**АНОТАЦІЯ**

*Салєєв І.А.* Наукове обґрунтування раціональних рішень гірничо-технологічних задач при закритті вугільних шахт України – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття ступеня доктора філософії за спеціальністю
184 – «Гірництво», – Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», Міністерство освіти і науки України, Дніпро, 2021.

Представлена дисертація є закінченою науково-дослідною роботою, в якій приведене наукове обґрунтування і дано нове наукове та практичне вирішення важливого наукового завдання, яке полягає у встановленні закономірностей спільного пружного вісесиметричного навантаження кріплення породним масивом і гідродинамічною площинно – радіальною течією води до затоплюваного стовбура, закономірностей наростання зміщень контуру виробок з геомеханічних показником умов їх підтримки, що в поєднанні сформували наукові гірничотехнічні основи закриття вугільних шахт.

На основі проведеного аналізу літературних джерел та проєктних матеріалів закриття вугільних шахт в Європі та Україні дає підставу стверджувати, що основними проблемами є технічні, екологічні, законодавчі та фінансові, які складають єдину структуру.

У даній роботі розглядається задача мінімізації ризиків при закритті вугільних шахт України за геомеханічними, технологічними і гідрогеологічними факторами. Зокрема, встановлення закономірностей розвиту проявів гірського тиску в підземних виробках, що послідовно погашається, і розробка методики оцінки їх стану на даний час; обґрунтування параметрів технології і комплексу обладнання опріснення шахтних вод з отриманням вторинної сировини – мінеральних солей для використання у господарській діяльності; обґрунтування рекомендацій з регулювання гідравлічного режиму шахтних вод для мінімізації підтоплення земної поверхні на найближчих територіях.

За результатами досліджень впливу геомеханічного фактору при оцінці стану гірничих виробок на ухвалення рішення про доцільність їх подальшого використання проведений аналіз діючих нормативних методик і розробок з прогнозування параметрів проявів гірського тиску у виробках, що підтримуються, поза зоною впливу очисних робіт в умовах слабометаморфізованих порід.

Створено нову методику, яка базується на узагальнені результатів шахтних інструментальних спостережень з урахуванням існуючих нормативних документів при поділі геомеханічної ситуації за двома умовами: текстура й міцні властивості літотипів прилеглої вуглевмісної товщі та особливості проявів реологічних процесів розвитку її зрушень в порожнину виробки.

Розроблено алгоритм та отримано узагальнюючі графічні залежності розвитку зміщень контуру виробок, виділених в чотири основні групи за критеріями текстури й міцнісних властивостей літотипів прилеглого масиву, а також виду їх реологічних проявів: згасаюча й незгасаюча повзучість деформацій. Для кожної групи за допомогою методів кореляційно-дисперсійного аналізу отримано емпіричні формули для розрахунку зближень покрівлі й підошви виробок, їх боків залежно від геомеханічного критерію *H*/*R* умов підтримки й тривалості *t* цього періоду.

У ході проведеного експериментально-аналітичного дослідження вирішено задачу суміщення пружного вісесиметричного навантаження кріпленням породним масивом та гідродинамічною площинно-радіальною течією до стовбура. Встановлено, що гідрогеомеханічний стан навколо шахтного стовбура характеризується розвитком взаємоконкуруючих процесів нелінійного зменшення проникності навантаженого породного контуру та гідростатичного розвантаження структурних елементів водовмісних порід і фільтруючого кріплення.

Встановлені закономірності гідрогеомеханічного розвантаження кріплення стовбура в межах 0,054 – 6,12⋅105 Па близькі до міцності розтягування контакту «бетон – водовмісна порода». Цей факт є небезпечним і потребує зменшення гідродинамічного ухилу до шахтного стовбура при управлінні процесом затоплення шахт занурювальними насосами.

Розроблено й адаптовано скінчено-елементну геомеханічну модель до вирішення задач управління геофільтраційним станом гірського масиву навколо гірничих виробок на основі: емпіріоаналітичного аналізу параметрів формування проникної зони навколо гірничих виробок; чисельної алгоритмізації деформування гірських порід у часі з урахуванням позамежного знеміцнення і ослаблення міжшарових контактів; ідентифікація моделі шляхом конгруентного повторення відомих закономірностей зміни параметрів проникності гірського масиву; чисельного відтворення повзучості й лабораторного навантаження зразків на жорсткому пресі, а також виміряних і розрахункових границь.

Обґрунтовано, що по завершенню гірничих робіт на шахті ім. М.І. Сташкова почнеться процес її ліквідації шляхом природного затоплення усіх гірничих виробок протягом трьох років (за винятком стовбурів і вентиляційних свердловин) без погашення і вилучення кріплення, це забезпечить мінімальні показники втрат за економічними і часовими факторами.

Виконано науково-технічне обґрунтування опріснення шахтної води зворотнім осмосом на прикладі шахти ім. М.І. Сташкова, яка уже закривається, та розроблено технологічну схему комплексу опріснення з утилізацією відходів з отриманням товарної продукції – харчової соди (*NaHCO*3).

Установлено, що мембранна технологія опріснення шахтних вод – зворотній осмос може забезпечити питною водою населені пункти загальною кількістю людей понад 50 тисяч. Досліджені відходи опріснення, якими є хлорид кальцію (*CaCl*2) і хлорид натрію (*NaCl*), рекомендується використовувати як сировину для отримання високоякісного хімічно обложеного карбонату кальцію (*CaCO*3), що знайшов широке застосування у багатьох галузях промисловості: харчовій, медичній, косметичній, гумовотехнічній, кабельній, паперовій, лакофарбовій, хімічній у виробництві пластмас і полімерів, у сільському господарстві, будівництві та ін.

Отримані техніко-економічні результати дозволяють зробити висновок, що вода шахти ім. М.І. Сташкова після відповідної очистки цілком придатна для вживання, при цьому 1 м3 становить – 25,2 грн, що складає на 28% нижче існуючого тарифу на воду в Павлоградському районі.

Проведені техніко-економічні розрахунки дозволили отримати економічну ефективність від впровадження науково-технічних рішень, погашення гірничих виробок, регулювання гідрогеомеханічних впливів на капітальні гірничі виробки, опріснення води та утилізації їх відходів становить 112 млн грн на рік.

Були проведені експериментальні дослідження на 42 гірничих виробках шахт Добропільського і Павлоградського регіонів та розроблено відповідну методику оцінки стану виробок і доцільність їх погашення за геомеханічним фактором при закритті вугільних шахт України. Ця методика широко використовується на підприємствах.

Розроблено, затверджено та передано проєктному інституту рекомендації з визначення гідрогеомеханічних параметрів для складання проєктів закриття шахт у Західному Донбасі при повному їх затопленні.

*Ключові слова:* вугільна шахта, геомеханічні фактори, гідрогеомеханічні параметри, гірничі виробки, гірський тиск, погашення виробок, затоплення виробок, шахтна вода, опріснення води, відходи опріснення, закриття шахт.

Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації:

*Статті у наукових фахових виданнях, включених до переліку наукових
фахових видань України:*

1. Bondarenko V., Kovalevska I., Symanovych H., Barabash M. (2020). Optimization of load-bearing elements interaction of the “massif – support” system in the preparatory mine workings in the coal mining of Ukraine. *Visti Dinetskoho Hirnychoho Instytutu*, 1(46), 7-1. <https://doi.org/10.31474/1999-981x-2020-1-7-18>

*Здобувач дослідив оптимізаційні підходи взаємовпливу вантажонесучих елементів системи «масив – кріплення» з урахуванням багатофакторності процесів.*

2. Садовенко, І.О., Бондаренко, В.І., Салєєв, І.А., & Загриценко, А.М. (2021). Обгрунтування гідрогеомеханічних параметрів водорегулювання з викорстанням шахтних стовбурів при закритті шахт. *Збірник наукових праць НГУ*, (64), 55-67. <https://doi.org/10.33271/crpnmu/64.055>

*Здобувачем вирішена задача суміщення пружного вісесиметричного навантаження кріплення породним масивом та гідродинамічною площинно-радіальною течією до стовбура.*

3. Салєєв, І.А. (2021). Опріснення шахтних вод при закритті шахти ім. М.І. Сташкова ПрАТ «ДТЕК Павлоградвугілля». *Збірник наукових праць НГУ*, (66), 33-45.

*Статті у виданнях інших держав, що індексуються в наукометричній базі
даних Scopus і Web of Science:*

4. Bondarenko, V., Symanovych, H., Kicki J., Barabash, M., & Salieiev, I. (2019). The influence of rigidity of the collapsed roof rocks in the mined out space on the state of the preparatory mine workings. *Mining of Mineral Deposits*, *13*(2), 27-33. <https://doi.org/10.33271/mining13.02.027>

*Здобувач виконав дослідження для оптимізації параметрів підтримання підготовчих виробок при їх повторному використанні з метою пошуку раціональних параметрів комбінованої анкерної системи.*

5. Bondarenko V., Kovalevska I., Husiev O., Snihur V., & Salieiev, I. (2019). Concept of workings reuse with application of resource-saving bolting systems. *E3S Web of Conferences*, (133), 02001. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201913302001>

*Здобувач провів серію багатоваріантних обчислювальних експериментів з метою визначення раціональних параметрів установлення комбінованої анкерної системи залежно від гірничо-геологічних умов підтримки виїмкової виробки.*

6. Bondarenko V., Symanovych, H., Barabash M., Husiev O., & Salieiev, I. (2020). Determining patterns of the geomechanical factors influence on the fastening system loading in the preparatory mine workings. *Mining of Mineral Deposits*, *14*(1), 44-50. <https://doi.org/10.33271/mining14.01.044>

*Здобувач провів аналіз напружено-деформованого стану системи «масив – кріплення» і нормативної документації з розрахунку кріплення підготовчих виробок для визначення закономірностей зв’язку параметрів кріплення системи з основними геомеханічними факторами.*

7. Bondarenko V., Kovalevska, I., Symanovych H.,Barabash M., & Salieiev I. (2021). Principles for certain geomechanics problems solution during overworking of mine workings. *E3S Web of Conferences*, (280), 01007. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202128001007>

*Здобувачем обґрунтовано й розкрито особливості побудови геомеханічних моделей надробки гірничих виробок.*

8. Salieiev, I.A., Bondarenko, V.I., Symanovych, H.A., & Kovalevska, I. (2021). Development of a methodology for assessing the expediency of mine workings decommissioning based on the geomechanical factor. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, (4), 10-16. <https://doi.org/10.33271/nvngu/2021-4/010>

*Здобувач обґрунтував можливість послідовної ліквідації виробок при групуванні гірничо-геологічних умов та навів приклад розрахунку зміщень порід у виробці при її ліквідації.*

9. **Barabash,** M., **Salieiev,** I., & **Symanovych,** H. (2021). Technical and technological aspects of the coal mine closure based on the geomechanical component assessment. *Mining of Mineral Deposits*, *15*(3), 7-15. <https://doi.org/10.33271/mining15.03.007>

*Здобувач створив комплексну методику оцінки стану виробок на базі аналізу закономірностей зсуву її контуру при вирішенні задачі мінімізації ризиків при закритті вугільних шахт України.*

10. Kovalevska, I., Bondarenko, V., Salieiev, I., & Barabash, M. (2021). Optimization approaches when calculating the “massif – innovative fastening parameters” spatial system. *Chaotic Modeling and Simulation*. Athens, Greece.

*Здобувач науково обґрунтував принципи та методи ресурсозберігаючого підвищення стійкості на основі мінімізації інтенсивності прояву гірського тиску регульованими режимами робіт інноваційних кріпильних систем.*

*Матеріали міжнародних наукових конференцій:*

11. Бондаренко, В., Салєєв, І., & Черняк, В. (2019). Забезпечення ефективності програм розвитку гірничодобувних підприємств на основі проектного підходу. *Українська школа гірничої інженерії*: тези доп. (с. 3-4). Бердянськ, Україна. <https://doi.org/10.33271/usme13.003>

*Здобувач обґрунтував прив’язку проєктів до стратегічних параметрів розвитку підприємства.*

12. Бондаренко, В., Салєєв, І., Шека, І., & Цівка, Є. (2020). Обгрунтування використання композитних матеріалів для підвищення стійкості гірничих виробок. *Українська школа гірничої інженерії*: тези доп. (с. 25-26). Бердянськ, Україна. <https://doi.org/10.33271/usme14.025>

*Здобувач обґрунтував забезпечення стійкості гірничих виробок комбінованими способами кріплення за рахунок використання нових інноваційних технологій.*

13. Бондаренко, В., Салеев, И., & Симанович, Г. (2021). Оценка последствий закрытия шахт с учетом мировых и отечественных тенденций. *Українська школа гірничої інженерії*: тези доп. (с. 1-2). Бердянськ, Україна. [*https://doi.org/10.33271/usme15.001*](https://doi.org/10.33271/usme15.001)

*Здобувачем розглянуто завдання мінімізації ризиків закриття вугільних шахт України за геомеханічними, технологічними та гідрогеологічними факторами на основі встановлених закономірностей проявів гірничого тиску, процесу опріснення шахтних вод та гідравлічних режимів водоприток.*

**ABSTRACT**

*Salieiev I.A.* Scientific substantiation of rational solutions for mining and technological problems during the closure of coal mines in Ukraine – Qualifying scientific work as a manuscript.

Dissertation submitted for the degree of Doctor of Philosophy in the specialty
184 – “Surface Mining”, – Dnipro University of Technology, Ministry of Education and Science of Ukraine, Dnipro, 2021.

The presented dissertation is a completed scientific-research work, which provides a scientific substantiation and also gives a new research and practice solution to an important scientific task. This task is to determine the patterns of the combined elastic axisymmetric load of timbering with the rock mass and the hydrodynamic plane-radial flow of water into the flooded shaft, as well as the patterns of the increase in mine working contour displacements with a geomechanical indicator of the conditions for their maintainance. All this together has formed a scientific mining-engineering base for the closure of coal mines.

Based on the analysis of literature sources and project documentation for the closure of coal mines in Europe and Ukraine, it can be argued that the main problems, namely, technical, environmental, legislative and financial, constitute a single structure.

This research deals with the problem of minimizing the risks of closing coal mines in Ukraine in terms of geomechanical, technological and hydrogeological factors. In particular, it is aimed at determining the patterns of the rock pressure manifestation development in underground mine workings, which are consistently decommissioned, and the development of a methodology for assessing their state at the present time; substantiating the parameters for the technology and complex of equipment for desalination of mine waters with the production of secondary raw materials – mineral salts for use in economic activities; substantiating the recommendations for regulating the hydraulic regime of mine waters to minimize waterlogging of the earth's surface in the adjacent area.

Based on the research results of the geomechanical factor influence, when assessing the state of mine workings and making a decision on the feasibility of their further use, an analysis has been performed of the existing regulatory methods and developments for predicting the parameters of rock pressure manifestations in mine workings maintained outside the zone of stope operations influence in conditions of weakly metamorphosed rocks.

A new methodology has been created based on the generalization of the results of mine instrumental observations, taking into account the existing regulatory documents when dividing the geomechanical situation according to two conditions: texture and strength properties of lithotypes in the adjacent coal-bearing stratum and peculiarities of the rheological process manifestations of its displacement development into the mine working cavity.

An algorithm has been developed and generalizing graphical dependences of the displacements development in the mine working contour have been obtained. The latter are divided into four main groups according to the criteria of the textural and strength properties of the lithotypes in the adjacent mass, as well as the type of their rheological manifestations: decaying and persistent deformation creep. For each group, using the methods of correlation-dispersive analysis, empirical formulas have been determined for calculating the convergence of the roof and bottom of mine workings, as well as their sides, depending on the geomechanical criterion *H*/*R* of the maintenance conditions and the duration *t* of this period.

In the course of the analytical and experimental research, the problem of combining an axisymmetric load of timbering with the rock mass and the hydrodynamic plane-radial flow to the shaft has been solved. It has been determined that the hydrogeomechanical state around the mine shaft is characterized by the development of mutually competing processes of nonlinear decrease in the permeability of the loaded rock contour and hydrostatic unloading of structural elements of water-bearing rocks and filtering structure.

The determined patterns of hydrogeomechanical unloading of the shaft timbering in the range of 0.054 – 6.12⋅105 Pa are close to the tension strength of the “concrete - water-bearing rock” contact. This fact is dangerous and requires a decrease in the hydrodynamic slope to the mine shaft when managing the process of mine flooding with submersible pumps.

A finite element geomechanical model has been developed and adapted to solving the problems of controlling the geofiltration state of the rock mass around the mine workings on the basis of: empirical-analytical analysis of the parameters of the permeable zone formation around mine workings; numerical algorithmization of rock deformation in time, taking into account the extreme softening and weakening of interlayer contacts; identification of the model by congruent repetition of the known patterns of changes in the parameters of the rock mass permeability; numerical reproduction of creeping and laboratory load of samples on a rigid press, as well as measured and calculated boundaries.

It has been substantiated that upon completion of mining operations at the Stashkov Mine of DTEK Pavlohradcoal PRJSC, the process of its liquidation will begin by natural flooding of all mine workings within three years (with the exception of shafts and ventilation holes) without removal of the support. This will ensure minimal losses in terms of economic and time factors.

A scientific-technical substantiation of reverse osmosis desalination of mine water has been performed using the example of the Stashkov Mine, which is already being closed, and a technological scheme of a desalination complex with waste disposal to obtain a commercial product, baking soda (*NaHCO*3), has been developed.

It has been determined that the membrane technology of mine water desalination, such as reverse osmosis, can provide drinking water to settlements with a total number of more than 50 thousand people. The studied desalination wastes, represented by calcium chloride (*CaCl*2) and sodium chloride (*NaCl*), are recommended to be used as raw materials for obtaining high-quality chemically-deposited calcium carbonate (*CaCO*3). The latter is widely used in many industries: food, medical, cosmetic, rubber, cable, paper, paint and varnish, chemical, as well as in the production of plastics and polymers, in agriculture, construction, etc.

The obtained technical and economic results lead to a conclusion that the water of the Stashkov Mine after proper treatment is quite suitable for consumption. In such a case, 1 m3 is UAH 25.2, which is 28% lower than the existing water tariff in Pavlohrad district.

The technical and economic calculations make it possible to obtain economic efficiency from the introduction of scientific-technical solutions when closing mine workings, which leads to the regulation of hydrogeomechanical effects on capital mine workings, desalination of water and disposal of their waste, which amounts to UAH 112 million per year.

Experimental researches in 42 mine workings of mines in Dobropil and Pavlohrad regions have been conducted. As a consequence, a corresponding methodology has been developed for an assessment of a state of mine workings and expediency of their closure based on a geomechanical factor of closing the coal mines in Ukraine. This methodology is widely used at enterprises.

Recommendations on the determination of hydrogeomechanical parameters for the preparation of projects for the closure of mines in the Western Donbass with their complete flooding have been developed, approved and submitted to the design institute.

*Keywords:* coal mine, geomechanical factors, hydrogeomechanical parameters, mine workings, rock pressure, decommissioning of mine workings, flooding of mine workings, mine water, desalination of water, desalination wastes, mine closure.