

УДК [622.868.42:658.274]:001.103

В.Г. Агеев, канд. техн. наук, Г.И. Пештибай, Э.Г. Чайковская

РАСЧЕТ КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ВОЗВЕДЕНИЯ ИЗОЛИРУЮЩИХ СООРУЖЕНИЙ ГИДРОМЕХАНИЧЕСКИМ СПОСОБОМ В ШАХТАХ

Представлен краткий обзор существующего оборудования для возведения изолирующих сооружений гидромеханическим способом в шахтах. Определены основные направления исследований. Представлен расчет основных конструктивных параметров комплекта оборудования для приготовления и перекачивания быстротвердеющих растворов из гипсовых вяжущих.

Ключевые слова: шахта, изоляция, гидромеханический способ, оборудование.

V. Agueyev, Cand. of Sc. (Eng.), G. Peftibay, E. Tchaikovsky

CALCULATION OF STRUCTURAL PARAMETERS OF THE EQUIPMENT FOR THE CONSTRUCTION OF HYDRO-MECHANICAL INSULATES FACILITIES WAY IN MINES

A brief review of the existing equipment for the construction of hydro-mechanical way of insulating structures in the mines. The main areas of research. The calculation of the basic design parameters of the equipment for the preparation and handling of fast-hardening solution of gypsum binders.

Keywords: mine, insulation, hydro-mechanical process equipment.

При ведении работ по локализации пожарных участков изолирующими сооружениями (перемычками), возводимыми гидромеханическим способом, большая роль отводится оборудованию. Целью работы является анализ и обобщение оборудования для возведения изолирующих сооружений гидромеханическим способом в шахтах, обоснование расчетных данных основных параметров винтового действия, а также конструкторская переработка основных узлов и деталей оборудования для приготовления и перекачивания быстротвердеющих растворов из гипсовых вяжущих материалов.

В Украине применяется следующее оборудование для возведения шахтных изолирующих сооружений на предприятиях угольной отрасли.

Агрегаты «Монолит-3» и «Пневмолит», комплекс "Темп" [1, 2, 3] предназначены для возведения изолирующих взрывоустойчивых перемычек из минеральных вяжущих на основе гипса и цементных смесей при изоляции горных выработок в угольных шахтах, опасных по газу и пыли, а также для заполнения куполов за креплением горных выработок и пустот в заваленном горном массиве.

Пневмонагнетатели СО-241, СО-242, ПН-500, ПН-600, ПН-800 (Украина) [4] – строительный агрегат для приема, приготовления и подачи бетона, раствора, цементно-песчаных растворов и керамзитобетона.

Насосный агрегат типа MONO WT/820 (Польша) представляет собой одночервячный объемный насос и предназначен для подачи в установленных пропорциях гидратированной смеси «Текбленд» [5].

В то же время следует отметить, что давно назрела необходимость создания более эффективного оборудования для приготовления и перекачивания быстротвердеющих растворов [6].

Как показал проведенный анализ применения существующего оборудования, верхний предел водогипсовых отношений приготавливаемых растворов при возведении взрывоустойчивых перемычек составляет от 70,0 % до 80,0 % и определяется такими их значениями для применяемых материалов, при которых прочность затвердевших растворов должна быть не ниже 3,0 МПа. Для изолирующих перемычек прочность затвердевшего в них гипсового раствора может составлять не менее 2,0 МПа, а водогипсовые отношения при приготовлении и перекачивании растворов – достигать 80-100 %. Однако, при этих водогипсовых отношениях на сооружаемые для перемычек опалубки воздействуют высокие нагрузки из-за увеличения уровня медленно твердеющего гипсового раствора. Это приводит к деформированию элементов опалубки, вытеканию раствора и его большим потерям. При малых значениях водогипсовых отношений приготавливаемых растворов отмечается неустойчивая работа смесительно-нагнетательных установок, что определяется неэффективной работой смесительных устройств, которые не обеспечивают качественного приготовления растворов при подаче воды в смесительную камеру менее 5,0 м³/ч. Особенно ненадежная работа оборудования и трудности в герметизации опалубок для перемычек возникают при применении гипсовых вяжущих с низкими стандартными консистенциями (менее 50 %).

Проведенными испытаниями установлено, что при непрерывной загрузке бункера в смесительную камеру поступает (10,0±1,0) т/ч сухого материала. При этом в зависимости от количества подаваемой воды в смеситель производительность смесительно-нагнетательных установок составляет от 7,0 до 9,0 м³/ч. Объем камеры смесителя не превышает 2,5 дм³, а область, в которой происходит интенсивное смешивание гипса с водой, находится на выходе из смесительной камеры непосредственно у активатора, имеет объем не более 1,0 дм³. Поэтому при малых расходах воды затворения (от 5,0 м³/ч и ниже) и времени смешивания, не превышающем 0,8 с, не происходит полного и качественного смешивания гипсового вяжущего с водой. При попадании сухого гипсового вяжущего в насос значительно увеличивается трение винта в обойме, что вызывает существенное повышение потребляемой мощности, преждевременный износ насосного агрегата и может привести к остановке насоса из-за заклинивания винта. Кроме того, незатворенный гипс, пройдя через насос в растворопровод, приводит к быстрому схватыванию раствора в растворопроводе, так как частицы сухого гипса становятся центрами кристаллизации, что вызывает закупорку растворопровода даже при его длине не более 40 м и в конечном счете значительно снижает эффективность ведения горноспасательных работ. На рисунке 1 приведены зависимости мощностей, потребляемых оборудованием, от водотвердых отношений приготавливаемых и перекачиваемых растворов (величины затрат мощности даны при давлении нагнетания 1,0 МПа).

Анализ полученных результатов режимов перекачивания различных растворов показывает, что потери мощности на приготовление и перекачивание растворов связаны с неэффективной работой смесителя и в диапазоне водотвердых отношений от 40,0 до 50,0 % достигают, в зависимости от вида применяемого гипсового вяжущего, от 8,0 до 10,0 кВт. При этом потери на перекачивание растворов при производительности оборудования по раствору равной 10 м³/ч (0,0028 м³/сек) и коэффициенте полезного действия 70 % не превышает 4,0 кВт. Конструкция смесителя в существующих смесительно-нагнетательных установках давно не совершенствовалась, а повышение эксплуатационной надежности производилось путем увеличения мощности привода.

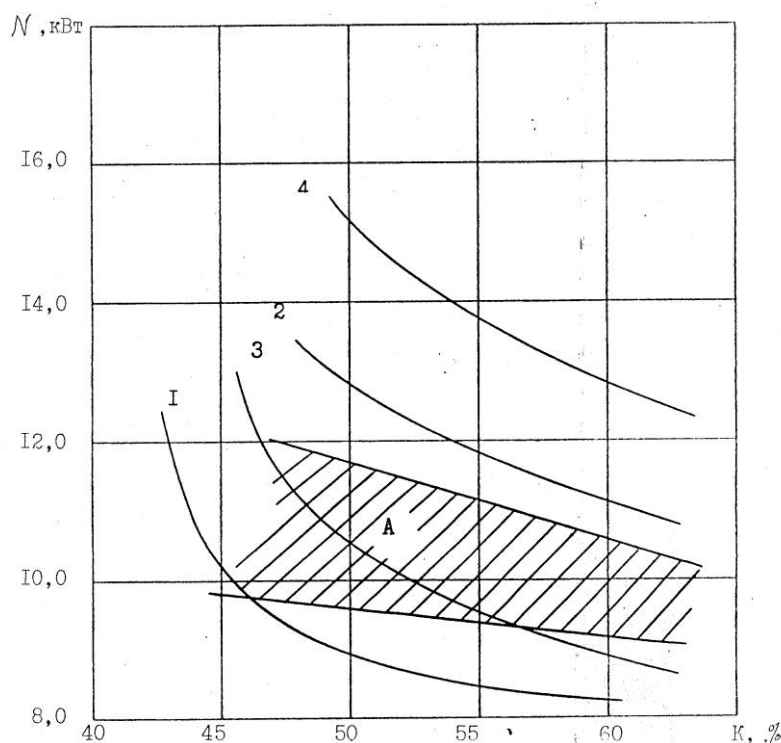


Рисунок 1 – Зависимость мощности, потребляемой смесительно-нагнетательной установкой, от водотвердых отношений при приготовлении и перекачивании растворов из различных гипсовых вяжущих

1 – гипсовое вяжущее марки Г-10 пластифицированное; 2 - гипсовое вяжущее из фосфогипса марки Г-10 непластифицированное; 3 - гипсовое вяжущее марки Г-5 пластифицированное; 4 - гипсовое вяжущее марки Г-5 непластифицированное; А – область значений потребляемых мощностей при приготовлении и перекачивании растворов с применением разработанного комплекта оборудования.

Изначально были определены следующие направления проведения исследований с целью повышения качества приготавливаемых растворов и надежности оборудования:

- разработка эффективного высокопроизводительного смесителя с дозированной загрузкой сухого гипсового вяжущего для приготовления растворов с требуемыми реологическими характеристиками;
- разработка конструкции смесительно-нагнетательной установки с отдельным приготовлением и перекачиванием растворов с целью повышения эксплуатационной надежности разрабатываемого комплекта;
- разработка устройства для ввода жидкой пластифицирующей добавки при приготовлении раствора.

В разработанном НИИГД "Респиратор" комплекте оборудования снижение его энергоемкостей и повышение качества приготавливаемых растворов достигнуто за счет применения винтового питателя для дозировки сухого гипсового вяжущего и высокоэффективного смесителя, обеспечивающего подачу в насосный агрегат гипсового вяжущего полностью затворенного водой, в которую вводится жидкая пластифицирующая добавка.

Основным технологическим параметром является величина расхода воды, идущей на приготовление быстротвердеющих растворов. Обеспечение требуемого значения водогипсовых отношений при приготовлении растворов из гипсовых вяжущих должно обеспечиваться путем дозированной подачи сухого материала в смеситель. Для решения этой задачи наиболее целесообразно использовать питатель винтовой, который по

сравнению с другими видами питателей (ленточным, пластинчатым, тарельчатым, лопастным и пр.) имеет ряд преимуществ: надежность работы, простота обслуживания, компактность и удобство загрузки и разгрузки, а при малой длине винта обеспечивает и низкое потребление мощности.

Основной параметр питателя винтового - диаметр винта определялся по формуле [7]

$$D = \sqrt[3]{G_{\text{и}} / \xi(n \cdot \psi \cdot \rho_{\Gamma} \cdot C_{\beta})}, \quad (1)$$

где D – диаметр винта, м,

$G_{\text{и}}$ – требуемая производительность питателя винтового, кг/с;

ξ – коэффициент, учитывающий отношение шага винта к его диаметру ($\xi = S/D$, где S – шаг винта, м);

n – частота вращения винта, 1/с;

ψ – коэффициент заполнения поперечного сечения питателя ($\psi = 0,8$);

ρ_{Γ} – плотность насыпной массы сухого гипсового вяжущего, кг/м³ ($\rho_{\Gamma} = 1000$);

C_{β} – коэффициент, учитывающий угол наклона винта ($C_{\beta} = 1$).

Для горизонтального питателя винтового, имеющего шаг $S = D$ ($\xi = 1$) при выбранных подаче гипсового вяжущего $G_{\text{и}} = 2,778$ кг/с (10,0 т/ч) и частоте вращения винта $n = 2,5$ 1/с его диаметр согласно формуле (1) равен

$$D = \sqrt[3]{2,778 / (1 \cdot 2,5 \cdot 0,8 \cdot 1000 \cdot 1,0)} = \sqrt[3]{0,001389} \approx 0,11 \text{ м.} \quad (2)$$

Мощность, затрачиваемая на выгрузку гипсового вяжущего из бункера приводом для питателя винтового с горизонтальным расположением винта, определялась по формуле [8]

$$N_{\text{и}} = kV(W_1 + W_2 + W_3 + W_4) / \eta_0, \quad (3)$$

где $N_{\text{и}}$ – мощность, затрачиваемая на выгрузку гипсового вяжущего из бункера, Вт;

k – коэффициент перегрузок ($k = 4,0$);

V – скорость движения гипсового вяжущего в желобе, м/с;

W_1 – сила трения гипсового вяжущего о дно желоба, Н;

W_2 – усилие вдоль винта, эквивалентное моменту трения винта в гипсовом вяжущем, Н;

W_3 – усилие, эквивалентное моменту трения в упорном подшипнике, Н;

W_4 – усилие, эквивалентное внутреннему трению гипсового вяжущего, Н;

η_0 – коэффициент полезного действия привода питателя винтового ($\eta_0 = 0,7$).

Скорость движения гипсового вяжущего в желобе определялась по формуле [8]

$$V = n \cdot S, \quad (4)$$

где V – скорость движения гипсового вяжущего в желобе, м/с;

n – частота вращения винта, 1/с;

S – шаг винта, м.

Для винта с шагом $S = D = 0,11$ м и $n = 2,5$ 1/с скорость гипсового вяжущего в желобе согласно формуле (4) составляет

$$V = 2,5 \cdot 0,11 = 0,275 \text{ м/с.} \quad (5)$$

Усилие трения гипсового вяжущего о дно желоба определяется по формуле [8]

$$W_1 = g \cdot q_{жс} \cdot L_{ин} \cdot f_g. \quad (6)$$

где W_1 – усилие трения гипсового вяжущего о дно желоба, Н;
 g – ускорение силы тяжести, м/с^2 ($g=9,81 \text{ м/с}^2$);
 $q_{жс}$ – масса движущегося гипсового вяжущего, приходящаяся на 1 м длины желоба, кг/м ;
 $L_{ин}$ – длина винта питателя, м;
 f_g – коэффициент трения насыпного гипсового вяжущего о дно желоба ($f_g = 0,58$).

Усилие вдоль винта определяется по формуле [8]

$$W_2 = W_1 \cdot f_{ин} \cdot D/S, \quad (7)$$

где W_2 – усилие вдоль винта, Н;
 $f_{ин}$ – коэффициент трения гипса об винт ($f_{ин} = f_g = 0,58$).

Усилия, эквивалентным моменту трения в опорном подшипнике, пренебрегаем:

$$W_3 = 0. \quad (8)$$

Усилие, эквивалентное внутреннему трению гипса определяется по формуле [8]

$$W_4 = 6,97 \cdot \pi \cdot q_{гс} \cdot L_{ин} \cdot f_{гс} \cdot D/S. \quad (9)$$

где W_4 – усилие, эквивалентное внутреннему трению гипса, Н;
 $q_{гс}$ – масса движущегося гипсового вяжущего, приходящаяся на 1 м длины винта, кг/м ;
 $L_{ин}$ – длина винта, м;
 $f_{гс}$ – коэффициент внутреннего трения гипса ($f_{гс} = 0,82$);
 D – диаметр винта, м;
 S – шаг винта, м.

Для винта с шагом $S=0,11$ м, диаметром $D=0,11$ м и длиной $L_{ин}=0,8$ м при $q=G/V=10,1$ кг/м , $f_{ин}=f_g=0,58$ и $f_{гс}=0,82$ по формулам (6), (7) и (9) получим значения искомых усилий

$$W_1 = 9,81 \cdot 10,1 \cdot 0,8 \cdot 0,58 \approx 50 \text{ Н}; \quad (10)$$

$$W_2 = 3,14 \cdot 50 \cdot 0,58 \cdot 0,11 / 0,11 \approx 130 \text{ Н}; \quad (11)$$

$$W_4 = 6,97 \cdot 3,14 \cdot 10,1 \cdot 0,8 \cdot 0,82 \cdot 0,11 / 0,11 \approx 200 \text{ Н}. \quad (12)$$

Подставляя значения $V=0,275$ м/с , $W_1=50$ Н, $W_2=130$ Н, $W_3=0$, $W_4=200$ Н и $\eta_0=0,7$ в формулу (3) получим

$$N_{ин} = 4,0 \cdot 0,275 \cdot (50 + 130 + 0 + 200) / 0,7 \approx 600 \text{ Вт}. \quad (13)$$

Полученные данные обеспечивают требуемую производительность питателя винтового и позволили выбрать необходимые параметры его привода.

Для приготовления качественных растворов из непластифицированных гипсовых вяжущих материалов разработан смеситель роторного типа. Выбранная конструкция смесителя позволяет за счет регулирования частоты вращения вала, формы лопаток смесительного органа и длины смесительного участка получать растворы с требуемыми параметрами. Учитывая способность приготавливаемых растворов к быстрому схватыванию и во избежание отложений твердеющего раствора на стенках смесительной камеры, вал роторного смесителя выполнен в виде винта, что обеспечивает полную выгрузку из нее готового раствора. Для интенсификации процесса смешивания гипсового вяжущего с водой на винте смесителя вдоль его образующей закреплены переборки. Вода в смеситель подается

через диафрагму, что позволяет при заданной длине соединительного рукава дозировать расход воды.

Мощность привода смесителя определяется по формуле [9]

$$N_c = k \cdot \omega_0 \cdot g \cdot G_p \cdot L_c / \eta_0, \quad (14)$$

где N_c – мощность привода смесителя, Вт;

k – коэффициент перегрузок ($k=4,0$);

ω_0 – коэффициент сопротивления при выгрузке ($\omega_0=4,0$);

G_p – производительность смесителя по раствору, кг/с ($G=Q_p \cdot \rho$, где Q_p – производительность комплекта оборудования по раствору ($Q_p=10 \text{ м}^3/\text{ч}$), ρ – плотность раствора ($\rho_p=1600 \text{ кг/м}^3$);

L_c – длина шнека смесителя, м;

g – ускорение силы тяжести, м/с^2 ($g=9,81 \text{ м/с}^2$);

η_0 – коэффициент полезного действия привода смесителя ($\eta_0=0,7$).

При производительности смесителя по раствору $G_p=4,45 \text{ кг/с}$, длине винта смесителя $L_c=0,5 \text{ м}$ и $\eta_0=0,7$ согласно формуле (14) получим расчетное значение мощности для привода смесителя

$$N_c=4,0 \cdot 4,0 \cdot 9,81 \cdot 4,45 \cdot 0,5 / 0,7 \approx 500 \text{ Вт}. \quad (15)$$

Полученные данные смесителя непрерывного действия обеспечивают требуемую производительность и позволяют выбрать необходимые параметры его привода.

Суммарная мощность привода, необходимая для обеспечения дозировки и выгрузки сухого гипсового вяжущего из бункера в смеситель, приготовления и подачи раствора в насосный агрегат составила

$$N_0 = N_{ш} + N_c = 600 + 500 = 1100 \text{ Вт}, \quad (16)$$

где N_0 – суммарная мощность привода агрегата смесительного, Вт.

Таким образом, суммарная мощность привода для разрабатываемого смесителя с винтовым питателем не превышает 1100 Вт (1,1 кВт).

Выводы. На основании полученных расчетных данных по основным параметрам винтового питателя и смесителя непрерывного действия, а также конструкторской проработки основных узлов и деталей, разработан комплект оборудования для приготовления и перекачивания быстротвердеющих растворов из гипсовых вяжущих материалов.

Комплект оборудования обеспечивает качественное приготовление как пластифицированных, так и непластифицированных растворов и позволяет перекачивать их по растворопроводу по горизонтали: непластифицированные растворы длиной до 50 м, а пластифицированные – до 150 м.

Применение комплекта оборудования для приготовления и перекачивания быстротвердеющих растворов позволит более эффективно и качественно выполнять работы по изоляции пожарных участков при ведении аварийно-спасательных работ на шахтах.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Агрегат "Монолит-3"// Машины и приспособления при проходке горн. выработок для механиз. вспом. работ и руч. труда. Ч. 1.– М., 1992.– С. 57.
2. Валкин Д.М. Агрегат для возведения изолирующих сооружений/

3. Д.М. Валкин, В.Н. Лучко, Б.Б. Недзвецкий // Техника безопасности, охрана труда и горноспасательное дело: науч.-техн. реф. сб./ ЦНИЭИУголь.– 1979.– № 7.– С.17–19.
4. Соломахин А.Н. Шахтные испытания оборудования для возведения бетонных перемычек / А.Н. Соломахин, А.С. Омельченко, А.И. Христофоров // Уголь.– 1993.– № 2.– С.17–18.
5. Пневмонагнетатели СО-241, СО-242, ПН-500, ПН-600, ПН-800, ПН-1000. [Электронный ресурс], 15.02.2011.–4 с.– Режим доступа к информации: www.tehpomosch.com.ua/published/SC/html/scripts/index.php.productID.
6. Мальцева Марина. «Минова ТПС»: основы безопасности / Марина Мальцева [Электронный ресурс], 21.08.2008.–3 с.– Режим доступа к информации: [http: // delkuz.ru/content/view/6823/179/](http://delkuz.ru/content/view/6823/179/).
7. Пути совершенствования оборудования для изоляции участков при пожарах в шахтах/ Агеев В.Г., Пефтибай Г.И.- Научный вестник УкрНИИПБ. –Киев, 2012. – № 1 (25). – С. 60 – 67
8. Машины непрерывного транспорта.– М.: Машиностроение, 1969.– 720 с.
9. Машины непрерывного транспорта / Р.Л. Зенков, И.И. Ивашков,
10. Л.Н. Колобов,- М.: Машиностроение, 1980.- 304 с.
11. Грузоподъемные и транспортные машины / А.А. Богорад, - М.: Металлургия, 1989.- 416 с.

