

ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

УДК 504.4.062.2

В. В. Лихачева, канд. техн. наук, А. Н. Кузьменко

Автомобильно-дорожный институт

ГОУВПО «Донецкий национальный технический университет», г. Горловка

ПЕРСПЕКТИВЫ ВНЕДРЕНИЯ ГИДРОЦИКЛОНОВ ДЛЯ ОЧИСТКИ ШАХТНЫХ ВОД

Очистка шахтных вод с помощью гидроциклонов – одно из прогрессивных направлений водоподготовки. В данной работе предлагается реализовать такой подход в условиях шахты им. М. И. Калинина ГП «Донецкая угольная энергетическая компания». Рассчитаны экономические перспективы внедрения данной технологии очистки шахтных вод.

Ключевые слова: шахтные воды, гидроциклон, взвешенные вещества, скорость осаждения, флокулянт, показатели качества воды

Введение

В настоящее время, когда влияние человека на биосферу значительно возросло, а природные системы самовосстановления не справляются с техногенной нагрузкой, появилась необходимость поиска новых подходов во взаимодействии человека и природы. Одна из наиболее важных проблем – загрязнение поверхностных и подземных вод.

Угольная промышленность – основная отрасль производства, которая обеспечивает энергетический потенциал Донбасса. В процессе добычи угля возникает необходимость постоянного отведения из подземных выработок больших объемов шахтных вод, чтобы не допустить затопление подземных горизонтов [1]. Очистка и переработка шахтных вод жизненно важна для нашего региона. Учитывая дефицит водных ресурсов, шахтные воды можно рассматривать как реальный альтернативный источник водоснабжения. Однако шахтные воды характеризуются повышенным содержанием солей жесткости и без умягчения и опреснения не могут использоваться для нужд населения и промышленности. Важным направлением охраны водных ресурсов Донбасса является внедрение новых технологических процессов производства, а также переход на бессточные циклы водопотребления. Замкнутые циклы промышленного водопользования обеспечат возможность значительного уменьшения сброса сточных вод в поверхностные водоемы, а очищенную воду можно будет использовать для промышленных нужд. Это позволит снизить дефицит пресной воды, и во многом решить проблемы негативного воздействия на природные водные объекты, что положительно скажется на экономике и экологии региона.

Цель исследования: анализ экономических и экологических перспектив внедрения очистки шахтных вод с помощью гидроциклонов.

Изложение основного материала

Сброс шахтных вод в поверхностные водоемы зачастую осуществляется без предварительной очистки. Это приводит к повышению концентрации минеральных солей, взвешенных веществ и бактериальных примесей в наземных водах. Откачанные шахтные воды поступают в поверхностные водосборники или напрямую в пруды-осветлители. Эффективность такой очистки 60–80 %. После прудов-осветлителей стоки попадают в наземные водные источники, что приводит к загрязнению и повышению минерализации поверхностных вод. Сброс шахтных вод шахты им. М. И. Калинина осуществляется в р. Кальмиус. В табли-

цах 1 и 2 указаны качественная характеристика сбрасываемых сточных вод предприятия шахты им. М. И. Калинина и химические показатели воды в р. Кальмиус [2].

Значительное снижение притока шахтных вод в природные водоемы может быть достигнуто в результате их использования (после предварительной очистки) для нужд комплексного обеспыливания в шахтах, технического водоснабжения углеобогажительных фабрик, для котельных и охлаждения компрессорных установок. Шахтные воды после подготовки могут использоваться для производственных нужд при условии, что они не имеют коррозионных свойств, не вызывают биообрастание и солевые отложения и в результате не снижают технико-экономические показатели, не создают аварийные ситуации, не дестабилизируют окружающую среду, безвредны для здоровья обслуживающего персонала и не обладают отрицательными органолептическими свойствами [3]. Помимо этого, каждый потребитель предъявляет свои специфические требования. На основе этих требований потребителя к качественному составу шахтных вод можно оценить целесообразность их использования с технической и экономической точки зрения.

Таблица 1 – Качественная характеристика шахтных вод угледобывающего предприятия им. М. И. Калинина

Вещества	Допустимые к сбросу концентрации, мг/дм ³	Утвержденный ПДС, г/час	Оценочные показатели сброса, т/год
Взвешенные вещества	20	5100	44,7
БПК ₅	3,0	765	6,7
ХПК	30	7650	67,0
Азот аммонийный	0,39	99,5	0,871
Нитриты	0,08	20,4	0,179
Нитраты	3,0	765	6,7
Минерализация	1500	382500	3351
Хлориды	370	94350	827
Сульфаты	520	132600	1162
Фосфаты	0,3	76,5	0,67
Нефтепродукты	0,05	12,8	н/о
Железо	0,1	25,5	0,223
Фенолы	0,001	0,003	0,002

Таблица 2 – Фоновые показатели воды в р. Кальмиус, которая используется как водоприемник шахтных вод

Вещества	Фоновые показатели, мг/дм ³
Взвешенные вещества	17,0
БПК ₅	2,9
ХПК	22,5
Азот аммонийный	0,28
Нитриты	0,03
Нитраты	1,55
Минерализация	1467
Хлориды	454
Сульфаты	516
Фосфаты	0,06
Нефтепродукты	н/о
Железо	0,11
Фенолы	н/о

Для шахты им. М. И. Калинина является перспективным применение шахтной воды в технологических целях, для нужд вспомогательного производства и для хозяйственно-бытовых целей предприятия. В таблице 3 указаны требования к качеству воды, используемой на производстве.

Таблица 3 – Нормативные требования к качеству воды, используемой на производстве

Наименование показателя качества воды	Единица измерения	Компрессоры, вакуум-насосы	Паровые котлы	Гидрозакачка	Углеобогащение
Температура	С	20–25	–	–	–
Взвешенные вещества	мг/л	20–25	–	–	10000
Нефтепродукты	мг/л	10–20	До 0,5	–	–
Запах	Балл	До 3	До 3	До 3	До 3
Цветность	мг-экв/л	7,2–8,9	–	–	–
рН		Не более 7	7	7,0–8,5	5,0–9,5
Жесткость общая		2,0–2,3	0,02	–	–
Жесткость карбонатная		1,5–3,0	–	–	–
Щелочность		–	–	–	–
Солесодержание	мг О ₂ /л	500	500	–	До 7000
Хлориды		100	–	–	До 3000
Сульфаты		150	–	–	До 3000
Железо		1,0	0,2	–	–

Профилактика загрязнения наземных водных источников и непосредственное вовлечение дополнительных водных ресурсов в хозяйственный оборот предприятия могут быть достигнуты с помощью очистки шахтных вод путем осветления.

При осветлении загрязненных вод широко используется метод гравитационного отстаивания – простой и наименее энергоемкий способ. Тем не менее, у этого метода имеются свои недостатки: капитальные затраты на строительство громоздких отстойников, накопление в отстойниках осадка и трудности его очистки, не всегда возможно достичь нормативного уровня содержания взвешенных веществ в воде [4].

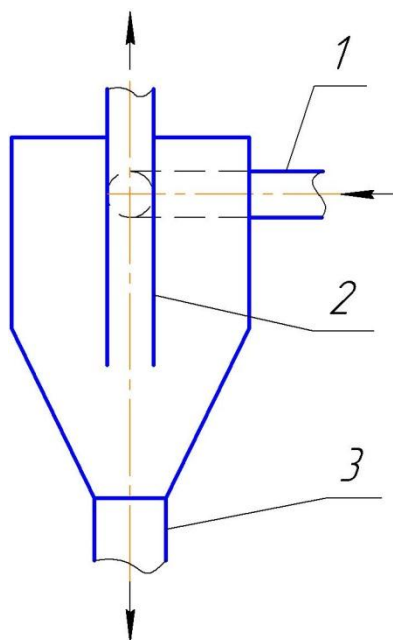
В технологической схеме очистки шахтных вод предлагается использование гидроциклонов для выделения из стоков механических частиц со скоростью осаждения до 0,02 м/с. Схема напорного гидроциклона приведена на рисунке 1.

Этот метод отличается простотой, незначительными капитальными затратами. Его аппаратура может изготавливаться в шахтных мастерских.

Для увеличения продуктивности работы используют мультигидроциклоны – несколько гидроциклонов соединенных параллельно.

Таблица 4 – Технические показатели напорного гидроциклона

Наименование показателя	Ед. изм.	Формула для определения и расчет	Результат
Количество напорных гидроциклонов	шт	$N = 2 \div 4$	3
Расход воды на один гидроциклон	м ³ /час	$Q_1 = Q / N = 344 / 3$	114,7
Минимальная гидравлическая крупность удержанной суспензии	мм/с	$U_{\min} = 4 \div 6$	6
Удельный расход воды	м ³ /час·м ²	$q = 4,32 \cdot U_{\min} = 4,32 \cdot 6$	25,92
Площадь одного аппарата	м ²	$F = Q_1 / q = 114,7 / 25,92$	4,43



1 – входной патрубок; 2 – труба для отведения воды; 3 – труба для отведения шлама

Рисунок 1 – Напорный гидроциклон

Для достижения более полного удаления взвешенных частиц из шахтных вод используют реагентную очистку – вносят коагулянты и флокулянты. В результате взвешенные вещества слипаются в более крупные и тяжелые хлопья, которые легко оседают. Укрупнение частиц происходит из-за разности зарядов загрязнителей и вносимых коагулянтов и флокулянтов [5]. В качестве реагентов используется сернокислородное хлорное железо, сернокислый алюминий, полиакриламид и полиэтиленимин. Флокулянт загружается в растворно-расходный бак, где растворяется и разбавляется осветленной водой, которая подается из резервуара технической воды.

В предложенной технологической схеме очистки шахтных вод предлагается использовать в качестве флокулянта полиакриламид (ПАА). Доза данного реагента составляет: $D = 1 \text{ г/м}^3$. При этом содержание активного продукта в реагенте от 35 % до 40 %.

При использовании данных технологических решений на шахте им. М. И. Калинина может быть решена проблема обеспечения предприятия водой на собственные нужды, а также снизится негативное воздействие данного предприятия на окружающую среду. Система очистки шахтных вод может располагаться в приствольном дворе, шламонакопитель целесообразно размещать вблизи водонакопителя, а для расположения напорного гидроциклона и

бака реагентного хозяйства можно использовать камеру, также расположенную в приствольном дворе.

Для технических и хозяйственно-бытовых целей шахта использует воду питьевого качества. Внедрение очистки шахтной воды с применением гидроциклонов и использование такой воды на предприятии для собственных технологических нужд не только благотворно повлияет на экологию региона, а также имеет значительные экономические перспективы.

Возможный годовой объем замены питьевой воды шахтной водой рассчитывается по формуле:

$$Q_{ож} = Q_{вс} \cdot t \cdot n_{дн} \text{ (тыс. м}^3\text{)}, \quad (1)$$

где $Q_{вс}$ – производительность установки, м³/час;

t – время работы установки в сутки, час;

$n_{дн}$ – количество дней работы установки в году.

$$Q_{ож} = 344 \cdot 24 \cdot 365 = 3013,45 \text{ тыс. м}^3.$$

Капитальные вложения на строительство очистительной установки для шахтных вод рассчитывается по формуле:

$$K_2 = \frac{A_2}{Q_{вс}} \cdot K_2^0 \text{ (тыс. руб.)}. \quad (2)$$

По предварительным подсчетам капитальные затраты для шахты им. М. И. Калинина составят $K_2^0 = 208,4$ тыс. руб. Объем заменяемой питьевой воды при этом составляет $A_2 = 292$ тыс. м³/год. Таким образом, капитальные затраты составляют:

$$K_2 = \frac{292}{344} \cdot 208,4 = 176,9 \text{ тыс. руб.}$$

Удельные капитальные затраты на приобретение, монтаж и введение в эксплуатацию установки для очистки шахтной воды находятся следующим образом:

$$K_{2y} = \frac{K_2}{Q_{вс}} \text{ (руб./м}^3\text{)}, \quad (3)$$

$$K_{2y} = \frac{176900}{344} = 514,24 \text{ (руб/м}^3\text{)}.$$

Затраты на обслуживание установки:

$$C_{ам} = \frac{n}{100} \cdot K_2 \text{ (руб.)}, \quad (4)$$

где $n = 15\%$ – средняя норма амортизационных отчислений на ремонт и обновление установки очистки воды.

$$C_{ам} = \frac{15}{100} \cdot 176900 = 26540 \text{ руб.}$$

Технология очистки шахтных вод рассчитана на непрерывный график работ. Численность персонала для обслуживания данной очистительной установки составляет 5 человек.

Заработная плата находится по формуле:

$$C_{зн} = n_{сн} \cdot C_{мар} \cdot t \cdot n_2 \cdot K_{дон} \cdot K_{соу.смп.} \text{ (руб.)}, \quad (5)$$

где n_{cn} – количество персонала, чел;

C_{map} – почасовая ставка персонала, руб., $C_{map} = 44$ руб.

t – продолжительность рабочей смены, $t = 8$ часов;

n_2 – число рабочих дней в году, $n_2 = 260$ дней;

$K_{доп}$ – коэффициент доплат для определения полной заработной платы, $K_{доп} = 1,35$;

$K_{соц.стр}$ – коэффициент, учитывающий отчисления на социальное страхование, $K_{соц.стр} = 1,09$.

$$C_{зн} = 5 \cdot 44 \cdot 8 \cdot 260 \cdot 1,35 \cdot 1,09 = 673358 \text{ руб.}$$

Затраты на материалы подсчитываются исходя из норм расхода материалов и их прейскурантной стоимости по формуле:

$$C_M = V_M \cdot C_{ед.} \cdot K_{неуч} \cdot K_{буд.пер} \text{ (тыс. руб.)}, \quad (6)$$

где V_M – расход материалов на очистку шахтных вод;

$C_{ед.}$ – стоимость единицы расходуемых материалов, руб. (1 кг = 57 руб.);

$K_{неуч} = 1,7$ – коэффициент подсчета затрат по неучтенным материалам;

$K_{буд.пер} = 1,08$ – коэффициент подсчета затрат на материалы по статье «Расходы будущих периодов».

$$V_M = Q_{ож} \cdot D \cdot 10^{-3} \text{ (кг)}. \quad (7)$$

$$V_M = 3013,45 \cdot 1 \cdot 10^{-3} = 3013,45 \text{ кг.}$$

Затраты на материалы составляют:

$$C_M = 3013,45 \cdot 57 \cdot 1,7 \cdot 1,08 = 315360 \text{ тыс. руб.}$$

Затраты на электроэнергию определяются, исходя из мощности потребителей электроэнергии на установке очистки шахтных вод, числа часов работы установки, тарифа за 1 кВт.

Час потребленной электроэнергии ($C_{эл}$) рассчитывается по формуле:

$$C_{эл} = N_i \cdot C_{1эл} \cdot T \cdot n_{дн} \text{ (руб.)}, \quad (8)$$

где N_i – суммарная мощность работающих двигателей, кВт для данной установки она составляет 24 кВт;

$C_{1эл}$ – тариф за 1 кВт·час использованной электроэнергии = 3,46 руб.;

t – время работы установки в сутки, принимаем равным 24 часам;

$n_{дн} = 365$ дней – число дней работы установки за год.

$$C_{эл} = 24 \cdot 3,46 \cdot 24 \cdot 365 = 727430 \text{ руб.}$$

Годовые эксплуатационные расходы на станцию очистки шахтных вод рассчитываются по формуле:

$$C_{экс.} = C_{ам} + C_{эл} + C_M + C_{зн} \text{ (руб.)}. \quad (9)$$

$$C_{экс.} = 26540 + 727430 + 315360 + 673358 = 1742688 \text{ руб.}$$

Себестоимость 1 м³ очищаемой шахтной воды рассчитывается по формуле:

$$C_2 = \frac{C_{\text{эксп.}}}{A_2} \text{ (руб.)} \quad (10)$$

$$C_2 = \frac{1742688}{292000} = 5,97 \text{ руб.}$$

Косвенный экономический эффект достигается за счет ликвидации ущерба от сброса шахтных вод повышенной мутности и определяется в зависимости от объема сбрасываемых загрязнений:

$$E_3 = Z_{\text{взв}} \cdot K_{\text{кат}} \text{ (руб.)}, \quad (11)$$

где $Z_{\text{взв}}$ – возможный ущерб от сброса взвешенных веществ с шахтной водой в поверхностные водоемы определяется в соответствии с методикой «Расчет платы за сбросы сточных вод»;

$K_{\text{кат}} = 1,1$ – коэффициент, учитывающий категорию водного объекта.

Плата за сброс 1 тонны взвешенных веществ в водные объекты для условий бассейна р. Кальмиус составляет: $\Pi = 13,7$ руб. за тонну. Содержание взвешенных веществ в воде для условий шахты им. М. И. Калинина составляет: $M_{\text{взв}} = 350 \text{ г/м}^3$.

$$Z_{\text{взв}} = Q_{\text{ож}} \cdot M_{\text{взв}} \cdot \Pi \text{ (руб.)}, \quad (12)$$

$$Z_{\text{взв}} = 3013,450 \cdot 0,35 \cdot 13,7 = 14450 \text{ руб.},$$

$$E_3 = 14450 \cdot 1,1 = 15895 \text{ руб.}$$

Экономический эффект, в соответствии с методикой, составит:

$$E = (C_{\text{н.в}} \cdot Q_{\text{н.в}} - C_{\text{эксп.}}) - E_n \cdot K_2 + E_3 \text{ (руб.)}, \quad (13)$$

где $C_{\text{н.в}} = 12,72$ руб. – стоимость 1 м³ питьевой воды;

$Q_{\text{н.в}}$ – объем питьевой воды, используемой на предприятии, м³/час;

$C_{\text{эксп.}}$ – годовые эксплуатационные расходы, руб.;

$E_n = 0,15$ – нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений;

K_2 – капитальные затраты на ввод в эксплуатацию очистной установки.

$$E = (292000 \cdot 12,72 - 1742688) - 0,15 \cdot 176900 + 15895 = 1960912 \text{ руб./год.}$$

Таким образом, при применении приведенной схемы очистки шахтных вод получаем экономический эффект в размере 1 961,0 тыс. руб/год.

Выводы

1. За счет внедрения технологии очистки сточных вод шахт с помощью гидроциклонов значительно снижаются расходы на угледобычу в регионе.

2. Использование очищенной сточной воды для нужд производства уменьшает негативное влияние на окружающую среду.

3. Внедрение замкнутого цикла водопользования на угледобывающем предприятии решает проблему истощения запасов пресной воды в регионе.

Список литературы

1. Высоцкий, С. П. Риски затопления шахт и использование шахтных вод / С. П. Высоцкий, С. Е. Гулько, В. В. Лихачева // Вести Автомобильно-дорожного института = Bulletin of the Automobile and Highway Institute. Горловка: АДИ ДонНТУ. – 2016. – № 1 (18). – С. 88–95.
2. Регіональна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Донецькій області у 2012 році // Департамент екології та природних ресурсів. – Донецьк, 2013. – 278 с.
3. Pope, J. Current research on mine water and the environment / J. Pope, D. Craw // Mine Water Environ. NewZealand, 2015. – 363 p.
4. Monitoring the Environmental Impact of Mining in Remote Locations through Remotely Sensed Data / D. Paull [and others] // Geocarto International. – 2006. – 21. № 1. – P. 33–42.
5. Barrie Johnson, D. Acid mine drainage remediation options: a review / D. Barrie Johnson, Kevin B. Hallberg – Bangor: School of Biological Sciences, University of Wales, 2004.

В. В. Лихачева, А. Н. Кузьменко

Автомобильно-дорожный институт

ГОУВПО «Донецкий национальный технический университет», г. Горловка

Перспективы внедрения гидроциклонов для очистки шахтных вод

При добыче ископаемых ресурсов шахтным способом возникает необходимость постоянного отведения из шахтных выработок больших объемов шахтных вод, чтобы не допустить затопление подземных горизонтов. Учитывая дефицит водных ресурсов в Донецком регионе, шахтные воды можно рассматривать как реальный альтернативный источник водоснабжения.

Профилактика загрязнения наземных водных источников и непосредственное вовлечение дополнительных водных ресурсов в хозяйственный оборот предприятия могут быть достигнуты в результате очистки шахтных вод путем осветления.

Повысить эффективность процесса очистки шахтных вод от взвешенных веществ при минимуме капитальных вложений позволяет использование напорных гидроциклонов. Такие установки могут быть использованы для выделения из стоков механических частиц со скоростью осаждения до 0,02 м/с.

Эколого-экономическая эффективность внедрения напорных гидроциклонов рассмотрена на примере очистки шахтных вод в условиях шахты им. М. И. Калинина ГП «Донецкая угольная энергетическая компания».

Очищенные от взвешенных веществ шахтные воды могут полностью заменить в технологических процессах отбираемые из коммунальной сети воды питьевого качества. Экономия достигается за счет разницы между стоимостью питьевой воды и себестоимостью очистки шахтных вод от взвешенных веществ в напорных гидроциклонах.

Основными статьями затрат для новой технологии являются капитальные затраты, амортизация оборудования, расходы на ремонт оборудования, расходы на электроэнергию и на оплату труда эксплуатационного персонала. Сопоставление себестоимости очистки в гидроциклонах и стоимости воды питьевого качества показывает высокую экономическую эффективность технологии. Дополнительным ресурсом повышения экономической эффективности является исключение затрат на экологические выплаты за сброс шахтных вод в природные источники.

Не менее важна экологическая составляющая процесса. Снижение вредных сбросов в природные источники – важнейшая задача при внедрении новых технологических процессов.

ШАХТНЫЕ ВОДЫ, ГИДРОЦИКЛОН, ВЗВЕШЕННЫЕ ВЕЩЕСТВА, СКОРОСТЬ ОСАЖДЕНИЯ, ФЛОКУЛЯНТ, ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА ВОДЫ

V. V. Likhacheva, A. N. Kuzmenko

Automobile and Highway Institute of Donetsk National Technical University, Gorlovka

Prospects of the Hydrocyclones Implementation for the Mine Water Purification

When extracting mineral resources by mining it is necessary to drain constantly large volumes of mine water from mine working to prevent flooding of underground horizons. Taking into account shortage of water resources in Donetsk region, mine water can be considered as a real alternative source of water supply.

Preventive measures of ground water sources pollution and direct involvement of additional water resources in the economic turnover of an enterprise can be reached as a result of the mine water purification by clarification.

The use of pressure hydrocyclones allows to improve efficiency of mine water purification from suspended matters with a minimum of capital investments. These plants can be used to isolate mechanical particles from flows with a deposition rate of up to 0,02 m/c.

Ecological and economic efficiency of the pressure hydrocyclones implementation is considered on the example of mine water purification in the conditions of the mine named after M. I. Kalinin of Donetsk Coal Energy Company.

Cleaned from suspended matters mine water can completely replace in technological processes drinking water from the public water supply. The economy is achieved due to the difference between the cost of drinking water and the prime cost of mine water purification from suspended matters in pressure hydrocyclones.

Heads of expenditure for new technology are capital costs, equipment amortization, equipment repair costs, energy costs and labour costs. Comparison of the purification prime cost in hydrocyclones and drinking water cost shows high economic efficiency of the technology. Additional resource of the economic efficiency improvement is to delete ecological costs for mine water discharge in natural sources.

The ecological component of the process is equally important. Reduction of harmful discharges in natural sources is the main task when introducing new technological processes.

MINE WATER, HYDROCYCLONE, SUSPENDED MATTER, DEPOSITION RATE, FLOCCULANT, WATER QUALITY RATING

Сведения об авторах:

В. В. Лихачева

SPIN-код: 1784-9410
ORCID ID: 0000-0002-0175-1020
Телефон: + 38 (050) 973-27-57
Эл. почта: lixachova@mail.ru

А. Н. Кузьменко

Телефон: +38 (066) 227-07-53
Эл. почта: alekuz18@mail.ru

Статья поступила 24.09.2018

© В. В. Лихачева, А. Н. Кузьменко, 2018

Рецензент: С. П. Высоцкий, д-р техн. наук, проф., АДИ ГОУВПО «ДОННТУ»