

EDN: VMXKFI

УДК 504.054:628.4.045:620:266.11

**А. Э. ЦВЕТОВА, В. Н. РАДИОНЕНКО, С. Е. ГУЛЬКО**ФГБОУ ВО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»,  
Российская Федерация, Донецкая Народная Республика, г. о. Макеевский, г. Макеевка

## **К ВОПРОСУ О РАЦИОНАЛЬНОМ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ПОДЗЕМНЫХ ПРОСТРАНСТВ ЛИКВИДИРУЕМЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ ГОРНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

**Аннотация.** Статья рассматривает вопрос использования подземного пространства закрытых шахт для различных целей, таких как хранение отходов, создание геотермальных электростанций, а также в качестве потенциального места для строительства новых городов и инфраструктуры. Рассмотрены успешные примеры зарубежных стран, таких как Германия, Великобритания, Нидерланды и Польша. Повторное использование заброшенных шахт является важным аспектом практики более чистого производства, поскольку оно может полностью задействовать потенциал и жизнеспособность неиспользуемых ресурсов, сэкономить социальные издержки, обеспечить мощную эндогенную движущую силу для преобразования ресурсоемких городов, предоставить возможности трудоустройства безработным и, наконец, осуществить экологически чистую трансформацию горнодобывающей промышленности. Научные решения о способах повторного использования являются необходимым условием и решающим вопросом для эффективного изучения неиспользуемых ресурсов закрытых шахт.

**Ключевые слова:** угольные шахты, ресурс, вторичное использование, горнодобывающая промышленность, отходы.

### **ФОРМУЛИРОВКА ПРОБЛЕМЫ**

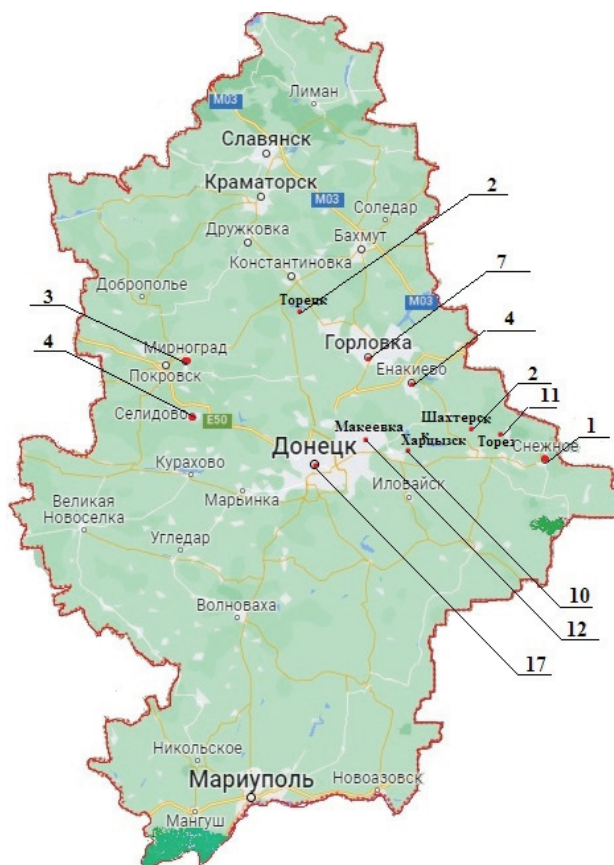
Непосредственное закрытие или отказ от угольных шахт является огромной тратой ресурсов и всегда влечет за собой ряд проблем с безопасностью или охраной окружающей среды [1]. Техногенные факторы, возникающие в результате ликвидации действующих шахт, как показал опыт, оказывают разрушительное воздействие практически на все компоненты окружающей среды, в результате чего она почти полностью теряет способность к самовосстановлению. Наиболее ярко выражены: подтопление поверхности, загрязнение поверхностных и подземных вод, выделение шахтных газов на поверхность, переток воды на смежные действующие шахты, геомеханическое воздействие на поверхность, образование провалов. Повторное использование выработанного пространства угольной шахты сможет решить в полной мере экологические и геологические проблемы.

### **ОСНОВНОЙ МАТЕРИАЛ**

Причиной ликвидации шахт служат такие факторы, как истощение запасов полезных ископаемых; проблемы с безопасностью: если в шахте происходят серьезные аварии или повышается риск их возникновения, она может быть закрыта для обеспечения безопасности работников и окружающей среды; экологические проблемы: загрязнение окружающей среды, нарушение гидрологического режима и другие экологические проблемы могут привести к ликвидации горнодобывающего предприятия; экономические факторы: если экономика страны или региона меняется и спрос на добываемые в шахте ресурсы падает, шахта может стать неконкурентоспособной и быть закрытой.

В Донбассе насчитывается порядка 114 закрытых шахт, находящихся в стадии консервации или ликвидации. При таких больших объемах незадействованного пространства, остающегося после ликвидации, возникает вопрос об вторичном его использовании. На рисунке показано количество





**Рисунок** – Количество закрытых шахт по городам республики.

закрытых шахт в таких городах, как Донецк, Макеевка, Горловка, Торец, Снежное, Енакиево, Харьцызск, Торецк, Мирноград, Селидово.

Существует несколько перспективных направлений повторного использования подземного пространства угольных шахт находящихся в консервации:

- хранилища и склады;
- добыча метана;
- геотермальные электростанции;
- создание промышленных музеев или туристических объектов;
- размещение продуктов термического обезвреживания твердых коммунальных отходов (ТКО).

Ученые из Ноттингема (Британия) предлагают выведенные из эксплуатации угольные шахты переоборудовать в вертикальные фермы, то есть перенос привычных теплиц под землю. Концепция получила название «Глубинной фермы», на таких объектах можно выращивать изрядные объемы продуктов питания, обеспечивая экономию на всем: воде, земле, энергии и времени обслуживания грядок. Проект изучает выращивание сельскохозяйственных культур на подземных фермах с помощью гидропонных сеялок, которые питают корни растений водой, обогащенной питательными веществами, поскольку цветные светодиодные блоки обеспечивают фотосинтез без воздействия солнца. Эксперты утверждают, что грунтовые воды для установок можно использовать напрямую или воду можно конденсировать из окружающего воздуха [1]. Городская агломерация Рурштадт в Германии является ярким примером преобразования заброшенных шахтерских районов в промышленные музеи. В том же городе разработали концепцию гидроаккумулирующей станции, где предполагается, что такая электростанция позволит хранить электрическую энергию во внепиковые периоды потребляемых мощностей [2, 3].

Страны Европы, такие как Бельгия, Германия, Нидерланды имеют богатый опыт повторного использования закрытых угольных шахт. За последние 20 лет было предпринято множество исследовательских и коммерческих инициатив по освоению заброшенных угольных месторождений с целью использования низкотемпературных ресурсов [4]. Одним из наиболее успешных является

проект Minewater муниципалитета Херлен, Нидерланды, где в октябре 2008 года была введена в эксплуатацию низкотемпературная система централизованного теплоснабжения. Простая экспериментальная система для исследования того, как шахтная вода заброшенных угольных шахт Оранже-Нассау может быть использована в качестве геотермального источника для устойчивого низкоэнергетического отопления и охлаждения зданий.

Донецкая Народная Республика особое внимание уделяет проработке решения проблем в области ликвидации и переработки мусора. В развитых странах ТКО подвергаются переработке на мусоросжигательных заводах (МСЗ) или на предприятиях по их пиролизу. В перспективе создание мусоросжигательных заводов в ДНР станет одним из ключевых способов решения проблемы управления и утилизации отходов. Однако, после сжигания ТКО остается до 30 % по весу шлаков и 5 % зольного остатка, который благополучно вывозят на полигоны. В качестве решения проблемы золошлаковых отходов от МСЗ предлагается размещать их в выработанном пространстве угольных шахт [5, 6]. Такой опыт имеется в Германии, там такие отходы преобразуют в пасту, которая изливается за очистным забоем на почву выработанного пространства и застывает благодаря добавляемому отвердителю. Данная суспензия может быть использована для [7]:

- герметизации проходов обрушения;
- ликвидации горных выработок;
- заполнения старых пустот в массиве горных пород;
- изготовления поясов обратной засыпки и заглушек;
- ликвидации шахтных стволов;
- в качестве компонента самозатвердевающей обратной засыпки и в технологиях, связанных с предотвращением пожаров.

Также следует учитывать множество факторов использования закрытых шахт в том или ином районе. Первый фактор – это преимущество в ресурсах, которое является основой для развития и использования. Например, добыча метана, утилизация шахтных вод, добыча бокситов. Вторым фактором является географическое расположение закрывающихся угольных шахт. Например, закрытая угольная шахта строится как центр культурного туризма, коммерческий центр, учебно-практический центр. Третий фактор – это социальные потребности, такие как закрытие угольных шахт для строительства гидроаккумулирующих электростанций. Кроме того, важны также топографические факторы. Например, хранение угольной породы подходит только для равнинных районов добычи полезных ископаемых. Иногда может потребоваться учитывать несколько факторов. Например, при использовании запасов нефти и газа необходимо одновременно учитывать ресурсные условия и преимущества расположения шахты. Это связано с тем, что хранилища нефти и газа должны находиться близко как к производственным районам, так и к потребительским рынкам, то есть быть богатыми газом и находиться близко к городской периферии.

## ВЫВОДЫ

На основе приведенной выше информации, можно сделать вывод о многообразии способов рационального использования подземного пространства закрытых угольных шахт, от которых можно получать экономическую выгоду, позволяющую минимизировать затраты на ликвидацию предприятий и предотвратить негативные последствия, связанные с безопасностью и охраной окружающей среды.

Особое внимание в условиях развития новых регионов Российской Федерации заслуживает использование пустот ликвидированных предприятий горной промышленности для размещения отходов мусоросжигательных заводов. Наличие завода актуально как для новых территорий, так и для соседних областей (Ростовская область, Краснодарский край), в которых отсутствуют иные варианты обращения с ТКО, кроме захоронения их на полигонах.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Birkby, Jeff. Vertical Farming / Jeff Birkby // ATTRA Sustainable Agriculture Program. – Текст: электронный : [сайт]. – 2016. – Volume 615. – P. 12–16. – URL: <https://attra.ncat.org/publication/vertical-farming/> (дата обращения: 08.09.2023).
2. Keil, A. Uses and perception of post-industrial urban landscapes in the Ruhr. In Wind Urban Woodlands / A. Keil. – Текст : электронный // Springer : [сайт]. – Berlin : Wild Urban Woodlands, 2005. – P. 117–130. – URL: [https://link.springer.com/chapter/10.1007/3-540-26859-6\\_7](https://link.springer.com/chapter/10.1007/3-540-26859-6_7) (дата обращения: 08.09.2023).

3. Papadakis, C. Nikolaos. Review of Pumped Hydro Storage Systems / C. Nikolaos Papadakis, Marios Fafalakis, Dimitris Katsaprakakis. – Текст : электронный // *Energies*. – 2023. – Volume 16. – P. 1–30. – URL: <https://www.mdpi.com/1996-1073/16/11/4516> (дата обращения: 08.09.2023).
4. Watzlaf, G. R. Underground Mine Water for Heating and Cooling using Geothermal Heat Pump Systems / G. R. Watzlaf, T. E. Ackman. – Текст : электронный // *Mine Water and the Environment*. – 2015. – Volume 25. – P. 1–14. – URL: <https://doi.org/10.1007/s10230-006-0103-9> (дата обращения: 08.09.2023).
5. Арустамов, Э. А. Основные проблемы обращения и переработки отходов / Э. А. Арустамов, С. Р. Гильденский, Г. В. Гераскина. – Текст : электронный // *Добродеевские чтения : I Международная научно-практическая конференция, Москва, 12–13 октября 2017 года*. – Москва : Московский государственный областной университет, 2017. – С. 97–99. – URL: <https://elibrary.ru/ykyiny?ysclid=ln33v70zpk375126902> (дата обращения: 08.09.2023). – EDN: UKYINY.
6. Проскурникова, И. А. Анализ деятельности мусоросжигательного завода на примере спецзавода № 2 / И. А. Проскурникова, С. М. Попов. – Текст : электронный // *Научный вестник МГТУ*. – 2011. – № 7 (16). – С. 118–125. – URL: <https://elibrary.ru/nxzhct?ysclid=ln342u9bpv132583513> (дата обращения: 08.09.2023). – EDN: NXZHCT.
7. Backfilling technology and strata behaviors in fully mechanized coal mining working face / Q. Zhang, J. Zhang, Y. Huang [et al.]. – Текст : электронный // *International Journal of Mining Science and Technology*. – 2012. – Volume 22, Issue 2. – URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2095268612000389> (дата обращения: 08.09.2023).

Получена 15.09.2023

Принята 27.10.2023

А. Е. ЦВЕТОВА, В. М. РАДИОНЕНКО, С. Е. ГУЛЬКО  
ДО ПИТАННЯ ПРО РАЦІОНАЛЬНЕ ВИКОРИСТАННЯ ПІДЗЕМНИХ  
ПРОСТОРІВ ЛІКВІДОВАНИХ ПІДПРИЄМСТВ ГІРНИЧОЇ  
ПРОМИСЛОВОСТІ

ФДБО ВО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури», Російська  
Федерація, Донецька Народна Республіка, м. о. Макіївський, м. Макіївка

**Анотація.** Стаття розглядає питання використання підземного простору закритих шахт для різних цілей, таких як зберігання відходів, створення геотермальних електростанцій, а також в якості потенційного місця для будівництва нових міст та інфраструктури. Розглянуто успішні приклади зарубіжних країн, таких як Німеччина, Великобританія, Нідерланди та Польща. Повторне використання покинутих шахт є важливим аспектом практики більш чистого виробництва, оскільки воно може повністю задіяти потенціал і життєздатність невикористовуваних ресурсів, заощадити соціальні витрати, забезпечити потужну ендегенну рушійну силу для перетворення ресурсомістких міст, надати можливості працевлаштування безробітним і, нарешті, здійснити екологічно чисту трансформацію гірничодобувної промисловості. Наукові рішення щодо способів повторного використання є необхідною умовою та вирішальним питанням для ефективного вивчення невикористаних ресурсів закритих шахт.

**Ключові слова:** вугільні шахти, ресурс, вторинне використання, гірничодобувна промисловість, відходи.

ARINA TSVETOVA, VITALY RADIONENKO, SERGEY GULKO  
ON THE ISSUE OF RATIONAL USE OF UNDERGROUND SPACES OF  
LIQUIDATED MINING ENTERPRISES

FSBEI HE «Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture», Russian  
Federation, Makeevka

**Abstract.** The article considers the use of the underground space of closed mines for various purposes, such as waste storage, the creation of geothermal power plants, as well as as a potential place for the construction of new cities and infrastructure. Successful examples of foreign countries such as Germany, Great Britain, the Netherlands and Poland are considered. The reuse of abandoned mines is an important aspect of cleaner production practices, as it can fully exploit the potential and viability of unused resources, save social costs, provide a powerful endogenous driving force for the transformation of resource-intensive cities, provide employment opportunities for the unemployed and, finally, implement an environmentally friendly transformation of the mining industry. Scientific decisions on ways of reuse are a necessary condition and a crucial issue for the effective study of unused resources of closed mines.

**Keywords:** coal mines, resource, secondary use, mining industry, waste.

**Цветова Арина Эдуардовна** – магистрант 1 курса кафедры техносферной безопасности ФГБОУ ВО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: переработка и утилизация промышленных отходов.

**Радионенко Виталий Николаевич** – кандидат технических наук, доцент кафедры техносферной безопасности ФГБОУ ВО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: переработка и повторное использование промышленных отходов.

**Гулько Сергей Евгеньевич** – доктор технических наук, профессор кафедры техносферной безопасности ФГБОУ ВО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: переработка и повторное использование промышленных отходов.

**Цветова Арина Едуардовна** – магистрант 1 курсу кафедри техносферної безпеки ФДБОУ ВО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: переробка та утилізація промислових відходів.

**Радіоненко Віталій Миколайович** – кандидат технічних наук, доцент кафедри техносферної безпеки ФДБОУ ВО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: переробка і повторне використання промислових відходів.

**Гулько Сергій Євгенович** – доктор технічних наук, професор кафедри техносферної безпеки ФДБОУ ВО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: переробка і повторне використання промислових відходів.

**Tsvetova Arina** – 1st year master's degree student, Technosphere Safety Department, FSBEI HE «Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture». Scientific interests: processing and utilization of industrial.

**Radionenko Vitaly** – Ph. D. (Eng), Associate Professor, Technosphere Safety Department, FSBEI HE «Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture». Scientific interests: recycling and reuse of industrial waste.

**Gulko Sergey** – Dr. Sc. (Eng), Associate Professor, Technosphere Safety Department, FSBEI HE «Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture». Scientific interests: recycling and reuse of industrial waste.