

## ПУТИ СНИЖЕНИЯ ТЕХНОГЕННОГО ВЛИЯНИЯ ШАХТНЫХ И КАРЬЕРНЫХ ВОД НА ПРЕСНОВОДНЫЕ ОБЪЕКТЫ КРИВБАССА

*Ю.Г. Вилкул, Н.И. Ступник, Д.В. Бровко, П.С. Кириченко, Государственное высшее учебное заведение «Криворожский национальный университет», Украина*

Оценена существующая схема отвода шахтных вод в акваторию р. Ингулец. Произведен анализ методов утилизации шахтных вод Кривбасса. Предложены варианты снижения техногенного влияния сбросов на базе разработанной модели водовыпуска с водобойной стенкой и численного моделирования снижения концентраций загрязняющих веществ.

С расширением селитебных зон и развитием промышленности все более острой становится проблема сокращения ресурсов пресной воды. Быстрорастущее загрязнение поверхностных и подземных источников ведет к неизбежному усложнению экологической обстановки. Особенное значение приобретает охрана рек от загрязнения в Криворожском железорудном бассейне, который находится в бедной на пресноводные источники зоне, с недостаточным увлажнением и.

В настоящее время работы по улучшению состояния пресноводных объектов Кривбасса – источников хозяйственно-питьевого водоснабжения жителей, не обеспечивают все нормативные требования по качеству пресной воды. Поэтому дальнейшее экстенсивное развитие горнорудной, металлургической, коксохимической, машиностроительной и других отраслей промышленности Криворожья, как основных источников загрязнения многих водоемов, грозит негативными экологическими последствиями не только самому городу, но и ряду районов юга Украины.

Одним из основных источников пресной воды Криворожья является река Ингулец с созданными на ней водохранилищами. Ежегодно в реку Ингулец сбрасывается 9,0-12,0 млн. м<sup>3</sup> высокоминерализованных шахтных вод, а также значительное количество неконтролируемых промышленных и хозяйственно бытовых стоков. В настоящее время единственным частичным решением проблемы шахтных вод в соответствии с «Регламентом сброса излишков обратных вод горнорудных предприятий Кривбасса» является сброс в реку Ингулец высокоминерализованных вод в межвегетационный период с последующей промывкой русла реки пресной водой в количестве от 70,2 до 135 млн. м<sup>3</sup>. Начиная с 2011 года, для улучшения качества воды в р. Ингулец была утверждена программа разбавления и промывки ее русла днепровской водой по каналу Днепр-Ингулец. Указанная промывка проводится с апреля по август месяц ежегодно. Но даже после этого жесткость и минерализация воды превышают нормативы.

В настоящее время основная часть шахтных вод перед регламентным сбросом в р. Ингулец, аккумулируется в пруду-отстойнике в балке Свистунова. Сейчас общий объем дренажа вод из пруда-отстойника и шламохранилищ горно-обогатительных комбинатов оценивается в 14-20 млн. м<sup>3</sup>/год. Как следствие, минерализация Карачуновского водохранилища, одного из основных источников питьевой воды Кривбасса, за год возрастает в среднем на 0,1-0,15 г/л. В дальнейшем следует ожидать увеличения объемов высокоминерализованных вод, которые дренируют в грунт, а затем в водоносные горизонты.

Вторым источником загрязнения реки является обводной канал, в который сбрасывают промышленные стоки несколько промышленных предприятий города, основным из которых является «АрселорМиттал Кривой Рог». Объем стоков – от 55 до 83 млн. м<sup>3</sup>/год.

За последние 30 лет были рассмотрены следующие варианты отвода, переработки и использования шахтных и карьерных вод Кривбасса [6-15]:

- вариант I – отвод шахтных и карьерных вод за пределы Кривбасса и сброс в Черное море;
- вариант II – отвод шахтных и карьерных вод в пруд-накопитель Запорожского железорудного комбината, расположенный в Утлютском лимане Азовского моря;
- вариант III – использование шахтных и карьерных вод на горно-обогатительных

комбинатах в оборотных циклах;

- вариант IV – закачка шахтных и карьерных вод в глубокие геологические структуры: Болтышская (Кировоградская обл.) и Причерноморская (Херсонская обл.) впадины;

- вариант V – опреснение шахтных и карьерных вод и их утилизация;

- вариант VI – использование шахтных и карьерных вод на ГОКах (схема со сбросом и разведением избытка шахтных и карьерных вод речной водой из Днепра через канал Днепр-Ингулец);

- вариант VII – обессоливание шахтных и карьерных вод различными методами: дистилляционный, электродиализный, обратного осмоса, ионно-обменный;

- вариант VIII – смягчение шахтных и карьерных вод содово-известковым методом;

- вариант IX – развитие хвостовых хозяйств на Северном, Южном и Новокриворожском ГОКах;

- вариант X – отвод и разбавление шахтных и карьерных вод с учетом поступления хозяйственно-бытовых стоков (с под вариантами):

- отвод шахтных и карьерных вод из хвостохранилища ЧАО «СевГОК» общим объемом 6,2 млн. м<sup>3</sup> с минерализацией 27,3 г/дм<sup>3</sup> в течении всего года в отводной канал Криворожских очистных сооружений (КОС), подающий воду по существующей схеме в реки Каменка и Базавлук;

- сброс из хвостохранилища ЧАО «СевГОК» проводится в р. Саксагань в межвегетационный период;

- сброс всех шахтных и карьерных вод общим объемом 20,8 млн. м<sup>3</sup> с минерализацией 36,14 г/дм<sup>3</sup> в р. Ингулец производится в межвегетационный период. Кроме того, разбавление осуществляется путем санитарного попуска с Макортовского водохранилища, очищенными сточными водами Терновских очистных сооружений, водой из Южного водохранилища, сбросом с Южных очистных сооружений, промышленными сточными водами «АрселорМиттал Кривой Рог» и ЧАО «ИнГОК»;

- сброс шахтных и карьерных вод в течении года северной части железорудного комплекса в р. Саксагань, а в южной – в р. Ингулец.

Анализ перечисленных исследований показал, что все они имеют существенные проблемы:

- использование минерализованных шахтных и карьерных вод в системах обратных циклов на всех ГОКах Кривбасса допустимо в пределах солесодержания оборотной воды не более 70 ммоль/дм<sup>3</sup> по жесткости или 25 г/ дм<sup>3</sup> общего солесодержания, фактически же оно достигает 196 г/л (ш. Родина);

- для реализации плана закачки шахтных и карьерных вод в геологические структуры необходимо выполнить целый комплекс специальных геологоразведочных и научно-исследовательских работ с осуществлением опытно-промышленной закачки. Комплекс исследований с целью оценки возможности закачки шахтных и карьерных вод в глубокие геологические структуры Кривбасса с применением методов математического моделирования институтом геологических наук НАН Украины засвидетельствовал крайне неравномерную степень водонасыщения пород Криворожской серии. Исследования показали, что наиболее подходящими для закачки шахтных и карьерных вод в объемах до 100 м<sup>3</sup>/сутки были определены две скважины Саксаганской свиты. Однако целесообразность устройства на базе этих скважин полигонов закачки шахтных и карьерных вод вызывает сомнения. Так, первая скважина расположена вблизи дренажного квершлага шахты «Гигант-дренажная», работающей в режиме гидрозащиты. Вторая скважина находится вблизи карьера бывшей шахты им. Калинина, с которого ведется откачка воды с целью предупреждения подтопления жилого массива. Таким образом, имеющиеся гидравлические связи, в случае закачки шахтных и карьерных вод, будут способствовать дополнительному обводнению объектов, требующих защиты от подземных вод. Закачка шахтных и карьерных вод за пределами Кривбасса требует более обширных геологических исследований в связи с непредсказуемостью ее последствий и значительными капиталовложениями на

строительство водоводов;

- обессоливание шахтных и карьерных вод методом термического смягчения с последующим электродиализным опреснением и переработкой концентрата методом выпаривания требует значительного количества электроэнергии (326 млн. квт/час) и природного газа (340 млн. м<sup>3</sup>). Так, ориентированные расчетные технико-экономические показатели по строительству комплекса по опреснению шахтных вод шахты «Родина» мощностью 600 м<sup>3</sup>/час или 5,25 млн. м<sup>3</sup> в год следующие:

- расход газа – 64,62 млн. м<sup>3</sup>/год;
- расход электроэнергии – 57 млн.квт.год / год.

Вышеприведенные показатели свидетельствуют о большой энергоемкости данного проекта, что крайне отягощает его в наше время:

- отсутствуют технические решения по утилизации большого количества солей, полученных в результате обессоливания. При деминерализации даже слабоминерализованных вод образуются сложные токсичные концентраты с чрезвычайно высоким содержанием солей, которые невозможно полностью переработать. Таким образом, необходимо достаточно надежно решить проблему их комплексной переработки: за счет действующих коммунальных очистных сооружений и с привлечением всех промышленных предприятий региона. Так, при деминерализации 12,0 млн. м<sup>3</sup> воды в год, до уровня 1 г/л, будет образовываться около 470,0 тыс. тонн солей;

- недостаточно исследована работа мембранных установок обессоливания при пропускании через них шахтных и карьерных вод. В 2010 году для шахты им. Артема «Арселор Миттал Кривой Рог» была предложена технология деминерализации шахтных вод, основанная на процессах обратного осмоса с расходом 500 м<sup>3</sup>/час. Стоимость очистки 1м<sup>3</sup> шахтной воды по данной технологии составила 18,07 грн./м<sup>3</sup>, а капитальные затраты на строительство – более 700,0 млн. грн. Срок эксплуатации обратноосмотических систем непредсказуемо краток при содержании в воде взвешенных веществ и большой концентрации сульфатов кальция и магния. При этом не известно как утилизировать до 200 м<sup>3</sup>/час концентрата.

Сброс шахтных и карьерных вод непосредственно в Черное море или Утлюкский лиман Азовского моря также требует детального исследования экологических последствий для акватории. Для исследования взаимодействия сбросов с морской водой нужно создать математические модели, которые бы учли гидродинамику водоема в районе сброса, подачу и диффузию загрязнений, обеспечивали возможность компьютерного прогнозирования органолептических, гидрохимических и микробиологических параметров водоема в конкретных створах в зависимости от объемов и состава шахтных и карьерных вод.

Тщательное изучение данной проблемы приводит к пониманию, что на сегодняшний день как в Украине, так и за ее пределами не существует комплексной технологии деминерализации не только шахтных и карьерных вод, но и вообще сточных вод. Следует отметить, что современные технологии по очистке различных стоков имеют большие возможности, но их применение в промышленных масштабах невозможно, без решения общей проблемы комплексной переработки или полной утилизации образующихся отходов.

Выходом из сложившейся ситуации в Криворожском горнодобывающем регионе можно считать следующие направления:

- изменение существующей системы сброса с перераспределением воды между хвостовыми хозяйствами ГОКов;
- разбавление шахтных и карьерных вод в пруду-отстойнике в балке Свистунова очищенными сточными водами;
- проведение исследований водовыпуска шахтных и карьерных вод с обоснованием негативного экологического последствия на водные объекты Кривбасса.

Для исследований водовыпуска проведены натурные и численные эксперименты по моделированию сброса сточных вод, в результате которых обнаружено, что струя загрязненной воды при сбросе из трубы достигнет дна на расстоянии не более 4 м от

выходного отверстия трубы и создаст у дна интенсивную зону загрязнения длиной до 15 м. Установлено, что расположение препятствия перед отверстием сбросной трубы играет защитную роль и способствует аккумуляции загрязняющих компонентов на небольшом участке акватории.

Разработана новая конструкция водовыпуска с установкой водобойной стенки и определены оптимальные режимы работы водовыпуска сточных вод, что позволяет уменьшить концентрацию загрязняющего вещества на 90–95 % на выходе за счет разбавления сточных вод перед их сбросом [16]. Схема этого водовыпуска и принцип работы показаны на рис. 1 и 2.

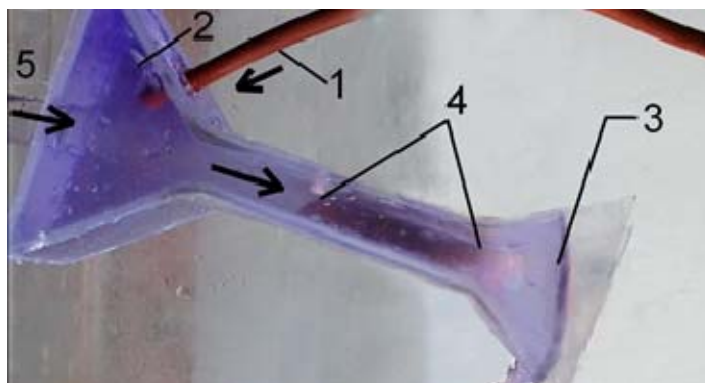


Рис. 1. Разбавление сточных вод в водовыпуске : 1 – трубка для подачи сточных вод; 2 – сильно загрязненная зона в водовыпуске; 3 – осветленная вода; 4 – положение крепления для модели; 5 – трубка для подачи чистой воды

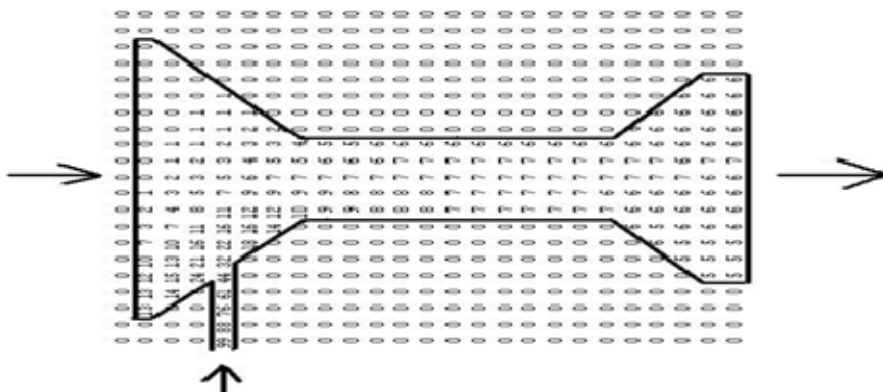


Рис. 2. Распределение концентрации загрязнителя внутри водовыпуска (режим сброса – скорость входа пресной воды в водовыпуск – 3 м/с, скорость входа сточных вод – 1 м/с)

Внутри водовыпуска происходит интенсивное разбавление примесей, содержащихся в сточных водах. Так концентрация примеси на выходе из водовыпуска составляет 5–7 % от исходной концентрации в подаваемых на утилизацию сточных водах. Изменение степени разбавления сточных вод внутри устройства достигается путем изменения скорости подачи их и пресной воды в водовыпуск, а также путем изменения размеров отверстий для подвода воды. Полученные численные модели и созданные устройства водовыпуска вполне применимы для улучшения показателей в поверхностных источниках при организации мероприятий по их экологической защите.

На рис. 3 представлена схема сброса сточных вод Кривбасса в р. Ингулец и распределения концентрации примеси вдоль русла реки до контрольного створа. Здесь представлены данные исследований по разработанной численной модели.

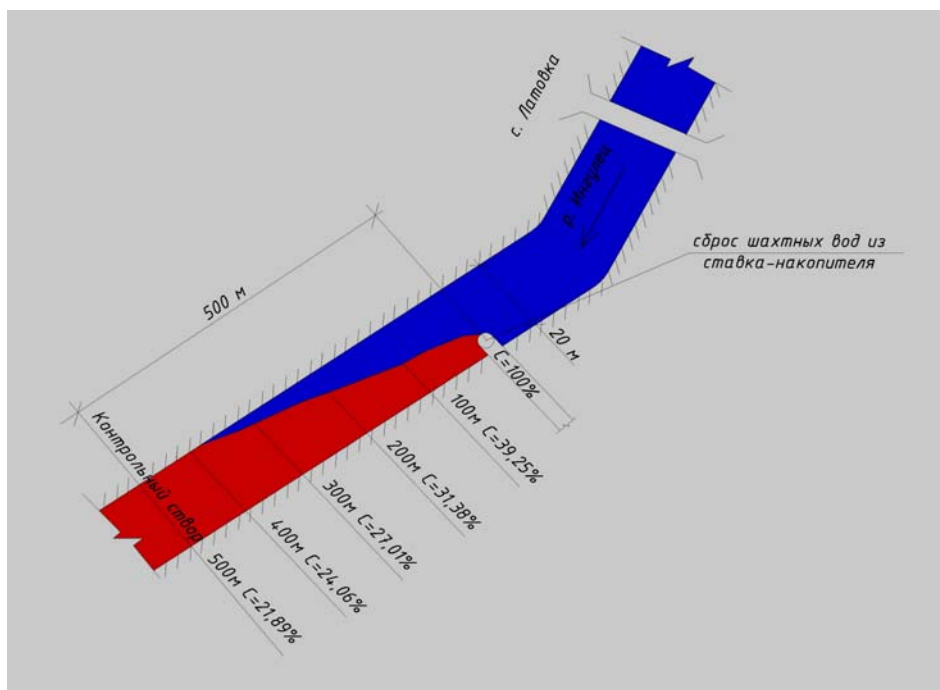


Рис. 3. Расчетная схема сброса сточных вод Кривбасса в р. Ингулец

Для решения поставленной задачи были приняты следующие исходные данные:

- ширина реки – 20 м;
- глубина реки – 3 м;
- коэффициент шероховатости русла – 0,02;
- фоновая концентрация – 0%;
- расход реки –  $13,4 + 1,3$  (на промывку) =  $14,7 \text{ м}^3/\text{с}$ ;
- расход возвратных вод –  $0,85 \text{ м}^3/\text{с}$ ;
- концентрация сточных вод в точке сброса – 100%;
- параметр извилистости русла – 1,5;
- длина расчетного участка – 500 м.

Результаты проведенных экспериментальных исследований по определению величины концентрации на модели сопоставлены с расчетными данными, приведенными в регламенте сброса возвратных вод в р. Ингулец. Эти данные приведены в табл. 1.

Таблица 1

Сравнение результатов моделирования с расчетными данными

Загрязняющие вещества	Концентрация, С, мг/л, на расстоянии 500 м от точки сброса		
	Аналитическое решение	Численное решение	Разница в %
Минерализация	9027	9875	8,6
Сульфаты	997	897	10
Хлориды	4067	4440	8,4
Взвешенные вещества	14,3	16,8	14,9
Нефтепродукты	0,3	0,3	0

Из приведенной табл. 1 видно, что имеет место удовлетворительная сходимость результатов не превышающая 15%. При этом результаты, полученные с помощью разработанной численной модели, считаются более точными, так как учитывается большее количество параметров и процессов, влияющих на распределение загрязняющего вещества

при его сбросе в водный объект. Сравнения количества и значимости параметров и процессов, которые учитываются при использовании разработанной и нормативной методик приведены в табл. 2.

Таблица 2.

Сравнение методик по количеству учитываемых параметров и процессов

Названия процессов и параметров, учитываемых при расчете концентраций загрязняющих веществ в водном объекте	Разработанная численная модель	Нормативная методика
Учет процесса взаимодействия струи сточных вод с течением водного объекта	+	–
Влияние неравномерного поля скорости водного потока на процесс рассеивания загрязняющего вещества в водном объекте	+	–
Наличие водобойной стенки, колодца, положение трубы относительно дна (на дне или поднята)	+	–
Расчет концентрации загрязняющего вещества на выходе из водовыпуска сложной конфигурации	+	–
Ширина реки, м	+	+
Глубина реки, м	+	+
Коэффициент шероховатости русла	+	+
Фоновая концентрация, мг/с	+	+
Расход реки, м <sup>3</sup> /с	+	+
Расход сточных вод, м <sup>3</sup> /с	+	+
Концентрация сточных вод в точке сброса, мг/л	+	+
Параметр извилистости русла	+	+
Длина расчетного участка, м	+	+
Коэффициент диффузии	+	+
Диаметр сбросной трубы, мм	+	–
Скорость потока на выходе из трубы, м/с	+	–
Продолжительность сброса, час	+	–
Скорость ветра, м/с	+	–

Таким образом, из изложенного выше следует - на данное время целесообразным вариантом является перераспределение сбрасываемого количества вод между хвостовыми хозяйствами ГОКов региона и разбавление шахтных и карьерных вод в пруду-отстойнике балки Свистунова очищенными сточными водами. Для этого необходимо в первую очередь выполнить детальные исследования воздействия сбросов шахтных и карьерных вод на бассейн р. Ингулец. При проведении исследований предлагается рассмотреть применение новой конструкции водовыпуска с установкой водобойной стенки при сбросе сточных вод Криворожского региона в р. Ингулец с предварительным численным моделированием распределения загрязняющих веществ в водном объекте. Постоянный сброс с минимальным объемом и концентрацией загрязняющих веществ даст возможность стабилизировать гидрологический режим р. Ингулец и реактивировать способность к саморегулированию химического состава воды путем восстановления гидрохимических равновесий.

Список литературы

1. «Справка по обеспечению водой Кривбасса, защите водоемов от загрязнений шахтными водами и промстоками промпредприятий». ГПИ «Кривбасспроект», Кривой Рог 1974г.
2. «Основные положения технико-экономического расчета отвода шахтных вод Кривбасса». «Укргипроводхоз», Киев 1990г.

3. «Проблемы природопользования Приднепровья». Институт технической механики АНУ, Киев 1991г.
4. Регламент скиду надлишків зворотних вод гірничорудних підприємств в 2003-2004 рр. ВАТ «Укрводпроект». ІГН НАНУ, Київ 2003р.
5. Н.Г. Насонкіна «Підвищення екологічної безпеки систем питного водопостачання». Автореферат докторської дисертації, ДонНТУ 2006р.
6. «Основные положения технико-экономического обоснования отвода шахтных вод Кривбасса» (Дополнительные проработки варианта использования шахтных вод на ГОКах – разбавление шахтных вод речной водой из канала «Днепр-Ингулец»). ГПИ «Кривбасспроект», Кривой Рог 1991г.
7. Багрій І.Д., Гожик П.Ф., Самоткал Е.В. та ін. Гідроекосистема Криворізького басейну – стан і напрямки поліпшення. – К.: Фенікс, 2005. – 216с.
8. Владимиров А.М., Ляхин Ю.И., Матвеев Л.Т., Орлов В.Г. Охрана окружающей среды.- Л.: Гидрометеиздат.- 1991.- 423с.
9. Долина Л.Ф. Розробка технологічної очистки стічних вод для крапельного зрошування / Долина Л.Ф., Міщенко А.П.// Науково-технічний часопис «Водне господарство України». – К., 2010. – №2. с. 16-19.
10. Долина Л.Ф. Современная техника и технологи для очистки сточных вод от солей тяжелых металлов: Монография. – Дн-вск.: Континент, 2008. 254 с.
11. Котова Т.Г. Оцінка та прогнозування впливу техногенного забруднення на мінеральний склад поверхневих вод України: дис. кандидата технічних наук: 21.06.01/ Котова Тетяна Валентинівна.– К., 2008.- 177 с.
12. Монгайт И.Л. Очистка шахтных вод / Монгайт И.Л., Текиниди К.Д., Николадзе Г.И. – М: «Недра», 1978. – 173 с.
13. Основные положения технико-экономического расчета отвода шахтных вод Кривбасса. Книга 1. Институт ВИОГЕМ, 1990.
14. Охотник К.К. Екологічна оптимізація системи скидання шахтних вод до річкової мережі (на прикладі басейну р. Самари): дис. кандидата технічних наук: 21.06.01/ Охотник Катерина Костянтинівна. – К., 2008.- 144 с.
15. Петренко О. С. Проблеми водопостачання, водовідведення та гідравліки, Київ 2009, с. 72-77.
16. Пат 68969 Україна, МПК (2012.01) E02D 19/00. Пристрій для випуску високо мінералізованих шахтних вод / Кіріченко П.С., Голишев О.М., Деньгуб В.І., Герасимчук О.В.; власник ДВНЗ «Криворізький національний університет». – № у 2011 10458; заявка. 29.08.2011; опубл. 10.04.2012, Бюл. №7. – 4 с.
17. Кіріченко П.С. Прогнозування забруднення акваторії Чорного моря при скиді зворотних вод: дис. кандидата техн. наук: 21.06.01/Кіріченко Павло Сергійович. – Дніпропетровськ., 2014. – 141 с.