. Авт. свид. № 160833, 1963 г. Опубликовано в «Бюллетене изобретений», № 5 за 1964 г.

8. Фотоэлектрическое устройство для измерения поперечных линейных размеров проката. Авт. свид. № 179002, 1963 г. Опубликовано в «Бюллетене изобретений», № 4 за 1966 г.

9. Устройство для бесконтактного измерения ширины прокатываемых листов. Авт. свид. № 134880, 1960 г.

10. Приборы для измерения ширины полосы при горячей прокатке. Издание ВНИИМЕТМАШ, М., 1963 г. Проспект экспоната ВДНХ СССР.

11. Автор работы участвовал в выполнении более 10 научно-исследовательских тем в качестве руководителя или ответственного исполнителя темы.

