

УДК 504.05

DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2023.eco.2-47.4>

## КОНЦЕПЦІЯ МЕНЕДЖМЕНТУ ШАХТНИХ ВОД RAG AG НА ШАХТАХ РУРУ ТА СААРУ ЯК МОДЕЛЬ ДЛЯ ЗАКРИТТЯ ШАХТ В УКРАЇНІ

Лубенська Н.О.<sup>1</sup>, Боднар О.І.<sup>2</sup>, Дятел О.О.<sup>2</sup><sup>1</sup>Центр пост-майнінгу, Вища технічна школа Георга Агріколи  
Herner str., 45, 44787, Bochum, Germany<sup>2</sup>Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління  
вул. Митрополита Василя Липківського, 35, корп. 2, 03035, м. Київ  
lubenskaja@gmail.com, dei2005@ukr.net, alexandr\_dyatel@ukr.net

Усі війни рано чи пізно закінчуються, і незважаючи на дуже складні часи для України, уже сьогодні необхідно думати про майбутнє. Після закінчення війни ми повинні відбудувати Україну, і набутий досвід міжнародних партнерів повинен стати у нагоді для відновлення зруйнованої чи пошкодженої інфраструктури та територій України в цілому.

Німеччина проводила реструктуризацію та поступове скорочення вугільної промисловості, починаючи з 1960-х, завершальним етапом якої було закриття останньої кам'яновугільної шахти у 2018 році. Некероване затоплення може призвести до непередбачених наслідків, тому ключовим в процесі закриття шахт чи пост-майнінгу, з технічної точки зору, являється управління шахтними водами. В цій статті автори надають детальний огляд концепції управління шахтними водами на прикладах так званих «водних провінцій» вугільних басейнів Рур та Саар, з поступовим переходом з підземних водовідливів на центральні водовідливи «колодязного типу». Такий комплексний підхід дає можливість значно скоротити витрати на вирішення «вічних» проблем пост-майнінгу, пов'язаних з шахтними водами.

У статті приведено приклад очищення ґрунтових вод, оскільки земля Північний Рейн-Вестфалія під час Другої світової війни була осередком вугільної та сталеливарної промисловості і впродовж 1944–1945 років і піддавалась дуже сильному бомбардуванню, як і територія Донбасу починаючи з 2014 року і по цей час. Вчені досі не можуть встановити повний обсяг негативних екологічних наслідків внаслідок військових дій. Насамперед від бомбардування страждали поверхневі об'єкти шахт, хімічних та сталеливарних заводів. Інколи під час нальотів робітники були змушені виливати шкідливі речовини просто на землю, що звичайно призводило до забруднення ґрунтів та ґрунтових вод. Щоб нейтралізувати подібні наслідки, такі як потрапляння шкідливих речовин в ґрунтові води, проводять заходи з їх комплексного очищення.

Автори дають рекомендації щодо закриття шахт в Україні, приймаючи досвід Німеччини і той факт, що закриття шахт буде продовжено в післявоєнний період. *Ключові слова:* закриття шахт, затоплення, пост-майнінг, водні провінції, Vox-модель.

**Mine water management concept of RAG AG at Rur and Saar mines as a model for mine closure in Ukraine. Lubenska N., Bondar O., Diatel O.**

All wars end sooner or later, and despite very difficult times for Ukraine, it is necessary to think about the future already today. After the end of the war, we must rebuild Ukraine, and the acquired experience of international partners must be useful for the restoration of the destroyed or damaged infrastructure and territories of Ukraine as a whole.

Germany has been restructuring and descending its coal industry since the 1960s, culminating in the closure of the last coal mine in 2018. Uncontrolled flooding can lead to unforeseen consequences, therefore, the key in the process of mine closure or post-mining, from a technical point of view, is mine water management. In this article, the authors provide a detailed overview of the mine water management concept using the examples of the so-called “water provinces” of the Ruhr and Saar coal basins, with a gradual transition from underground drains to central “well-type” drains. Such a comprehensive approach makes it possible to significantly reduce the costs of solving “eternal” post-mining problems related to mine waters.

The article gives an example of groundwater purification, since the land of North Rhine-Westphalia during the Second World War was the center of the coal and steel industry and during 1944-1945 and was subject to very heavy bombing, as well as the territory of Donbas from 2014 to the present time. Scientists still cannot establish the full scope of negative environmental consequences as a result of military actions. First of all, the surface facilities of mines, chemical and steel plants suffered from the bombing. Sometimes, during raids, workers were forced to pour harmful substances directly onto the ground, which usually led to soil and groundwater contamination. In order to neutralize such consequences, such as the ingress of harmful substances into groundwater, measures are taken to comprehensively clean them.

The authors make recommendations for mine closures in Ukraine, accepting the experience of Germany and the fact that mine closures will continue in the post-war period. *Key words:* closure of mines, flooding, post-mining, water provinces, Vox-model.

**Постановка проблеми.** Війна в Україні призвела до прямого впливу бойових дій на усі екологічні складові довкілля, у тому числі на поверхневі і підземні води, оскільки значно збільшилися ризики виникнення аварійних ситуацій на вугільних підприємствах, що розташовані поблизу лінії зіткнення. Проте

основна небезпека пов'язана з можливістю забруднення навколишнього середовища внаслідок аварії та неконтрольованого затоплення суміжних шахт на територіях, що не контролюються Урядом України.

Понад 35 шахт регіону затоплюється або вже повністю затоплені та не підлягають подальшій експлу-

атації. Частину пошкоджених або зупинених шахт на Донбасі було демонтовано [1]. Така ситуація є основною причиною потенційного забруднення підземних та поверхневих вод при їх контакті з шахтними водами, котрі забруднені, зокрема, залізом, хлоридами, сульфатами, іншими мінеральними солями й важкими металами.

Неконтрольоване затоплення шахт несе в собі величезну небезпеку. Підйом рівня шахтних вод до критичних відміток спричинить незворотні зміни у масивах гірських порід, внаслідок чого відбуватиметься підтоплення територій, просідання денної поверхні, активізування обвалів, зсуви ґрунту тощо. Шахтні води окислюються, насичуються металами, оскільки все обладнання, яке колись існувало під час гірничих робіт, залишилось там, у шахтах. Тож при контакті з залізобетонними конструкціями відбувається процес насичення шахтних вод небезпечними сполуками. Найбільшу ж небезпеку несе просідання поверхні, яка викликає деформацію фундаментів та руйнування споруд.

**Актуальність досліджень.** Сучасні проблеми екологічного стану навколишнього природного середовища навколо вугільних шахт України стосуються порушення екосистем та природних територій, руйнування промислових та екологічно небезпечних об'єктів, забруднення джерел питної води, земельних ресурсів, атмосферного повітря, порушення геологічного середовища тощо. Серед негативних наслідків, які супроводжують процеси закриття шахт, найбільш значущими є погіршення гідрогеологічного стану територій їх розташування. Це підтверджується як національним досвідом ліквідації шахт у різних регіонах України та і досвідом в інших країнах. Варто відзначити, що розробка родовищ кам'яного вугілля призводить до змін у водообміні і гідрохімічному режимі підземних вод на території, котрі значно перевищують площі гірничих робіт.

До початку військових дій всі басейни знаходились на тому етапі розвитку, коли обсяги видобутку вугілля зменшувались, значна кількість шахт припиняла розробку запасів вугілля і ці шахти перебували у стадії ліквідації. Ці обставини призвели до суттєвої зміни природно-техногенних умов, які сформувались в результаті впливу на природні компоненти розробки вугільних родовищ [2].

Враховуючи, що значна частина шахт східного регіону затоплюється, то вже зараз необхідно переймати досвід успішної реструктуризації інших країн, а особливо Німеччини.

**Результати досліджень.** Після припинення субсидованого видобутку кам'яного вугілля та закриття шахт в Німеччині залишаються вічні завдання, які, у першу чергу, пов'язані з водою, включаючи відкачування шахтної води, наземні польдерні заходи, а також очищення шахтних вод та моніторинг шахтних вод. Ці питання були погоджені у 2007 році в договорі між фондом RAG і федеральними зем-

лями Саар і Північна Рейн-Вестфалія, де знаходяться найбільші вугільні родовища. При цьому RAG AG зобов'язалася розробити та технічно впровадити оптимізовану концепцію поводження з шахтними водами відповідно до розділу 4, параграфу 2 контракту. Завдання Вищого Гіртехнадзору (Oberbergamt) включають перевірку та затвердження цього процесу.

При закритті шахт стикаються з комплексом технічних, соціальних та екологічних проблем. Одним із головних питань технічного профілю є питання управління шахтними водами. Шахтна вода – це дощова вода, яка просочується крізь землю та розчиняє мінерали чи інші речовини, присутні в породі. Неконтрольоване затоплення та підняття рівня шахтних вод включають наступні ризики: прориви шахтної води в сусідні шахти, виливи шахтних вод та витіки метану на денній поверхні або в підвалах будинків; підняття поверхні землі і ризики пошкодження будівель чи інфраструктури внаслідок осідання/підйому ґрунту; небезпека обвалів або підземних поштовхів, ризики для стабільності породних відвалів, хвостосховищ та їх дамб, заболочування місцевості і забруднення джерел питної води.

Довгострокова концепція управління шахтними водами була розроблена для всіх трьох кам'яних вугільних регіонів RAG AG (Рурська область, Саарланд, Іббенбюрен). Були враховані регіональні відмінності з точки зору географії, рельєфу та мережі підземних виробок.

У Рурській області, наприклад, затоплення контролюється таким чином, що існує достатньо велика відстань між шахтними водами та водоносними горизонтами, які використовуються в розкривних породах. Щоб у разі потреби можна було впливати на шахтні води, передбачені резервні свердловини для аварійного відкачування. А при запланованому підтопленні завжди забезпечується відповідна відстань до джерел питної води (150 м). Підйом шахтної води зупиняється на певному рівні за допомогою насосів і викачується на поверхню у вибраних місцях.

Необхідно розуміти, якої кількості та якості шахтні води будуть поступати в короткостроковій та довгостроковій перспективі. Питання про можливі заходи з очищення води, а також загальний вплив шахтної води на навколишнє середовище відіграють важливу роль.

При цьому для всіх колишніх гірничих площадок були розроблені індивідуальні проекти подальшого використання. Діапазон цього подальшого використання різноманітний, починаючи від об'єкта всевітньої спадщини Zollverein до житлових районів і промислових об'єктів.

Одним із найважливіших елементів поточної концепції управління шахтними водами RAG є те, що шахти мають затоплюватися контрольованим способом. Висота встановлення насоса має бути якомога нижчою, тобто має бути якомога коротшою відстань, на яку має перекачуватися вода, тому системи

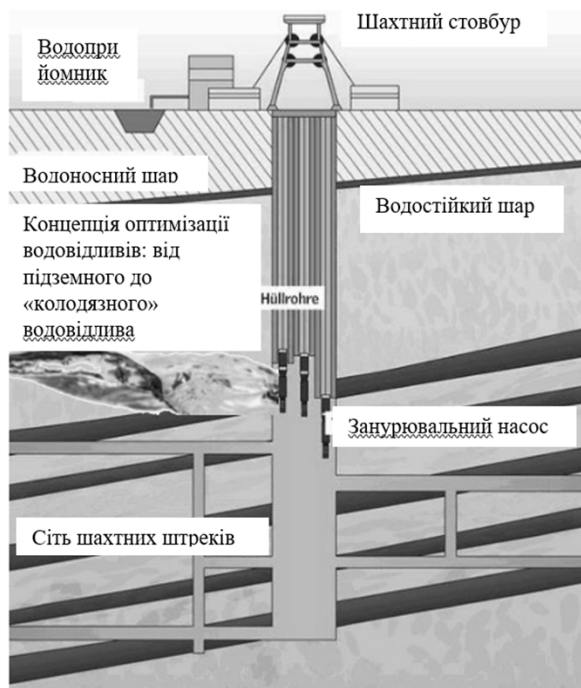


Рис. 1. Принцип роботи занурювального насосу на шахтах RAG, фото RAG

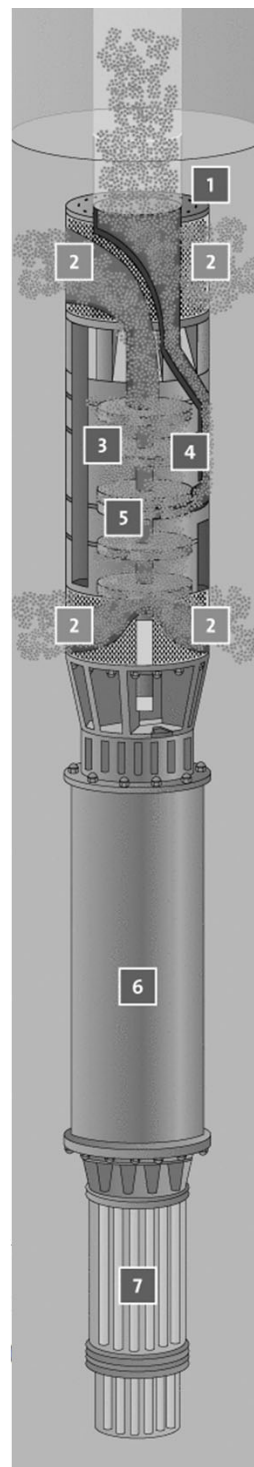


Рис. 2. Компоненти занурювального агрегата [3]

Пояснення до рисунку 2:

1. Зворотний клапан утримує колонку води над насосом після його вимкнення.
2. Шахтна вода надходить у насос через зони всмоктування у верхній і нижній частині насосного агрегату.
3. Два насоси, розташовані один над одним у протилежних напрямках, подають відповідно, половину потоку в центр насоса.
4. Кілька гідравлічних ступенів створюють необхідний тиск близько 80 бар.
5. Ступінь водовідводу об'єднує потоки шахтної води і направляє воду в стояк через зовнішні канали.
6. Відпрацьоване тепло від двигуна, який приводить в дію насос, поглинається внутрішнім контуром охолодження та виводиться назовні.
7. Крім того, теплообмінник забезпечує подальше охолодження двигуна.

водовідливів повинні бути перетворені на «системи колодязного типу» з сучасними глибинними насосами. Функціонування водовідливів «колодязного типу» подібне до садових колодязів, обладнаних насосами: у шахтних стовбурах, які RAG раніше заливала бетоном, опускають занурювальні насоси з поверхні через спеціальні труби-кожухи до рівня шахтної води. Занурювальний насос складається з насосно-моторного агрегату. Разом обидва агрегати мають довжину близько дванадцяти метрів і важать

до 20 тон. Два насоси, розташовані один над одним і в протилежних напрямках, створюють тиск.

Відкачування води буде відбуватися з поверхні. Це усуває потребу в підземних машинних відділеннях і вентиляції, що призводить до економії витрат і енергії та скорочення викидів CO<sub>2</sub>.

Оскільки шахти гідравлічно з'єднані під землею і їх можна розглядати як одну одиницю, вони об'єднані у водні провінції. За допомогою спеціальної Vox-моделі програмного забезпечення



DMT GmbH&Co. KG розраховується, у якому місці найбільш вигідно зробити центральний водовідлив «колодезного типу», який буде відкачувати воду відразу з декількох шахт.

Вох-модель – це тривимірна програма для моделювання напрямку та швидкості потоку шахтних і підземних вод, включаючи температуру, розчинені речовини та хімічні реакції. Програмне забезпечення дає змогу дискретизувати різноманітні простори потоків, визначати гнучку кількість каверн і гідрозв'язків, а також відображати турбулентні потоки. Модель вже використовувалася в проєктах у Німеччині, Іспанії, Франції, Англії, Польщі, Болгарії, ПАР та Україні.

**Концепція управління ресурсами Рурського басейну водними.** Шахтна вода в Північній Рейн-

Вестфалії скидається в Рурському регіоні у річки Рейн, Ліппе, Рур і Емшер, в районі Іббенбюрен у річку Емс (рис. 3). Об'єм шахтних вод що скидаються у поверхневі водні об'єкти становить близько 70 мільйонів метрів кубічних шахтної води на рік.

Рурська область за територіальними признаками поділяється на 4 водні зони: західну, середню, південну та східну. У 2006 році в Рурській області було двадцять підземних водовідливів. Після реалізації концепції переходу на водовідливи «колодезного типу» залишаться 6 центральних водовідливів (рис. 4): Walsum, Lohberg, Heinrich, Friedlicher Nachbar, Robert Müser, Haus Aden [4] технічні параметри яких наведені у таблиці 1.

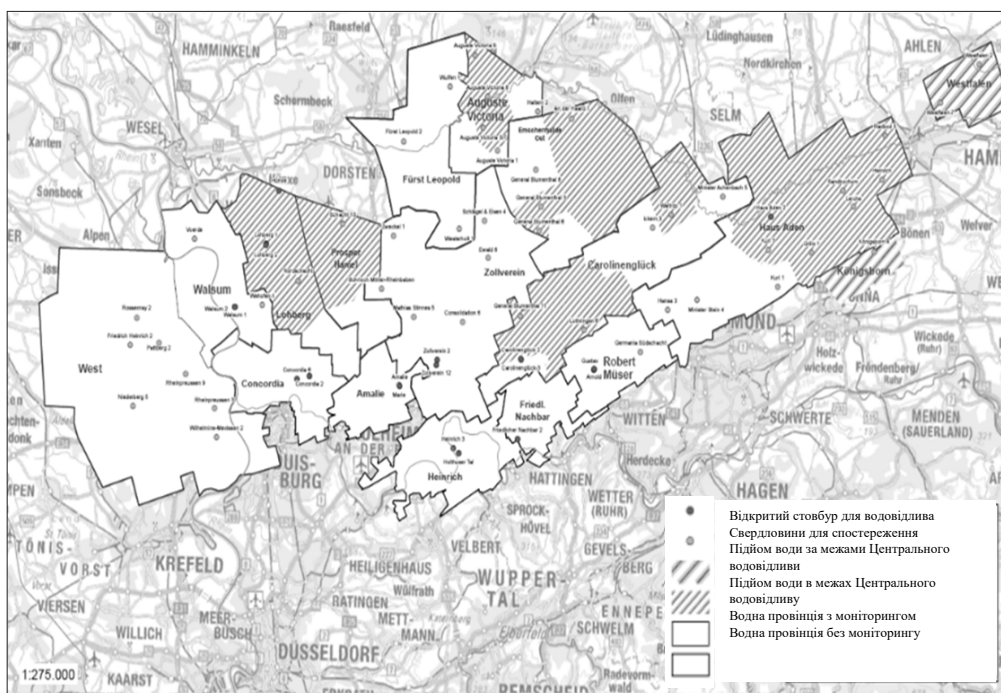


Рис. 3. Зони підйому води та зони моніторингу в Рурському басейні (станом на 07.07.2022) [3]

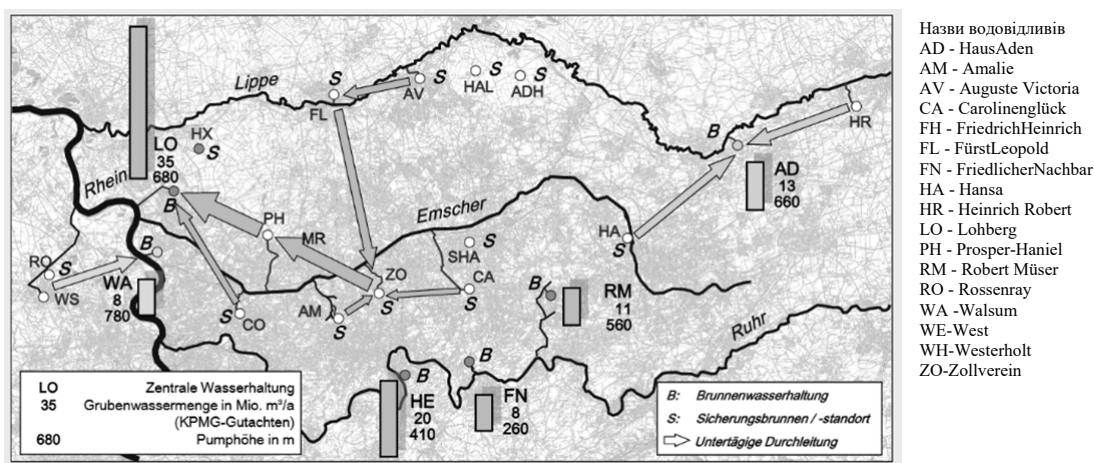


Рис. 4. Підземні гідрозв'язки, зменшення кількості площадок за рахунок центральних водовідливів та перерозподілення шахтної води [3]

Таблиця 1

## Технічні параметри різних центральних водовідливів

Центральний водовідлив (водна провінція)	Планова висота насоса, м	Плановий об'єм шахтної води, млн м <sup>3</sup> /рік	Водна зона	Скид води в річку
Walsum	780	8	захід	Рейн
Lohberg	680	35	центр	Рейн
Heinrich	410	20	південь	Рур
FriedlicherNachbar	260	8	південь	Рур
RobertMüser	560	11	південь	Рур
HausAden	660	13	схід	Ліппе

*Водна зона Захід.* Об'єкт Walsum був введений в експлуатацію в 2016 році як перший центральний водовідлив в Рурському басейні. Насосні станції Voerde, FriedrichHeinrich ½ та Rosenray ½, Friedrich Heinrich 4, насосні станції шахти West були закриті. Таким чином, центральний водовідлив Walsum став центральною системою відкачування води в західній водній зоні. Шахтні води по трубопроводу відводяться прямо в річку Рейн.

*Водна зона Центр.* У 2014 році було 5 центральних водовідливів, які забезпечували активну відкачку шахтних вод: Amalie, Concordia, Carolinenglück, Fürst Leopold і Zollverein. Після закриття шахт відпала потреба в такій кількості водовідливів. Концепція управління шахтними водами RAG передбачає подальше скорочення водовідливів, шахтна вода має поступати до водовідливу Лоберг і спрямовуватися безпосередньо у річку Рейн.

*Водна зона Південь.* Через геологічні умови тут постійно працюють 3 центральних водовідливи: Heinrich, Friedlicher Nachbarn, Robert Müse. Шахтні води через низьку мінералізацію скидаються безпосередньо у річку Рур.

*Водна зона Схід.* Два водовідливи вже виведено з експлуатації, а ділянку Haus Aden було розширено до центрального водовідливу водної провінції. У 2023 році він має запрацювати як центральний водовідлив «колодязного типу». Шахтні води скидаються в річку Ліппе.

*Концепція управління водними ресурсами басейну Саар.* Після припинення видобутку вугілля в Саарланді у 2012 році шахтна вода перекачувалась у 5 місцях (Пютлінген, Кампхаузен, Енсдорф, Реден і Луїзенталь – їх технічні характеристики наведено у табл. 2) і складала понад 17 мільйонів метрів кубічних.

Відповідно до концепції RAG до 2035 року [5] підйом води можна умовно розділити на 2 етапи: з 2012 року приблизно до 2017 року та з 2018 року до 2035 року.

На першому етапі планувалося об'єднати 5 водовідливів. Насоси водної провінції Reden були відключені, шахтна вода піднімається з –600 м над рівнем моря до –320 м над рівнем моря і тече до центрального водовідливу Duhamel (рис. 5).

На другому етапі планується припинення роботи водовідливів Luisenthal, Viktoria та Camphausen. Таким чином буде створено рівномірний рівень шахтної води для всього району Саар. При рівні води близько +190 м над рівнем моря вода потім стікає безпосередньо у річку Саар.

Після затоплення до поверхні залишається приблизно 500 м, щоб забезпечити безпечну відстань до джерел питної води. Крім того, близько 87 км річок звільняються від шахтної води: Бліз, Зінербах і Клінкенбах через встановлення центрального водовідливу Reden, Фішбах – водовідливу Camphausen, Келлербах і Шлебах – водовідливу Viktoria [6].

*Очищення ґрунтових вод в землі Північний Рейн-Вестфалія.* Як відомо, земля Північний Рейн-Вестфалія під час Другої світової війни була осередком вугільної та сталеливарної промисловості і впродовж 1944–1945 років і піддавалась дуже сильному авіабомбардуванню з боку союзників [7]. Вчені досі не можуть встановити повний обсяг негативних екологічних наслідків. Насамперед від бомбардування страждали поверхневі об'єкти шахт, хімічних та сталеливарних заводів. Інколи під час нальотів робітники були змушені виливати шкідливі речовини просто на землю, що звичайно призводило до забруднення ґрунтів та ґрунтових вод.

Таблиця 2

## Технічні параметри центральних водовідливів в землі Саар

Центральний водовідлив	Обсяг шахтних вод, млн м <sup>3</sup> /рік	Висота підйому води, м
BW Duhamel	0,2	650
BW Viktoria	1,9	400
BW Reden	13,9	900
BW Luisenthal	0,3	350
BW Camphausen	1,7	750

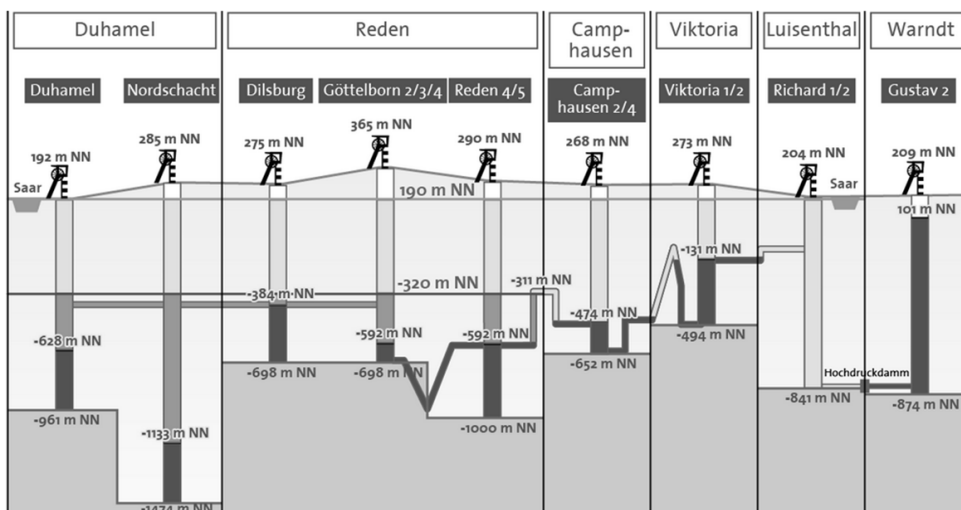


Рис. 5. Поступове затоплення водних провінцій Reden та Duhamel до рівня 190 м. Друга фаза затоплення шахт в басейні Саар

Щоб нейтралізувати подібні наслідки, такі як потрапляння шкідливих речовин в ґрунтові води, проводять заходи з їх комплексного очищення. Практична модель очищення ґрунтових вод поряд із териконом наведена на рисунку 6.

Така система очищення води застосовується там, де більша частина забруднення знаходиться під землею. Ґрунтові води перехоплюються дренажними або занурювальними насосами. Насоси передають воду в систему очищення, де активоване вугілля відфільтровує забруднюючі речовини. Очищені ґрунтові води повертають назад. Моніторингові прилади контролюють якість підземних вод на значній території в прилеглих районах. Використане активоване вугілля термічно регенерується, а потім використовується повторно. Якість очищеної води

контролюється раз на два тижні незалежним інститутом (рис. 7).

Принцип роботи станції з очищування ґрунтових вод на майданчику Хуго 2/5/8 в Гельзенкірхені: 1-й крок очищення. Ґрунтова вода, яка підлягає очищенню, надходить до адсорбера з активованим вугіллям через впускний патрубок і збірний резервуар. 2-й крок. Перший адсорбер з активованим вугіллям. Вода нагнітається знизу через перший адсорбер з активованим вугіллям. Вугілля фільтрує забруднюючі речовини. 3-й крок. Труба розводка. Ґрунтові води надходять до другого адсорбера через розводку труб. Вона регулює напрямок потоку води в системі очищення. 4-й крок. Другий адсорбер з активованим вугіллям. Другий адсорбер забезпечує повне очищення ґрунтових вод. 5-й крок. Третій адсорбер

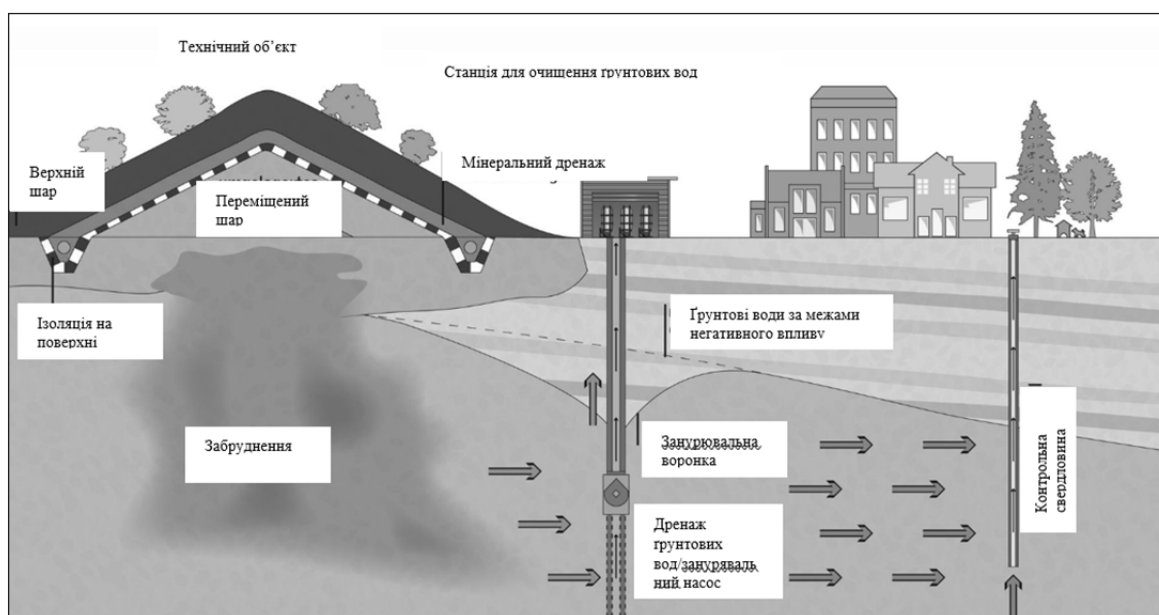


Рис. 6. Очищення ґрунтових вод [3]





Рис. 7. Система очищення ґрунтових вод на майданчику Хуго 2/5/8 в Гельзенкірхені. Енергозабезпечення за рахунок фотовольтаніки на даху [3]

з активованим вугіллям. Третій адсорбер доступний як резерв або «режим наготові» для заміни. 6-й крок. Вантажний гак. Вантажні гаки використовуються для зручності транспортування та заміни використаних адсорберів з активованим вугіллям. 7-й крок. Закінчення циклу. Відведення очищених ґрунтових вод у каналізацію.

**Висновки. Рекомендації щодо закриття шахт в Україні.** В Україні питанням трансформації/оптимізації вугільних шахт займаються приблизно з середини 1990-х років, нажаль екологічні ризики,

включаючи комплексні проблеми шахтних та ґрунтових вод.

Тому, рекомендується, вивчити та розробити власну концепцію управління шахтними водами, базуючись на прикладі «водних провінцій» RAG AG в Німеччині. Звісно, що Україні передусе довгий та складний шлях відновлення. Але для розробки подібної концепції не треба очікувати завершення війни. Всі необхідні дані, як схема розкрою шахтного поля і таке інше, є в наявності в відповідних міністерствах та установах.

#### Література

1. Оцінка екологічної шкоди та пріоритети відновлення довкілля на сході України. К.: ВАІТЕ, 2017. 88 с.
2. Ермаков В.Н., Лунова О.В., Лубенская Н.А. К вопросу реструктуризации угольной промышленности в Украине в контексте европейского опыта. *Екологічні науки*. 2021. Вип. 1(36). С. 16–21.
3. Офіційний сайт Акціонерного товариства RAG AG URL: <https://www.rag.de/>
4. Konzept zur langfristigen Optimierung der Grubenwasserhaltung der RAG Aktiengesellschaft für Nordrhein-Westfalen, Herne, August 2014. 29 p.
5. Konzept zur langfristigen Optimierung der Grubenwasserhaltung der RAG Aktiengesellschaft für das Saarland, Herne, März 2014. 21 p. URL: <https://docplayer.org/40354010-Konzept-zur-langfristigen-optimierung-der-grubenwasserhaltung-der-rag-aktiengesellschaft-fuer-das-saarland.html> (дата звернення 15.02.2023).
6. Maßnahmenkonzept Wasserprovinzen Duhamel/Reden, Essen, 29.06.2018.
7. Alan J. Levine: The strategic bombing of Germany, 1940–1945. Greenwood Publishing Group, Westport 1992, ISBN 0-275-94319-4. S. 338.