

УДК 622.411.33

**Е. Л. ГОЛОВАТЕНКО**

ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»

## **ПОВЫШЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ ПУТЕМ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ШАХТНЫХ ВОД В ОБОРОТНЫХ ЦИКЛАХ ВАКУУМ-НАСОСНЫХ СТАНЦИЙ**

**Аннотация.** К числу приоритетных задач угольной промышленности Донбасса относят проблемы охраны окружающей природной среды и рационального природопользования. Практическому их решению предшествовало выполнение значительного количества поисковых, научно-исследовательских, опытно-конструкторских и проектных работ, которые направлены на создание технологических процессов и аппаратов, которые снижают вредное влияние деятельности предприятий угольной промышленности на окружающую среду. Характерными направлениями негативного воздействия угольных предприятий отрасли являются: загрязнение водных объектов шахтными, карьерными, производственными и хозяйственно-бытовыми сточными водами, нарушение гидрологического режима поверхностных вод, гидродинамического и гидрохимического режима подземных вод; изъятие из землепользования и нарушение земель, загрязнение их отходами добычи и переработки угля; загрязнение воздушного бассейна выбросами горнотранспортного оборудования, промышленных и коммунальных котельных, горящих породных отвалов.

**Ключевые слова:** дегазация, вакуум-насос, аэродинамическая характеристика, диафрагма, манометр – вакуумметр.

### **ФОРМУЛИРОВКА ПРОБЛЕМЫ**

Проблемы, связанные с использованием водных ресурсов можно сгруппировать по трем основным направлениям: нехватка (дефицит) водных ресурсов; загрязнение водных ресурсов; риски для человека и окружающей среды, связанные с негативным воздействием вод (наводнения, засухи, сели, оползни и др.). Повышение экологической безопасности угольных шахт можно обеспечить за счет использования шахтных вод в оборотных циклах дегазационных установок.

### **АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ**

В горной промышленности (угольной, рудной и нерудных материалов) попутно с добычей полезных ископаемых забирается вода, объем которой в несколько раз превышает объем потребления ее промышленными предприятиями отрасли. Создать бессточные системы на горнодобывающих предприятиях не представляется возможным. Обратные системы водоснабжения имеются на ряде обогатительных фабрик и на некоторых сооружениях поверхностного комплекса шахт. Загрязненная попутно забираемая вода подвергается в той или иной степени очистке при сбросе ее в водные объекты и при передаче потребителям горной промышленности или другим отраслям. Несмотря на возросшие научные и технические возможности, проблема охраны поверхностных вод и, в частности, санитарной охраны водоемов от загрязнения шахтными водами остается актуальной и до сих пор нерешенной.

### **ЦЕЛЬ**

Предотвращение техногенного воздействия угольных предприятий на водные объекты путем усовершенствования технологии очистки шахтных вод для использования в оборотных циклах.

## ОСНОВНОЙ МАТЕРИАЛ

По данным Государственного комитета статистики лишь 16 % от общего объема возвратных вод, сбрасываемых в водные объекты Донецкой Народной Республики составляют сточные воды, а 84 % шахтные. Объемы образования шахтных вод на разных предприятиях отличаются. Также изменяться могут объемы образующихся вод по годам в пределах одного предприятия. В таблице 1 представлены данные по объемам образования и сбросов шахтных вод, а также балансовая схема водоснабжения и водоотведения на рисунке 1.

Таблица 1 – Объемы образования и сбросов шахтных вод

Показатели	Расход воды, тыс. м <sup>3</sup>
1. Общий забор воды, т. ч.:	5 694,70
– питьевая	93,80
– шахтная	5 600,90
2. Использование на собственные нужды, т. ч.:	123,84
2.1 питьевая (Макеевское ПУВКХ КП Компания «Вода Донбасса»), в том числе:	93,8 0
– хозяйственно-питьевые	75,00
– производственные	18,80
2.2 Шахтная, в т. ч.:	30,04
– хозяйственно-питьевые	–
– производственные	30,04
3. Обратное водоснабжение	–
4. Передача другим объектам:	–
– канализация	93,80
5. Сброс шахтных вод в водные объекты, в т.ч.:	5 570,90
– недостаточно очищенных	–
– нормативно-очищенных	5 570,90
– нормативно-чистых (не требует очистки)	–

Как следует из данных, забор воды состоит из питьевой воды от Макеевского ПУВКХ КП Компания «Вода Донбасса», что составляет 1,7 % от общего забора, и шахтной, что составляет 98,3 %. При этом на производственные нужды шахтной воды используется 0,5 %, а сброс составляет 97,8 % от общего забора воды. На шахтах в свою очередь при дегазации питание вакуум-насосов производится мощностью 150 м<sup>3</sup>/мин осуществляется как технической водой, так и питьевой (рис. 2).

Расход воды для одного насоса составляет около 500 литров в минуту. Для пополнения утечек и потерь воды предусматривается подпитка из водной магистрали. Таким образом, на водоснабжение трех вакуум-насосов на примере одной шахты потребуется технической воды:

$$V = 500 \cdot 60 \cdot 24 \cdot 365 \cdot 3 = 788\,400\,000 \text{ л,}$$

и питьевой:

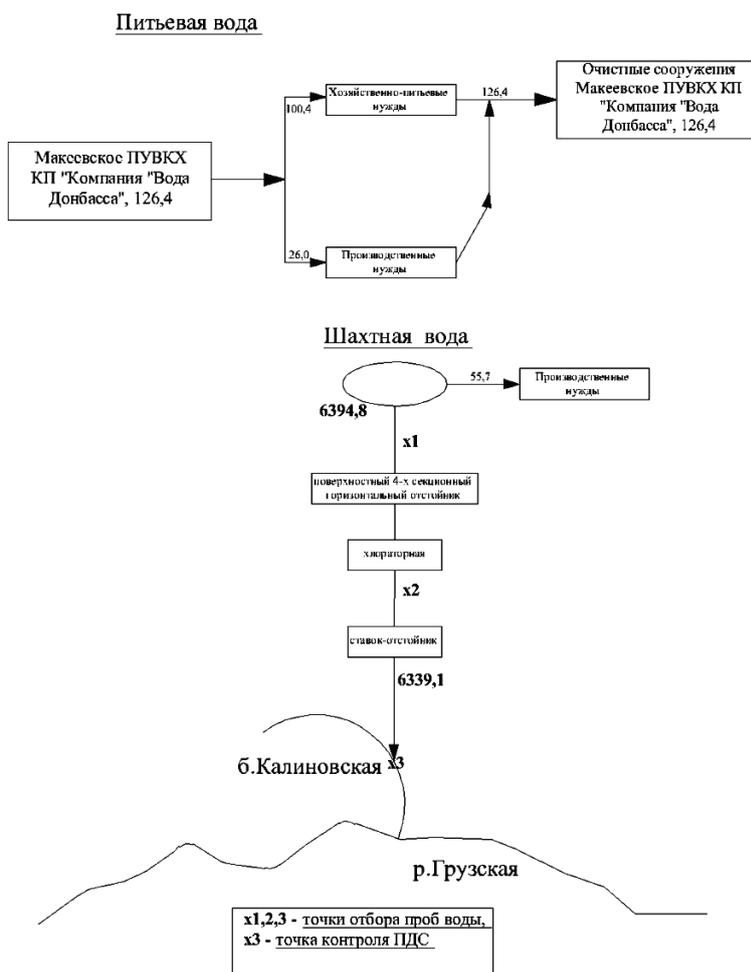
$$V = 100 \cdot 60 \cdot 24 \cdot 365 \cdot 3 = 157\,680\,000 \text{ л,} \quad (2)$$

где 60 – минут в часе;  
24 – часов в сутках;  
365 – дней в году.

Исходя из расчетов 946 080 м<sup>3</sup> дегазационные системы тратят на воды из ПУВКХ. Поэтому в целях экономии воды предлагается использовать шахтные воды. Но для того, чтобы можно использовать очищенную шахтную воду в оборотном цикле вакуум-насоса необходимо привести воду к такому качественному составу, который соответствует требованиям к качеству технической воды, используемой для дегазации, указаны в (табл. 3). В таблицах 2 и 3 представлены количественные показатели шахтных вод и показатели качества технической воды, используемой для дегазации.

Как следует из данных таблицы, превышение концентрации наблюдается для сухого остатка, магния, кальция, сульфатов и хлоридов, общая жесткость, водородного показателя, взвешенных веществ.

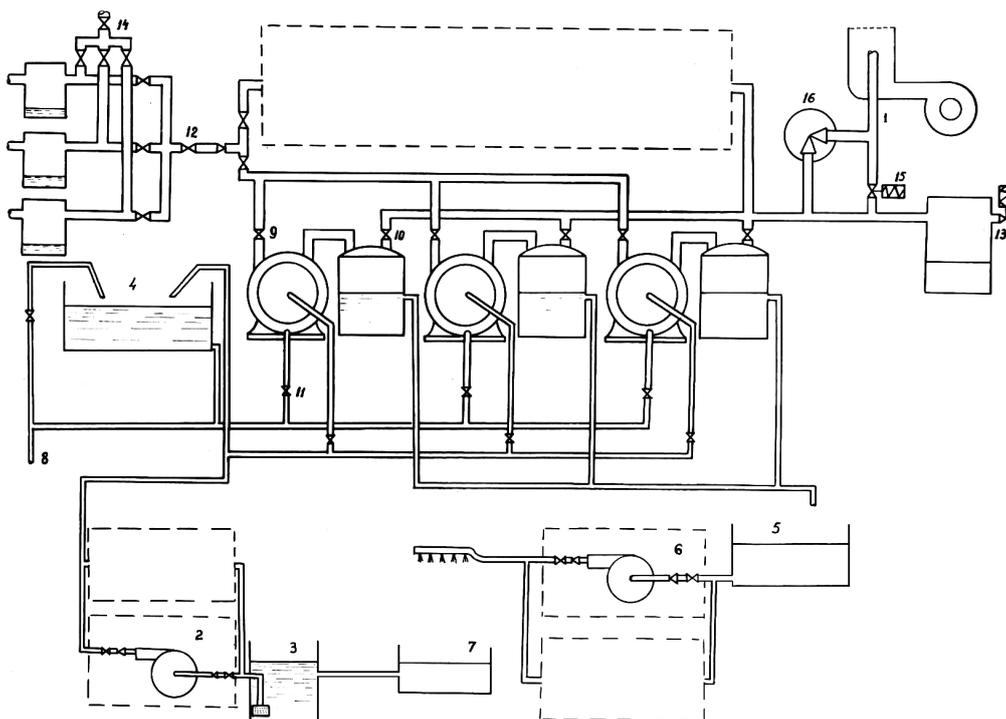
**БАЛАНСОВАЯ СХЕМА**  
водоснабжения и водоотведения для ГП "Максвуголь"  
ОП"Шахта "Калиновская-Восточная"



**Рисунок 1** – Балансовая схема водоснабжения и водоотведения.

**Таблица 2** – Качественные показатели шахтной воды

Наименование вещества	Концентрация, мг/дм <sup>3</sup>
Взвешенные вещества	40
Калий, мг/дм <sup>3</sup>	2,71
Кальций, мг/дм <sup>3</sup>	107,7
Магний, мг/дм <sup>3</sup>	38
Натрий, мг/дм <sup>3</sup>	79
Железо общее, мг/дм <sup>3</sup>	1,06
Гидрокарбонаты, мг/дм <sup>3</sup>	358,1
Хлориды, мг/дм <sup>3</sup>	65,6
Сульфаты, мг/дм <sup>3</sup>	219,7
Нитриты, мг/дм <sup>3</sup>	0,794
Нитраты, мг/дм <sup>3</sup>	14,276
Общая щелочность, моль/дм <sup>3</sup>	5,87
рН	7,438
Окисляемость, мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>	3,14
Сухой остаток, мг/дм <sup>3</sup>	778
Общая жесткость, моль/дм <sup>3</sup>	8,49



**Рисунок 2** – Упрощённая технологическая схема вакуум-насосной станции: 1 – свеча; 2 – центробежные насосы; 3 – приемный резервуар; 4 – колодец холодной воды; 5 – приемный колодец; 6 – центробежный насос; 7 – градирня.

**Таблица 3** – Показатели качества технической воды, используемой для дегазации угольных пластов

Наименование показателей	Величина показателя
Взвешенные вещества, мг/дм <sup>3</sup>	< 40 *)
Запах, балл	< 3
Водородный показатель рН, (в диапазоне), единицы	6,5...8,5
Жесткость общая, мг-экв/дм <sup>3</sup>	< 7,0 *)
Жесткость карбонатная, мг-экв/дм <sup>3</sup>	< 7,0 *)
Минерализация общая, мг/дм <sup>3</sup>	< 2 000 *)
Показатели радиационной безопасности:	
– общая объемная активность альфа-излучения, Бк/дм <sup>3</sup>	0,1
– общая объемная активность бета-излучения, Бк/дм <sup>3</sup>	1,0
Наименование показателей	Величина показателя
Токсичные и опасные вещества 1–3 класса опасности	< ПДК )
Коли-индекс	< 100 **)
Индекс коли-фагов, БУЕ/дм <sup>3</sup>	< 100 **)

**Примечание:**

\*) Должны соответствовать требованиям технических условий технического процесса.

\*\*) Принимаются в соответствии с СанПиН 2.1.5.980-00, СанПиН 2.1.4.1074-01 и СанПиН 2.2.4-171-10 [1].

В настоящее время на большинстве шахт Донбасса осветление шахтных вод на поверхности осуществляется в две стадии: предварительная – в горизонтальных отстойниках, окончательная – в прудах-осветлителях. Наиболее часто используемая схема очистки представлена на рисунке 3.

Механическая очистка в поверхностном 4 секционном горизонтальном отстойнике, V = 730 м<sup>3</sup>, потом вода проходит через хлораторную и сбрасывается в пруд отстойника V = 9 700 м<sup>3</sup>. С пруда отстойника V = 9 000 м<sup>3</sup>, очищенная вода по б. Калиновская сбрасывается в р. Грузская.

В соответствии со СанПиН 2.2.4-171-10 [8], вода в оборотных циклах дегазационных установок может использоваться по таким показателям: взвешенных веществ, общая и карбонатная жесткость, минерализация, щелочность, водородный показатель.

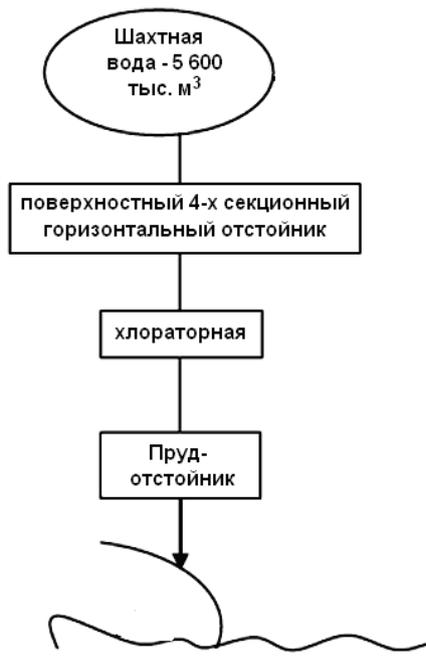


Рисунок 3 – Принципиальная схема очистки шахтных вод.

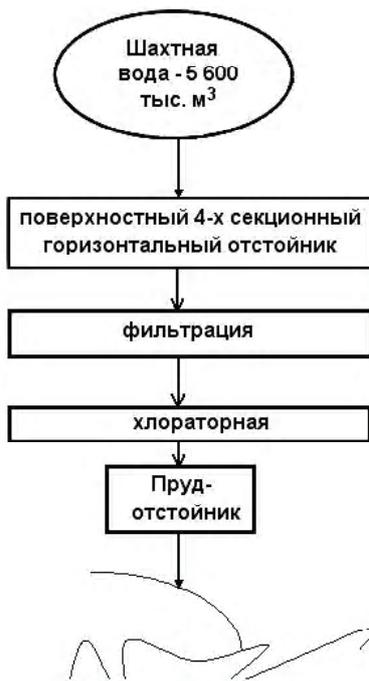


Рисунок 4 – Предполагаемая схема очистки шахтных вод.

Проведенный анализ применяемой технологической схемы и оборудования для очистки шахтных вод свидетельствует о том, что эффективность очистки шахтных вод на большинстве имеющихся очистных сооружений недостаточна и очищенная вода по своим качественным показателям не удовлетворяет нормативным требованиям, предъявляемым к сбросу в поверхностные водные объекты и к дальнейшему использованию.

Из вышеприведенного следует, что пригодность использования шахтных вод для технических нужд предприятий и организаций других отраслей промышленности ограничивается, прежде всего, соответствием химического состава шахтных вод технологическим процессам производства и другим дополнительным требованиям потенциальных водопотребителей, поэтому существует потребность в усовершенствовании существующей схемы очистки шахтных вод на предприятии.

Предполагаемая схема очистки шахтных вод приведена на рисунке 4. После прохождения очистки шахтных вод в усовершенствованной схеме предполагается возможность использования шахтных вод в оборотных циклах вакуум-насосных станций (ВНС). На ВНС вода является рабочей средой.

Насосы жидкостные водокольцевые предназначены для транспортировки под вакуумом газозоооздушных и газовых смесей, в том числе взрывоопасных. Вакуум-насос должен обеспечить извлечение из шахты определенного количества газа (метана). Изменение его производительности может привести к загазированию [2]. Производительность дегазационной системы зависит от состояния ВНС и сети трубопроводов. Одним из факторов, снижающих производительность дегазационных систем, является уменьшение в процессе работы объемной производительности водокольцевых вакуум-насосов, которое происходит в результате отложения накипи на рабочих деталях насосов, а также увеличение, по сравнению с проектным, гидравлического сопротивления дегазационных трубопроводов, происходящее в результате их загрязнения.

На рисунке 5 показаны вышедшие из строя роторные кольца вакуум-насоса с отложениями на лопастях.

На данном этапе изучаются характеристики ВНС. На рисунке 6 представлена методика определения.

На данном этапе разработана физическая модель работы вакуум-насоса. На рисунке 6 представлена схема для определения аэродинамических характеристик вакуум-насосов. Для определения производительности вакуум-насоса НВВП-50 был изготовлен испытательный стенд и разработана методика определения производительности насоса в зависимости от давления во всасывающем патрубке (аэродинамическая характеристика насоса в режиме всасывания) [3].

Установлено, что на процесс накипеобразования влияет несколько факторов:

- время работы установки; они работают 24 часа в сутки;
- качество используемой воды;
- температурный режим; температура воды в ВНС составляет около 40 градусов;
- режим работы; вакуум или давление;
- состав транспортируемой газовой смеси также способствует коррозии трубопроводов и непосредственно вакуум – насосной установки.

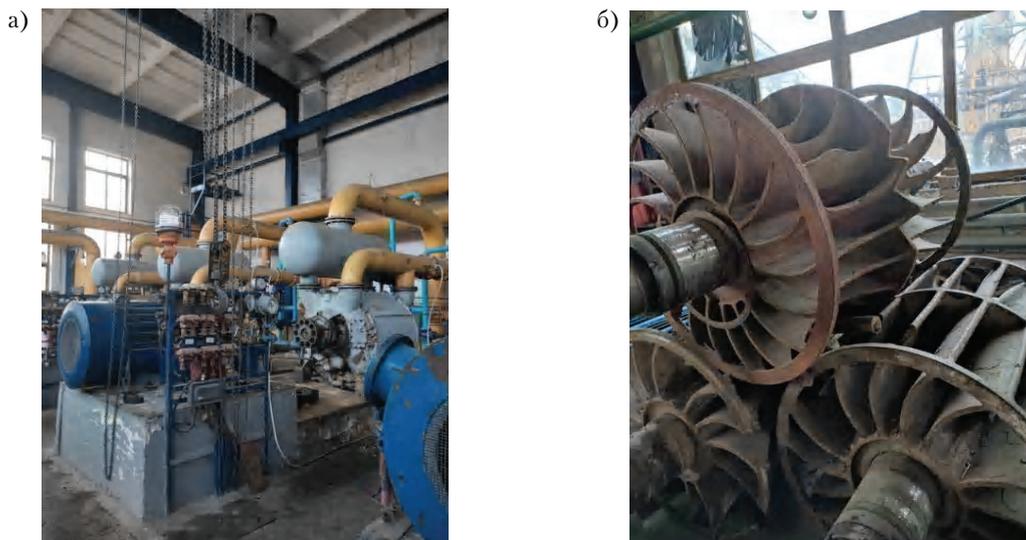


Рисунок 5 – Роторные кольца вакуум-насоса: а) общий вид; б) с отложениями на лопастях.

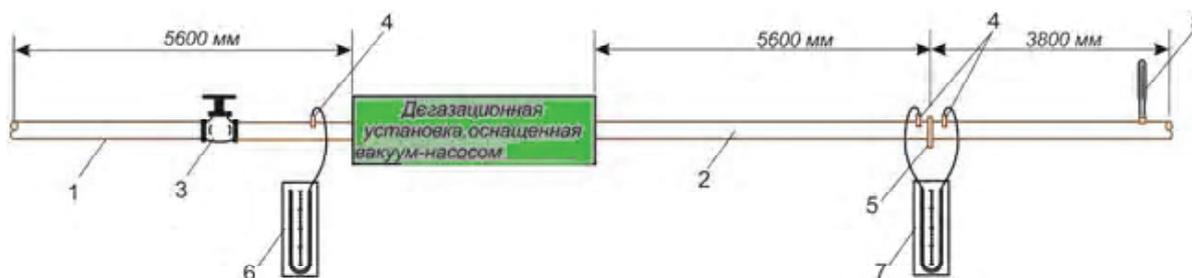


Рисунок 6 – Схема стенда для определения аэродинамических характеристик вакуум-насосов: 1 – всасывающий участок газопровода диаметром 219 мм; 2 – нагнетательный участок газопровода диаметром 219 мм; 3 – задвижка; 4 – штуцер; 5 – стандартная дисковая диафрагма (ГОСТ 8.563.1); 6 – U-образный ртутный манометр; 7 – U-образный водяной манометр; 8 – термометр ртутный.

Разработана методика определения фактической производительности вакуум-насосов на основе вышеперечисленных факторов, то есть в различных условиях работы. Работа водокольцевых вакуум-насосов в тяжелых условиях, когда разрежение на всасе  $B_{ac}$  превышает 400 мм рт. ст., сопровождается увеличением температуры воды и отложением на внутренних поверхностях солей калия, магния и железа [4]. Пример снятой характеристики на рисунке 7. Разработаны и созданы приборы для экспериментальных исследований представленные на рисунках 8, 9, 10.

Использование приборов по разработанной методике позволит снимать замеры и показания и по измененной характеристике можно будет оценивать степень отложений. Это позволит подобрать метод или технологию или разработать технологию очистки шахтной воды до такого состава, который не будет влиять на рост отложений в установках, тем самым повысит производительность вакуум-насоса и долгий срок службы установок [5].

## ВЫВОДЫ

Определены объемы шахтных вод, сбрасываемых в водный объект в количестве 5,5709 млн м<sup>3</sup>, что составило 97,8 % от общего забора воды.

Установлено, что использование воды вакуум-насосными установками в оборотных циклах составляет 946 080 м<sup>3</sup>. Использование такого количества очищенных шахтных вод в оборотных циклах сократит использование из городских сетей водопроводного хозяйства на 15 %. Снижение сброса шахтных вод позволит снизить количество поступающих в водные объекты загрязняющих веществ, что улучшит экологическое состояние водных объектов.

Сравнительный анализ качества шахтной воды и технической воды для нужд шахты показал несоответствие шахтной воды требованиям к качеству технической воды, используемой для дегазации

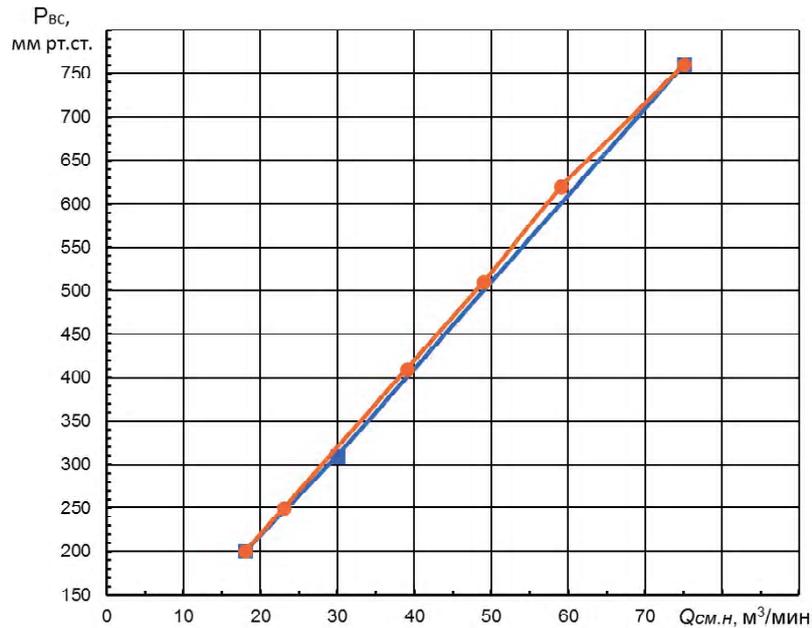


Рисунок 7 – Характеристика вакуум-насоса, работающего в режиме всасывания.



Рисунок 8 – Диафрагма стандартная для измерения расхода газа.



Рисунок 10 – Дифференциальный манометр – вакуумметр.



Рисунок 9 – Диафрагма стандартная для измерения расхода газа.

по таким показателям: взвешенные вещества, общая и карбонатная жесткость, минерализация, щелочность, водородный показатель.

В настоящее время науке и практике известны множество методов очистки шахтных вод. Однако на практике широко применяется технология осветления шахтных вод, которая заключается в их отстаивании в горизонтальных отстойниках без предварительной очистки. Производственный опыт показывает, что такие отстойники задерживают только крупные взвешенные примеси (мелкие частицы угля), работают в режиме песколовок и дают недостаточный эффект осветления. Проведенный анализ применяемой технологической схемы и оборудования для очистки шахтных вод свидетельствует о том, что эффективность очистки шахтных вод на большинстве имеющихся очистных сооружений недостаточна и очищенная вода по своим качественным показателям не удовлетворяет нормативным требованиям, предъявляемым к сбросу в поверхностные водные объекты. Возникает необходимость разработки и внедрения новых эффективных технологических схем очистки шахтных вод с заменой устаревшего оборудования на современное с целью возможности использования

их для нужд технического водоснабжения, а следовательно, для снижения негативного воздействия на поверхностные водные объекты.

Внедрение предлагаемой технологической схемы очистки вод позволит снизить величину таких показателей как общая и карбонатная жесткость, минерализация. Это повлечет за собой снижение ущерба, который наносится окружающей среде.

Использование разработанной методики позволит определять фактические аэродинамические характеристики эксплуатируемых на шахтах вакуум-насосов, что необходимо для достоверных расчетов производительности действующих дегазационных систем, что в свою очередь позволит своевременную и безопасную откачку метана.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ДСанПіН 2.2.4-171-10. Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною : зареєстровано в Міністерстві юстиції України 01 липня 2010 р. за № 452/17747 : надано чинності 2010-05-12. – Текст : електронний // МОЗ України : [сайт] : 2010. – URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0452-10#Text> (дата обращения: 11.04.2022).
2. Гавришин, А. И. О формировании химического состава подземных вод в Шахтинском угленосном районе Восточного Донбасса / А. И. Гавришин, В. Е. Борисова, Е. С. Торопова. – Текст : непосредственный // Успехи современного естествознания. – 2016. – № 5. – С. 111–115.
3. Дегазация угольных шахт. Требования к способам и схемы дегазации: СОУ 10.1.00174088.001-2004 / разработчик ГП «Донецкий научно-исследовательский угольный институт». – Киев : Минтопэнерго Украины, 2004. – 167 с. – Текст : непосредственный.
4. Kostenko, V. The influence of coal mining level of explosive gases to the breakage heading / V. Kostenko, A. Bokij, Ye. Shevchenko. – Текст : непосредственный // Proceeding of Lonetsk National Technicak Univercity. – 2011. – № 2. – P. 67–73.
5. Тарасов, Б. Г. Прогноз газообильности выработок и дегазация шахт / Б. Г. Тарасов. – Москва : Недра, 1973. – 208 с. – Текст : непосредственный.

Получена 02.04.2022

### К. Л. ГОЛОВАТЕНКО ПІДВИЩЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ ВОДНИХ ОБ'ЄКТІВ ШЛЯХОМ ВИКОРИСТАННЯ ШАХТНИХ ВОД В ОБОРОТНИХ ЦИКЛАХ ВАКУУМ- НАСОСНИХ СТАНЦІЙ ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури»

**Анотація.** До пріоритетних завдань вугільної промисловості Донбасу відносять проблеми охорони навколишнього природного середовища та раціонального природокористування. Практичному їх вирішенню передувало виконання значної кількості пошукових, науково-дослідних, дослідно-конструкторських та проектних робіт, спрямованих на створення технологічних процесів та апаратів, що знижують шкідливий вплив діяльності підприємств вугільної промисловості на навколишнє середовище. Характерними напрямками негативного впливу вугільних підприємств галузі є: забруднення водних об'єктів шахтними, кар'єрними, виробничими та господарсько-побутовими стічними водами, порушення гідрологічного режиму поверхневих вод, гідродинамічного та гідрохімічного режиму підземних вод; вилучення із землекористування та порушення земель, забруднення їх відходами видобутку та переробки вугілля; забруднення повітряного басейну викидами гірничотранспортного обладнання, промислових та комунальних котелень, палаючих породних відвалів.

**Ключові слова:** дегазація, вакуум-насос, аеродинамічна характеристика, діафрагма, манометр – вакуумметр.

### EKATERINA GOLOVATENKO IMPROVING THE ENVIRONMENTAL SAFETY OF WATER BODIES BY USING MINE WATER IN THE CIRCULATION CYCLES OF VACUUM PUMPING STATIONS

Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

**Abstract.** Among the priority tasks of the coal industry of Donbas there are the problems of environmental protection and rational nature management. Their practical solution was preceded by the implementation of a significant amount of prospecting, research, development and design work, which are aimed at creating

technological processes and devices that reduce the harmful effects of the coal industry on the environment. The characteristic areas of the negative impact of coal enterprises in the industry are: pollution of water bodies by mine, quarry, industrial and household sewage, violation of the hydrological regime of surface waters, hydrodynamic and hydrochemical regime of groundwater; withdrawal from land use and disturbance of lands, pollution of them with waste from coal mining and processing; pollution of the air basin by emissions from mining and transport equipment, industrial and municipal boiler houses, burning rock dumps.

**Key words:** degassing, vacuum pump, aerodynamic characteristic, diaphragm, pressure gauge – vacuum gauge.

**Головатенко Екатерина Леонидовна** – ассистент кафедры техносферной безопасности ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: повышение уровня экологической безопасности в технологических циклах оборотного водоснабжения; снижение негативного воздействия на водные объекты путем совершенствования технологии обработки сточных вод.

**Головатенко Катерина Леонідівна** – асистент кафедри техносферної безпеки ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: підвищення рівня екологічної безпеки в технологічних циклах оборотного водопостачання; зниження негативного впливу на водні об'єкти шляхом вдосконалення технології обробки стічних вод.

**Golovatenko Ekaterina** – Assistant, Technosphere Safety Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: increasing the level of environmental safety in the technological cycles of circulating water supply; reducing the negative impact on water bodies by improving wastewater treatment technology.