

**ПУТИ МОДЕРНИЗАЦИИ ЗАКРЫТОГО
СКЛАДА УГЛЯ НА КОКСОХИМИЧЕСКОМ
ПРОИЗВОДСТВЕ ПАО «АРСЕЛОРМИТТАЛ
КРИВОЙ РОГ»**

© 2011 Сикая И.И., Селин С.С.,
Василенко Б.Я., Мукина Н.В.
(КХП ПАО «АМКР»),
Бойко С.В. (ОАО «Спецмонтажмодуль»)

Показаны основные направления механизации и автоматизации закрытого угольного склада на КХП ПАО «АМКР». Большое внимание уделено конструкции и испытаниям импульсно-волновой установки по обрушению зависшего угля в силосах.

The basic directions were shown of mechanization and automatization of a closed coal storage at CBP PJSC "ArcelorMittal Kryviy Rih". Special attention is paid to the construction and testing of pulsed-wave equipment for collapsing of adhered coal in the silos.

Ключевые слова: закрытый склад угля, модернизация, силос, уголь, дозировка, залипание, обрушение, импульсно-волновая установка, автоматизация.

В 1998 г. техническое состояние силосов закрытого склада угля (ЗСУ) углеподготовительного цеха создавало опасность для жизни обслуживающего персонала как дозирочных отделений, так и верха ЗСУ. Были разрушены цилиндрические части силосов №№ 24 и 48, оборвана конусная часть силоса № 14, цилиндрические части остальных силосов подверглись эрозионному выветриванию бетона до сквозных отверстий, а металлические конусы имели продольные и поперечные трещины, толщина металла конусов составляла 3,5-8 мм.

В 2000 г. было принято решение о восстановлении несущей способности конструкций силосов. По результатам обследования, выполненного институтом «Приднепровский Промстройпроект» в 2000 и 2001 гг., были приняты два варианта восстановления силосов:

- метод восстановления путем «наформирования» выветренного бетона с дальнейшей защитой полимерными составами;
- метод «банка в банке» – строительство новой цилиндрической части силосов, при котором старые цилиндры служат наружной опалубкой для новых.

Особое внимание было уделено второй очереди закрытого склада, так как состояние этих силосов вызывало особенное опасение.

Одновременно с восстановлением силосов было принято решение о замене морально и физически устаревших дозирующих устройств на современные, зарекомендовавшие себя с положительной стороны в Европе, весовые дозаторы фирмы «Шенк».

Внедрение современных дозирующих устройств вызвало необходимость установки системы автоматического регулирования «Мастердозирование», выполненной на базе промышленных компьютеров «Сименс». Для интеграции системы управления дозаторами в технологическую схему цеха необходима была новая система

управления. Для этого ООО КСК «Автоматизация» была разработана и внедрена система АСУ ТП «Поток», на базе промышленных контроллеров «Мицубиси», которая позволяет управлять всем технологическим процессом углеподготовительного цеха.

В декабре 2008 г. все работы по восстановлению силосов, оснащению их весовыми дозаторами «Шенк» и внедрению АСУ ТП «Поток» завершились. Были выполнены работы по восстановлению 56^{шт} силосов первой и второй очереди первым методом. Вторым методом восстановлены 6 силосов первой очереди и 28 силосов второй очереди. 68 силосов оснащены дозаторами «Шенк». Все они включены в систему «Поток».

В 2007-2008 гг. были проведены работы по испытанию в промышленных условиях установки импульсно-ударного обрушения угля, зависшего в конусе силоса, проект которой разработал ООО «Спецмонтажмодуль» (г. Марганец).

Для обрушения зависших углей в бункерах ЗСУ применен импульсно-волновой (магнитно-импульсный) способ, основанный на силовом воздействии импульсного магнитного поля на электропроводные материалы. Импульсно-волновые установки относятся к устройствам ударного типа. Отличием этого способа является возможность получения кратковременного (1-5 мс) электромагнитного импульса с крутым передним фронтом и с возможностью регулирования его амплитуды и частоты при малом потреблении электроэнергии (< 2 кВт·ч). В результате в материале обшивки распространяются продольные и поперечные волны, разрушающие адгезионные связи налипшего материала с обшивкой, но не приводящие к разрушению самой обшивки.

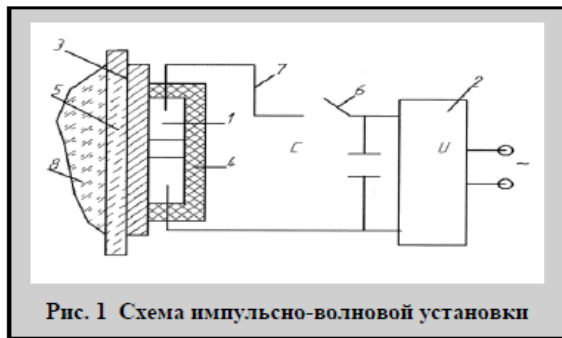


Рис. 1 Схема импульсно-волновой установки

Работа импульсно-волновой (магнитно-импульсной) установки основана на предварительном накоплении электрической энергии в течение относительно продолжительного времени (0,1-5,0 с) например, в конденсаторе и последующего практически мгновенного высвобождения ее в виде механической энергии. Импульсно-волновая установка (ИВУ) состоит из индуктора 1,

подключенного с помощью токоподвода 7 к импульсному источнику питания 2 (рис. 1). Индуктор представляет собой плоскую катушку индуктивности, залитую высокопрочным изоляционным материалом 4. Индуктор снабжен якорем 3, расположенным между индуктором и очищаемой поверхностью оборудования 5. Якорь выполнен из материала с высокой электропроводностью (алюминий). Индуктор с якорем должны быть плотно прижаты к внешней стороне очищаемой поверхности.

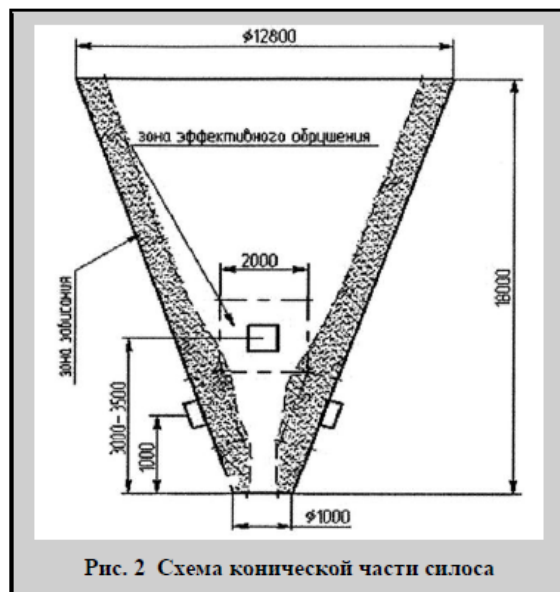


Рис. 2 Схема конической части силоса

При пропускании через катушку индуктора с помощью ключа 6 импульсного тока возникает (согласно закону Био – Савара – Лапласа) переменное магнитное поле, которое взаимодействует с алюминиевой пластиной якоря и индуцирует в нем ответные вихревые токи с магнитным полем обратной полярности. В результате возникают так называемые пондермоторные силы, толкающие якорь по направлению к обрабатываемой поверхности и разрушающие адгезионные связи между очищаемой поверхностью и сыпучими веществами 8.

Для эффективной очистки силоса от налипшего угля, напряжения, возникающие при колебаниях поверхности стенки, не должны превышать предела текучести ее материала.

Коническая часть силоса (рис. 2) изготовлена из стали толщиной 12 мм.

В расчетном отношении конус можно разбить на участки, каждый из которых представляет собой по-

верхность, жестко закрепленную по периметру. Уравнение равновесия в узловых точках имеет вид:

$$M \cdot E + G \cdot E_s + K \cdot E = Y \quad (1),$$

где M – матрица масс;

G – матрица демпфирования;

K – матрица жесткости;

E, E_s, E – векторы перемещений, скоростей, ускорений узлов;

Y – матрица обобщенных сил в узловых точках.

Для расчета оптимальных параметров ИВУ необходимо знать значения силы F и полного импульса силы S , которые необходимы для эффективной электромагнитной очистки стенок силоса от налипания:

$$F = \frac{U^2 L I e^5 A e^{-2A/D} \sin^2 \omega t}{\omega^2 L^2 D} \quad (2),$$

где L – индуктивность индуктора;

D – диаметр индуктора.

$$S = \int F dt = \frac{W L A e^{-2A/D}}{D R} \quad (3),$$

где $W = \frac{C U^2}{2}$ – энергия, запасенная в емкостном накопителе.

По этой методике были выполнены расчеты для участка поверхности квадратной формы со стороной 2 м и толщиной стенки 2-12 мм. Результаты расчетов представлены на рис. 3.

Максимальные значения электромагнитной силы и импульса соответствуют предельно-допустимым, при которых механические напряжения начинают превышать предел текучести материала стенки (рис. 3, кривая 1). Минимальные значения F и S определялись расчетным путем (рис. 3, кривая 2) с учетом имеющихся данных по адгезии угля к материалу стенки. При значениях F и S ниже минимальных очистка поверхностей становится малоэффективной.

Таким образом, может быть приблизительно определен интервал значений F и S , внутри которого обеспечивается эффективность работы ИВУ.

Уточнение значений F и S может быть проведено только при промышленных испытаниях и откорректировано за счет регулировки зарядного напряжения импульсного источника питания, емкости накопителя электрической энергии и частоты ее потребления. В данном случае для обеспечения максимального значения полного импульса силы S необходим запас энергии:

$$W = \frac{C U^2}{2} = 2000 \text{ Дж} \quad (4).$$

При соблюдении следующих условий:

– напряжение не более 1000 В (для снижения требований к электроизоляции и к обслуживающему персоналу);

– емкость накопительного конденсатора ~ 4000 мкФ;

электромагнитная сила F будет не менее 120 кН, а полный импульс силы составит не менее 700 Нс согласно уравнениям и рис. 3, а общая потребляемая энергия не превысит $P = Wf = 2$ кВт при частоте повторения $f = 1$ с.

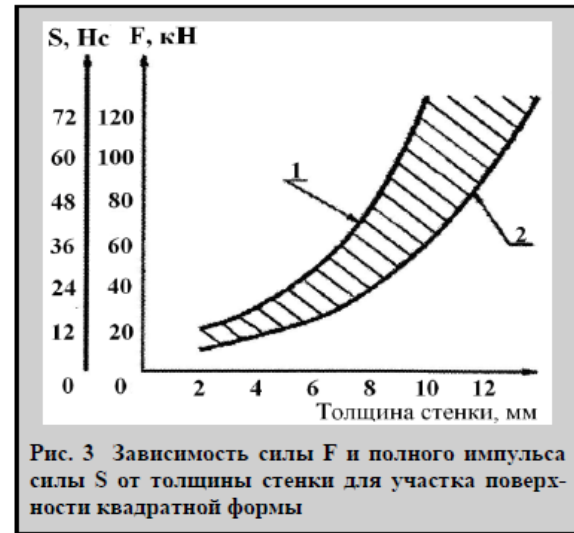


Рис. 3 Зависимость силы F и полного импульса силы S от толщины стенки для участка поверхности квадратной формы

Для индуктора диаметром 250 мм индуктивность с учетом прилегающего металла корпуса и якоря составит около 200 мкГ. Соответственно длительность ударного импульса составит не менее 4 мс. Максимальный ударный ток (с учетом сопротивления соединительных кабелей) не превысит 2 кА. Это позволяет применить стандартные тиристорные ключи Т253-2000-18. Для минимизации потерь следует использовать соединительные кабели типа КГ 4 x 10 мм² (по два параллельно).

Функциональная схема установки представлена на рис. 4.

После подачи питания на установку ИВ2-4 заряжается батарея конденсаторов C . В случае прекращения подачи угольной массы с дозатора на конвейер, датчик подает сигнал на блок управления установки ИВ2-4, который формирует последовательность управляющих импульсов на силовые ключи VS1-VS4, коммутирующие индукторы И1-И4 через каждую секунду. После возобновления подачи угольной массы датчик дозатора отключает установку ИВ2-4.

Основное давление дозируемого материала на стенки силоса сосредоточено в самом узком месте, т.е. на входном отверстии силоса – следовательно, именно здесь необходимо уменьшить силы сцепления (адгезии). Для этого максимум вибрационной волны должен

приходится на точку выхода материала из силоса. Виброэлемент необходимо поднять в удобное для крепления место на краткую длину виброволны согласно рис. 5.



Верхняя часть силоса также будет колебаться, облегчая сход угля, но с меньшей амплитудой и с частотой, определяемой длиной балки виброэлемента. Вследствие малой длительности ударного импульса частота этих колебаний ниже собственной резонансной частоты конструкции, что исключает усталостные разрушения стенок силоса.



Количество точек вибрации заранее выбрано больше необходимого (четыре), для гарантированного обеспечения эффекта сводообрушения. Уменьшение количества точек вибрации до двух не приводит к заметному ухудшению сводообрушения при сохранении средней частоты ударов. Однако использование только одной точки вибрации резко ухудшает эффект сводооб-

рушения из-за недостаточной амплитуды вибрации на противоположной стенке силоса.



Сила единичного удара с энергией 2 кДж была выбрана с целью не допустить механических разрушений конструкции силоса и в тоже время обеспечить надежное сводообрушение.



Энергия удара регулировалась изменением напряжения заряда силовых конденсаторов. При уменьшении напряжения заряда с 1000 до 800 В энергия составила 1,3 кДж. При этом количество ударов, необходимых для сводообрушения, увеличилось с 8 до 15, что говорит о недостаточной эффективности. Увеличение энергии удара до 3 кДж за счет наращивания емкости нако-

питателя с 4000 до 6000 мкФ может привести к разрушению силоса.

Частота повторения ударов при достаточном значении их энергии напрямую определяет эффективность работы импульсно-волновой установки и в тоже время ведет к пропорциональному потреблению электроэнергии согласно формуле $P = WF$. При выбранной частоте 1 Гц потребляемая электрическая мощность составит $P = 2 \times 1 = 2$ кВт.

При увеличении частоты до 5 Гц мощность составит более 10 кВт, что приведет к резкому удорожанию конструкции электрошкафа за счет увеличения габаритной мощности разделительного трансформатора и дополнительных затрат на борьбу с тепловыми потерями в силовых полупроводниковых ключах.

Увеличение количества ударов в каждой точке, согласно результатам испытаний, не ведет к существенному наращиванию эффективности процесса сводообрушения.

Электромагнитные поля, рассеиваемые силовой частью импульсно-волновой установки, не влияют на работу близлежащего оборудования, поскольку силовой индуктор полностью укрыт в металлический заземлен-

ный корпус, играющий роль экрана, а питание индуктора осуществляется с помощью силового плетеного кабеля. Управление системой сводообрушения можно осуществлять отдельно для каждого силоса командами от центрального компьютера с помощью сигнальной пары проводов, либо размещением индивидуальных датчиков зависания в каждом силосе.

Испытания ИВУ показали, что ее применение позволяет практически полностью устранить зависание угля в силосе. Значительно возросла точность дозирования компонента шихты. Установка эффективна даже при работе с углями повышенной влажности – более 12 %. Испытания также показали, что для устранения зависания угля достаточно использовать два излучателя вместо четырех. Это в свою очередь позволит одной установкой обслужить 6-8 силосов. Управление установкой легко интегрируется в систему АСУ ТП цеха. Интервал срабатывания излучателей задается по специальной программе или от датчика наличия материала на ленте дозатора.

Рукопись поступила в редакцию 03.02.2011