

DOI: 10.25558/VOSTNII.2025.84.26.011

УДК 628.3

© А. К. Горелкина, И.В. Тимощук, Е.Н. Неверов, Е. С. Михайлова, 2025

А. К. ГОРЕЛКИНА

д-р техн. наук,
профессор кафедры
КемГУ, г. Кемерово
e-mail: alengora@yandex.ru



И.В.ТИМОЩУК

д-р техн. наук,
профессор кафедры
КемГУ, г. Кемерово
e-mail: irina_190978@mail.ru



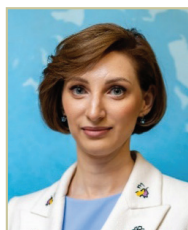
Е.Н. НЕВЕРОВ

д-р техн. наук,
профессор кафедры
КемГУ, г. Кемерово
e-mail: neverov@mail.ru



Е. С. МИХАЙЛОВА

канд. хим. наук,
директор института НБИКС технологий
КемГУ г. Кемерово



МИНИМИЗАЦИЯ УРОВНЯ ВТОРИЧНОЙ КОНТАМИНАЦИИ СТОКОВ ПРИ НЕДРОПОЛЬЗОВАНИИ

Техногенная деятельность, проводимая в массиве горных пород на наземной поверхности, относится к опасным сферам экономики. Недропользование в регионе определяет экологическую обстановку, в том числе и для водных объектов. Промышленные предприятия по добыче каменноугольного сырья с целью снижения влияния карьерной добычи на гидрологическую сеть реализуют мероприятия по улучшению систем очистки и транспортировки сточных вод. Адаптированные авторами схемы по организации сбора, транспортировки и сброса очищенной сточной воды в водные объекты, описывающие процесс перемещения стока, рекомендованы к применению, что позволит снизить уровень воздействия на водную систему до минимального и обеспечить экологическую стабильность региона.

Ключевые слова: КАРЬЕРНЫЕ СТОЧНЫЕ ВОДЫ, СБОР, ТРАНСПОРТИРОВКА, СХЕМА ОРГАНИЗАЦИИ СБОРА И ТРАНСПОРТИРОВКИ, ТРУБОПРОВОДЫ, МАТЕРИАЛЫ, ВТОРИЧНАЯ КОНТАМИНАЦИЯ, ТРАНСПОРТИРУЮЩАЯ СИСТЕМА.

ВВЕДЕНИЕ

В области недропользования существует обоснованная проблема обеспечения безопасности как промышленных объектов, так и объектов окружающей среды. Обеспечение безопасности связано с геомеханическими процессами, гидрофизическими, гидрохимическими процессами, сопровождающими процесс открытой разработки месторождений полезных ископаемых.

Недропользование при использовании открытого способа предполагает осуществление практически всех мероприятий, связанных с перемещением воды, и в первую очередь с действиями, направленными на осушение (гидрозащиту) горных выработок, таких как: отвод поверхностных вод; снижение уровня подземных вод; отвод воды за пределы производственной площадки.

Существует необходимость перемещения значительных объемов воды на предприятии открытой угледобычи, для чего создаются системы сбора, транспортирования и сброса, что, в свою очередь, формирует необходимость анализа и последующей разработки рекомендаций по выбору систем водоотведения [1].

Особенности формирования трубопроводной системы сбора, транспортирования и сброса сточных вод угольных предприятий заключаются в осушении поля разреза, которое производится методом открытого водоотлива. Поверхностные сточные воды с территории отвалов, внутрикарьерных автомобильных и железнодорожных дорог, а также производственных площадок по водосборным канавам самотеком поступают в водосборники (зумпфы) горных выработок. Туда же отводятся и подземные воды, выходящие на вскрытые горизонты добычи [2].

Водоотводные каналы имеют каменную наброску от размыва бортов. На ряде предприятий вдоль стационарных автомобильных дорог используются железобетонные желоба. В зумпфах происходит частичная механическая водоочистка от грубодисперсных загрязнений путем отстаивания.

Из зумпфа накопителя частично осветленные сточные воды перекачиваются на поверхность разреза через систему карьерного водоотлива, расположенную внутри угольного поля. Система, как правило, включает стационарную насосную установку большой производительности, смонтированную на опорах из металлоконструкций [3]. Откачка воды ведется периодически по мере необходимости. Водоотливные трубопроводы прокладываются по поверхности на деревянных подкладках.

При этом реализацию сбора, транспортировки и сброса очищенных сточных вод необходимо организовать с учетом ограничения попадания загрязнителей как с учетом сезонной составляющей, включающей паводковые периоды, так и большого территориального охвата обслуживаемых участков.

Необходимость обеспечения показателей качества сбрасываемой воды определяет основную цель исследований, то есть исключить вторичное загрязнение стоков в процессе транспортировки ее к точке сброса.

ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Различные схемы организации сброса и систем водоотлива угольных предприятий по открытой добыче были проанализированы, и проведен анализ состава стоков на предмет присутствия маркерных контаминантов в стоках на различных участках транспортировки.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЯ

Актуальным вопросом является правильный выбор материала карьерной трубопроводной сети, и мониторинг используемых и возможных к применению материалов показал следующее: наиболее часто применяемые — железобетонные и стальные, рекомендовали себя как надежные материалы, производство и применение которых достаточно широко распространено.

Железобетонные трубы и лотки изготавливают из специального бетона М350 при помощи центрифугирования или вибропрессования.

Бетонные магистрали высокопрочны, с широкой резистентностью к перепадам температур, кроме того, они применяются в создании трубопроводов в условиях повышенной влажности.

Стальные трубы широко применяются в промышленности, строительстве и системах водоотведения. Характеристики стальных труб определяются маркой стали, из которой они изготовлены. Строительные конструкции и инженерные коммуникации испытывают разные нагрузки, поэтому при их производстве используются различные марки стали. Марки различаются свариваемостью, ковкостью, прочностью, стойкостью к коррозии и низким температурам [4].

Среди материалов, относящихся к альтернативным, можно отнести геосинтетики (геосинтетические материалы) и **полимерные и полимерно-армированные**.

Полимерные трубы отличаются большим разнообразием (полиэтиленовые, полипропилен, поливинилхлорид, стеклопластик и др.) [6–8].

Полимерно-армированные трубы — арматура выполнена из стали, стекловолокна, бетона. Полимерно-армированные трубы выпускаются по ТУ 2248–005–54112451–2004.

Геосинтетики (геосинтетические материалы) — это строительные материалы, чаще из

синтетики, но могут быть из другого сырья (стекло, базальт, минералы), поставка которых осуществляется в компактном виде: блоки, рулоны, плиты.

Выбор материала зависит от схемы организации сбора, транспортировки и сброса очищенной сточной воды в водные объекты. Для анализа была представлена схема, реализуемая на предприятии по добыче угля открытым способом (рисунки 1).

Описание схемы формирования водоотлива, представленной на рисунке 1 следующее: осушение поля данного разреза производится методом открытого водоотлива. Для сбора сточных вод (поверхностных и подземных), поступающих в карьерную выработку предусмотрено устройство карьерных водосборников (зумпф) [9]. Сточные воды формируются в пределах горного отвода из притоков воды в блок разреза (горные участки).

Карьерный водоотлив собирается в водосборниках горных выработок, где происходит частичная механическая очистка путем отстаивания. Водосборники (зумпфы) трапециевидального сечения, глубина зумпфов в среднем 5–6 м. Поверхностные сточные воды с территории отвалов по водосборным каналам самотеком поступают в водосборники и далее насосными установками по напорным трубопроводам перекачиваются на очистку

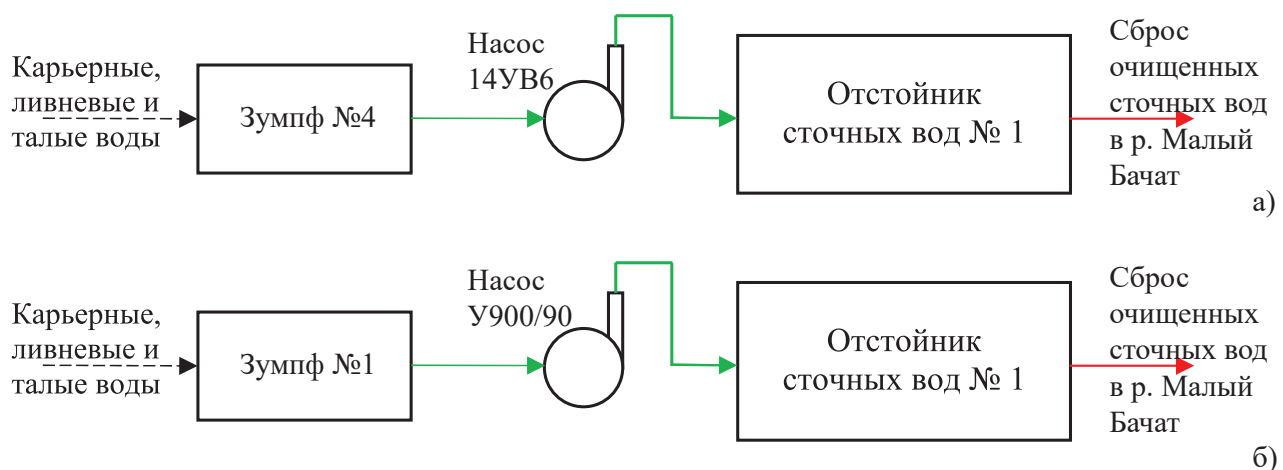


Рис. 1. Схема организации сбора, транспортировки и сброса очищенной сточной воды в водные объекты: а) водоотлив участка № 1/9 «Центральный», б) водоотлив участков № 1/9 и № 5/8 «Север» на Бачатском угольном разрезе

на существующие очистные сооружения карьерных и поверхностных сточных вод.

Карьерные, ливневые и талые воды по напорному металлическому водоотливному трубопроводу поступают в нагорную канаву, расположенную вдоль восточной границы поля разреза, откуда поступают в отстойник сточных вод № 1. В границах карьерного поля водоотливные трубопроводы (водоводы) прокладываются по поверхности на деревянных и металлических подкладках, в местах пересечения с автодорогой — в земле, на глубине до 2,0 м.

Представленная схема формирования стока показывает, что после подъема на верхние горизонты вода самотеком через нагорные канавы поступает в пруды-отстойники. Длина таких канав может достигать до десяти километров и более. Однако при таком способе доставки карьерных вод к прудам-отстойникам наблюдается дополнительное обводнение прилегающих к канаве территорий и насыщение сточных вод содержащимися в породе микро- и макроэлементами. Далее очищенная вода либо направляется на технологические нужды (в частности, на обогатительные фабрики), либо выпускается в природные источники. Выпуск в природные источники производится через открытые канавы (каналы).

Имеющиеся водоводы выполнены преимущественно из стали, что ведет к повторному загрязнению выпускаемых вод. Анализ систем водоотлива на предприятиях открытой угледобычи позволяет сделать вывод о необходимости модернизации системы водоотлива для исключения вторичного загрязнения сточных вод, очищенных до нормативных показателей в соответствии с НДС, в результате сезонного попадания загрязняющих компонентов природного характера, а также наличия дополнительных антропогенных источников, таких как агрокомплексы (сульфаты, нитраты, нитриты, фосфаты и др.), селитебные зоны (нефтепродукты, фенолы и др.), что подтверждают результаты мониторинговых исследований с учетом сезонной составляющей.

С целью предотвращения вторичного загрязнения стока, связанного с поступлением ливневого стока с территорий, окружающих карьер, необходимо использовать трубопроводы или закрытые водоотводные лотки. По мере расширения карьера необходимо своевременно применять меры превентивного характера.

Для этапа первичного сбора карьерных вод в зумпфе характерно гравитационное безнапорное течение ливневых и подземных вод. Важным требованием при этом является сокращение продолжительности перемещения карьерных и ливневых вод с промышленной площадки в зумпфы. Это позволит избежать их прямого контакта с участками, имеющими повышенную загрязненность (производственные площадки и дороги), что в свою очередь позволит снизить степень насыщения сточных вод вымываемыми из горной породы загрязнителями.

Для формирования мобильных систем аварийного водоотлива целесообразно использовать плоскостворачиваемые рукава в комплекте с переносными (перевозимыми) насосными агрегатами. В отдельных случаях можно использовать быстровозводимые трубопроводные системы из полимерных композитных труб, характеризующихся повышенной износостойкостью внутреннего покрытия (например, FLOWTECH™ ARS и др.). Они допускают укладку по поверхности земли, характеризуются минимальным количеством сварных швов и простотой монтажа.

Системы транспортирования карьерных вод от зумпфа на очистные сооружения — наиболее сложная, энерго- и материалоемкая стадия водоотливной системы карьера, которая характеризуется: большой протяженностью трубопроводов; большими объемами перекачиваемых вод; значительным давлением, обусловленным большим перепадом высот между зумпфом, расположенным на уровне нижних горизонтов карьера, и прудами-отстойниками, которые чаще всего размещаются на уровне дневной поверхности; значительной загрязненностью перекачиваемых

вод мелкодисперсными абразивными примесями; постоянством трубопроводной трассы, выполненной по поверхности земли; активным воздействием факторов внешней среды (перепады температуры, ультрафиолетовое облучение, осадки и др.).

Для изготовления данного участка традиционно используются стальные бесшовные горячедеформированные трубы, однако в настоящее время рекомендуется к широкому применению использование полимерных армированных труб, обладающие значительно большей коррозионной стойкостью и меньшим весом, который упрощает транспортировку и монтаж. Это позволяет обеспечить меньшую совокупную стоимость строительства и эксплуатации и больший срок службы, и позволит снизить насыщение отводимых карьерных вод ионами железа, что упрощает их последующую очистку.

Перемещение частично очищенных сточных вод (транспортирование) между стадиями очистки характеризуется относительно короткими участками перемещения воды без существенных перепадов высот. Часто достаточно гравитационного безнапорного перемещения, что легко достигается с помощью железобетонных лотков и труб, характеризующихся доступностью и низкой стоимостью. Однако использование данного материала предполагает значительные затраты на проведение транспортных и монтажных работ, кроме того, возникает необходимость в тщательном анализе поставляемых труб, т.к. наличие трещин и сколов ведет к значительному ускорению процессов коррозии элементов армирования и разрушению трубы. Также это способствует дополнительному насыщению карьерных вод ионами железа. Поэтому применение обычных полимерных труб большого

диаметра также является обоснованным. При создании напорных стационарных трубопроводов подачи воды на очистные установки глубокой очистки наиболее целесообразно использование полимерных труб, рассчитанных на необходимые условия эксплуатации: рабочее технологическое давление и пропускная способность. В связи с небольшой протяженностью этих трубопроводов, их легко защитить от воздействия факторов внешней среды, необходимо исключить любые повторные загрязнения.

Поэтому рекомендуется использовать полимерные материалы для изготовления закрытых водоводов, а в некоторых случаях, как, например, для сельскохозяйственных нужд, целесообразно использовать плоскостворачиваемые рукава.

Откачку воды рекомендуется вести непрерывно, с автоматической регулировкой производительности насоса, а прокладка трубопроводной сети выполняется под уклоном, обеспечивающим ее полную разгрузку в случае остановки работы насоса.

Предложения по обновлению систем сбора, транспортирования и водоотведения на рассматриваемых объектах приведены на рисунке 2. Различными цветами на данных схемах выделены участки, на которых предполагаются изменения (таблица 1).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложенные изменения по транспортировке стока, которые предполагают минимизацию использования открытых водоотводных лотков в пользу трубопроводов или закрытых водоотводных лотков, что в значительной степени сохранит качество очищенных сточных вод с минимальным уровнем

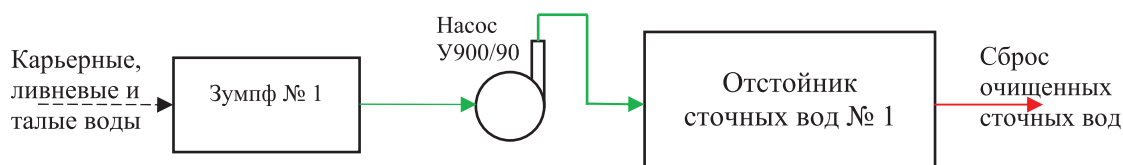







Рис. 2. Схема планируемой организации сбора, транспортировки и сброса очищенной сточной воды в водные объекты

Таблица 1
Обозначения изменений на схемах

Обозначение	Материал труб и конструктив
	сталь
	полимер
	железобетон
	закрытые водоотводные лотки
	открытые водоотводные лотки

контаминации и позволит исключить возможное вторичное загрязнение стока.

Таким образом, предложения по организации сбора, транспортирования и сбросов очищенных сточных вод в водные объекты позволят минимизировать вторичные загрязнения, которые достигаются за счет замены материалов и конструктива трубопровода.

Благодарность. 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 Российской Федерации от 11.05.2022 г. № 1144-р, при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, № соглашения 075–15–2022–1201 от 30.09.2022 г.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Чоршанбиев У. Р., Ибадуллаев А, Бабаев А. Р., Обиджонов А. Ж. Способ повышения эффективности использования гидротранспортных систем в горнодобывающей промышленности // I Международной научно-практической конференции, Владикавказ. Владикавказ: Северо-Кавказский горнометаллургический институт (Государственный технологический университет), 2023. С. 165–173.

2. Бекмагамбетов, Б. И., Едигенов М. Б. Проблемы осушения и водоотведения на горнорудных предприятиях Костанайской области // Геология и охрана недр. 2011. № 1(38). С. 77–82.

3. Сычев А. Б. Карьерный водоотлив - проблемы и решения. Современные насосы и насосные установки. Анализ используемого оборудования на предприятиях // Уголь. 2013. № 1(1042). С. 29–31.

4. Хвостов А. А., Магомедов М. Г., Журавлев А. А., Шипилова Е. А., Семенихин О. А., Никитченко А. А. Оптимизация параметров технологического трубопровода по технико-экономическим показателям // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. 2020. № 82(1). С. 34–46.

5. Пономарев О. Н. Шеина О. Н. Концепция оптимизации сброса шахтных и карьерных вод // Экология – 2022: оборудование, технологии, решения. Сборник статей участников I Экологического водного форума Южного Урала, Челябинск. Челябинск: Челябинский государственный университет. 2022. С. 52–59.

6. Варламов Н. В., Макаров Г. И., Гиллер Г. А. Современные научные тенденции в области разработки и применения труб нового поколения для магистральных трубопроводов // Территория Нефтегаз. 2011. № 9. С. 62–68.

7. Евсеева К. А., Битт В. В., Скребнев В. И., Калугина Е. В. Новые полимерные трубы для промышленного применения // Российский химический журнал. 2021. Т. LXV. № 3. С. 85–90.

8. Чижов Е. А., Чижов А. Е., Новиков С. Г., Толкачев Ю. А. Перспективы применения полимерных материалов в гидромеханизации // Горный аналитический информационный бюллетень. 2009. № S1. С. 367–383.

9. Likhachev E. S. Corrosion as one of the key problems of operational reliability of oilfield pipelines // Scientist of the 21st Century. 2023. No. 6–7. P. 97–98.

DOI: 10.25558/VOSTNII.2025.84.26.011

UDC 628.3

© A. K. Gorelkina, I.V. Timoschuk, E. N. Neverov, E. S. Mihaylova, 2025

A. K. GORELKINA

Doctor of Engineering Sciences,
Professor of Department
KemSU, Kemerovo
e-mail: alengora@yandex.ru

I.V. TIMOSCHUK

Doctor of Engineering Sciences,
Professor of Department
KemSU, Kemerovo
e-mail: irina_190978@mail.ru

E. N. NEVEROV

Doctor of Engineering Sciences,
Professor of Department
KemSU, Kemerovo
e-mail: neverov@mail.ru

E. S. MIHAYLOVA

Candidate of Chemical Sciences,
Director of the Institute of Nano-, Bio-, Information, Cognitive and Socio-Humanitarian
Technologies
KemSU, Kemerovo

MINIMIZING THE LEVEL OF SECONDARY CONTAMINATION OF WASTEWATER DURING SUBSURFACE USE

Man-made activities carried out in an array of rocks on the ground surface belong to dangerous areas of the economy. Subsurface use in the region determines the ecological situation, including for water bodies. Industrial coal mining enterprises are implementing measures to improve wastewater treatment and transportation systems in order to reduce the impact of quarrying on the hydrological network. The schemes adapted by the authors for the organization of collection, transportation and discharge of treated wastewater into water bodies, describing the process of flow movement, are recommended for use, which will reduce the level of impact on the water system to a minimum and ensure the environmental stability of the region.

Keywords: QUARRY WASTEWATER, COLLECTION, TRANSPORTATION, SCHEME OF ORGANIZATION OF COLLECTION AND TRANSPORTATION, PIPELINES, MATERIALS, SECONDARY CONTAMINATION, TRANSPORTATION SYSTEM.

REFERENCES

1. Chorshanbiev U. R., Ibadullaev A., Babaev A. R., Obidzhonov A. J. A way to increase the efficiency of using hydrotransport systems in the mining industry // I International Scientific and Practical Conference, Vladikavkaz. Vladikavkaz: North Caucasian Mining and Metallurgical Institute (State Technological University), 2023. P. 165–173. [In Russ.].

-
2. Bekmagambetov, B. I., Edigenov M. B. Problems of drainage and sanitation at mining enterprises of Kostanay region // *Geology and protection of the subsoil*. 2011. No. 1(38). P. 77–82. [In Russ.].
 3. Sychev A. B. Quarry drainage - problems and solutions. Modern pumps and pumping units. Analysis of the equipment used in enterprises // *Coal*. 2013. No. 1(1042). P. 29–31. [In Russ.].
 4. Khvostov A. A., Magomedov M. G., Zhuravlev A. A., Shipilova E. A., Semenikhin O. A., Nikitchenko A. A. Optimization of technological pipeline parameters according to technical and economic indicators // *Bulletin of the Voronezh State University of Engineering Technologies*. 2020. No. 82(1). P. 34–46. [In Russ.].
 5. Ponomarev O. N. Sheina O. N. The concept of optimizing the discharge of mine and quarry waters // *Ecology – 2022: equipment, technologies, solutions*. Collection of articles by participants of the First Ecological Water Forum of the Southern Urals, Chelyabinsk. Chelyabinsk: Chelyabinsk State University. 2022. P. 52–59. [In Russ.].
 6. Varlamov N. V., Makarov G. I., Giller G. A. Modern scientific trends in the development and application of new generation pipes for main pipelines // *Territory of Neftegaz*. 2011. No. 9. P. 62–68. [In Russ.].
 7. Evseeva K. A., Bitt V. V., Skrebnev V. I., Kalugina E. V. New polymer pipes for industrial applications // *Russian Chemical Journal*. 2021. Vol. LXV. No. 3. P. 85–90. [In Russ.].
 8. Chizhov E. A., Chizhov A. E., Novikov S. G., Tolkachev Yu. A. Prospects of polymer materials application in hydromechanization // *Mining Analytical Information Bulletin*. 2009. No. S1. P. 367–383. [In Russ.].
 9. Likhachev E. S. Corrosion as one of the key problems of operational reliability of oilfield pipelines // *Scientist of the 21st Century*. 2023. No. 6–7. P. 97–98.