

УДК 621.892.2



**З. Л. ФИНКЕЛЬШТЕЙН,**  
доктор техн. наук,  
(Донбасский ГТУ)



**Н. З. БОЙКО,**  
канд. техн. наук  
(Донбасский ГТУ)



**З. ВАСЫЛЕЧКО,**  
магистр-инженер  
(I.T.S., г. Катовицы, Польша)

## Гидродинамическая система обеспыливания

*Рассмотрена система обеспыливания, которая прошла государственные испытания согласно нормативам ЕС. Система не требует технического обслуживания и работает на технической шахтной воде горных выработок.*

Полная механизация процессов разрушения и транспортирования сыпучих полезных ископаемых связана с выделением огромного количества пыли. В процессе добычи угля происходит пылевыделение, связанное с работой исполнительных органов добычных и проходческих комбайнов; при работе перегружающего оборудования (на так называемых «пересыпах») образуется чрезвычайно опасная породная и угольная пыль. Пылевыделение – одна из причин нарушения здоровья горнорабочих и больших расходов, связанных с дополнительными затратами на их оздоровление.

Согласно работе [1] в угольной промышленности Украины: «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 %». Таким образом, причиной 68,3 % всех профзаболеваний в отрасли является

неэффективное пылеподавление. По этой же причине повышение себестоимости угля составляет 4,5 – 5 %, или 17 – 20 % фонда заработной платы, что за последние три года находится в пределах 1,5 – 1,8 млрд. грн.

То же относится и к другим отраслям промышленности (металлургическая, цементная и др.), т. е. это проблема общетехническая. В мировой практике существуют допустимые уровни запыленности воздуха. Следует учитывать наличие наиболее опасного диапазона крупности зерен пыли. Особенно опасны зерна кремния SiO<sub>2</sub> размером меньше 5 мкм. Например, наиболее допустимый уровень (НДУ) запыленности шахтного воздуха в зависимости от содержания кремния в пыли согласно нормам, существующим в Польше, приведен в табл. 1 [2].

Пыль осаждаемая включает частички, которые осели на измерительном зонде, при линейной скорости засасываемого воздуха в пределах 0,3 – 1,6 м/с.

Наиболее распространенным способом обеспыливания воздуха является орошение – подача в зону скопления пыли мельчайших частиц воды (иногда с определенными смачивающими добавками). Для некоторого оборудования (например, используемого при добыче, транспортировании и перегрузке горной массы) орошение – обязательный технологический процесс. Система может быть как встроенной (внутренней), так и внешней (наружной). На стругах, конвейерах и перегружателях орошение может быть только внешним.

Таблица 1

| Тип пыли       | Содержание пыли, мг/м <sup>3</sup> , при наличии SiO <sub>2</sub> , % |        |         |     |
|----------------|---|--------|---------|-----|
|                | <2  | 2 – 10 | 10 – 50 | >50 |
| Респирационная | 10  | 4      | 2       | 1   |
| Осаждаемая     | 0   | 2      | 1       | 0,3 |

**П р и м е ч а н и е.** Пыль респирационная состоит из частичек, среднее значение диаметра такое же, как у частичек, находящихся в воздухе,  $3,5 \pm 0,3$  мкм и с геометрическим отклонением от стандартного значения  $1,5 \pm 0,1$  мкм.

Разница между этими двумя системами орошения заключается в месте расположения форсунок, в размещении трубопроводов, подводящих воду к форсункам, и в характеристике самой воды, применяемой для орошения. Минимальные параметры системы орошения приведены в табл. 2 [2].

Таблица 2

| Параметры                          | Комбайн  |              |
|------------------------------------|----------|--------------|
|                                    | добычной | проходческий |
| Давление воды, МПа                 | 2        | 1            |
| Расход воды на каждый орган, л/мин | 60       | 50           |
| Тонкость очистки, мкм              | 50       | 100          |

**П р и м е ч а н и е.** Во внешних системах тонкость очистки составляет 100 мкм.

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

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

В связи с интенсификацией добычи угля и в целях более полного обеспыливания 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 системе орошения. Узел пылеулавливания стал одним из проблемных при создании новой техники. Препятствием оказалась очистка воды, подаваемой на орошение. В ней неизбежно наличие твердых (реже илистых) частиц ржавчины, окалина, угля, породы, а значительное повышение давления существенно увеличивает проходимость через форсунки, и, следовательно, вероятность их засорения. Установка перед форсунками какого-либо защитного устройства (напри-

мер, сетки) неизбежно требует его очистки, что в условиях специфики работы машин и возможности их обслуживания в подземных условиях либо недопустимо снижает производительность труда, либо разрывает устройства, защищающие форсунки от загрязнения. Попытки усовершенствовать системы орошения сводятся чаще всего к отключению (хотя бы временному) приводов механизмов в случае засорения форсунок.

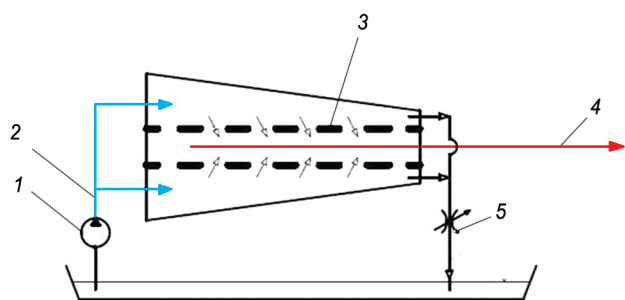
Опыт отечественного применения реле давления и реле расхода воды, используемой для орошения комбайнов, показал, что эти реле либо отсутствуют, либо «заглублены», т. е. не выполняют свои функции. Не всегда система орошения работает и в шахтах зарубежных стран, несмотря на то, что отношение к защите вдыхаемого воздуха со стороны иностранных рабочих серьезное: все трудятся в респираторах и очках, регулярно меняют лепестки на респираторах и т. п.

Можно представить идеальные требования к системе орошения: в качестве рабочей жидкости используется вода любой загрязненности; в процессе работы частицы, размер которых больше определенного, не попадают в отверстия форсунок; эти частицы не «складируются», а непрерывно сбрасываются из системы (т. е. грязеемкость не ограничена); перепад давления в системе минимален; в системе отсутствуют подвижные детали, требующие привода, нет необходимости в каком-либо техническом обслуживании в течение неограниченного времени.

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, поступающей на форсунки) трудно удовлетворить, но найдено компромиссное решение, основанное на использовании принципа гидродинамического разделения двухфазных жидкостей. Этот принцип предложен Донбасским государственным техническим университетом [3] и применительно к системам орошения был доработан совместно с сотрудниками польской фирмы I.T.S.

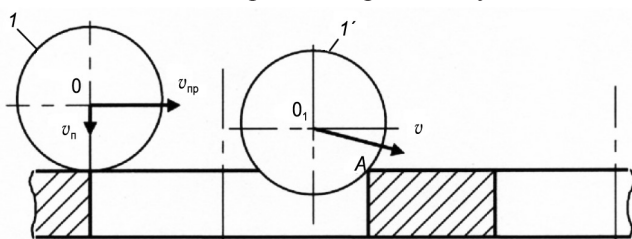
Принципиальная схема разделения жидкости на жидкую и твердую фазы представлена на рис. 1. Насосом 1 жидкость из емкости (противопожарного става, канавки) подается по трубопроводу 2 на гидродинамический очиститель 3, представляющий собой перфорированную перегородку.

На рис. 2 показано положение частицы, диаметр которой заведомо меньше ячейки в перегородке. 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  $v_{п}$  в направлении через ячейку. Если вектор результирующей скорости пройдет выше точки А при



**Рис. 1.** Принципиальная схема гидродинамического разделения двухфазной жидкости.

выходе из проекции ячейки, то частица «выкатится» из нее, если ниже – пройдет через ячейку.



**Рис. 2.** Схема разделения частиц загрязнений по крупности.

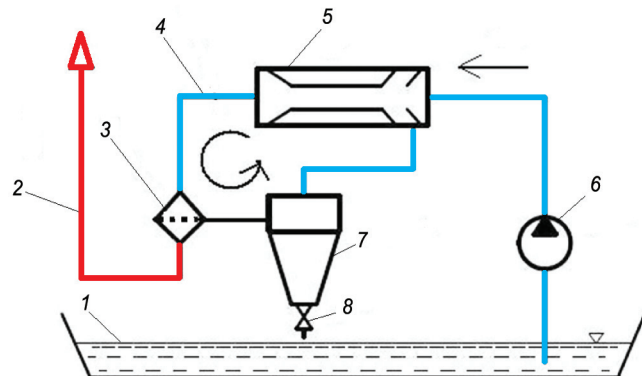
Для обеспечения продольного движения (см. рис. 1) часть потока, подаваемого на очиститель, сбрасывается из системы вместе с недопустимо крупными частицами. Необходимое соотношение очищенного и сбрасываемого потоков регулирует дроссель 5, параметры которого должны учитывать сопротивление трубопроводов и форсунок, присоединенных к трубопроводу 4. Поскольку по мере движения жидкости вдоль фильтроэлемента продольный расход падает, для поддержания продольной скорости необходимо уменьшать площадь сечения путем изготовления корпуса или фильтроэлемента в виде конуса. Повышенная скорость продольного потока приводит к более тонкой очистке жидкости, поэтому некоторые изготовители оставляют минимально необходимый зазор по всей длине, тем самым несколько повышая перепад давления на очистителе, что упрощает конструкцию.

Одна из основных проблем: куда сбрасывать 6 – 10 % воды, подаваемой на орошение. Наиболее простой способ – очистку производить непосредственно в месте установки подающего насоса. Но тогда система не будет защищена от загрязнений, появляющихся в трубопроводе между насосом и форсунками, и особенно от попадающих в нее загрязнений во время ремонта гидросистемы орошения при ее раскрытии. Другой способ, который использовали в первых опытных образцах, – направлять поток в места, где не требуется высокая тонкость очистки, например, на охлаждение электродвигателя с водяным охлаждением.



**Рис. 3.** Гидродинамический фильтр конструкции ДонГТУ.

На рис. 3 показан общий вид гидродинамического фильтра конструкции ДонГТУ, используемого при отсутствии проблем с наличием механизмов, допускающих охлаждение водой с достаточно крупными частицами (больше 100 – 120 мкм).



**Рис. 4.** Схема полнопоточного гидродинамического орошения.

Наиболее рациональным оказалось создание в самом очистителе внутреннего контура очистки. На рис. 4 показана схема, где сбрасываемый поток доочищается с помощью гидроциклона. Из емкости 1 насосом 6 загрязненная жидкость через струйный насос 5 поступает по трубопроводу внутренней доочистки 4 на гидродинамический очиститель 3. Часть жидкости, создающая продольный поток (см. рис. 2), сбрасывается на гидроциклон 7. Очищенная в гидроциклоне жидкость возвращается в струйный насос 5, где эжектируется основным потоком от насоса 6 и вновь поступает на гидродинамический очиститель 3. Таким образом на этот очиститель поступает больше жидкости, чем всасывает насос 6. После очистки через трубопровод очищенной жидкости 2 потребителю поступает столько жидкости, сколько всасывает насос 6. Такая очистка называется полнопоточной (100 %-ной). В то же время в контуре струйный насос – гидродинамический очиститель – гидроциклон (показан дугой) циркулирует поток, равный примерно 6 – 15 % объема жидкости, всасываемого насосом 6. Осевшие в гидроциклоне

крупные частицы загрязнений периодически сбрасываются открытием вентиля сброса загрязнений 8. Практически сброс жидкости из гидросистемы отсутствует. Такие схемы очистки воды были успешно реализованы при охлаждении узлов прокатного стана с расходом воды 700 м<sup>3</sup>/ч на Макеевском металлургическом комбинате и для регенерации загрязненных вод и возвращения их в производство с расходом воды 3000 м<sup>3</sup>/ч на Макеевском коксохимическом заводе.

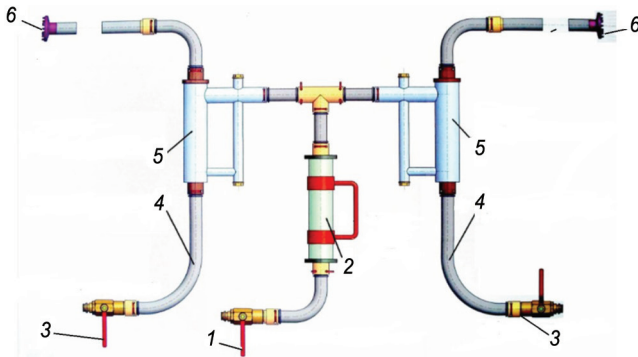


Рис. 5. Конструктивная схема системы орошения.

Конструктивная схема системы орошения, установленная на польских комбайнах с двумя исполнительными органами, приведена на рис. 5. Система орошения от насоса подсоединяется к штуцеру 1. Поток проходит через фильтр грубой 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 сборники загрязнений 4, откуда время от времени сбрасываются через штуцеры сброса загрязнений 5. Очищенная жидкость поступает на форсунки 6.

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

### Характеристика фильтров, проходящих испытания под контролем ГИГД

|   |      |
|---|------|
| Номинальный расход жидкости на входе, л/мин | 150  |
| Давление, МПа:                              |      |
| рабочее                                     | 10   |
| максимальное                                | 30   |
| Перепад на фильтре                          | 0,03 |
| Номинальная тонкость очистки, мкм           | 50   |

Наиболее эффективно работают эти фильтры тогда, когда количество загрязняющих частиц в подаваемой жидкости не превышает 7,5 г/л.

Для сравнения отметим, что согласно нормам для очищенной жидкости в эксплуатируемых машинах содержание загрязнений должно быть не более 0,05 г/л. Таким образом, фильтр позволяет уменьшить содержание механических примесей в очищенной жидкости по массе в 150 раз.

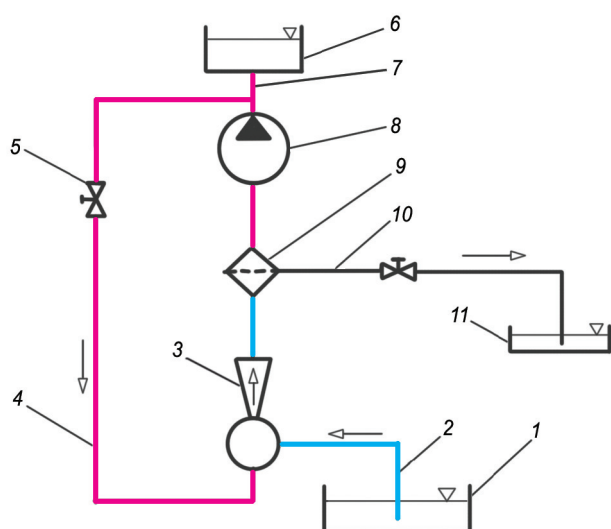
Испытания системы орошения проводили на польских шахтах: «Мурски» – на двух добычных комбайнах и «Софиевская» на одном проходческом комбайне.

Наблюдения вели в течение двух лет. Установлено, что системы орошения работали непрерывно, без единого случая остановки, разборки и засорения форсунок. Фильтры отличаются малыми размерами, простотой в монтаже и эксплуатации, обеспечивают нужную степень очистки. В очищенной жидкости не было частиц крупнее 50 мкм [4].

В своем заключении ГИГД отметил, что испытания показали не только возможность безопасного применения фильтров для очистки различных 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 [2].

В целях совершенствования системы доочистки сбрасываемой гидродинамическими фильтрами жидкости, обогащенной крупными частицами, была разработана система очистки, в которой предусмотрен сброс только влажных частиц загрязнений. Жидкость не сбрасывалась. Более того, очиститель выделял из загрязненной жидкости не только частицы по плотности большей, чем плотность базовой жидкости, но и частицы с меньшей плотностью. Работоспособность и эффективность такой конструкции демонстрировалась на Донецком заводе «Старт» для работников МакНИИ и Донгипроуглемаша в 2007 г. и на 12-й Международной конференции «Hezvicon» в г. Пшемышле (Польша) в 2008 г. [5].

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, свободно-вихревые, осевые и др.). Нормативами допускается крупность частиц во всасываемой жидкости до 0,5 – 1 мм. Именно поэтому полагаем, что продолжительность работы этих насосов составляет 1,5 – 2 года вместо 15 лет, которые соответствуют расчетам. Таким образом, возникает проблема очистки жидкости в линии всасывания при открытой циркуляции. Создание такой системы – до



**Рис. 6.** Гидравлическая система подачи жидкости с открытой циркуляцией и очисткой в линии всасывания.

сих пор нерешенная задача гидропривода. Авторы статьи провели работы в этом направлении с использованием гидродинамического эффекта разделения фаз. Поскольку перепад давлений на этих фильтрах очень мал (до 0,02 МПа), необходимо включить в линию всасывания подпор, равный этому значению, чтобы компенсировать потери на очистку жидкости в линии всасывания.

Теоретические расчеты, сделанные в ДонГТУ (г. Алчевск), и экспериментальная проверка в I.T.S. (г. Катовицы, Польша) показали, что задача может быть решена путем частичной рециркуляции, т. е. подачи части потока из линии нагнетания в линию всасывания. При этом, во-первых, удастся обеспечить чистоту жидкости во всасывающей магистрали насоса на уровне 0,05 мм, что более чем достаточно для динамических насосов, а, во-вторых, расположить насос подачи жидкости на орошение на значительно большем расстоянии от емкости загрязненной жидкости, защитив при этом систему от кавитации [6].

На рис. 6 показана гидравлическая схема системы подачи жидкости с открытой циркуляцией и с очисткой жидкости в линии всасывания. Из емкости 1 жидкость через трубопровод 2 запитывается динамическим насосом 8 и поступает потребителю 6 через трубопровод 7. По трубопроводу 4 через регулируемый дроссель 5 и струйный насос 3 часть жидкости из ли-

нии нагнетания поступает на всасывание насоса 8, создавая здесь определенный подпор. Благодаря этому преодолевается сопротивление гидродинамического фильтра 9. Крупные частицы загрязнений вместе с частью жидкости (от 4 до 6 %) поступают по каналу 10 в промежуточную емкость 11 либо непосредственно в емкость 1.

Недостатком такого решения является увеличение на 11 – 13 % энергии, затрачиваемой на орошение. Учитывая сравнительно низкий КПД динамических насосов и достигаемое при этом увеличение в 5 – 7 раз надежности гидросистемы, считаем, что это достаточная компенсация. Впрочем, вопрос требует конкретного обсуждения.

**Выводы.** Впервые создана и прошла государственные испытания по нормативам ЕС система обеспыливания, которая может быть использована в любых промышленных условиях. Она базируется на эффекте гидродинамического разделения двухфазных жидкостей в потоке, имеющем различные скорости по сечению. Система неструктурно проста, создает малое сопротивление, не требует технического обслуживания и работает на технической шахтной воде из горных выработок.

## Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Залознова Ю. С. Негативні наслідки небезпечних умов праці у вугільній промисловості та шляхи їх подолання // Уголь України. – 2011. – № 2.
2. Molega R. Filtr - ważne ogniwo instalacji zraszającej w aspekcie ochrony środowiska pracy // WUG. – 2002. – № 6 (94). – P. 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., Меленда Р. Гидродинамическая очистка жидкостей в Польше / З. Л. Финкельштейн, Р. Меленда // Вестник МАНЭБ. – № 7 (55). – 2002. – С. 95–97.
5. Финкельштейн З. Л. Повышение долговечности насосного и компрессорного оборудования за счет применения гидродинамических фильтров // Hervicon-2008. XII Międzynarodowa konf. nauk.-tehn. – Politechnika. – Kielce. – 9–12 września, 2008. – С. 195 – 205.
6. Finkelshtejn Z., Wasyleczko Z., Boyko N. Hidrodynamiczna filtracja cieczy (artykuł informacyjny) // Bezpieczeństwo Pracy i Ochrona Środowiska w Górnictwie. – 2011. – 1 (97). – P. 23 – 27.