

ГИДРОДИНАМИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ПЫЛЕПОДАВЛЕНИЯ

Запропоновано схеми подавлення пилу при роботі промислового обладнання, за яких якість роботи не залежить від ступеня забруднення поданої на зрошення води. Схеми пройшли промислову перевірку і їх рекомендовано для використання у закордонних шахтах.

Proposed schemes suppression of dust in the work of industrial equipment, for which the quality of work does not depend on the degree of contamination supplied to irrigation water. The scheme passed industrial tests and is recommended for use in foreign mines.

Введение

Полная механизация процессов разрушения и транспортирования сыпучих полезных ископаемых связана с выделением огромного количества пыли. При добыче угля пыль выделяется исполнительными органами добычных и проходческих комбайнов, при работе перегружающего оборудования (на так называемых “пересыпах”) возникает чрезвычайно опасная породная и угольная пыль. Это приводит как к нарушению здоровья горнорабочих, так и большим экономическим потерям, связанным с дополнительными затратами на их оздоровление, да и просто к потере добытого материала, что связано с частыми останковками для обслуживания и ремонта оборудования.

Применительно к угольной промышленности Украины в работе [1] сказано: “На шахтах концентрация пыли в горных выработках во время угледобычи превышает гранично допустимую норму в десятки и сотни раз. Существующая технология добычи угля и способы борьбы с пылью не дают возможности достичь санитарно-гигиенических нормативов. В результате обобщения причин, которые способствуют развитию профзаболеваний в угольной промышленности, установлено: пыль угольная и углепородная — 35,5%; пыль, содержащая диоксид кремния — 32,8%; физическое перенапряжение — 22,5 %; местная вибрация — 5%”.

Иными словами, причиной 68,3% всех профзаболеваний в отрасли является неэффективное пылеподавление. Там же указано, что по этой причине повышение

себестоимости угля составляет 4,5–5%, или 17–20% фонда заработной платы, что за последние три года варьируется в пределах 1,5–1,8 млрд. грн.

По статистике, приводимой польскими специалистами, шахтеры в тринадцать раз чаще болеют профессиональными болезнями по сравнению с рабочими других отраслей промышленности. Чаще всего это пневмокониоз (разрастание соединительной ткани в легких под действием мельчайших частичек пыли), который ежегодно обнаруживается примерно у 550 человек. Это почти 82 % всех заболеваний в горной промышленности. С 2006 года количество выявленных у шахтеров профессиональных заболеваний растет, в то время как в среднем в народном хозяйстве падает. Коэффициент заболеваний профессиональными болезнями на 100 тысяч занятых в горной промышленности составил в 2011 году 368 человек, а в 2006 году этот коэффициент составлял 309 человек на 100 тысяч сотрудников.

То же относится и к другим отраслям промышленности (металлургия, цементная и др.). Проблема эта общетехническая. В мировой практике приводятся допустимые уровни загрязнения. Следует учесть, что существует наиболее опасный диапазон крупностей зерен этой пыли. Особенно опасны зерна кремния SiO₂, размером меньше 5 мкм. Наибольший допустимый уровень (НДУ) запыленности шахтного воздуха в зависимости от содержания кремния в пыли согласно польским нормам, приведен в таблице 1 [2].

Таблица 1 — Наибольшие допустимые уровни запыленности воздуха

Тип пыли	Содержание SiO ₂ , %			
	<2	2-10	10-50	>50
	Содержание пыли, мг/м ³			
Респираторная	10	4.0	2.0	1.0
Осаждаемая	0	2.0	1.0	0.3

Пыль респираторная состоит из частичек со средним значением диаметра частичек, находящихся в воздухе, $3,5 \pm 0,3$ мкм и с геометрическим отклонением от стандартного значения $1,5 \pm 0,1$ мкм.

Пыль осаждаемая состоит из частичек, которые осели на измерительном зонде, когда линейная скорость засасываемого воздуха находилась в пределах $0,3-1,6$ м/с.

Наиболее распространенным способом обеспыливания воздуха является орошение, т.е. подача в зону скопления пыли мельчайших частиц воды (иногда с определенными смачивающими добавками). Для некоторого оборудования (например, при добыче, транспортировании и перегрузке горной массы) применение орошения является обязательной технологической операцией. Система орошения может быть как встроенной (внутренняя), так и внешней (наружная). На других механизмах (стругах, конвейерах, перегружателях) орошение может быть только внешним.

Разница между этими двумя системами орошения состоит в месте расположения форсунок, в размещении трубопроводов, подводящих воду к форсункам, и в характеристике самой воды, применяемой для орошения.

До последнего времени минимально требуемые параметры системы орошения, предусмотренные польскими нормами, приведены в таблице 2 [2], из которой следует:

1) Во внешних системах тонкость очистки составляет 100 мкм.

2) Параметры системы орошения проходческого комбайна соответствуют параметрам внешней системы орошения, применяемым на транспортных устройствах и перегружателях. При этом минимальный расход воды на каждую форсунку 5 л/мин.

Различные фирмы применяют форсунки с разными диаметрами отверстий. И хотя степень распыления воды зависит в значительной мере от формы и конструкции форсунки, главным критерием остается диаметр ее отверстия.

В связи с интенсификацией добычи угля и с целью более полного пылеподавления последняя европейская тенденция состоит в применении форсунок диаметром

до 0,7 мм при подаче давления на них около 11 МПа. Такие требования коренным образом изменили подход к системам орошения. Этот узел стал одним из самых проблемных при создании новой техники. Камнем преткновения стала очистка воды, подаваемой на орошение. Откуда бы ни подавалась вода на орошение, в ней неизбежно наличие твердых (реже илистых) частиц ржавчины, окислы, угля, породы, а значительное увеличение давления существенно увеличивает расход через форсунки, и, следовательно, вероятность их засорения. Установка перед форсунками какого-либо защитного устройства (например, сетки) неизбежно ставит вопрос о его очистке, что в условиях специфики работы машин и возможности их обслуживания в подземных условиях либо недопустимо сдерживает производительность труда, либо разрывает устройства, защищающие форсунки от загрязнения. Попытки совершенствования систем орошения сводятся в большинстве случаев к отключению (хотя бы временному) приводов механизмов в случае засорения форсунок.

В последние годы в угледобывающих машинах широко рекламируется применение вместо форсунок туманообразующих головок, подбираемых в зависимости от степени появления пыли (крупности, количества и др.). В головки подается только вода. Она генерирует туман с каплями диаметром от нескольких до десятков микрометров. Количество пыли в воздухе снижается на 90 %. И здесь основная проблема — очистка воды, подаваемой на головки. Рекомендуемые классические дорогие и требующие регенерации фильтры не решают этой проблемы.

Печальный опыт отечественного применения реле давления и реле расхода воды, идущей на орошение комбайнов, показал, что, как правило, эти реле либо отсутствуют, либо “загрублены”, т.е. не выполняют свои функции. Не всегда работает орошение и в иностранных шахтах. На одной из них, достаточно известной, автору статьи комбайнер сказал: “Орошение работает для пана инспектора. Он придет — мы включим”.

И это при том, что отношение к защите вдыхаемого воздуха у иностранных работников трепетное: все рабо-

Таблица 2 — Минимальные параметры встроенной и внешней систем орошения

Параметр	Комбайн	
	Добычной	Проходческий
	Величина параметра	
Давление воды, МПа	2	1
Расход воды на каждый орган, л/мин	60	50
Тонкость очистки, мкм	50	100

чие работают в респираторах и очках, регулярно меняют лепестки на респираторах и т.п.

Гидродинамическая очистка

Можно вообразить идеальные требования к системе орошения: в качестве рабочей жидкости должна использоваться вода любой загрязненности; в процессе работы частицы большие заранее определенного размера не попадают в отверстия форсунок; эти частицы не складываются, а непрерывно сбрасываются из системы, (т.е. грязеемкость неограничена); перепад давления в системе должен быть минимальным; в системе не должно быть подвижных деталей, требующих привода, не должно требоваться никакое техническое обслуживание в течение неограниченного времени.

Конечно, некоторые требования (например, любая степень загрязненности исходной жидкости как по массовому, так и по гранулометрическому составу и чрезвычайно высокие требования по крупности частиц к жидкости, идущей на форсунки) трудно удовлетворить, но в принципе удалось найти компромиссное решение, используя принцип гидродинамического разделения двухфазных жидкостей, предложенный Донбасским государственным техническим университетом (ранее КГМИ) [3]. Применительно к системам орошения принцип был доработан совместно с фирмой I.T.S. (Польша).

Принципиальная схема разделения жидкости на жидкую и твердую фазу понятна из рисунка 1. Насосом 1 жидкость из емкости (противопожарного става, канавки) подается по трубопроводу 2 на гидродинамический очиститель 3, представляющий собой перфорированную перегородку.

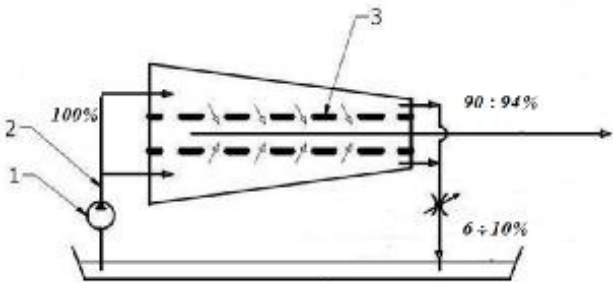


Рисунок 1— Принципиальная схема гидродинамического разделения двухфазной жидкости

На рисунке 2 показано положение частицы заведомо меньшей чем ячейка в перегородке. Как видно, двигаясь над ячейкой, частица 1, переходя в положение 1', участвует в двух движениях: продольном со скоростью $V_{пр}$ вдоль поверхности перегородки и поперечной со скоростью $V_{поп}$ в направлении через ячейку. Если вектор результирующей скорости пройдет выше точки А при выходе из проекции ячейки, то частица выкатится из нее, если ниже — пройдет через ячейку.

Для обеспечения продольного движения (рисунок 1) часть потока, подаваемого на очиститель, сбрасывается из системы вместе с недопустимо крупными частицами.

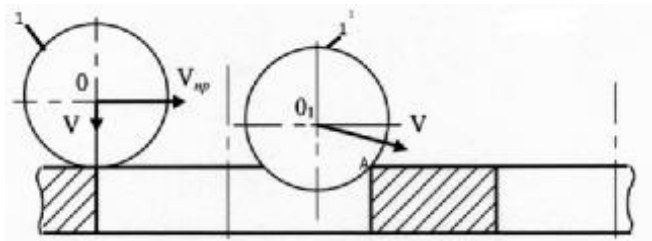


Рисунок 2 — Схема разделения частиц загрязнений по крупности

Регулирование необходимого соотношения очищенного и сбрасываемого потоков осуществляется дросселем 5, параметры которого должны учитывать сопротивление трубопроводов и форсунок, присоединенных к трубопроводу 4. Поскольку по мере движения жидкости вдоль фильтроэлемента продольный расход падает, для поддержания продольной скорости необходимо уменьшать площадь сечения, что можно делать, изготавливая либо корпус, либо фильтроэлемент коническим. Поскольку повышенная скорость продольного потока приводит к более тонкой очистке жидкости, некоторые изготовители оставляют минимально необходимый зазор по всей длине, тем самым несколько повышая перепад давления на очистителе, но упрощая конструкцию.

Одна из главных проблем: куда сбрасывать 6–10 % подаваемой на орошение воды. Наиболее простой способ — очистку производить непосредственно в месте установки подающего насоса. Но тогда система не защищается от загрязнений, возникающих в трубопроводе между насосом и форсунками и, особенно, попадающих в нее при ремонтах гидросистемы орошения с ее раскрытием. Другой путь, который и применялся в первых опытных образцах, направлять поток в места, где не требуется высокая тонкость очистки. Например, на водяное охлаждение электродвигателя.

На рисунке 3 показан общий вид гидродинамического фильтра конструкции ДонГТУ, используемого в случаях отсутствия проблем с наличием механизмов, допускающих охлаждение водой с достаточно крупными частицами (больше 100–120 мкм). Необходимый поток такой жидкости составляет от величины потока, подаваемого на орошение.



Рисунок 3 — Гидродинамический фильтр конструк-

ци ДонГТУ

Наиболее рациональным оказалось создание в самом очистителе внутреннего контура очистки. На рис. 4 показана схема с гидроциклоном, где доочищается сбрасываемый из очистителя 3 поток с помощью гидроциклона. Очищенная гидроциклоном 4 жидкость вновь с помощью струйного насоса подается в систему тонкой очистки 3. При этом отпадает необходимость сброса части жидкости из системы, минуя форсунки, кроме 2–3 % при выходе из гидроциклона через отверстие 6. Такие потери находятся в пределах потерь, связанных с нормальными объемными потерями гидроприводов.

Рис.4. Система полнопоточного гидродинамического орошения

1 — насос, 2 — струйный насос, 3 — гидродинамический фильтр, 4 — гидроциклон доочистки, 5 — трубопровод внутренней доочистки, 6 — сброс гидроочистки.

На рис.5 изображена конструктивная схема системы орошения, установленной на польских комбайнах с двумя исполнительными органами.

Рис.5. Конструктивная схема системы орошения

Система орошения от насоса подсоединяется к штуцеру 1. Поток проходит через фильтр сверхгрубой очистки 2, затем разветвляется на два гидродинамических фильтра 3 оригинальной конструкции, установленных перед каждым исполнительным органом с форсунками. Оригинальность заключается в том, что внутри этого фильтра установлена система вихревого отстоя. Отстоянные частицы поступают в емкости 4, откуда время от времени сбрасывались через штуцеры 5. Очищенная жидкость поступает на форсунки 6.

Система пылеподавления была предметом исследования Главного института горного дела (ГИГД) Польши, и в результате получила положительный отзыв и рекомендации к применению в разных отраслях промышленности, в том числе и в угольной промышленности для встроенных и наружных систем орошения, а также в гидросистемах угольных комбайнов для предварительной очистки рабочих жидкостей от частиц размером более 25 мкм.

В частности, фильтры, проходящие испытания под контролем ГИГД имели такую характеристику:

Номинальный расход жидкости на входе	
150 л/мин	
Рабочее давление	10
МПа	
Максимальное давление	30
МПа	
Перепад давлений на фильтре	
0.03 МПа	

Номинальная
50 мкм

тонкость
очистки

ки, показанная на рисунке 6.

Установлено, что наиболее эффективно работает этот фильтр, когда количество загрязняющих частиц в подаваемой жидкости не превышает $7,5 \text{ з/л}$.

Для сравнения укажем, что нормами для очищенной жидкости в эксплуатируемых машинах рекомендуется содержание загрязнений не более $0,05 \text{ з/л}$.

Таким образом, фильтр позволяет очистить жидкость по массе в 150 раз.

Шахтные испытания проводились на двух добычных комбайнах шахты “Мурски” и на одном проходческом комбайне на шахте “Софиевская”.

Наблюдение над системой орошения проводились в течение 2 лет. Установлено, что системы орошения работали непрерывно, ни одного случая остановки, разборки и засорения форсунок не наблюдалось. Фильтры отличаются малыми размерами, простотой в монтаже и эксплуатации, обеспечивая нужную степень очистки. В очищенной жидкости не было частиц крупнее 50 мкм .

В своем заключении ГИГД указал, что испытания показали не только возможность безопасного применения фильтров для очистки различного рода жидкостей с механическими примесями в подземных выработках угольных шахт, но и правильность расчетных зависимостей, предусматривающих оптимальное соотношение расходов очищенной жидкости и смывающего потока, а также полное соответствие степени очистки показателям, предусмотренным нормативами [4].

Совершенствуя систему доочистки сбрасываемой гидродинамическими фильтрами жидкости, обогащенной крупными частицами, была создана система очистки, при которой из гидросистемы сбрасывались только влажные частицы загрязнений. Жидкость же не сбрасывалась вовсе. Более того, очиститель выделял не только частицы по плотности большей, чем плотность базовой жидкости, но и частицы с меньшей плотностью. На базе этих гидродинамических очистителей была построена система очист-

Работоспособность и эффективность этой конструкции демонстрировалась на 12-ой Международной конференции “Hezviscon” в городе Пшемышле (Польша) в октябре 2008 года [5] и на Донецком заводе “Старт” для работников МакНИИ и Донгипроуглемаша в 2007 году.

Рассматривая проблему создания системы орошения в комплексе, нужно обратить внимание на низкую надежность насосов, подающих жидкость на орошение. Наиболее часто для этой цели используют динамические машины (центробежные, свободновихревые, осевые и др.). Нормативами допускается крупность частиц во всасываемой жидкости до $0,5\text{--}1 \text{ мм}$. Именно поэтому по нашему мнению, продолжительность работы этих насосов составляет $1,5\text{--}2$ года вместо 15 лет, которые соответствуют расчетам. Таким образом, возникает проблема очистки жидкости в линии всасывания при открытой циркуляции. Создание такой системы — до сих пор нерешенная задача гидропривода. Нами были проведены работы в этом направлении с использованием гидродинамического эффекта разделения фаз. Поскольку перепад давлений на этих фильтрах очень мал (до $0,02 \text{ МПа}$) необходимо дать в линию всасывания подпор, равный этому значению, чтобы компенсировать потери на очистку жидкости в линии всасывания.

Теоретические расчеты (в ДонГТУ г.Алчевск) и экспериментальная проверка (I.T.S., г.Катовицы, Польша) показали, что задача может быть решена путем частичной рециркуляции, то есть подачи части потока из линии нагнетания в линию всасывания. При этом, во-первых, удастся обеспечить чистоту жидкости в всасывающей магистрали насоса на уровне $0,05 \text{ мм}$, что более чем достаточно для динамических насосов, а во-вторых, расположить насос подачи жидкости на орошение на значитель-

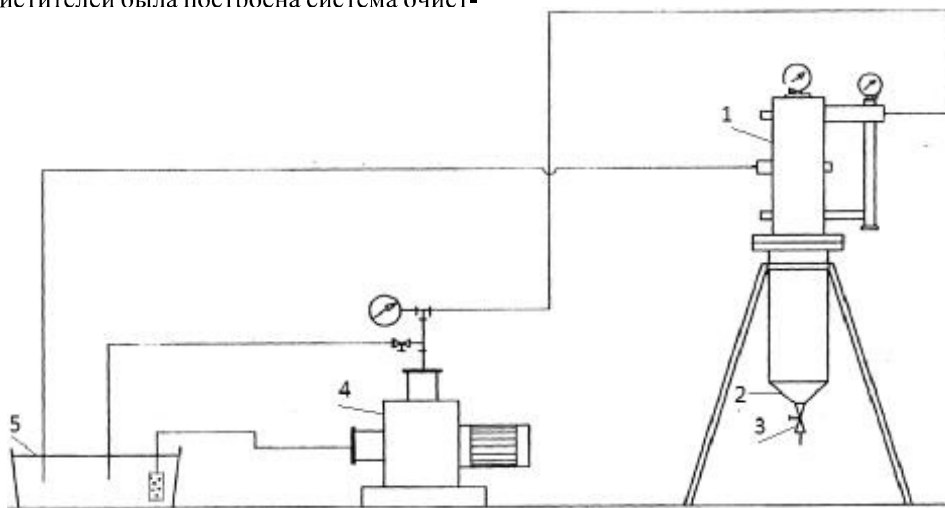


Рисунок 6 — Схема испытания системы регенерации жидкости:

1 — гидродинамический фильтр, 2 — сборник загрязнений, 3 — сброс загрязнений, 4 — насос, 5 — сборник загрязненной жидкости

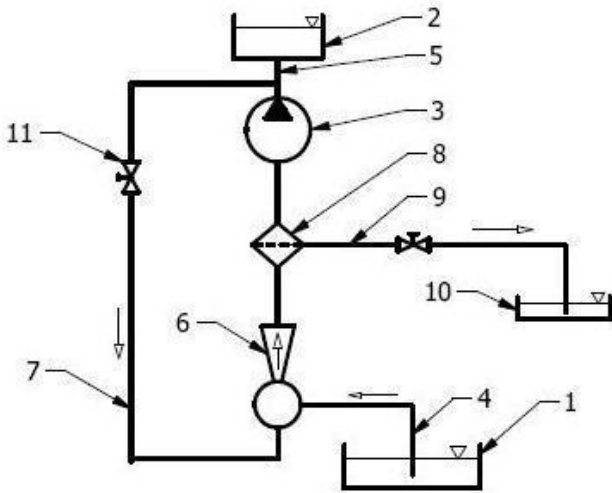


Рисунок 7— Гидравлическая система подачи жидкости с открытой циркуляции и с очисткой жидкости в линии всасывания

но большем расстоянии от емкости загрязненной жидкости, защитив при этом систему от кавитации [6].

На рисунке 7 показана гидравлическая схема системы подачи жидкости с открытой циркуляции и с очисткой жидкости в линии всасывания. Из емкости 1 жидкость запитывается динамическим насосом 3 и поступает потребителю 2 через трубопровод 5. По трубопроводу 7 через регулируемый дроссель 11, струйный насос 6 часть жидкости из линии нагнетания поступает на всасывание основного насоса, создавая здесь определенный подпор. Благодаря этому преодолевается сопротивление гидродинамического фильтра 8. Крупные частицы загрязнений вместе с частью жидкости (от 4 до 6%) поступают по каналу 9 в промежуточную емкость 10, либо непосредственно в емкость 1.

Недостатком такого решения является увеличенная

на 11–13% энергия, затрачиваемая на орошение. Учитывая сравнительно низкий КПД динамических насосов и достигаемое при этом увеличение в 5–7 раз надежности гидросистемы, мы считаем, что это достаточная компенсация. Однако этот вопрос требует конкретного обсуждения.

Выводы

Впервые создана, испытана и прошла государственные испытания по нормативам ЕС система пылеподавления в любых промышленных условиях, не требующая технического обслуживания и работающая на технической шахтной воде из горных выработок.

Литература

1. Залознова, Ю.С. Негативні наслідки небезпечних умов праці в вугільній промисловості та шляхи їх подолання / Ю.С. Залознова // Уголь України. — 2011. — № 2. — С.15—18.
2. Molega, R. Filtr — ważne ogniwo instalacji zraszającej w aspekcie ochrony środowiska pracy / R. Molega // WUG. — 2002. — № 6 (94). — S. 17—22.
3. Финкельштейн, З.Л. Применение и очистка рабочих жидкостей для горных машин / З.Л. Финкельштейн. — М.: Недра, 1986. — 232 с.
4. Финкельштейн, З.Л. Гидродинамическая очистка жидкостей в Польше / З.Л. Финкельштейн, Р. Меленда // Вестник МАНЭБ. — С.-Пб.—Алчевск. —2002. — №7 (55), — С. 95—97.
5. Финкельштейн, З.Л. Повышение долговечности насосного и компрессорного оборудования за счет применения гидродинамических фильтров / З.Л. Финкельштейн — XII Międzynarodowa konferencja naukowo-techniczna “Hervicon-2008”. — Kielce — Przemysł, 9—12 wrzesnia 2008.
6. Finkelshtejn, Z., Wasyleczko, Z., Boyko, N. Hidrodinamiczna filtracja cieczy (artykyl informacyjny) / Z. Finkelshtejn, Z. Wasyleczko, N. Boyko. — Bezpieczenstwo Pracy i Ochrona srodowiska w Gornictwie. — 2011. — № 1 (97) — S. 23—27.