

Нейтронный измерительно-вычислительный комплекс для контроля влажности и плотности шихтовых материалов

Тлеухан Намазбаев, Анатолий Полевой, Владимир Савелов, Александр Колесников, Александр Ананьев, Виктор Маевский, Адий Махнев

В статье описаны структура и состав нейтронного измерительно-вычислительного комплекса ВНС-7652М, предназначенного для контроля влажности и плотности загружаемых в доменную печь шихтовых материалов. Благодаря выбранной элементной базе, комплекс отвечает требованиям высокой надежности в сочетании с достаточной производительностью по обработке измерительной информации.

Методы определения влажности шихтовых материалов

Одним из резервов повышения производительности металлургических агрегатов в отрасли черной металлургии, улучшения качества выплавляемого металла и технико-экономических показателей является автоматизация процессов подготовки сыпучих шихтовых материалов в агломерационном и доменном переделах металлургического производства с обязательным решением таких задач, как дозирование компонентов шихтовых материалов, контроль и регулирование влажности, контроль протекания и окончания технологического процесса на конкретном технологическом агрегате.

Однако эффективность автоматизации проявляется только при наличии объективной информации о процессе, что в условиях реального металлургического производства связано с большими трудностями. В связи с этим одной из актуальных проблем автоматизации процессов подготовки сыпучих шихтовых материалов в агломерационном и доменном переделах металлургического производства является создание информационно-измерительных комплексов для контроля влажности и насыпной плотности шихтовых материалов. Эта проблема может быть решена как методами непосредственного прямого измерения влажности и насыпной плотности шихтовых материалов, так и методами измерения косвенных величин, в той или иной степе-

ни характеризующих физико-химические свойства контролируемого материала.

Наиболее распространенным способом определения влажности материалов является весовой метод, основанный на измерении влаги по разности веса влажной и высушенной пробы вещества. Этот метод прост и дает вполне удовлетворительные результаты для многих материалов. Но отбор проб и длительность определения, иногда достигающая до нескольких часов, совершенно исключает применение такого метода в непрерывно-поточных технологических процессах. По этим же причинам не могут использоваться и химические методы определения влажности. Кроме весового и химического методов, в последнее время получили



Центральный пост управления доменной печью



Доменная печь

некоторое применение электрофизические методы. Они основаны на зависимости различных электрических параметров вещества от содержания в нем воды. Для контроля содержания влаги в шихтовых материалах в условиях металлургического производства ни один из этих методов не нашел широкого промышленного применения.

Другие известные методы измерения влагосодержания металлургического сырья (термогравиметрический, метод Фишера и т.д.) трудно поддаются автоматизации, поскольку требуют многих механических операций по разделке и транспортировке пробы вещества. Кроме того, полный цикл измерения от момента начала отбора пробы до получения результата занимает, как правило, несколько часов, что в значительной степени обесценивает результаты измерения.

Одним из наиболее перспективных косвенных методов определения влагосодержания сыпучих веществ в промышленных условиях является нейтронный. Метод основан на аномально большой способности ядер водорода (протонов) замедлять быстрые нейтроны и сводится в общем случае к облучению изучаемого материала быстрыми нейтронами и одновременному измерению некоторых параметров поля замедляющихся в результате ядерных реакций нейтронов.

Схематически процесс измерения влагосодержания нейтронным влагомером можно описать следующим образом:

- 1) измеряемое вещество облучается потоком быстрых нейтронов от источника, входящего в состав первичного преобразователя (датчика — рис. 1) влагомера;
- 2) одновременно с помощью ряда детекторов измеряется плотность потока замедлившихся в веществе нейтронов в нескольких участках энергетического спектра;
- 3) в результате на выходе первичного преобразователя появляется несколько импульсных или аналоговых сигналов, величины которых связаны с плотностью потока замедлившихся нейтронов в определенных участках спектра; плотность потока, в свою очередь, зависит от характеристик измеряемого вещества, в том числе от содержания в нем влаги.

Датчик прибора устанавливается в нижней части весовой воронки доменной печи (рис. 2). Цикл работы прибо-



Рис. 1. Датчик комплекса ВСН-7652М

ра начинается при появлении сигнала от взвешивающего устройства, гарантирующего наличие в весовой воронке количества кокса, полностью закрывающего датчик. Счет замедлившихся нейтронов производится в течение 50 секунд двумя группами счетчиков. Для смещения максимума спектральной чувствительности счетчики одной из групп закрыты нейтронными фильтрами из листового кадмия толщиной 0,34 мм. После окончания счета производится вычисление значения влагосодержания, которое высвечивается на цифровом табло и передается в систему управления загрузкой доменной печи.

АСУ ДОЗИРОВАНИЕМ КОМПОНЕНТОВ ШИХТОВЫХ МАТЕРИАЛОВ

В странах СНГ оснащение доменных цехов средствами и системами автоматизации, а также эффективность их использования отстает от требований технологии и развития доменного производства. До настоящего времени далеко не все доменные печи оснащены системами управления дозированием компонентов шихтовых материалов с коррекцией их влажности и насыпной плотности.

Для повышения производительности доменных печей и улучшения качества выплавляемого чугуна путем совершенствования процессов подготовки шихтовых материалов в ОАО «Казчерметавтоматика» проводятся разработка, изготовление и поставка систем управления дозированием компонентов шихтовых материалов с коррекцией влажности и плотности для доменных печей. Типовая структурная схема таких систем приведена на рис. 3. Под весовыми воронками размещены тензометрические датчики. На тензометрические датчики подается питание, а с них снимается аналоговый сигнал, пропорциональный весу весовой воронки, поступающий на преобразователь измерительный дистанционный (ПИД).



Рис. 2. Установка датчика в весовой воронке доменной печи

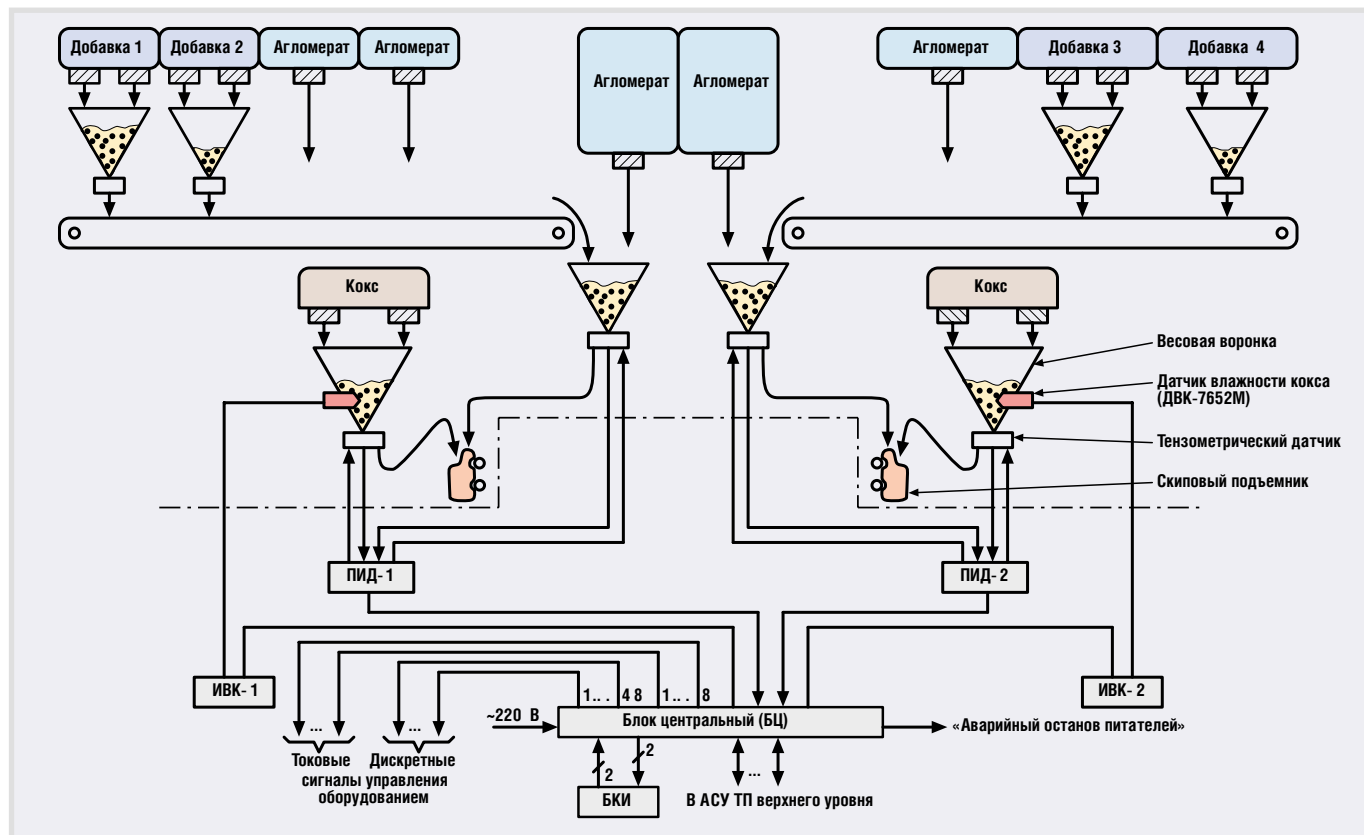
ПИД осуществляет усиление аналогового сигнала с тензодатчиков и аналого-цифровое преобразование с последующей передачей по стандартному интерфейсу в блок центральный (БЦ).

Блок центральный выполнен на основе промышленного компьютера фирмы Advantech в 15-слотовом шасси IPC-615 с процессорной платой PCA-6154 и полным набором устройств связи с объектом и реализует функции: ввод заданий на дозирование компонентов шихтовых материалов, отображение текущей информации, расчет времени отключения питателей и отключение питателей, аварийный останов, проверку информации по влажности и плотности шихтовых материалов, расчет коэффициента коррекции дозы, обмен информацией с АСУ ТП.

В стенки весовых воронок вмонтированы датчики влажности кокса, входящие в состав нейтронного измерительно-вычислительного комплекса для контроля влажности и плотности шихтовых материалов.

Данная система позволяет одновременно вести управление по 4 технологическим каналам, причем на каждом канале может быть установлено свое задание, свой цикл управления с выдачей информации на блок индикации для контроля за ходом технологического процесса и по интерфейсу RS-232 (RS-485) в вычислительный комплекс АСУ ТП верхнего уровня. Пульт управления данной системой показан на рис. 4.

Как видно из структурной схемы, в составе системы управления необходимо использование двух комплексов измерительно-вычислительных комплексов (ИВК) для контроля влажности и плотности шихтовых материалов, каждый из которых решает задачу обеспечения технологов необходимой информацией о физико-химическом составе сырья. В ОАО «Казчерметавто-



Условные обозначения:

ПИД — преобразователь измерительный дистанционный; ИВК — нейтронный измерительно-вычислительный комплекс ВНС-7652М для контроля влажности и плотности шихтовых материалов; БКИ — блок клавиатуры и индикации.

Рис. 3. Система управления дозированием шихтовых материалов с коррекцией влажности и плотности

матика» для решения подобных задач в условиях непрерывного производства на основе наиболее перспективных методов разработан нейтронный ИВК ВНС-7652М.

Нейтронный измерительно-вычислительный комплекс ВНС-7652М

Нейтронный ИВК ВНС-7652М для контроля влажности и плотности шихтовых материалов выполнен на основе промышленного компьютера и предназначен для измерения влажности (массовой доли влаги), влагосодержания (массового отношения влаги) и насыпной плотности доменного кокса при контроле и управлении технологическими процессами дозирования сыпучих материалов в доменном производстве.

Принцип действия нейтронного ИВК основан на эффекте взаимодействия нейтронов с ядрами элементов, входящих в состав измеряемого вещества. Измерение заключается в облучении кокса быстрыми нейтронами, регистрации в двух участках энергетического спектра потоков замедлившихся нейтронов, преобразовании и обработ-

ке сигналов датчика в блоке обработки информации (БОИ), построенном на основе промышленного компьютера фирмы Advantech, и выдаче измерительной информации на жидкокристаллический дисплей, а также в системы автоматического контроля и управления технологическими процессами.



Рис. 4. Пульт управления системой, введённой на доменной печи № 2 ОАО «Испат-Кармет»

Экстремальные условия эксплуатации средств и систем автоматизации в условиях доменного производства обусловлены тем, что сама доменная печь и расплавленный чугун при выпуске выделяют большое количество тепла и газов в окружающее пространство (рис. 5). Поэтому к измерительно-вычислительным комплексам для контроля технологических параметров металлургических агрегатов предъявляются повышенные требования к устойчивости по температуре и запыленности помещений, где эксплуатируются средства и системы автоматизации. Необходимо также учитывать факторы высокого уровня вибрации в этих помещениях и требования высокой надежности, традиционно предъявляемые к используемым в черной металлургии средствам и системам автоматизации.

Этим требованиям полностью отвечают промышленные компьютеры фирмы Advantech, а также продукция фирм Octagon Systems и Fastwel. Поэтому при разработке нейтронного ИВК для контроля влажности и плотности шихтовых материалов были использованы следующие изделия указанных фирм:

- LCD-4×20 — жидкокристаллический дисплей;
- КР-3 — пылевлагозащищенная клавиатура;



Рис. 5. Выпуск чугуна из доменной печи

- МВРС-641 — шасси индустриального компьютера с 4 слотами расширения;
- PCL-730-B — 32-канальная плата дискретного ввода-вывода с гальванической изоляцией;
- PCL-836-A — плата 6-канального счетчика-таймера;
- FDM-32 — модуль флэш-диска емкостью 32 Мбайт;
- PCA-6154-00A3 — процессорная плата Pentium с интерфейсами VGA, Ethernet и твердотельного диска.

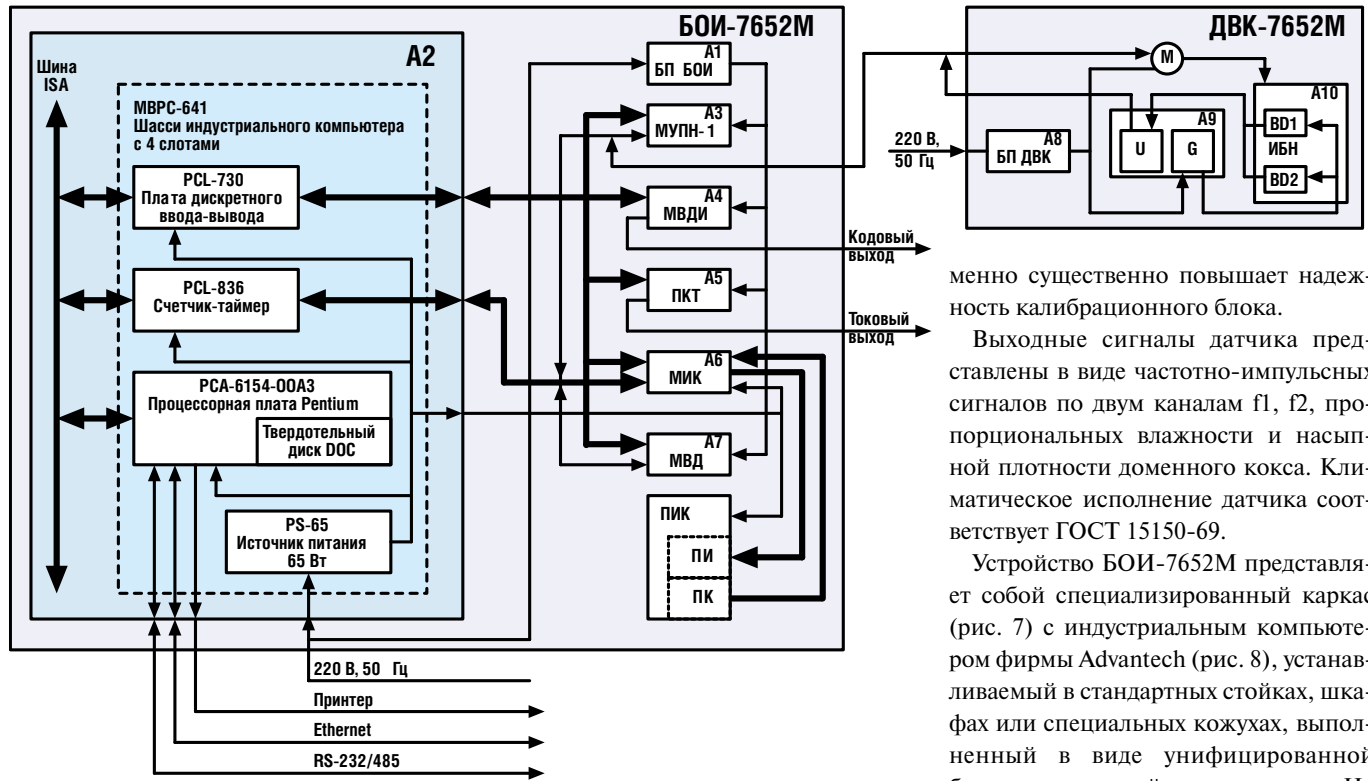
Выбору в пользу продукции фирмы Advantech способствовало еще и то обстоятельство, что ОАО «Казчерметавтоматика» проводит техническую политику при определении элементной базы измерительно-вычислительных

комплексов, направленную на использование IBM PC совместимого оборудования. Учитывали и такой факт, что, благодаря широкому распространению во всем мире и соответствию многократно проверенным и отлично зарекомендовавшим себя стандартам, IBM PC совместимое оборудование имеет самые низкие цены за выполняемый набор функций. Немаловажным было и то обстоятельство, что в случае применения этого оборудования нет необходимости затрачивать значительные средства на обучение персонала и можно избежать зависимости от одного производителя хорошей, но уникальной техники.

Нейтронный ИВК состоит из двух основных частей: датчика влажности кокса ДВК-7652М (рис. 1) и блока обработки информации БОИ-7652М. Структурная схема БОИ-7652М приведена на рис. 6. Датчик ДВК-7652М устанавливается на вертикальных или наклонных стенках бункерных весов кокса (технологических емкостей) в соответствии со схемами установки по ГОСТ 8.530-85. Датчик выполнен в виде защищенного износостойким сменным кожухом погружного 2П-зонда с размещенными в нем электронно-фи-

зическими блоками и устройствами, которые осуществляют излучение, детектирование и преобразование потоков нейтронов и электрических сигналов, а также обеспечивают возможность автоматической установки подвижной каретки с источником и счетчиками нейтронов измерительного блока датчика в одном из выполняемых программно или задаваемых оператором режимов работы ИВК: «Измерение», «Калибровка» или «Тест».

С целью сохранения метрологических характеристик ВНС-7652М в течение всего времени эксплуатации применяется специальный режим «Калибровка». Для осуществления калибровки используется запатентованный способ, заключающийся в том, что в нейтронном измерительно-вычислительном комплексе для контроля влажности и плотности сыпучих материалов производится периодическое автоматическое эталонирование в калибровочном (эталонном) блоке, предназначенном для воспроизведения нейтронного поля, соответствующего нейтронному полю, образуемому в измеряемом материале с определенным влагосодержанием и насыпной плотностью, при этом выполняется регистрация сигнала



Условные обозначения:

- A1 — блок питания БП БОИ;
- A2 — индустриальный компьютер Advantech;
- A3 — модуль управления пороговыми напряжениями МУПН-1;
- A4 — модуль вывода дискретной информации;
- A5 — преобразователь код-ток ПКТ;
- A6 — модуль индикатора и клавиатуры МИК;
- A7 — модуль ввода диагностируемый МВД;
- A8 — блок питания БП ДВК;
- A9 — совмещенный блок согласования и питания;

- A10 — первичный измерительный преобразователь;
- М — исполнительный механизм;
- U — усилитель-дискриминатор;
- G — блок питания высоковольтный;
- BD1, BD2 — счетчики медленных нейтронов;
- ИБН — источник быстрых нейтронов;
- ПИК — панель индикации и клавиатуры;
- ПИ — жидкокристаллический дисплей, модель LCD-4x40;
- ПК — 16-клавишная мембранная клавиатура, модель КР-3.

Рис. 6. Структурная схема блока обработки информации БОИ-7652М и датчика влажности кокса ДВК-7652М

лов, пропорциональных плотности потоков подкадмиевых и надкадмиевых потоков нейтронов по двум информационным каналам соответственно. Далее последовательно измеряют сигналы в калибрационном блоке в двух разных диапазонах энергетического спектра путем установки соответствующего уровня дискриминации сигналов, при-

чем в калибрационном блоке измеряются сигналы на момент градуировки соответственно для первого и второго диапазонов, далее осуществляется расчет влагосодержания и насыпной плотности.

Такое техническое решение позволяет не только уменьшить время калибровки с 10 до 3 минут, но и одновре-

менно существенно повышает надежность калибрационного блока.

Выходные сигналы датчика представлены в виде частотно-импульсных сигналов по двум каналам f1, f2, пропорциональных влажности и насыпной плотности доменного кокса. Климатическое исполнение датчика соответствует ГОСТ 15150-69.

Устройство БОИ-7652М представляет собой специализированный каркас (рис. 7) с индустриальным компьютером фирмы Advantech (рис. 8), устанавливаемый в стандартных стойках, шкафах или специальных кожухах, выполненный в виде унифицированной блочно-модульной конструкции. На каркасе размещены функциональные и вспомогательные блоки, откидывающаяся лицевая панель, магистральные платы и панели для обеспечения внутренней и внешней интерфейсной связи (рис. 9).

Разработанный ИВК обеспечивает диапазон измерения влажности от 0 до 13%, насыпной плотности — от 400 до 550 кг/м³. Пределы допустимых значений основной абсолютной погрешности при доверительной вероятности 0,9 при измерении влажности или влагосодержания составляют не более ±0,5%, при измерении насыпной плотности — не более ±30 кг/м³.

Изменения показаний ИВК, вызванные отклонением температуры и относительной влажности окружающего воздуха в рабочих условиях, не должны превышать 1/2 пределов допускаемых значений основной погрешности на



Рис. 7. Внешний вид БОИ-7652М



Рис. 8. Индустриальный компьютер



Рис. 9. Унифицированная блочно-модульная конструкция БОИ-7652М

каждые 10°С отклонения температуры от нормальных условий и во всем диапазоне изменения относительной влажности воздуха при температуре 30±5°С.

В таблице 1 приведены основные эксплуатационные характеристики ИВК ВНС-7652М.

В комплект поставки нейтронного ИВК входят: датчик влажности кокса ДВК-7652М, блок обработки информации БОИ-7652М, комплекты монтажных и запасных частей, инструмента и принадлежностей, эксплуатационной документации и упаковка.

Нейтронный ИВК ВНС-7652М поверяется в соответствии с ГОСТ 8.442-81 по «Методическим указаниям по поверке» 7652.00.000 Д12.2, входя-

Таблица 1. Основные эксплуатационные характеристики ИВК ВНС-7652М

Габаритные размеры, мм	
датчика ДВК-7652М	485 × 535 × 1725
устройства БОИ-7652М	525 × 400 × 400
Масса, кг	
датчика ДВК-7652М	165
устройства УОУ-7652М	35
Время одного измерения	60 с
Время установления рабочего режима	0,5 ч
Мощность, потребляемая влагомером от сети	не более 300 В·А
Средняя наработка на отказ	не менее 10000 ч
Средний срок службы	не менее 6 лет

щим в комплект эксплуатационной документации.

В условиях эксплуатации, до или после ремонта ИВК в качестве основного средства поверки для определения и контроля метрологических характеристик применяется комплект образцовых эквивалентных мер КОЭМ-7600-01. Для контроля показателей электрической и радиационной безопасности, а также контроля и поддержания условий поверки применяются вспомогательные средства поверки, указанные в ГОСТ 8.442-81. Межповерочный интервал составляет один год.

В ОАО «Казчерметавтоматика» для осуществления метрологической поверки нейтронного ИВК ВНС-7652М разработан комплект образцовых мер для контроля влажности (рис. 10) согласно следующим нормативам документ по влагометрии:

- ГОСТ 8.442-81, ГСИ «Влагомеры нейтронные. Методы и средства поверки»;
- ГОСТ 8.530-85, ГСИ «Влажность доменного кокса. Методика выполнения измерений нейтронными влагомерами»;
- ОСТ 14-13-222-88 «Ведомственная поверочная схема для средств измерений влагосодержания доменного кокса»;
- ТПр 55-88 «Типовая программа государственных приемочных испытаний нейтронных влагомеров».

Сведения о средствах поверки нейтронного ИВК для контроля влажности и плотности шихтовых материалов приведены в таблице 2.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ОАО «Казчерметавтоматика» работа над ИВК ВНС-7652М успешно завершена проведением Государственных приемочных испытаний с получением сертификата об утверждении типа средств измерений, Государ-



Рис. 10. Комплект образцовых эквивалентных мер для поверки и градуировки ВНС-7652М

ственной лицензии на поверку и Государственной лицензии на изготовление.

Внедрение нейтронных ИВК для контроля влажности и плотности твердого топлива и железорудных материалов в бункерах позволяет стабилизировать процесс доменной плавки и увеличить производительность доменной печи на 1,0-3,0%. Годовой экономический эффект от внедрения нейтронного прибора с учетом капитальных затрат и затрат на амортизацию и текущий ремонт для средней доменной печи составляет примерно 118,0 тыс. долларов США в год.

Более 20 комплектов нейтронных ИВК типа ВНС-7652М введены в эксплуатацию на доменных печах ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат», ОАО «Кузнецкий металлургический комбинат», ОАО «Тулачермет», ОАО «Испат-Кармет» и др. ●

**Авторы — сотрудники
ОАО «Казчерметавтоматика»,
ОАО «Кузнецкий металлургический комбинат»,
ОАО «Испат-Кармет»,
ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат»
Телефоны: (3212) 44-0995/96/97,
(3843) 49-4919, (32135) 600-27,
(3511) 33-5164**

Таблица 2. Средства поверки нейтронного ИВК ВНС-7652М

Вид поверки	Поверяемые средства измерений			Средства поверки		
	Наименование средства измерений	Метрологические характеристики		Наименование средств поверки	Метрологические характеристики	
		Пределы измерений	Погрешность измерений		Пределы измерений	Погрешность измерений
Первичная, периодическая	Нейтронный ИВК ВНС-7652М для контроля влажности и плотности шихтовых материалов	Влагосодержание 0-15%, влажность 0-13%, насыпная плотность 400-500 кг/м ³	Основная абсолютная погрешность: по влагосодержанию ±0,5%; по влажности ±0,5%; по насыпной плотности ±30 кг/м ³	Основные средства поверки: комплект образцовых эквивалентных мер КОЭМ-7600-01; вспомогательные средства поверки для контроля условий поверки: термометр, психрометр, барометр, радиометр по ГОСТ 8.442-81	Номинальные значения мер по влагосодержанию, %: мера №1 — 0,5; мера №2 — 7,5; мера №3 — 14,5; по насыпной плотности, кг/м ³ : мера №1 — 500; мера №2 — 550; мера №3 — 400	Основная абсолютная погрешность мер: по влагосодержанию ±0,15%; по насыпной плотности ±10 кг/м ³