
**МНГОВАРИАНТНАЯ ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ КАК ОСНОВА
СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ
ОБЪЕКТАМИ С НЕСТАЦИОНАРНЫМИ И ВЕРОЯТНОСТНЫМИ
ХАРАКТЕРИСТИКАМИ****З.Г. Салихов, Р.Т. Газимов, А.Л. Генкин, И.В. Никуллина (Москва)**

Существенное отставание российской науки в области технологии термообработки толстых стальных изделий для нефтегазовых труб вынуждает в настоящее время импортировать их из Японии, США, Германии на десятки миллиардов долларов. Для ускоренного импортозамещения интенсивно ведутся широкомасштабные исследования по совершенствованию технологии толстых стальных прокатных изделий и одновременно – по созданию САУ, обеспечивающих точное выполнение регламента производства таких изделий.

Настоящий доклад посвящен решению второй части указанной актуальной промышленной проблемы России.

В настоящее время получение качественных стальных листов и полос невозможно без контролируемого изменения их свойств на различных участках обработки металла – прокатки и охлаждения. Такое изменение свойств металла называется термообработкой и заключается в тепловой обработке металлических изделий с целью изменения их структуры и свойств в заданном направлении. Технологический регламент горячей прокатки листов и полос предусматривает контролируемое охлаждение как в процессе прокатки (межклетевое охлаждение), так и ускоренное регулируемое охлаждение после окончания прокатки. Естественно, качество готового проката напрямую зависит от точности получения регламентируемых значений температуры металла в процессе его обработки в прокатном стане.

Традиционно при горячей прокатке полос и листов повсеместно используются способы регулируемого охлаждения движущейся стальной горячекатаной полосы, в основе которых лежит форсуночная подача воды на верхнюю и нижнюю поверхности полосы, а управление процессом охлаждения базируется на использовании математических моделей, исходные параметры которых для расчета и формирования управляющих воздействий имеют нестационарный и вероятностный характер. Например, площадь факела форсунки, через которые подается хладагент (вода) на поверхность слитка существенно зависит от давления или расхода хладагента. Также при подаче на горячекатаную полосу охладителя между ним и поверхностью полосы образуются паровые подушки, препятствующие съему тепла с нагретого металла, что снижает интенсивность и равномерность охлаждения. Это является причиной нестабильности механических свойств готовых стальных полос вследствие низкой управляемости процессом теплосъема с объекта охлаждения. Кроме того, использование традиционного форсуночного охлаждения приводит к существенному загрязнению охлаждающего агента (воды), рабочей зоны паром, пылью и окалиной, что обуславливает нестационарность рабочих характеристик управляемого объекта и управляющих средств автоматики.

Самым главным недостатком форсунок остается нестабильность их характеристик и высокая частота утраты ими способности нормального функционирования, потери работоспособности. При охлаждении форсунками невозможно непрерывно и точно контролировать и тем более задавать величину локального теплосъема на любом участке поверхности охлаждаемого металла, так как сам физический принцип распыления хладагента по поверхности охлаждаемого металла предполагает, что можно лишь усредненно оценить величину теплоотвода от всей поверхности и с некоторой вероятностью поддерживать эту величину интеллектуальными системами мониторинга и управления. Кроме того, в системе форсуночного охлажде-

ния может быть несколько сотен форсунок, часть из которых периодически выходит из строя. Следовательно, сама система форсуночного охлаждения является главной причиной нарушения равномерности охлаждения металла, а следовательно прогнозирования ситуации и непрерывной идентификации параметров как технологических процессов, так и самой системы.

Отмеченные недостатки форсуночного охлаждения металла не позволяют обеспечить высокое качество проката, необходимое для использования горячекатаной продукции, например, для производства труб большого диаметра, значительная часть которых импортируется в настоящее время из-за рубежа.

В основе нового принципа управления процессом термообработки непрерывнолитых прокатных листов металла, разработанного группой специалистов различных организаций под руководством проф. З.Г. Салихова, лежит принципиально новый метод теплосъема и регулирующего органа, реализуемый путем пропускания турбулентного потока хладагента через полые металлические ролики, контактирующие с поверхностями плоского металла. Подача хладагента (воды) под давлением через эти цилиндрические ролики, заполненные медными шариками, обеспечивает интенсивное охлаждение стенок роликов и, следовательно, поверхности полосы, а степень охлаждения регулируется изменением расхода охладителя. По разнице прямых, т.е. точных, замеров температуры входного и выходного потоков хладагента определяют реальные значения коэффициентов теплосъема, что существенно повышает точность контроля параметров металла, а следовательно процессов кристаллизации и рекристаллизации металла прокатываемого изделия.

Для организации эффективного управления в соответствии с новым принципом охлаждения полосы в реальном времени разработана математическая модель, в которой использован принцип многозонного разбиения поперечного сечения полосы, обеспечивающий расчет материальных и тепловых потоков в сечениях полосы при ее движении вдоль технологической линии прокатки и непрерывном контроле фактических значений коэффициентов теплосъема и интенсивности охлаждения полосы. Научные принципы многозонного разбиения управляющего объекта использовался ранее для моделирования охлаждения крупных слябов (площадь поперечного сечения этих слябов превышает площадь поперечного сечения полосы в несколько раз) и показал удовлетворительный результат [1]. С использованием многозонной математической модели разработаны алгоритмы динамического компьютерного моделирования процесса роликового охлаждения и методология процедуры динамической идентификации модели процесса роликового охлаждения полосы при ее непрерывном движении вдоль технологической линии прокатки. На базе полученных результатов имитационного моделирования разработана многомодульная схема САУ роликовым охлаждением полосы (или листа) [2]. Согласно представленной схеме (рис. 1), регулирование охлаждения осуществляется на основании анализа отклонения фактической температуры поверхности полосы от заданной по регламенту, в системах верхнего уровня формируется задание на количество тепловой энергии $Q_3(\tau)$, которое ролик должен отвести от полосы (или листа) в единицу времени. Система автоматического регулирования реализует $Q_3(\tau)$ путем изменения расхода хладагента, пропускаемого через охлаждающий ролик, заполненный медными шариками.

Величина теплоотвода от движущегося охлаждаемого стального изделия (листа или полосы) в текущий момент времени $Q_{\phi}(\tau)$ рассчитывается в зависимости от результатов прямого контроля расхода хладагента $V(\tau)$, разницы температуры на выходе $T_2(\tau)$ из ролика и входе $T_1(\tau)$ в него, теплофизических свойств хладагента. Совокупность представленных решений позволила впервые организовать прямое управление охлаждением листов и полос, основанное не на вероятностных (теоретических или эмпирических) моделях, а по результатам точных, прямых и оперативных измерений параметров процесса, что одновременно упростило и сократило время расчетов ранее не контролируемых параметров.

Поскольку температура поверхности охлаждаемого изделия не стационарна во времени и не однородна в пространстве, то очевидна необходимость осуществления непрерывной идентификации процесса взаимодействия охлаждающего ролика с металлом. Возникновение дополнительных неконтролируемых возмущений при регулировании расхода хладагента существенно усложняет задачу идентификации. Вносимые при идентификации возмущения снижают общую эффективность охлаждения и приводят к риску нарушения технологического процесса в целом, что делает невозможной прямую идентификацию в режиме наблюдения. Поэтому для настройки модуля САР предлагается использовать в структуре системы автоматического регулирования идентификатор-наблюдатель с многовариантной имитационной моделью. При таком подходе контур регулирования всегда остается замкнутым и в него не вносятся дополнительные детерминированные и случайные возмущения. Идентификация осуществляется на имитационной модели, которая непрерывно параметрически подстраивается под объект. Использование при подстройке большого числа данных, полученных в результате прямых измерений, обеспечивает адекватность модели и ее высокую точность.

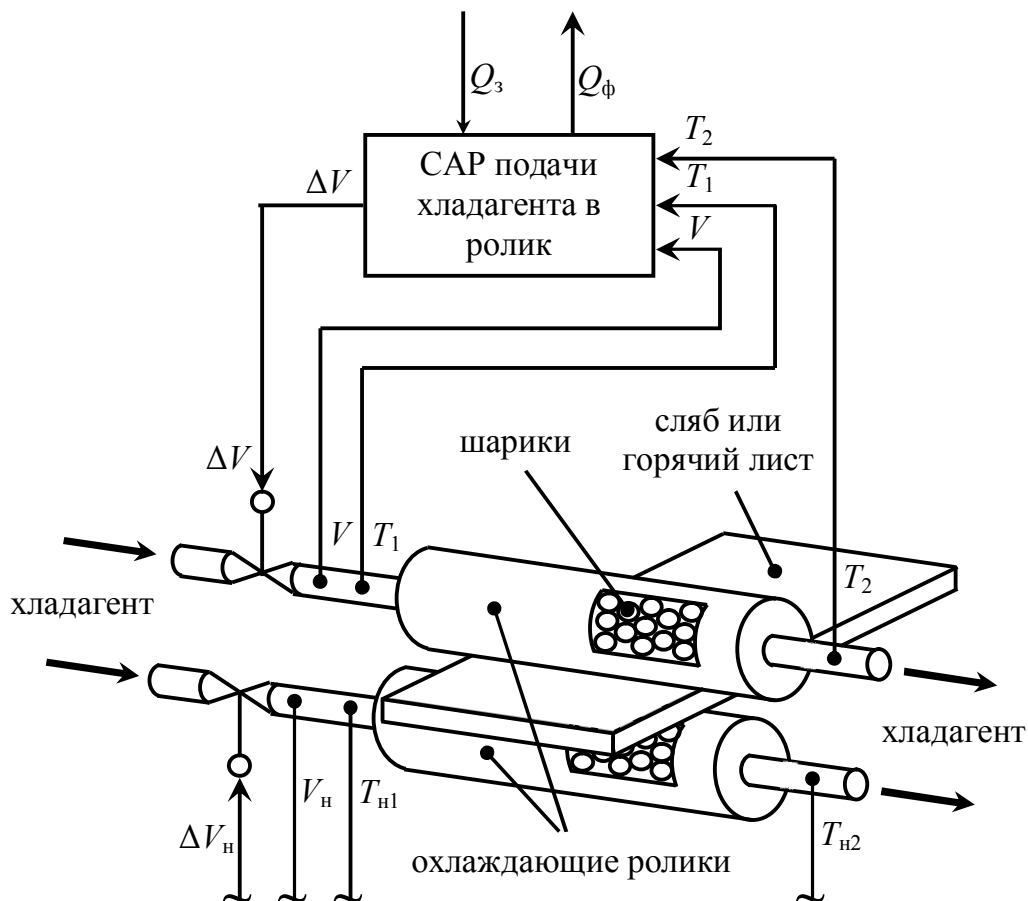


Рис. 1. Увеличенная функциональная схема регулирующего модуля системы управления роликовым охлаждением плоского металла

Предлагаемый процесс идентификации, представленный на рис. 2, осуществляется следующим образом. На объекте управления (ОУ) непрерывно фиксируются основные технологические показатели (температуры хладагента на входе T_1 и выходе T_2 из ролика, расхода хладагента V , величины теплоотвода Q_{ϕ} , температурный профиль листа T_c), кото-

рые используются в блоке параметрической настройки модели (БПНМ) для ее непрерывной точной подстройки под объект. Матрица настроечных параметров \mathbf{B} передается в блок многовариантного имитационного моделирования (БИМ), где осуществляется полная имитация процесса идентификации.

Анализ результатов моделирования процесса роликового охлаждения показал, что реакция системы на ступенчатое изменение расхода хладагента представляет собой совокупность двух процессов. Первый процесс – преодоление возросшего гидродинамического сопротивления – можно описать переходной функцией инерционного аperiodического звена второго порядка. Второй процесс – импульсный скачок величины теплоотвода – можно описать импульсной переходной функцией инерционного звена первого порядка. На выходе БИМ регистрируется модельная кривая реакции $Q_M(t)$, которая в блоке настройки регулятора (БНР) аппроксимируется суммой переходной и импульсной переходной функций, параметры которых находятся по методу наименьших квадратов, после чего отыскиваются оптимальные настройки A регулятора (Р).

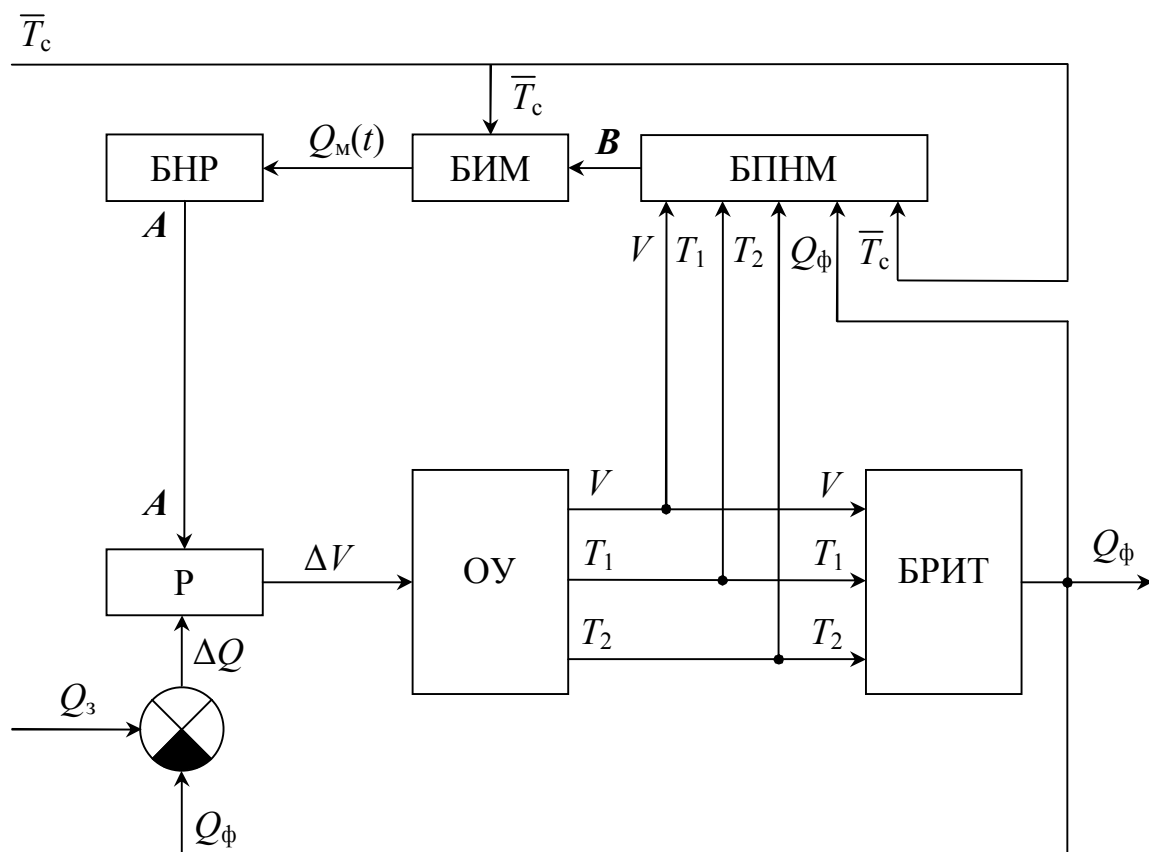


Рис. 2. Структура САУ с идентификатором-наблюдателем

Выводы

Испытание предложенного способа роликового управления температурой металла, проведенное в многовариантном имитационном режиме на физической модели, подтвердило возможность изменения температуры поверхности металла в более широких диапазонах и обеспечения тем самым равномерного теплосъема по всему сечению и длине полосы в технологической линии обработки металла, а введение в состав САУ многовари-

антной имитационной модели совместно с блоком параметрической настройки позволило не менее, чем в 2 раза увеличить точность прогнозирования переменных. Дополнительно отметим, что предлагаемая САУ позволяет экономить электроэнергию и расход охладителя (не менее чем на 30–50%) по сравнению с форсуночным исполнительным органом, значительно сократить капитальные затраты и, самое главное, создать благоприятные условия работы для обслуживающего персонала и увеличить срок службы строительных конструкций и средств автоматики.

Использование прогрессивных методов идентификации с включением идентификатора-наблюдателя с многовариантной имитационной и моделью в контур управления обеспечивает непрерывную адаптацию системы, на основании реальных измерений, под текущие условия протекания технологического процесса и повышает точность управления охлаждением. Таким образом, совокупность предлагаемых решений позволяет существенно повысить эффективность работы интеллектуальной системы охлаждения и расширить в ней диапазоны изменения управляющих воздействий. Применение новой системы охлаждения даст возможность с минимальными затратами и достаточно оперативно увеличить производительность современных прокатных станов, улучшить потребительские свойства стального проката, уменьшить долю брака, снизить энерго- и ресурсозатраты, резко повысить экологичность производства и существенно улучшить наблюдаемость параметров процесса практически без изменения конструкции основного оборудования.

Литература

1. Газимов Р.Т., Демин А.В., Салихов З.Г. Способ идентификации процесса формирования макроструктуры сляба в зоне вторичного охлаждения криволинейных МНЛЗ / Тр. 5-й российской мультikonференции по проблемам управления: «Управление в технических, эргатических, организационных и сетевых системах» (УТЭОСС-2012). – СПб., 2012. – СПб.: ОАО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор», 2012. – С. 376–379.
2. Салихов З.Г., Газимов Р.Т., Демин А.В. Структура САУ роликовым охлаждением горячего металла // Автоматизация в промышленности. – 2012. – № 5. – С. 60–63.