

УДК 621.396.9

В. Головка, Н. Михайловский, А. Селегей, И. Тригуб, М. Рыбальченко

ПРИМЕНЕНИЕ РАДИОЛОКАЦИИ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ УРОВНЯ СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ В МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ АГРЕГАТАХ

Анотація. Встановлено, що радары близького дії є ефективним засобом вимірювання рівня засипу в металургійних агрегатах. Розроблена методика визначення форми поверхні сипучих матеріалів за результатами радіолокаційного зондування в режимі прямої видимості та із застосуванням перевідбивачів.

Ключові слова: сипучий матеріал, форма поверхні, радіолокаційне зондування

Аннотация. Установлено, что радары ближнего действия являются эффективным средством измерения уровня засыпи в металлургических агрегатах. Разработана методика определения формы поверхности сыпучих материалов по результатам радиолокационного зондирования в режиме прямой видимости и с применением переотражателей.

Ключевые слова: форма поверхности, сыпучие материалы, радиолокационное зондирование

Abstract. It is established that the close-range radars are effective in measuring of the level of the grain bill in metallurgical aggregates. The method of determining the surface form of the granular materials according to the results of radar sounding in the mode line of sight and with the use of overreflectors.

Keywords: surface form, granular material, radar sounding

Постановка проблемы и актуальность исследования

Большинство материалов, которые потребляются и перерабатываются в черной металлургии, относится к сыпучим. Уровень материалов в технологических емкостях и расстояние до контролируемой поверхности остаются одними из наиболее распространенных информативных параметров в металлургии [1]. В связи с этим в доменном и коксохимическом производствах актуальна задача определения формы поверхности сыпучих тел.

Разнообразие технологических и эксплуатационных условий [2,3] переработки, хранения, использования и утилизации металлургических материалов, неоднородность их физико-химических свойств, а также многообразие конструкций технологического оборудования затрудняет как выбор способа контроля, так и создание измерительной аппаратуры широкого применения. В результате, в настоящее время оснащение оборудования средствами определения формы сыпучих тел и их использование в металлургии оцениваются как неудовлетворительные [1].

Анализ последних исследований и публикаций

Идея использования радарных систем для измерения формы поверхности сыпучих материалов возникла еще в начале 60-х годов [4]. Однако применяемая тогда двухантенная импульсная техника не позволяла решить задачу зондирования засыпи в промышленных объектах.

По оценке отечественных и зарубежных исследователей [5,6], радиолокационные дальномеры с маломощным непрерывным радиоизлучением и унитарной приемо-передающей антенной являются наиболее приемлемыми для

промышленного использования по сравнению с механическими, лазерными, изотопными и другими средствами измерения по надежности, сложности конструкции, монтажа и обслуживания, точностным характеристикам, экологической безопасности и стоимости.

Формулировка целей статьи

Из анализа условий измерения уровня материалов в поточно–транспортных комплексах металлургических цехов следует, что одним из определяющих факторов эффективности информационного обеспечения АСУ ТП является создание датчиков, работоспособность и точность измерения которых не зависят от свойств материалов, условий их применения и состояния окружающей среды.

Принципиальная возможность создания профиломеров на базе радиолокационных дальномеров определяется возможностью обеспечения необходимого диапазона сканирования поверхности материала при различных схемах размещения радаров.

Основная часть

Определение формы поверхности в режиме прямой видимости обеспечивается расчетом координат участка поверхности материала в процессе сканирования без применения различного рода переотражателей электромагнитной энергии. Определение формы поверхности осуществляется на основании измерения расстояния H_p от апертуры антенны радиолокационной системы до участка поверхности.

При наличии текущих значений угла поворота $\alpha_{\Pi}(t)$ и соответствующих им величин $H_p(t)$ форма поверхности представляет собой набор точек в полярной системе координат. В результате определение формы поверхности сводится к переводу этих точек в декартову систему координат, привязанную к геометрическому параметру, например, оси агрегата и базовому (технологическому, нулевому) уровню (рис. 1) по следующим формулам:

$$\begin{cases} X = R_{\Pi} - \Delta x - H_p \sin(\alpha_{\Pi} + \psi_{\Pi}), \\ Y = H_p \cos(\alpha_{\Pi} + \psi_{\Pi}) - \Delta y, \end{cases} \quad (1)$$

где X , Y – декартовы координаты каждой точки поверхности формы в момент времени t (расчетные величины); R_{Π} – радиус (характерный размер) внутренней полости агрегата; Δx , Δy – расстояние от оси вращения сенсорного блока, соответственно, до стенки агрегата и базового уровня (технологического нуля); α_{Π} – угол поворота СБ; ψ_{Π} – начальный угол установки сенсорного блока.

Расчет, накопление и представление информации на основе значений X и Y предопределяет основную последовательность операций по определению параметров формы поверхности.

Использование пассивных переотражателей при сканировании является одним из важных вопросов в создании профиломеров, так как позволяет не только избежать (или в достаточной мере снизить) влияние техногенных факторов на работу системы, но и расширить зону радиолокационного обзора поверхности.

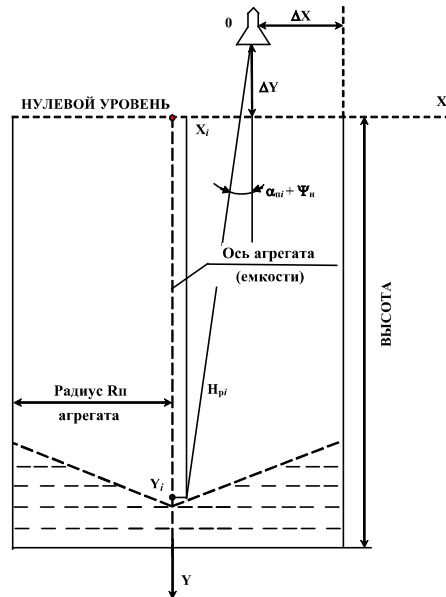


Рисунок 1 – Определение формы поверхности в режиме прямой видимости

Применение пассивного переотражателя основывается на создаваемом плоским зеркалом мнимом изображении O' источника излучения, в котором пересекаются продолжения отраженных лучей за поверхностью переотражателя. В связи с этим при действительном положении оси вращения (рис. 2) радиолокатора в точке O мнимая ось вращения смещается в точку O' . С учетом подвеса переотражателя в точке A расстояния L_x и h_y в общем случае будут равны

$$\begin{aligned} L_x &= (\Delta x \pm l_x \pm h_{\text{пер}} \operatorname{ctg} \gamma_{\text{п}}) (1 - \cos 2 \gamma_{\text{п}}), \\ h_y &= (\Delta x \pm l_x \pm h_{\text{пер}} \operatorname{ctg} \gamma_{\text{п}}) \sin 2 \gamma_{\text{п}}, \end{aligned} \quad (2)$$

где $h_{\text{пер}}$ – расстояние по горизонтали от точки подвеса переотражателя до точки O' (из рис. 2 величина $h_{\text{пер}} = 0$); $\gamma_{\text{п}}$ – угол наклона переотражателя относительно горизонтальной плоскости.

С учетом значений L_x и h_y скорректированные значения Δx и Δy для выражения (1) составят –

$$\begin{aligned} \Delta x' &= (\Delta x \pm l_x \pm h_{\text{пер}} \operatorname{ctg} \gamma_{\text{п}}) (1 - \cos 2 \gamma_{\text{п}}) - \Delta x, \\ \Delta y' &= \Delta y - (\Delta x \pm l_x \pm h_{\text{пер}} \operatorname{ctg} \gamma_{\text{п}}) \sin 2 \gamma_{\text{п}}. \end{aligned} \quad (3)$$

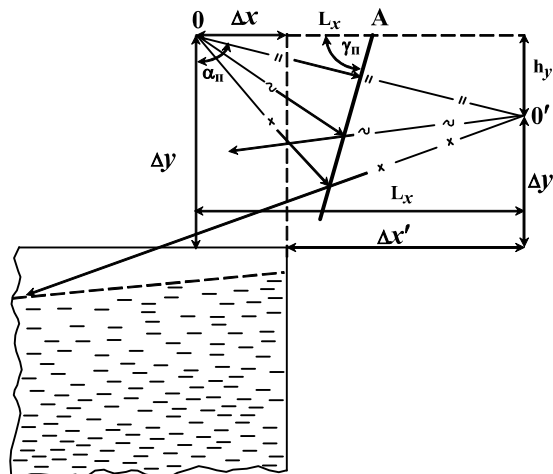


Рисунок 2 – Определение формы поверхности с использованием пассивного переотражателя

Рациональные значения установки переотражателя $\gamma_{\text{п}}$, $h_{\text{пер}}$ и другие величины в каждом конкретном случае могут быть определены в процессе его наладки на основе выражений (1) и (3) при максимальных (минимальных) заданных значениях X и Y .

Существенно расширяет диапазон углов сканирования применение цилиндрического переотражателя. С целью методического единообразия расчетов в этом случае будем исходить из того, что для цилиндрической поверхности радиусом $R_{\text{пр}}$ можно в каждой точке переотражения электромагнитной волны провести касательную плоскость, представляющую собой мнимый плоский переотражатель, установленный на расстоянии l_x от стенки бункера (рис. 3). При этом в каждом случае

$$l_x = l_{\text{п}} \sin \alpha_{\text{п}} + H_{\text{п}} \operatorname{ctg} \gamma_{\text{п}} - \Delta x = l_{\text{п}} \sin \alpha_{\text{п}} + l_{\text{п}} \cos \alpha_{\text{п}} \operatorname{ctg} \gamma_{\text{п}} - \Delta x, \quad (4)$$

где $l_{\text{п}}$ – расстояние от точки O установки сенсорного блока до переотражателя в момент переотражения энергии; $H_{\text{п}}$ – расстояние от горизонтальной плоскости оси сенсорного блока в момент переотражения энергии; $\gamma_{\text{п}}$ – угол наклона мнимого плоского переотражателя в момент переотражения энергии

$$\gamma_{\text{п}} = \alpha_{\text{п}} + \arcsin \left[\frac{L_{\text{п}}}{R_{\text{пр}}} \sin (\alpha_{\text{п}} \pm \beta_{\text{r}}) \right]; \quad (5)$$

где $L_{\text{п}}$ – расстояние от центра $A_{\text{п}}$ окружности цилиндрического переотражателя до точки O установки сенсорного блока; β_{r} – угол установки сенсорного блока относительно центра цилиндрического переотражателя.

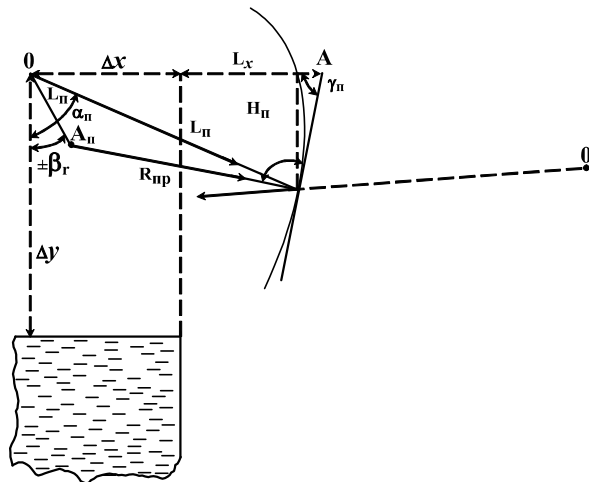


Рисунок 3 – Определение формы поверхности с использованием переотражателя с цилиндрической поверхностью

Из выражения

$$R_{\text{пр}}^2 = l_{\text{п}}^2 + L_{\text{п}}^2 - 2 l_{\text{п}} L_{\text{п}} \cos (\alpha_{\text{п}} \pm \beta_{\text{r}}) \quad (6)$$

величина $l_{\text{п}}$ равна

$$l_{\text{п}} = L_{\text{п}} \cos (\alpha_{\text{п}} \pm \beta_{\text{r}}) \pm \sqrt{R_{\text{пр}}^2 - L_{\text{п}}^2 \sin^2 (\alpha_{\text{п}} \pm \beta_{\text{r}})}. \quad (7)$$

В наиболее простом случае, если точка подвеса мнимого переотражателя находится на одном уровне с осью вращения сенсорного блока, определение значений координат X и Y по (1) выполняется с учетом скорректированных величин Δx и Δy –

$$\begin{aligned} \Delta x' &= l_{\text{п}} (\sin \alpha_{\text{п}} + \cos \alpha_{\text{п}} \operatorname{ctg} \gamma_{\text{п}}) (1 - \cos 2 \gamma_{\text{п}}) - \Delta x, \\ \Delta y' &= \Delta y - l_{\text{п}} (\sin \alpha_{\text{п}} + \cos \alpha_{\text{п}} \operatorname{ctg} \gamma_{\text{п}}) \sin 2 \gamma_{\text{п}}. \end{aligned} \quad (8)$$

Основные выводы и перспективы использования результатов исследований

Установлено, что радары ближнего действия являются эффективным средством измерения уровня засыпи в металлургических агрегатах. Разработана методика определения формы поверхности сыпучих материалов по результатам радиолокационного зондирования в режиме прямой видимости и с применением переотражателей.

Полученные результаты могут быть использованы для решения задач логистики и ресурсосбережения насыпных грузов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Серов Ю.В. Метрологическое обеспечение технологических процессов черной металлургии (метрология и информатика): Справ. изд. в 2-х кн. Кн. 1, 2. – М.: Металлургия, 1993. – 624 с.
2. Праздников А.В., Клоцман Е.Я., Головки В.И. Системы шихтоподачи в доменном производстве. – М.: Металлургия, 1980. – 198 с.
3. Ловчиновский Э.В., Вагин В.С. Машины и механизмы сталеплавильного производства. – М.: Металлургия, 1982. – 270 с.
4. Grisse H.J. Radar technology makes the blast furnace more transparent // Steel Times. – 1991. – 219, №11. – P. 612–614. – англ.
5. Measurement of Burden Profile in Blast Furnaces and Analysis of Measured Results / T.Iwamura et al. // Tetsu to hagane. – 1984. – Vol.81, №9. – P. 1059–1065. – англ.
6. Головки В.И., Кукушкин О.Н., Михайловский Н.В. и др. Радиолокационный контроль металлургических процессов. – Днепропетровск, Журфонд, 2010. – 428 с.