

ГОРНАЯ ЭКОЛОГИЯ И НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЕ

УДК 622:504

ОРГАНИЗАЦИЯ ПОВТОРНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КАРЬЕРНЫХ СТОЧНЫХ ВОД УГЛЕДОБЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЙ

П. П. Иванов, С. Г. Пачкин, Л. А. Иванова, Е. С. Михайлова, А. Г. Семенов

*Кемеровский государственный университет,
E-mail: ipp7@yandex.ru, ул. Красная, 6, 650000, г. Кемерово, Россия*

Рассмотрена возможность повторного использования карьерных и поверхностных сточных вод угольных разрезов с учетом водооборотных циклов предприятий и территорий угледобычи. Анализ технологических схем открытой добычи угля и внутрикарьерного водопотребления позволил выделить основные направления применения сточных вод и уменьшения их объема. Разработана схема комплексной очистки и распределения карьерных сточных вод. Показано, что при полноценной организации внутрикарьерного водопотребления и расширении производственной кооперации с потребителями сточных вод можно достичь высоких показателей использования промышленных сбросов. Указанные меры помогут снизить экологическую нагрузку на территорию угледобычи и уменьшить количество сточных вод, нуждающихся в доочистке, до предельно допустимых концентраций вредных веществ в водных объектах рыбохозяйственного значения.

Сточные воды, очистка сточных вод, угледобывающие предприятия, водооборотный цикл, водопотребление, водоотведение, водный баланс

DOI: 10.15372/FTPRPI20240320
EDN: TOAJXP

Сточные воды, образующиеся в процессе открытой добычи угля, представляют собой водную систему с микро- и макропримесями различных растворенных и нерастворенных веществ. Анализируя составы сточных вод угледобывающих предприятий Кузбасса, можно отметить следующие загрязнители: взвешенные вещества неорганической природы, нефтепродукты, растворенные соединения азота, марганца, цинка, железа, меди, серы, фенолы летучие, органи-

Исследование выполнено в рамках комплексной научно-технической программы полного инновационного цикла “Разработка и внедрение комплекса технологий в областях разведки и добычи полезных ископаемых, обеспечения промышленной безопасности, биоремедиации, создания новых продуктов глубокой переработки из угольного сырья при последовательном снижении экологической нагрузки на окружающую среду и рисков для жизни населения”, утвержденной Распоряжением Правительства РФ от 11.05.2022 г. № 1144-р, при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ (соглашение № 075-15-2022-1201).

ческие соединения по показателям ХПК и БПК₅ (химическое и биохимическое потребление кислорода, определяемое в течение 5 сут) [1, 2]. Карьерные стоки по составу очень похожи на поверхностные, основным загрязнением в них является мелкодисперсная угольная пыль с размером частиц менее 50 мкм, обладающих высокой седиментационной устойчивостью [3, 4].

Особенность водного баланса угледобывающей промышленности заключается в том, что объем карьерных сточных вод, образующихся в процессе работ, превышает внутреннее потребление на производственные нужды для разрезов в 4.5 раза, для шахт — в 7.0 раз [5]. Повторное использование карьерных сточных вод допускается в том случае, если это не наносит ущерба существующей экосистеме и исключает любой риск для проживающего на этой территории населения, тем самым обеспечивается полная экологическая безопасность в соответствии с санитарно-гигиеническими требованиями [6].

При направлении карьерных вод на промышленные, сельскохозяйственные и другие предприятия необходимо опираться на отраслевые стандарты и требования, регламентирующие минимально допустимые параметры качества воды после регенерации [7]. При этом нужно учитывать, что предельно допустимые показатели качества воды могут отличаться на различных производственных циклах и этапах [8].

Сточная вода из карьеров, не соответствующая требованиям установленных нормативов, должна быть очищена перед дальнейшим использованием. Выбор степени очистки зависит от ряда факторов [9, 10]. Во-первых, соблюдаются установленные требования санитарно-гигиенической безопасности и отраслевые стандарты тех предприятий, куда направляется вода. Во-вторых, требуемые нормы сопоставляются со степенью исходного загрязнения воды и стоимостными параметрами очистки. Для использования очищенной воды необходимо прокладывать отдельный распределительный трубопровод, что ограничивает возможность использования регенерированной воды удаленными объектами [11].

Стоимость очистки с каждым годом растет, одновременно ужесточаются санитарно-гигиенические требования к сточным водам, появляются новые технологии и методики очистки, позволяющие удалять большинство загрязняющих веществ или понизить их содержание до безопасного уровня [12]. Актуальным направлением является разработка схем вторичного использования сточных вод в производственном секторе территории угледобычи.

Проекты повторного использования воды сопряжены с определенными трудностями. Необходимо согласовывать строительство систем регенерации с местными представителями администрации и проводить периодическую инспекцию этих систем надзорными органами [13]. Прокладываемые трубопроводные сети регенерированной воды должны обозначаться особым способом и четко отличаться от трубопроводов питьевого водоснабжения.

В зависимости от степени загрязнения и химического состава карьерные сточные воды после соответствующей очистки могут быть направлены на собственные нужды разреза, реализацию промышленным предприятиям и различным сторонним организациям, а также на сброс в водоемы после глубокой очистки.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КАРЬЕРНЫХ СТОЧНЫХ ВОД НА СОБСТВЕННЫЕ НУЖДЫ РАЗРЕЗА

Сточные карьерные воды, прошедшие первичную очистку методом отстаивания и фильтрации, широко используются для выполнения ряда технологических задач разреза [9, 14]:

- пылеподавление на поверхности склонов карьера, зонах экскавации горной массы, перевалочных участках и местах пересыпа на конвейерном транспорте;
- пылеподавление на поверхности внутрикарьерной сети автомобильных дорог;
- профилактика самовозгорания угольных складов и породных отвалов;

- внутрикарьерные строительные работы;
- водопотребление механическими и ремонтными цехами разреза;
- гидрозакладка и гидромеханизация вскрыш;
- охлаждение компрессорных установок и получение тепловой энергии.

В первых четырех позициях нормируемый показатель — содержание абразивных взвесей, провоцирующих ускоренный износ трубопроводов и насосных установок. В этом случае забор воды рекомендуется осуществлять после прудов-отстойников [8, 15]. Отдельно следует отметить положительный эффект от применения высокоминерализованных сточных вод для приготовления твердеющих закладочных смесей на основе цемента [16]. Для организации водоснабжения механических и ремонтных цехов разреза, для буровых и буровзрывных работ при проведении гидрозакладки и гидромеханизации вскрыш карьерные сточные воды используются после отстаивания и корректировки их щелочности. Например, на ряде разрезов АО “Угольная компания “Кузбассразрезуголь” (филиалы “Бачатский угольный разрез”, “Моховский угольный разрез”, “Разрез “Талдинский-Северный”), где добыча угля часто проводится методами гидродобычи, требуется вода с показателями качества, указанными в табл. 1 [14]. Такое применение собственных карьерных вод выгодно с экономической и экологической точек зрения.

ТАБЛИЦА 1. Нормы качества воды, используемой при бурении скважин и гидромеханизации вскрышных работ

Показатель	Норма качества воды	
	для бурения скважин	для гидровскрышных работ
Водородный показатель pH	6.0–9.5	6.0–9.5
Взвешенные вещества, мг/л	Не более 50 000	Не более 20 000
Температура, °C	Не нормируется	≤ 25

В табл. 2 представлены требования, предъявляемые при использовании воды в компрессорных установках [6], а также для восполнения безвозвратных потерь в оборотных системах. Исходя из норм для водоснабжения водотрубных водогрейных котлов с температурой сетевой воды на выходе до 115 °C, водотрубных паровых котлов низкого давления до 1.4 МПа, а также систем охлаждения компрессорных установок, карьерные воды (помимо отстаивания и фильтрации) должны проходить дополнительную очистку, направленную на снижение общего солесодержания и общей жесткости воды [17].

ТАБЛИЦА 2. Показатели качества технической воды, используемой для охлаждения компрессорных установок и для получения тепловой энергии

Показатель	Нормативное значение
Запах, баллы	3
Общая щелочность	1.5–3.0
Солесодержание общее, мг/л	500
Нефтепродукты, мг/л	10–20
БПК _{полн} , мг/л	15–20
Железо, мг/л	1
Водородный показатель pH	7.2–8.5
Сульфаты, мг/л	150
Хлориды, мг/л	100
Жесткость, мг-экв./л (карбонатная)	100
Азот, мг/л	≤ 1.5
Окисляемость по KMnO ₄ , мг O ₂ /л	10–15
Взвешенные частицы крупностью до 50 мкм, мг/л	20–25

При использовании вторичной воды для различных внутрикарьерных нужд могут быть реализованы две схемы подачи воды: прямоточная и оборотная (табл. 3). Оборотное водоснабжение позволяет предотвращать загрязнение водоемов и рационально использовать водные ресурсы [18, 19]. В настоящее время оборотная схема водоснабжения часто используется на угледобывающих и перерабатывающих предприятиях. Их доля достигает следующих значений, %: при добыче гидравлическим способом — 94; при обогащении от общего водопотребления — 92; при добыче открытым способом — 67; при добыче подземным механическим способом — 48.

ТАБЛИЦА 3. Использование карьерных вод на производственные нужды разреза

Технологический процесс	Система водоснабжения
Гидрозакладка	Оборотная, прямоточная
Гидродобыча	Оборотная
Пылеподавление	Прямоточная
Внутрикарьерные строительные работы	>>
Обслуживание дорожно-транспортных механизмов	>>
Производство тепловой энергии	Оборотная, прямоточная
Охлаждение компрессорных установок	Оборотная

РЕАЛИЗАЦИЯ КАРЬЕРНЫХ ВОД ПРОМЫШЛЕННЫМ ПРЕДПРИЯТИЯМ И СТОРОННИМ ОРГАНИЗАЦИЯМ

Потребителями карьерных сточных вод в основном являются предприятия, которые находятся в непосредственной близости от разрезов. Большие перспективы в развитии производственной кооперации имеют обогатительные фабрики, теплоэлектростанции и котельные, дорожно-транспортные службы, промышленные и сельскохозяйственные предприятия; системы противопожарного водоснабжения территории.

Основные потребители карьерной сточной воды в Кузбассе — обогатительные фабрики с обогащением мокрым способом [14]. Технологические процессы такого производства, как правило, организованы по оборотной системе водоснабжения. Водно-шламовый цикл замыкается через наружные очистные сооружения — шламовые отстойники, илонакопители, хвостохранилища. Некоторая часть технической воды при этом безвозвратно теряется, и на ее восполнение направляется свежая. Потери воды в значительной степени зависят от класса обогащенного угля, а также от степени его обогатимости. Расход свежей воды в среднем по отрасли составляет при обогащении угля различной крупности: до 13 мм — $0.15 \text{ м}^3/\text{т}$; до 0.5 мм — $0.2 \text{ м}^3/\text{т}$; до 0 мм — $0.34 \text{ м}^3/\text{т}$.

Если вода используется в оборотном цикле многократно, то ее качественные показатели начинают ухудшаться даже при современных методах очистки и наступает такой момент, когда часть воды необходимо обновить [20]. Процесс обновления происходит за счет вывода и утилизации некоторого количества загрязненной воды и подачи вместо нее свежей.

В процессе обогащения угля мокрым способом целесообразно с технологической точки зрения применять минерализованную карьерную воду сульфатного типа, чем чистую речную воду бикарбонатного типа [21]. В таком производстве для частичного обновления оборотных

систем рекомендуется использовать воду с общим содержанием солей не выше 5 г/л, что соответствует средним показателям карьерных сточных вод.

При реализации сухого метода обогащения (пневматического) с помощью воды осуществляется смыв пыли в помещениях производства и проводится мокрое пылеулавливание. Для этих целей с учетом установленных норм потребления может применяться вода после первичного отстаивания, т. е. из прудов-отстойников.

В обоих методах обогащения выделяются две стадии, на которых потребляется значительное количество воды. Первая — составление растворов для предотвращения смерзания и обеспыливания угля во время транспортировки, вторая — брикетирование углей, где вода потребляется для предварительного разогрева и пропарки угольной шихты.

Отметим, что карьерные воды после очистки до требуемых показателей могут использоваться на химических и металлургических предприятиях, характеризующихся большим потреблением воды [5]. Однако в связи со значительной удаленностью этих объектов от разрезов, карьерная вода на них применяется крайне редко.

Если сточные воды содержат некоторые органические компоненты и биогенные элементы, то в ряде случаев их целесообразно использовать для орошения сельскохозяйственных земель как открытого, так и защищенного грунта [22]. При этом необходимо учитывать агрономические, технические и экологические критерии. Некоторые растворенные в воде вещества негативно влияют на растения, поэтому при их наличии в сточных водах рекомендуется проводить дополнительные мероприятия по очистке. Например, карбонат, магний и кальций наносят незначительный вред, но превышение нормативных значений натрия и хлорида может привести к повреждению и гибели растений [23]. Высокорастворимые соли могут повреждать корни, мешая поглощению питательных веществ, или накапливаться в тканях растений, вызывая ожоги листьев с последующим увяданием [24]. Кроме того, соли, растворимые в воде, имеют тенденцию со временем накапливаться в трубопроводной арматуре и непосредственно в почве, поэтому необходим постоянный мониторинг [23]. Если вода, используемая для полива растений в закрытом грунте, имеет высокий уровень щелочности, то это отрицательно влияет на pH среды. Так, для многолетних растений требуется уровень щелочности не более 120 мл/л, для рассады — не более 80 мл/л. Для однолетних растений, которые выращиваются с применением кислотных удобрений, этот показатель находится в пределах 140–200 мл/л. Учет указанных факторов и их динамическая корректировка поможет не только рационально использовать карьерные воды, но и повысить урожайность некоторых культур [22].

В ряде случаев к негативному результату приводит привлечение карьерных сточных вод для орошения сельскохозяйственных земель. Например, в Ростовской области такое использование вызвало засоление почвы на глубину до 2 м. В этой связи необходимо проводить почвенную, биологическую, ирригационную и агрохимическую оценку эффективности такого применения.

СБРОС ОЧИЩЕННЫХ КАРЬЕРНЫХ ВОД В ПРИРОДНЫЕ ВОДОЕМЫ

После полной очистки карьерную и шахтную воду можно направлять для создания водохранилищ и прудов, которые могут использоваться как места отдыха. В этих водоемах будет дополнительно собираться талая и дождевая вода, тем самым разбавляя карьерную воду и понижая концентрацию остаточных примесей.

В соответствии с действующими стандартами и санитарными правилами карьерные и шахтные воды нельзя использовать для хозяйственно-бытового и питьевого водоснабжения без глубокой доочистки, основанной на современных методах [25]. Однако высокая стоимость

такой доочистки делает данное использование сточной воды экономически необоснованным в условиях Сибирского федерального округа.

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПОВТОРНОМУ ИСПОЛЬЗОВАНИЮ КАРЬЕРНЫХ И ПОВЕРХНОСТНЫХ СТОЧНЫХ ВОД УГОЛЬНЫХ РАЗРЕЗОВ

На основании проведенного анализа разработаны рекомендации и предложена схема комплексной переработки и распределения карьерных сточных вод (рисунок).

Обогатительная фабрика и другие промышленные предприятия

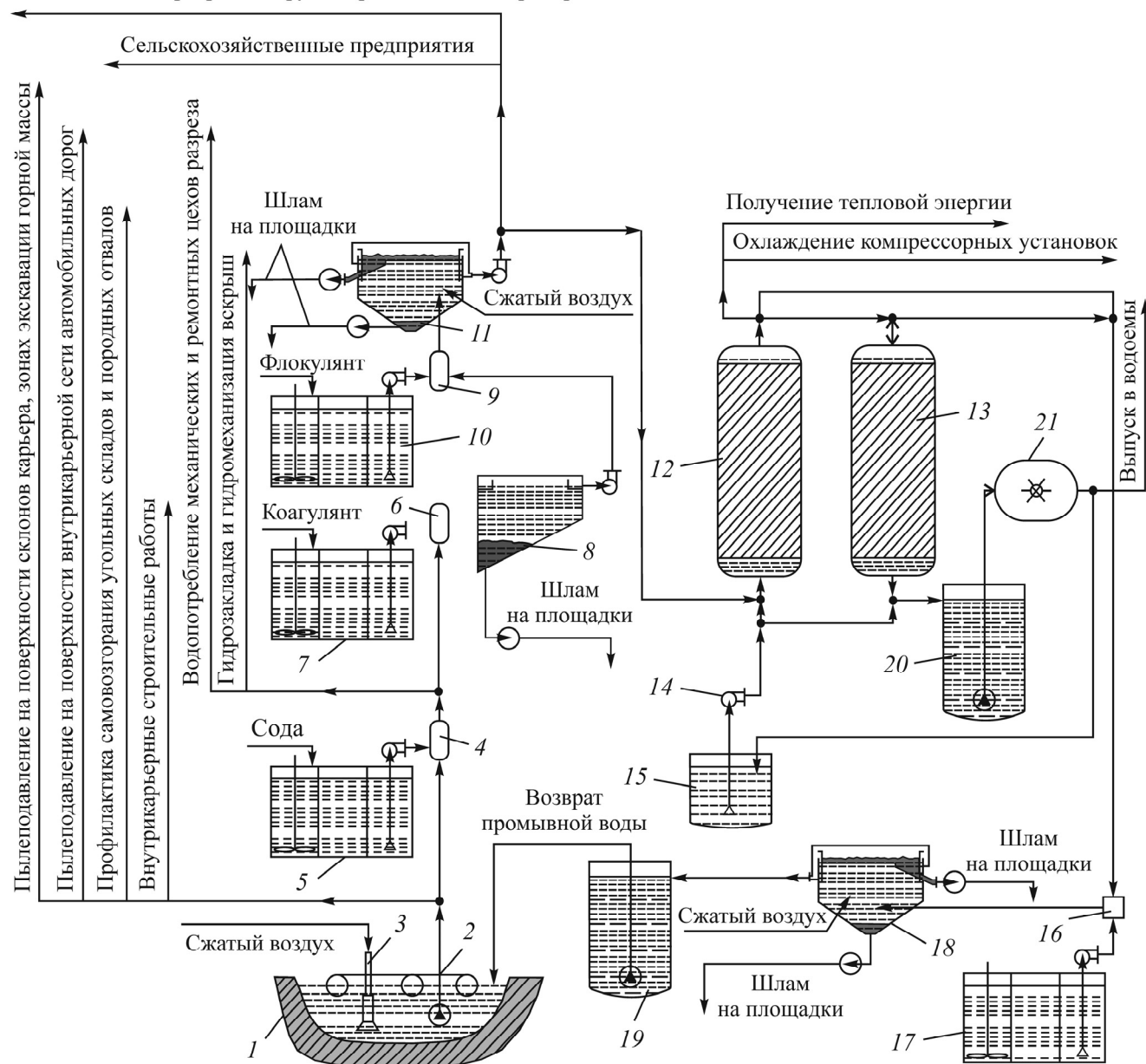


Схема процесса комплексной переработки и распределения карьерных сточных вод.
Описание дано в тексте

Загрязненная вода из зумпфов карьера перекачивается в пруд-отстойник 1 для удаления минеральных примесей и тяжелых взвесей. Отвод осветленной воды осуществляется плавучей

насосной станцией 2 по двум направлениям: в систему водоснабжения карьера для решения ряда производственных задач (организация систем пылеподавления и пожаротушения, внутри-карьерных строительных работ) и на дальнейшую очистку. Для насыщения воды кислородом в периоды его дефицита система снабжена погружными аэраторами 3. Очистка начинается с корректировки pH сточных вод путем подачи раствора каустической соды из установки растворения 5 в смеситель 4. Полученная нейтрализованная вода может использоваться для организации водоснабжения механических и ремонтных цехов карьера, а также проведения буровых и буровзрывных работ при организации гидрозакладки и гидромеханической вскрыши. Далее в смесителе 6 оставшиеся сточные воды обрабатываются коагулянтom, подаваемым из установки 7. Связанные частицы отделяются в отстойнике 8, а вода с помощью циркуляционного насоса направляется в смеситель 9, где происходит ее обработка флокулянтom, подаваемым из установки 10. Для повышения эффективности процесса разделения во флотатор 11 осуществляется подача сжатого воздуха.

Сточные воды, прошедшие реагентную обработку, могут использоваться для подпитки контуров технической воды на обогатительных фабриках и других промышленных предприятиях, а также для нужд орошаемых сельскохозяйственных культур. Если лабораторные исследования показывают превышение норм органических соединений по показателям ХПК и БПК₅, отпускаемая на орошение вода должна быть дополнительно обработана ультрафиолетовым облучением.

Оставшиеся сточные воды осветляются на напорных контактных осветлителях 12, обеспечивающих необходимую эффективность очистки от агломератов солей, полученных в результате реагентной очистки. Подготовленная таким образом вода может подаваться для охлаждения компрессорных установок карьера, а также в котельные и теплоэлектростанции. Для доочистки воды по компонентам — БПК, марганца, железа общего, фенола и других — предназначены напорные угольные адсорберы 13.

Фильтрат угольных адсорберов насосной станцией 20 перекачивается к выпуску в водоемы, предварительно подвергаясь обеззараживанию в УФ-облучателях 21. Часть выпуска поступает в резервуар 15 для проведения процесса промывки/взрыхления зернистого слоя осветлителей и угольных фильтров, формируя замкнутый контур, включающий насосную установку 14, отбирающую промывную воду из резервуара 15. Промывная вода, отходящая из верхних частей напорных контактных осветлителей 12 и напорных угольных адсорберов 13, обрабатывается раствором флокулянта, подаваемого из реагентной установки 17 через смеситель 16, и поступает на осветление в флотатор 18. Осветленная вода при помощи насосной станции 19 возвращается в пруд-отстойник 1, а шлам посредством шламовых насосов перекачивается на шламовые площадки (накопитель).

Управление технологическими потоками и процессами доочистки сточных вод осуществляется распределенной автоматизированной системой диспетчерского управления, в основу которой положены методы системного анализа объекта и принцип декомпозиции технологического процесса [26]. Согласно проведенным расчетам нормативов потребления воды для выполнения ряда внутрикарьерных работ по методикам [27, 28], можно составить и провести анализ водного баланса для разработанной схемы внутрикарьерного водопотребления. Широкие возможности использования сточных вод предприятиями открытой угледобычи позволяют добиться минимизации их сброса в водные объекты, особенно в период основного водопотребления с апреля по октябрь для климатических условий Кемеровской области. Ведущими направлениями водопотребления в этот период являются мероприятия по внутрикарьерному пылеподавлению и пожарной профилактике, а также гидрозакладка и гидромеханизация вскрышных

работ. Забор сточных вод для выполнения указанных работ может осуществляться после их первичной очистки в пруду-отстойнике.

Для проведения технологических операций выполнен укрупненный расчет планового расхода воды. Применительно к условиям добычи угля открытым способом в рассматриваемом регионе можно придерживаться следующих среднегодовых норм потребления очищенной от механических загрязнений воды на 1 га оработанной площади карьера:

- для пылеподавления на поверхности внутрикарьерной сети автомобильных дорог — 88.5 м³/год;
- для пылеподавления на поверхности склонов карьера, зонах экскавации горной массы, перевалочных участках и местах пересыпа на конвейерном транспорте — 78.0 м³/год;
- для гидрозакладки и гидромеханизации вскрыш — 46.3 м³/год;
- для профилактики самовозгорания угольных складов и породных отвалов — 8.8 м³/год.

При полноценной реализации перечисленных мероприятий значительно возрастет потребление воды внутри карьера, что будет способствовать формированию отрицательного баланса в летние месяцы. В свою очередь это обстоятельство компенсирует профицит водного баланса в зимний период, но потребует сооружения на территории разреза дополнительных накопителей.

На ряде разрезов наблюдается значительный профицит формирующихся сточных вод, что объясняется особенностями гидрогеологической обстановки территории добычи. В этом случае целесообразна организация использования сточных вод, прошедших необходимую очистку, на нужды сторонних потребителей. Наиболее перспективное направление — передача воды на обогатительную фабрику разреза, которая, как правило, располагается в непосредственной близости и работает круглогодично, т. е. потребление воды будет происходить без перерыва. Второй по значимости потребитель воды — муниципальные котельные, производственная мощность которых способна использовать от 4 до 10 % формирующихся сточных вод, прошедших необходимую очистку, что позволит снизить забор природных вод с указанной территории. В непосредственной близости от накопителей воды можно дополнительно рекомендовать развитие сельскохозяйственных предприятий, реализующих системы искусственного орошения в открытом и защищенном грунте.

ВЫВОДЫ

Проведенный анализ баланса водопотребления на действующих предприятиях открытой угледобычи с учетом разработанных рекомендаций показал, что при правильной организации внутрикарьерного водопотребления и расширении использования сточных вод сторонними предприятиями можно достичь показателей, близких к нулевому сбросу.

Значительные объемы карьерных сточных вод после необходимой очистки могут применяться для нужд промышленных предприятий территории угледобычи. Основными потребителями чаще всего выступают обогатительные фабрики, теплоэлектростанции и предприятия сельского хозяйства. В зависимости от дальнейшего применения сточных вод должна предусматриваться определенная степень их очистки.

Предложенный комплекс мероприятий по организации повторного использования промышленных сбросов позволит снизить количество сточных вод, нуждающихся в глубокой до-

очистке, до требований предельно допустимых концентраций вредных веществ в водных объектах рыбохозяйственного значения и уменьшить экологическую нагрузку на территорию угледобычи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Иванова Л. А., Голубева Н. С., Тимошук И. В., Горелкина А. К., Просеков А. Ю., Сапурин З. П., Медведев А. В.** Оценка эффективности очистки сточных вод угледобывающего предприятия и ее влияние на загрязнение малых рек // *Экология и промышленность России*. — 2023. — Т. 27. — № 1. — С. 60–65.
2. **Maiti D., Ansari L., Rather M., and Deepa A.** Comprehensive review on wastewater discharged from the coal-related industries—characteristics and treatment strategies, *Water Sci. Technol.*, 2019, Vol. 79, No. 11. — P. 2023–2035.
3. **Красавцева Е. А., Максимова В. В., Макаров Д. В., Маслобоев В. А.** Методы очистки сточных вод горнопромышленных предприятий от взвешенных веществ // *ФТПРПИ*. — 2022. — № 3. — С. 136–146.
4. **Pedersen E. and Helge C.** Research on coal mine environmental pollution and wastewater treatment technology, *OAJRC Env. Sci.*, 2019, Vol. 1, No. 1. — P. 9–12.
5. **Гусев Н. Н.** Эколого-экономическая оценка вовлечения шахтных вод в хозяйственный оборот // *ГИАБ*. — 2010. — № 7. — С. 245–248.
6. **Васянович Ю. А., Лушпей В. П., Музыченко О. В.** Возможности использования шахтных и карьерных вод для нужд населенных пунктов в угледобывающих регионах // *ГИАБ*. — 2013. — № S22. — С. 116–120.
7. **Демкин В. И., Харионовский А. А., Гусев Н. Н., Счастливцев Е. Л., Каплунов В. Ю., Йорг Кириш.** К проблеме комплексной переработки шахтных вод в России // *ГИАБ*. — 2009. — № S7. — С. 209–219.
8. **Liu Y., Liu P., Bo L., and Li Q.** Research on mine water dispatching mode based on maximization of reuse rate, *Sustainability*, 2022, Vol. 14, No. 15. — 9289.
9. **Солодов Г. А., Жбырь Е. В., Неведров А. В., Папин А. В.** Направление комплексного использования шламовых вод углеобогажительных фабрик Кузбасса // *Вестн. КузГТУ*. — 2006. — № 3 (54). — С. 110–112.
10. **Gao P., Wang Y., Zhang Z., Cao Y., Liu Z., and Zhang D.** The general methods of mine water treatment in China, *Desalination Water Treatment*, 2020, Vol. 202. — P. 183–205.
11. **Лозовик П. А., Кулакова Н. Е.** Методические подходы к оценке загрязнения водных объектов в зоне действия предприятий горнодобывающей промышленности // *Водные ресурсы*. — 2014. — Т. 41. — № 4. — С. 429.
12. **Ксенофонтов Б. С., Козодаев А. С., Таранов Р. А., Виноградов М. С.** Усовершенствование технологической схемы физико-химической очистки сточных вод // *Экология и промышленность России*. — 2021. — Т. 25. — № 4. — С. 10–13.
13. **Zhou Q.** Mining environment governance and sustainable development of coal industry, *Adv. Mater. Res.*, 2013, Vol. 634. — P. 3423–3427.
14. **Юрташкина Л. В.** Направления использования сточных карьерных вод разрезов Кузбасса // *Вестн. КузГТУ*. — 2004. — № 4 (41). — С. 48–49.
15. **Макаров Д. В., Кони́на О. Т., Горячев А. А.** Методы снижения пыления отвалов горнопромышленных отходов // *ФТПРПИ*. — 2021. — № 4. — С. 160–170.

16. Рубашкина Т. И., Костина М. А. Исследование возможности применения хлоридных шахтных вод для приготовления твердеющих закладочных смесей // ФТПРПИ. — 2023. — № 3. — С. 67–75.
17. Кудряшова Е. Н., Глушанкова И. С., Бессонова Е. Н. Очистка карьерных вод горнодобывающих предприятий от нитрат-ионов // Химия. Экология. Урбанистика. — 2021. — Т. 1. — С. 116–120.
18. Навитний А. М., Гусев Н. Н., Мурин К. М., Каплунов В. Ю., Власова А. Ю. О решении проблемы обезвреживания минерализованных шахтных вод // Мониторинг. Наука и технологии. — 2011. — № 3 (8). — С. 31–36.
19. Tiwary R. K. Environmental impact of coal mining on water regime and its management, Water, Air, Soil Pollution, 2001, Vol. 132. — P. 185–199.
20. Абиди А., Бужуне Х., Эль-Амари Х., Бакае А., Якуби А. Повторное использование сточных вод при флотации полисульфидных руд // ФТПРПИ. — 2019. — № 4. — С. 157–165.
21. Dontala S. P., Reddy T. B., and Vadde R. Environmental aspects and impacts its mitigation measures of corporate coal mining, Procedia Earth Planetary Sci., 2015, Vol. 11. — P. 2–7.
22. Волкова С. Н., Сивак Е. Е., Панченко И. В. Сельскохозяйственное использование сточных вод как перспективное направление их утилизации // Вестн. КГСА. — 2009. — № 3. — С. 66–69.
23. Zhang H., Song J., Zhang M., Cheng X., Baocai L., and Qin Y. Analysis of chemical characteristics of lignite upgrading wastewater and its agricultural utilization, Water Sci. Technol., 2020, Vol. 81, No. 7. — P. 1530–1540.
24. Степанюк Г. Я., Заушинцена А. В., Буренков С. С., Свиркова С. В., Гаврилов А. А., Осинцева М. А. Оценка развития растительности техногенного отвала // Техника и технология пищевых производств. — 2022. — Т. 52. — № 4. — С. 807–818.
25. Демкин В. И., Навитний А. М., Свитцов А. А., Каплунов Ю. В. Комплексная переработка шахтных вод с использованием мембранно-сорбционных методов // ГИАБ. — 2011. — № 9. — С. 311–315.
26. Пачкин С. Г., Иванов П. П., Иванова Л. А., Михайлова Е. С., Семенов А. Г. Разработка распределенной диспетчерской системы управления процессом доочистки карьерных сточных вод // Уголь. — 2023. — № 10 (1172). — С. 82–88.
27. Методика по нормированию водопотребления и водоотведения для предприятий по добыче и переработке углей и сланцев / Сост. М. Л. Городинский, Н. Э. Смилянский, Н. В. Оскотская и др.; Всесоюз. науч.-исслед. и проектно-конструкт. ин-т охраны окружающей природной среды в угольной пром-сти. — М.: ИГД, 1976. — 80 с.
28. Everett L. G. Groundwater monitoring handbook for coal and oil shale development, Elsevier, 1985. — 304 p.

Поступила в редакцию 08/III 2024

После доработки 10/IV 2024

Принята к публикации 17/V 2024