

---

УДК 621.316.938.622.36

**И.П. ГОРОШКО, зав. лаб.,**  
**С.С. ПАПКОВ, науч. сотрудник,**  
**Р.А. ПАРХОМЕНКО, мл. науч. сотрудник; МакНИИ, г. Макеевка**

## **АНАЛИЗ СПОСОБОВ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ ШАХТНЫХ ВОДООТЛИВНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ**

*Приведены результаты анализа способов восстановления пропускной способности шахтных водоотливных трубопроводов, определены их достоинства и недостатки. Сделан вывод о целесообразности очистки шахтных водоотливных трубопроводов с применением разрядно-импульсной технологии*

**Ключевые слова:** шахтный водоотлив, трубопровод, отложения, способы, очистка, пропускная способность.

Водоотлив на угольных шахтах имеет особую важность для обеспечения безопасных и комфортных условий труда. В настоящее время его роль еще более возросла, что обусловлено необходимостью поддержания нормального гидрологического режима действующих шахт в условиях массового закрытия и ликвидации угледобывающих предприятий. Удельный вес затрат на водоотлив в общешахтных расходах весьма велик, учитывая высокую стоимость оборудования и большие (до 1200 кВт) мощности приводных двигателей насосных установок. Эти факторы обуславливают повышенные требования к безопасности, надежности и экономичности шахтных водоотливных установок. Водоотливные установки шахт проектировались с учетом местных гидрологических условий, условий эксплуатации и экономичной работы. Однако в процессе эксплуатации нагнетательные трубопроводы водоотливных установок, в том числе вертикальные, проложенные в стволах и скважинах, частично утрачивают свою пропускную способность из-за образования отложений на внутренней поверхности (рис. 1).

Возникновение отложений на внутренней поверхности труб обуславливается рядом следующих причин или их комплексом. В процессе длительной эксплуатации, а основная масса нагнетательных трубопроводов прокладывалась более двадцати лет назад, происходило естественное отложение минеральных веществ, содержащихся в воде. Кроме того, за счет шероховатости внутренней поверхности труб, на их стенках происходило отложение и взвешенных веществ (штыб, пыль). Этот процесс, по-

видимому, также усугублялся несвоевременной, а возможно некачественной очисткой водосборников и недостаточно эффективными мероприятиями по очистке воды от взвешенных веществ непосредственно в шахте.

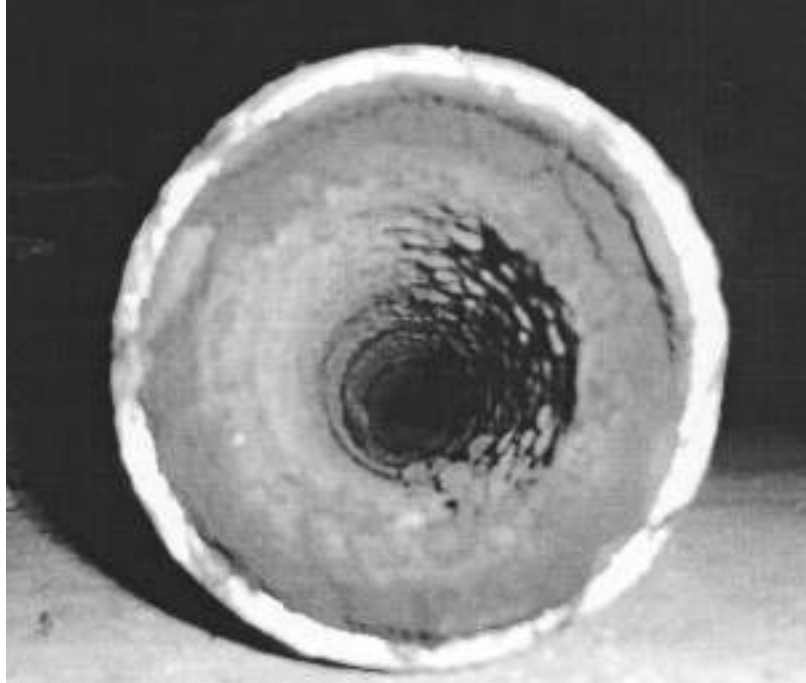


Рис. 1. Фрагмент трубы шахтного водоотлива шахты «Ясиновская-Глубокая» с отложениями

Анализ показывает, что на многих шахтах в напорных магистралях водоотливных установок имеет место существенное снижение величины проходного сечения.

В отдельных случаях внутренний диаметр трубопроводов составляет до 50% и менее оптимального, который был принят на стадии проектирования. Например, на ликвидируемых шахтах им. А.П. Войкова (Луганская обл.), «Миусская», «Юнком», «Лесная» (Донецкая обл.) внутренний диаметр нагнетательных трубопроводов составляет 100 - 180 мм вместо 250 мм проектных, на действующей шахте им. Коротченко - 120 мм против требуемого 200 мм. Аналогичная ситуация сложилась на шахтах им. М. Горького, им. А. Гагарина, «Ясиновская-Глубокая», «Углегорская».

Исследования показывают, что отложения на внутренних стенках нагнетательных трубопроводов шахт Донбасса представляют собой минеральные образования с шероховатой поверхностью, иногда монолитные (шахта «Ясиновская-Глубокая»), чаще - с выраженной слоистостью в диаметральном направлении. Встречаются также отложения комбинированно-

го состава, представляющие собой жесткие концентрические солевые образования, перемежающиеся прослойками глинистых слоев или мелкого штыба. Плотность отложений колеблется в пределах 2100-2260 кг/м<sup>3</sup>, прочность на сжатие, определенная по методу толчения, составляет 20-30 МПа.

Наличие отложений на внутренней поверхности нагнетательных трубопроводов и, как следствие, увеличение гидродинамического сопротивления магистрали приводят к существенному снижению производительности насосных установок и росту затрат на откачку воды из шахты. Расчеты показывают, что потеря производительности насосной установки главного водоотлива, обусловленная снижением проходного сечения, может достигать 40% проектной производительности (см. табл.).

Таблица

Сравнительная характеристика вертикальных нагнетательных водоотливных трубопроводов

Характеристики	Наименование шахты				
	им. Коротченко	им. Горького	им. Дзержинского	им. Войкова	«Миусская»
Проектный диаметр трубопровода, мм	200	250	200	250	250
Фактический диаметр загрязненного трубопровода, мм	150	150	150	160	180
Проектная производительность магистрали, м <sup>3</sup> /ч	300	280	300	295	290
Фактическая расчетная производительность, м <sup>3</sup> /ч	238	210	220	207	210

Учитывая, что расчеты потери производительности производились без учета естественного износа насосного агрегата, следует ожидать еще более существенное снижение производительности водоотливных комплексов. В результате этого, на ряде шахт для откачки нормального притока воды в работе находятся даже резервные насосы и трубопроводы, что противоречит требованиям п. 7.1.1 «Правил безопасности в угольных шахтах» НПАОП 10.0-1.01-10 [1]. Например, на ликвидируемой шахте

«Юнком» в период весеннего паводка 2004 г., вследствие уменьшения проходного сечения напорных магистралей, откачка воды осуществлялась всеми насосными агрегатами, включая резервные, практически в круглосуточном режиме. Также, например, в осенне-зимний период 2011 года из-за загрязнения водоотливных трубопроводов и, как следствие, неудовлетворительной работы водоотлива, были приостановлены работы по добыче угля на гор. 1100 м на шахте им. Ленина ПО «Артемуголь». Данная ситуация значительно повышает риск возникновения аварийных ситуаций, связанных с затоплением шахты.

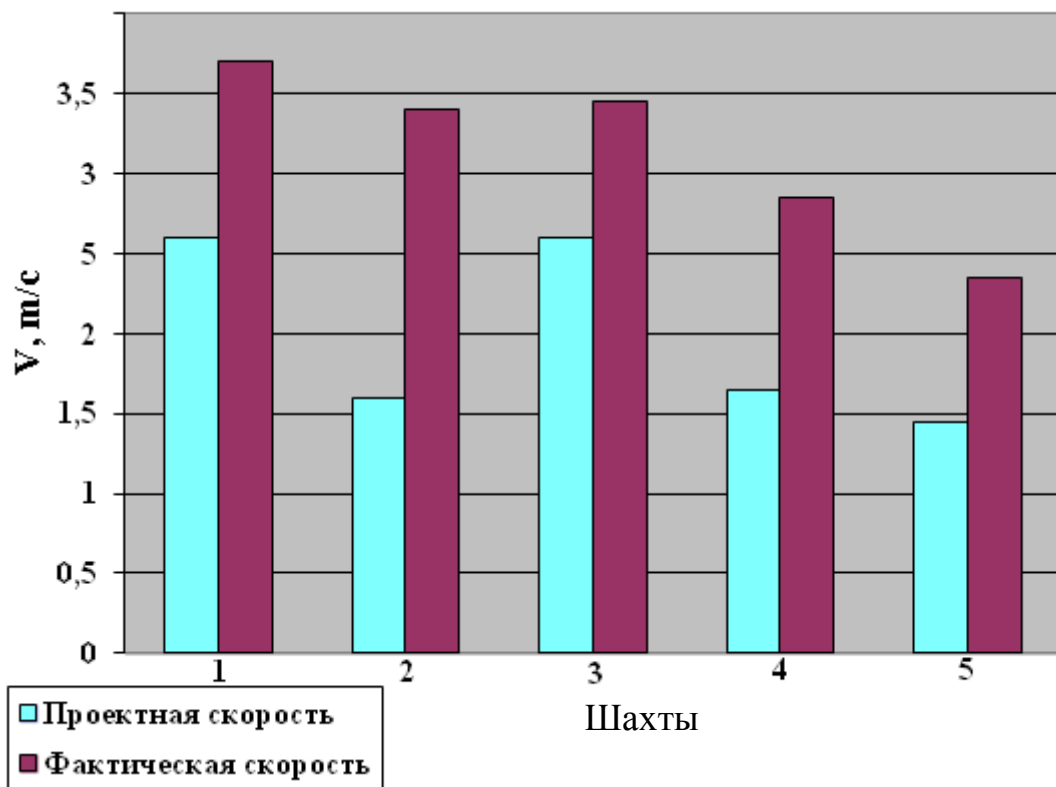
Кроме рассмотренного аспекта, связанного со снижением пропускной способности нагнетательных трубопроводов, также возрастает вероятность возникновения аварий, связанных с увеличением нагрузок на несущие конструкции водоотливных ставов в стволах шахт на фоне естественного физического износа упомянутых конструкций. Расчет прочностных параметров крепежных элементов и конструкций при проектировании водоотливных магистралей, проложенных в стволах шахт, производился исходя из фактических нагрузок на них с учетом некоторого коэффициента запаса.

Статические нагрузки на элементы крепления водоотливного става в стволах шахт, в основном обуславливаются массой непосредственно трубопровода [2], а опорное колено также воспринимает нагрузку, определяющуюся массой столба воды, находящейся в нем. Анализ состояния вертикальных водоотливных трубопроводов, проложенных в стволах шахт, показывает, что в процессе многолетней эксплуатации на ряде шахт происходит существенное увеличение массы трубопроводов как за счет образования отложений на внутренней поверхности труб, так и на внешней поверхности. Например, на шахте им. М. Горького, вследствие обводненности ствола, трубы диаметром 273 мм вертикального водоотливного става длиной 520 м покрыты солевыми отложениями, толщина которых достигает 10 мм. Расчеты показывают, что наличие этих отложений приводит к увеличению массы одного погонного метра трубопровода на 9,0 - 10,0 кг, что эквивалентно увеличению нагрузок на элементы крепления на 15%. Удельный вес в увеличении статических нагрузок на элементы крепления трубопроводов в стволах шахт, обусловленный отложениями на внутренней поверхности трубопроводов, еще более существенный. Масса одного погонного метра трубопровода при отложениях на внутренней поверхности 50 мм, на примере шахты им. М. Горького, увеличивается на 69 кг, что эквивалентно увеличению статических нагрузок на несущие конструкции более чем в 2 раза.

Как показывает анализ, наличие отложений на внутренней поверхности нагнетательных трубопроводов водоотливных установок обуславлива-

ет наряду с ростом статических нагрузок на крепежные элементы и существенный рост динамических нагрузок при нестационарных режимах работы системы водоотлива как плановых, так и случайных.

При снижении пропускной способности нагнетательного трубопровода водоотливной установки, обусловленной потерей внутреннего сечения, в нем происходит существенное увеличение скорости движения водяного потока. Увеличение скорости потока происходит пропорционально увеличению толщины отложений  $\sigma$  на внутренней поверхности и в отдельных случаях достигает двукратной и более величины по сравнению с проектной скоростью воды. Графическая интерпретация этого явления на примере ряда вертикальных трубопроводов действующих водоотливных установок приведена на рис. 2.



- 1 - шахта им. Коротченко ( $b=25$ мм);
- 2 - шахта им. М. Горького ( $b=50$ мм);
- 3 - шахта им. Дзержинского ( $b=25$ мм);
- 4 - шахта им. А.П. Войкова ( $b=45$ мм);
- 5 - шахта Миусская ( $b=35$ мм)

Рис. 2. Сравнительные характеристики скорости движения потока воды в водоотливном трубопроводе

Увеличение скорости потока оказывает существенное влияние на динамические нагрузки на трубопроводы и несущие конструкции при возникновении переходных процессов как во время пусков и остановок водоотливных насосов, так и вследствие других факторов (разрыв трубопроводов и арматуры, быстрое открытие или закрытие запорной арматуры и т.п.). Возникновение этих нестационарных процессов в напорных трубопроводных магистралях приводит к колебаниям давления. Возникновение резкого изменения давления в трубопроводе в короткий промежуток времени, так называемый гидроудар, может привести к аварийной ситуации, связанной с нарушением целостности трубопроводной магистрали и элементов его крепления. При эксплуатации вертикальных напорных водоотливных магистралей предусматриваются меры, предотвращающие возникновение резких колебаний давления - гидроударов, которые эффективны при заранее запланированных процессах, в основном, при запуске и остановке системы водоотлива. При этом, превышение давления в системе при переходных процессах не достигает опасных величин, т.е. не возникает опасности возникновения гидроудара. Кроме вышеуказанных мер, носящих организационный характер, применяются различные способы и средства гашения гидроударов, возникающих при случайных процессах.

Расчет и подбор средств защиты от гидравлических ударов, обеспечивающих надежную эксплуатацию, базируется на определении ожидаемого превышения давления над давлением установившегося режима. В соответствии с теорией Н.Е. Жуковского [3], принятой для расчета гидротранспортных систем, величина превышения давления  $\Delta p$  зависит от гидродинамических параметров жидкостного потока и геометрических параметров трубопровода.

Связь величины превышения давления с гидродинамическими параметрами имеет следующий вид:

$$\Delta p = a_y v \rho, \quad (1)$$

где  $a_y$  - скорость распространения волны гидроудара в трубопроводе при давлении в нем однофазной жидкости, м/с;

$v$  - скорость движения жидкости в трубопроводе в установившемся режиме, м/с;

$\rho$  - плотность жидкости, кг/м<sup>3</sup>.

Из выражения (1) следует, что величинами, определяющими величину превышения давления и, как следствие, само возникновение гидроудара, является скорость распространения волны гидроудара и скорость движения жидкости. Поскольку теоретические зависимости скорости распро-

странения ударной волны в трубопроводе являются громоздкими, имеют узкий диапазон использования и включают взаимосвязи между некоторыми параметрами в неявном виде, для анализа воспользуемся рекомендуемыми реальными значениями скорости распространения ударной волны в трубах, полученными экспериментально. Величина скорости ударной волны в стальных трубопроводах диаметром 200-250 мм находится в пределах 1020-1150 м/с, т.е. может изменяться в пределах 10-12% в зависимости от конкретных условий (наличия в воде воздушных пузырьков, взвешенных частиц и других неоднородностей). Учитывая это, а также зависимость (1), следует, что основным фактором, определяющим величину превышения давления в нестационарных режимах, т.е. гидроудар, является скорость движения воды в трубопроводе в стационарном режиме. Поскольку зависимость скорости движения воды в трубопроводе и величина превышения давления имеет прямопропорциональный характер, то можно сделать вывод о прямом увеличении силы гидроудара при наличии отложений на внутренней поверхности. Причем увеличение гидроудара может достигать 90% по сравнению с величинами, возможными при проектной скорости движения воды по чистому трубопроводу.

Вышеизложенное однозначно свидетельствует о достаточной серьезности проблем, связанных с наличием отложений на внутренней поверхности водоотливных трубопроводов шахт и обуславливает актуальность восстановления пропускной способности водоотливных трубопроводов шахт путем их замены или очистки.

Предварительный анализ показывает, что с экономической точки зрения, при условии удовлетворительного состояния труб, очистка является более предпочтительной, а в отдельных случаях и безальтернативной, поскольку прокладка шахтных вертикальных водоотливных трубопроводов в стволах и скважинах требует больших капитальных затрат и времени. Кроме того, в отдельных случаях замену трубопровода произвести просто невозможно по техническим причинам.

Цель статьи - определение оптимальных, применительно к условиям шахт, способов очистки трубопроводов. Для достижения поставленной цели был выполнен соответствующий сравнительный анализ.

В настоящее время достаточно широко применяется ряд способов очистки трубопроводов различного назначения от отложений. К способам очистки, приемлемым к специфическим условиям шахтных водоотливных магистралей вертикальной и наклонной прокладки, можно отнести следующие.

1. Очистка с применением буровых станков.
2. Очистка с применением устройств шарошечного типа.

3. Очистка с применением низкочастотных пневмоимпульсных генераторов (так называемый «пневмовзрыв»).

4. Очистка с применением гидродинамических и гидрокавитационных устройств.

5. Очистка с применением ультразвуковых и электромагнитных импульсаторов.

6. Очистка разрядно-импульсным способом.

Каждый из вышеперечисленных способов очистки имеет свои преимущества и недостатки.

Очистка с применением буровых станков сводится фактически к разбуриванию отложений специальным буровым инструментом с одновременной подачей воды для промывки трубопровода от продуктов очистки. Для осуществления этой процедуры над выходом трубопровода на дневную поверхность монтируется буровой станок, трубопровод выводится из работы, расстыковывается его верхняя и нижняя части для подачи бурового инструмента и выдачи и сбора воды с продуктами очистки соответственно.

К преимуществам данного способа следует отнести его эффективность для отложений практически любой прочности. Однако имеется ряд существенных недостатков, делающих невозможным широкое применение этого способа. К таким недостаткам следует отнести сложности (а зачастую и невозможность) установки бурового станка над устьем трубопровода, необходимость вывода трубопровода из работы на длительное время, необходимость достаточно трудоемких подготовительных операций, а также определенный риск застревания исполнительного органа в случае искривлениями трубопровода или наличия в нем неоднородностей (пережимов и т.п.).

Очистка с применением устройств шарошечного типа, с точки зрения подготовительных операций, сходна с разбуриванием отложений, и осуществляется путем протягивания внутри трубопровода шарошки, закрепленной на тросе. Тяговое усилие при этом обеспечивается лебедками, установленными на поверхности и в трубном ходе. Применение этого способа ограничивается прочностью отложений. Недостатки, свойственные способу очистки устройствами шарошечного типа, такие же как и при применении буровых станков.

Метод пневмоимпульсных генераторов основан на использовании энергии сжатого воздуха (100 - 200 атм.), периодически истекающего из каналов пневмоснаряда (рис. 3), помещенного в трубопровод с отложениями, частично заполненный водой.





Рис. 3. Пневмоснаряды для очистки трубопроводов

Воздушные струи, направленные вперед и назад по ходу очистки трубопровода, разрушают отложения впереди снаряда, создают реактивную тягу, перемещающую снаряд вперед, потоки в воде, размывающие отложения как впереди снаряда, так и за ним. Пневмоснаряд имеет форму цилиндра диаметром, равным 0,5-0,8 диаметра трубопровода и длиной, равной 2-3 диаметрам снаряда. Сжатый воздух к пневмоснаряду подается от специальной компрессорной установки по шлангу длиной до 100 м. Применение этого способа предполагает вырезку монтажных люков в трубопроводе размерами, обеспечивающими свободное размещение пневмоснаряда, на расстоянии не более 100 м один от другого, вывод трубопровода из работы на время выполнения работ по очистке, возможность вырезки дополнительных монтажных люков для извлечения застрявшего в трубопроводе пневмоснаряда. Метод применим для отложений невысокой и средней прочности (ил, песок, угольный шлам, глина с прослойками песка, карбонатные отложения с частыми прослойками песка или угольного шлама и т.п.).

Метод гидродинамических и гидрокавитационных устройств основан на использовании устройств типа «ерш», представляющих собой набор лепестковых шайб, установленных несколькими пакетами на стержне. Эта конструкция, размещенная внутри трубопровода, приводится в движение за счет подпора жидкости (25-30 атм.), а лепестки шайб, набранные «внахлест» и прижатые к стенке трубопровода, снимают отложения с его внутренней поверхности и формируют микроструи, разрушающие отложения. Применение этого способа предполагает вырезку монтажных окон до половины диаметра трубопровода длиной 2-3 его диаметра, расстыковку трубопровода или вырезку в нем окон для выхода воды со шламом по трассе трубопровода, герметизацию участка трубопровода за «ершом», наличие насосной установки 25-30 атм. с резервуаром, обеспечивающим необходимый расход воды во время очистки трубопровода. Метод применим для отложений в основном невысокой крепости (ил, песок, угольный шлам, глина с прослойками песка и т. п.). При более прочных отложениях высока вероятность застревания «ерша» в трубопроводе. Также, учитывая вы-

сокие нагрузки на элементы конструкции гидрокавитационного устройства в процессе очистки, обуславливающие их быстрый износ, данный способ мало пригоден для очистки протяженных трубопроводов.

Методы ультразвуковых и электромагнитных импульсаторов основаны на применении излучателей, устанавливаемых на трубопроводы, и формирующих микроперемещения стенок трубопровода, препятствующие осаждению отложений и т.п. Для большой толщины сформировавшихся отложений (свыше 3-5 мм) применение метода практически малоэффективно.

Разрядно-импульсный способ основан на использовании электрического разряда в жидкости, формирующего в ней кратковременные импульсные волны сжатия и достаточно мощные гидротоки, которые разрушают отложения практически любой прочности. Величина импульсного давления в волне сжатия применительно к условиям очистки трубопроводов может достигать 40 МПа, причем за счет изменения энергетических параметров генератора импульсных токов и параметров электродной системы возможно достаточно четкое регулирование параметров волны сжатия. Следует также отметить, что воздействие волн сжатия непосредственно на отложения и трубопровод, в т.ч. очищенный, длится от 1 до 30 мс. Такого кратковременного воздействия достаточно для нарушения целостности неупругих отложений волной сжатия и не достаточно для нарушения целостности труб, материал которых находится в зоне упругих деформаций. Гарантией целостности труб является также и то, что при динамических (импульсных) нагружениях со скоростью более 800 м/с наблюдается рост величины предела прочности стали на 300-500%. Процесс очистки трубопровода осуществляется непосредственно при его работе, за счет чего разрушенные до мелкой фракции отложения потоком воды удаляются из трубы. Исполнительным органом при разрядно-импульсной очистке является электродная система цилиндрической формы с минимальным диаметром 38 мм, подсоединенная к разрядно-импульсной установке «Импульс-4» коаксиальным кабелем типа РК-50-24-17. Электродная система также оснащается калибром для контроля качества очистки.

## ВЫВОДЫ

1. Таким образом, восстановление пропускной способности водоотливных трубопроводов целесообразно производить путем их очистки. Наиболее приемлемым для этого является разрядно-импульсный способ очистки трубопроводов.

2. Восстановление пропускной способности шахтных водоотливных трубопроводов позволит снизить вероятность возникновения аварийных ситуаций в системе водоотлива и обеспечить безопасные и здоровые условия труда.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Правила безопасности в угольных шахтах: НПАОП 10.0-1.01-10. – Офиц. изд. – К., 2010. – 430 с. – (Нормативно-правовой документ Госгорпромнадзора Украины).
2. Боярский В. А. Водоотлив и осушение на горных предприятиях: Учеб. пособие / Боярский В. А., Киров И. П. – М.: Высш. школа, 1980. – 304 с.
3. Шевяков Л. Д. Шахтный водоотлив / Шевяков Л. Д., Бредихин А. Н. – Изд. 5-е, перераб. – М., 1960. – 355с.

Получено: 19.02.2014

*Наведено результати аналізу способів відновлення пропускної здатності шахтних водовідливних трубопроводів, визначені їхні переваги та недоліки. Зроблено висновок про доцільність очищення шахтних водовідливних трубопроводів із застосуванням розрядно-імпульсної технології.*

**Ключові слова:** шахтний водовідлив, трубопровід, відкладення, способи, очищення, пропускна здатність.

*The results of ways of pipeline through put flow capacity recovering analysis have been summarized, their strengths and weaknesses have been determined. The conclusion about the reasonability of mine pump discharge line cleaning by using the electric discharge technology has been made.*

**Keywords:** mine pumping, pipeline, deposits, ways, cleaning, through put flow capacity.