

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
«ДНІПРОВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»

Кваліфікаційна наукова праця  
на правах рукопису

**Крячек Віталій Павлович**

УДК 622.271.32/.33

ДИСЕРТАЦІЯ

**ОБҐРУНТУВАННЯ ЕФЕКТИВНИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ СХЕМ  
ВИДОБУТКУ НЕРУДНОЇ БУДІВЕЛЬНОЇ СИРОВИНИ**

184 – «Гірництво»

Подається на здобуття наукового ступеня доктора філософії

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей,  
результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

\_\_\_\_\_ В.П. Крячек

Науковий керівник  
доктор технічних наук, професор  
Собко Борис Юхимович

Дніпро 2026

## АНОТАЦІЯ

*Крячек В.П.* Обґрунтування ефективних технологічних схем видобутку нерудної будівельної сировини. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 184 – «Гірництво», - Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», Міністерство освіти і науки України, Дніпро, 2025.

За результатами аналізу наукових джерел встановлено, що попит на щебенева продукцію почав збільшуватися, що пов'язано з розвитком будівельної галузі в країні, аж до військової агресії проти України. Не дивлячись на військові дії сьогодні спостерігається збільшення попиту і обсягів виробництва щебеневої продукції, що пов'язано з активізацією будівельних робіт в значній кількості обласних центрів. Очевидно, що у післявоєнний період буде передбачатися позитивна тенденція підвищення продуктивності підприємств в галузі видобутку будівельних матеріалів з метою забезпечення відновлення зруйнованої та створення нової інфраструктури країни.

Щебенева продукція різної фракційності використовується в будівництві, а також як наповнювач бетону, складова покриття автомобільних доріг, для баластування залізничних колій та в багатьох інших галузях і напрямках економіки країни.

На території України розвідано понад 1300 родовищ скельної нерудних корисних копалин, що слугують сировинною базою для виробництва будівельних матеріалів, було-щебеневої продукції. Здебільшого родовища приурочені до Українського кристалічного щита.

Не зважаючи на великий попит на щебеневі матеріали на будівельному ринку, більшість сучасних кар'єрів вже досягла економічно доцільних глибин, що унеможлиблює їх експлуатацію за старими технологічними схемами. Тому підвищується актуальність теми використання мобільних дробильно-сортувальних комплексів при відпрацюванні кар'єрів будівельної сировини, що передбачає обґрунтування ефективних параметрів технологічних схем з

урахуванням впливу поточної глибини розробки і продуктивної потужності підприємств.

В наш час багато існуючих підприємств з виготовлення щебеневої продукції в країні стикаються з технологічними складнощами, що пов'язані з тривалим терміном експлуатації, застарілим гірничим обладнанням і досягненням критичних значень глибин розробки. У зв'язку зі збільшенням глибини розробки понад 100 – 120 м виникають складнощі із застосуванням транспортної системи розробки, що обумовлені високими експлуатаційними витратами на перевезення корисної копалини з вибоїв на поверхню кар'єру та негативний впливом на навколишнє середовище у зв'язку зі значними викидами забруднюючих речовин при використанні техніки з двигунами внутрішнього згорання.

Досвід експлуатації кар'єрів з видобутку нерудної будівельної сировини дозволяє стверджувати, що одним з найбільш ефективних рішень для зниження собівартості розробки є застосування мобільних дробильно – сортувальних (МДСУ) на концентраційному горизонті в середині кар'єру де в подальшому відбувається перевантаження готової щебеневої продукції постачальникам.

У зв'язку з цим в дисертаційні роботі вирішувалась актуальна науково-практична задача обґрунтування ефективних технологічних схем видобутку нерудної будівельної сировини з використанням мобільних дробильно - сортувальних комплексів на робочих майданчиках кар'єра.

Для досягнення мети були проаналізовані основні можливі технологічні схеми розробки родовищ міцних корисних копалин нерудної мінеральної сировини, що дозволило розглянути можливість застосування транспортної системи розробки з використанням автосамоскидів, циклічно – потокову технологію з використанням конвеєрних підйомників та мобільних дробильно - сортувальних установок на робочих майданчиках кар'єра. Завдяки дослідженням визначені найбільш ефективні технологічні схеми за змінної глибини кар'єра та продуктивності гірничого підприємства.

Проведено обґрунтування ефективних параметрів елементів системи розробки родовищ будівельної нерудної сировини за транспортною, циклічно-поточною системою розробки та застосування технологічної схеми з розташуванням мобільної дробально – сортувальної установки на робочих майданчиках кар'єру.

Встановлено, що найбільш ефективним технологічним рішенням є застосування циклічно-поточної технології відпрацювання кар'єру з розташуванням концентраційного горизонту на другому уступі від дна кар'єру. Це дозволяє зменшити відстань транспортування гірничої маси на поверхню кар'єру в 1,9 рази при глибині кар'єру 150 м та призводить до зменшення кількості автосамоскидів в роботі в 2 рази.

Досліджено вплив глибини розробки нерудного родовища на відстань транспортування корисної копалини від вибою до дробарної фабрики в залежності від застосування різних технологічних схем при транспортній системі розробки, циклічно – потоковій технологічній схемі та при застосуванні мобільно – дробильної установки в кар'єрі. Встановлено, що застосування циклічно-поточної технології відпрацювання кар'єру з розташуванням концентраційного горизонту на другому уступі від дна кар'єру дозволяє зменшити відстань транспортування гірничої маси на поверхню кар'єру в 1,9 рази при глибині кар'єру 150 м; а при застосуванні МДСУ, середньозважена відстань транспортування зменшується у 3,4 рази, за рахунок можливості завантаження товарної продукції на концентраційному горизонті кар'єру.

Встановлено залежності питомих витрат виготовлення щебеневої продукції від глибини розробки родовища і продуктивної потужності кар'єру при використанні технологічних схем ТСП, ЦПТ і МДСУ для відпрацювання кар'єру будівельної сировини.

Були розраховані та встановлені показники циклічної та циклічно-поточної технологій розробки нерудного кар'єру з використанням різних комбінацій автомобільного і конвеєрного транспорту, а також застосування МДСУ на концентраційному горизонті кар'єру дозволяють визначити, що

найбільш ефективною за показником загальної відстані транспортування гірничої маси на поверхню кар'єру є схема розробки з використанням МДСУ.

Доведено, що відповідно до показника загальної дисконтованої вартості грошових потоків технологічна схема МДСУ є найбільш привабливою в діапазоні глибини кар'єру 50 – 150 м. Встановлено, що ефективність схеми МДСУ за цим показником є кращою у порівнянні зі схемами ТСР і ЦПТ відповідно на 19 і 26 % при глибині кар'єру 50 м. При зростанні глибини кар'єру зі 100 до 150 м ефективність схеми МДСУ за показником загальних грошових потоків буде в понад 5,2 разів перевершувати показники розглянутих схем.

Проведені дослідження впливу глибини розробки родовища на показник загальної вартості грошових потоків при застосуванні розглянутих схем. Визначено, що використання схеми МДСУ у порівнянні зі схемами ТСР і ЦПТ при глибині розробки кар'єру 50 м є більш ефективним на 17 і 28 %, відповідно. У той же час при зростанні глибини кар'єру до 150 м, ефективність технологічної схеми МДСУ за показником загального прибутку підприємства суттєво зростає, і у 2,0 та 3,5 разів перевершує схеми ЦПТ і ТСР, відповідно.

За результатами дослідження були розроблені рекомендації по застосуванню ефективних технологічних схем розробки родовищ нерудної мінеральної сировини за потужністю гірничого підприємства від 0,4 до 1,6 млн/м<sup>3</sup> при змінній глибині кар'єрів від 50 до 150 м.

Ключові слова: *родовища нерудної мінеральної сировини, гірничі роботи, кар'єр, параметри системи розробки, технологічні схеми розробки, циклічно – поточна розробка, мобільна дробильно – сортувальна установка, гірничотранспортне обладнання.*

Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації:

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

1. Собко Б.Ю., Крячек В.П. Встановлення оптимальних параметрів системи розробки Пинязевицького родовища гранітів // Збірник наукових праць НГУ, 2022 № 71. – С.17-28. <https://doi.org/10.33271/crpnmu/71>.

*Здобувач розрахував та встановив оптимальні параметри системи розробки Пинязевицького родовища гранітів.*

2. Собко Б.Ю., Гриценко Л.С., Крячек В.П. Обґрунтування застосування мобільних дробильно-сортувальних комплексів на кар'єрах із видобутку твердих нерудних корисних копалин // Збірник наукових праць НГУ, 2023. – № 72. – С. 1-7. <https://doi.org/10.33271/crpnmu/72>.

*Здобувач провів аналіз умов та особливостей застосування мобільних дробильно-сортувальних комплексів на кар'єрах із видобутку нерудної мінеральної сировини.*

3. Собко Б.Ю., Чебанов М.О., Армановський О.Ю., Крячек В.П. Обґрунтування застосування фрезерних комбайнів на кар'єрах із видобутку нерудних корисних копалин // Збірник наукових праць НГУ, 2024. – № 76. – С. 1-7. <https://doi.org/10.33271/crpnmu/76>.

*Здобувач встановив параметри елементів системи розробки родовища нерудних корисних копалин*

*Статті у періодичних наукових виданнях з високим цитуванням «Scopus» інших держав, які входять до Організації економічного співробітництва та розвитку та/або Європейського Союзу, з наукового напрямку, за яким підготовлено дисертацію здобувача:*

4. Sobko, B.Yu., Lozhnikov, O.V., Chebanov, M.O., Kriachek, V.P. Establishing the influence of the quarry depth on the indicators of cyclic flow technology during the development of non-ore deposits Natsional'nyi Hirnychi

Universytet. Naukovyi Visnyk 1 (2024): 5-12. <https://doi.org/10.33271/nvngu/2024-1/005>.

*Здобувач дослідив вплив глибини кар'єру на середню відстань транспортування при циклічній та потоковій технології при розробці нерудних родовищ.*

5. Sobko, B., Lozhnikov, O., & Kriachek, V. (2024). Assessment of the using a mobile crushing and sorting plant investment attractiveness at the development of construction material quarries. *Mining of Mineral Deposits*, 18(4), 34-44. <https://doi.org/10.33271/mining18.04.034>.

*Здобувач дослідив вплив глибини розробки родовища нерудної мінеральної сировини на показник загальної вартості грошових потоків при застосуванні розглянутих технологічних схем.*

6. Sobko, B., Lozhnikov, O., Kriachek, V., Chebanov, M. (2025). Technical and economic indicators of the mobile crushing and sorting plants using in granite quarries. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2025, 1481(1), 012009. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1481/1/012009> .

*Здобувач провів дослідження зі встановлення ефективності технологічної схеми розробки родовищ будівельних матеріалів із застосуванням мобільного дробильно-сортувального комплексу (МДСУ).*

7. Sobko B., Lozhnikov O., Chebanov M., Kriachek V. (2025). Selection of an aggregate quarry mining technology with variable depth and productivity based on cost price. *Natsional'nyi Hirnychyi Universytet. Naukovyi Visnyk* 5 (2025): 41-50. <https://doi.org/10.33271/nvngu/2025-5/041 - Q3>.

*Здобувач встановив залежності собівартості видобутку мінеральної нерудної сировини при змінній глибині та виробничій продуктивності кар'єра.*

*Матеріали наукових конференцій:*

8. Крячек В.П., Собко Б.Ю. Застосування мобільних дробильно - сортувальних установок при освоєнні родовищ твердих нерудних корисних копалин. Всеукраїнська науково-практична конференція «Сучасні проблеми

гірництва та будівництва», 23 листопада 2023 р. Житомир.  
<https://conf.ztu.edu.ua/wp-content/uploads/2024/01/povnyj-tekst-3.pdf> збірник с.31-32.

*Здобувач проаналізував переваги та недоліки застосування технологічних схем розробки нерудних родовищ.*

## ABSTRACT

*Kriachek V.P.* Justification of Efficient Technological Flow Sheets for the Extraction of Non-Metallic Construction Raw Materials. – Qualifying scientific work in the form of a manuscript.

Dissertation for obtaining the Doctor of Philosophy (PhD) degree in specialty 184 – "Mining". – National Technical University "Dnipro Polytechnic", Ministry of Education and Science of Ukraine, Dnipro, 2025.

According to the results of the analysis of scientific sources, the demand for aggregates began to increase due to the development of the construction industry in the country, up until the military aggression against Ukraine. Despite the ongoing hostilities, there is currently a growing demand and production volume of aggregates, which is associated with the intensification of construction activities in a significant number of regional centers. It is evident that in the post-war period, a positive trend in increasing the productivity of enterprises in the construction materials extraction sector is expected, in order to support the restoration of destroyed infrastructure and the creation of new infrastructure across the country.

Aggregates of various fractions are used in construction, as concrete aggregate, as a component of road pavement, for railway track ballast, and in many other sectors and areas of the national economy.

More than 1,300 deposits of non-metallic minerals have been explored in Ukraine, forming the raw material base for the production of building materials and aggregates. Most of these deposits are located within the Ukrainian Shield.

Despite the high demand for aggregates in the construction market, most modern quarries have already reached economically feasible depths, making it impossible to continue their operation using outdated mining flowsheets. Therefore, the relevance of using mobile crushing and screening plants in the development of construction material quarries is increasing. This approach requires the justification of efficient parameters for technological flow sheets, taking into account the current mining depth and the production capacity of the enterprises.

Today, many existing aggregates plants in the country face technological challenges related to long-term operation, outdated mining equipment, and the achievement of critical quarry depths. As the mining depth exceeds 100–120 meters, difficulties arise with the application of conventional transport systems due to high operating costs for hauling materials from the pit bottom to the surface, as well as the negative environmental impact caused by significant emissions from machinery powered by internal combustion engines.

The experience of operating quarries for the extraction of non-metallic construction materials shows that one of the most effective solutions for reducing production costs is the use of mobile crushing and screening plants (MCSPs) at the processing level within the quarry, where the subsequent loading of aggregates for delivery to customers takes place.

In this regard, the dissertation addresses a relevant scientific and practical task — the justification of efficient technological flow sheets for the extraction of non-metallic construction materials using mobile crushing and screening plants at the working levels of the quarry.

To achieve this goal, the main possible mining flowsheets for the development of deposits of hard non-metallic mineral resources were analyzed. This made it possible to consider the feasibility of applying various mining transport systems, including the use of haul trucks, cyclic-flow technology with conveyors, and mobile crushing and screening plants at the working levels of the quarry. As a result of the research, the most efficient technological flow sheets were identified, depending on the variable quarry depth and the production capacity of the mining plant.

The study provides a justification of the optimal parameters for the elements of the mining system used in the development of non-metallic construction material deposits, including transport-based systems, cyclic-flow systems, and mining flowsheets involving the placement of mobile crushing and screening plants at the working levels of the quarry.

It has been established that the most efficient technological solution is the application of a cyclic-flow mining system with the processing level positioned on

the second bench above the bottom of the quarry. This approach reduces the haul distance of the raw materials to the quarry surface by 1.9 times at a quarry depth of 150 meters and decreases the number of haul trucks required by half.

The influence of the depth of the development of a non-metallic deposit on the distance of transportation of minerals from the face to the crushing plant was studied depending on the use of different mining flowsheets in the development transport system, the cyclic-flow flowsheet and the use of a mobile crushing and screening plant in the quarry. It was established that the use of a cyclic-flow mining system with the processing level positioned on the second bench above the bottom of the quarry reduces the haul distance to the quarry surface by 1.9 times at a depth of 150 meters. Moreover, the application of a mobile crushing and screening plant (MCSP) enables a 3.4-fold reduction in the average haul distance, due to the possibility of loading marketable products directly at the processing level within the quarry.

The dependence of the aggregates production cost on the depth of the deposit development and production capacity of the quarry depending on the applied mining flowsheets — transport-based systems (TBS), cyclic-flow technology (CFT), and mobile crushing and screening plants (MCSPs) for quarrying construction materials has been established.

The performance indicators of cyclic and cyclic-flow mining technologies for non-metallic quarries were calculated and analyzed, considering various combinations of truck and conveyor transport. The application of mobile crushing and screening plants (MCSPs) at the quarry's processing level demonstrated that the most efficient flowsheet in terms of the total haul distance of the mined material to the quarry surface is the one involving MCSPs.

It has been proven that, based on the total discounted cash flow indicator, the technological flowsheet involving mobile crushing and screening plants (MCSPs) is the most attractive option within the quarry depth range of 50 to 150 meters. It was found that the efficiency of the MCSP flowsheet exceeds that of the transport-based system (TBS) and cyclic-flow technology (CFT) by 19% and 26%, respectively, at a quarry depth of 50 meters. As the depth increases from 100 to 150 meters, the total

cash flow efficiency of the MCSP flowsheet surpasses the corresponding indicators of the other flowsheets by more than 5.2 times.

Studies were conducted to assess the impact of quarry depth on the total cash flow value for the evaluated mining flowsheets. It was determined that the use of the MCSP (mobile crushing and screening plants) flowsheet is more efficient than the TBS (transport-based system) and CFT (cyclic-flow technology) flowsheets by 17% and 28%, respectively, at a quarry depth of 50 meters. Moreover, as the quarry depth increases to 150 meters, the efficiency of the MCSP flowsheet in terms of the enterprise's total profit grows significantly, exceeding the performance of the CFT and TBS flowsheets by 2.0 and 3.5 times, respectively.

Based on the research results, recommendations were developed for the application of efficient mining flowsheets for the development of non-metallic mineral deposits, depending on the mining enterprise's production capacity (ranging from 0.4 to 1.6 million m<sup>3</sup>) and varying quarry depths from 50 to 150 meters.

*Keywords: non-metallic mineral deposits, mining operations, quarry, mining system parameters, mining flowsheets, cyclic-flow mining, mobile crushing and screening plant, mining and haulage equipment.*

## ЗМІСТ

<b>ВСТУП</b> .....	15
<b>1. СУЧАСНИЙ СТАН, АНАЛІЗ НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ВІДКРИТОЇ РОЗРОБКИ НЕРУДНИХ РОДОВИЩ КОРИСНИХ КОПАЛИН, ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ ДОСЛІДЖЕНЬ</b> .....	20
1.1. Аналіз гірничо-геологічних особливостей нерудних родовищ корисних копалин.....	20
1.2. Особливості розробки родовищ будівельної мінеральної сировини.....	25
1.3. Аналіз наукових досліджень з обґрунтування технології відкритої розробки нерудних корисних копалин.....	43
1.4. Ціль, задачі та методи дослідження .....	49
<b>2. ОБҐРУНТУВАННЯ ЕФЕКТИВНИХ ПАРАМЕТРІВ ЕЛЕМЕНТІВ СИСТЕМИ РОЗРОБКИ РОДОВИЩ БУДІВЕЛЬНОЇ НЕРУДНОЇ СИРОВИНИ</b> .....	51
2.1. Обґрунтування ефективних параметрів транспортної системи розробки родовища при розташуванні дробильного комплексу на поверхні кар'єру .....	51
2.2. Встановлення ефективних параметрів системи розробки при розташуванні мобільного дробильного комплексу на робочих майданчиках в кар'єрі .....	62
2.3. Визначення ефективних параметрів елементів системи розробки при використанні мобільної дробильно-сортувальної установки на концентраційному горизонті кар'єру .....	67
Висновки до розділу 2 .....	73
<b>3. ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ СХЕМ ОСВОЄННЯ РОДОВИЩ НЕРУДНИХ КОРИСНИХ КОПАЛИН</b> .....	75
3.1. Розробка методики визначення техніко-економічних параметрів ефективності застосування технологічних схем.....	75
3.2. Обґрунтування техніко-економічних показників виготовлення щєбеневої продукції за технологічною схемою з використанням автотранспорту і стаціонарної дробарки на борту кар'єру.....	78

3.3. Обґрунтування ефективних параметрів виготовлення щебеневої продукції за технологічною схемою з використанням циклічно-поточної технології та стаціонарної дробарки на борту кар'єру .....	84
3.4. Встановлення ефективних параметрів виготовлення щебеневої продукції за технологічною схемою з використанням мобільної дробильно-сортувальної установки .....	87
3.5. Встановлення впливу продуктивності гірничого підприємства на собівартість виготовлення щебеневої продукції.....	90
3.6. Розробка рекомендацій щодо впровадження ефективних технологічних схем розробки нерудної мінеральної сировини при змінній глибині кар'єра ..	101
Висновки до розділу 3 .....	107
<b>4. ОЦІНКА ІНВЕСТИЦІЙНОЇ ПРИВАБЛИВОСТІ ТЕХНОЛОГІЧНИХ СХЕМ З ВИКОРИСТАННЯМ МОБІЛЬНИХ ДРОБИЛЬНО-СОРТУВАЛЬНИХ УСТАНОВОК.....</b>	<b>109</b>
4.1. Визначення дисконтованих грошових потоків при розробці кар'єрів нерудних матеріалів .....	110
4.2. Встановлення терміну окупності інвестицій при застосуванні різних технологічних схем розробки родовища.....	122
4.3. Дослідження впливу глибини розробки родовища на ефективність технологічних схем за показниками дисконтованої вартості грошових потоків, чистого доходу підприємства NPV і терміну окупності інвестицій ...	129
Висновки до розділу 4 .....	134
<b>ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....</b>	<b>137</b>
Список використаних джерел .....	139
Додатки.....	146
Додаток А. Акт впровадження результатів дисертаційної роботи у проектний інститут «Гірхімпром».....	146
Додаток Б. Акт впровадження результатів дисертаційної роботи у гірничий відділ кар'єру АТ «Малинський каменедробильний завод» .....	148

## ВСТУП

**Актуальність теми.** На території України розвідано понад 1300 родовищ скельної нерудних корисних копалин, що слугують сировинною базою для виробництва будівельних матеріалів, буто-щебеневої продукції. Здебільшого родовища приурочені до Українського кристалічного щита.

Щебенева продукція різної фракційності використовується в будівництві, а також як наповнювач бетону, складова покриття автомобільних доріг, для баластування залізничних колій та в багатьох інших галузях і напрямках економіки країни.

Починаючи з 2016 року попит на щебенеvu продукцію почав збільшуватися, що пов'язано з розвитком будівельної галузі в Україні. Наприклад, у 2018 році виробництво щебеню склало майже 82 млн т, що на 9,2 % більше ніж у 2014 році.

Розробка кар'єрів будівельної сировини в Україні має стратегічне значення у контексті повоєнної відбудови великої кількості зруйнованих об'єктів інфраструктури і приватного житла

Не зважаючи на розвинену мережу кар'єрів нерудної сировини, сотні існуючих підприємств з виготовлення щебеневої продукції в країні стикаються з технологічними складнощами, що пов'язані з тривалим терміном експлуатації, застарілим устаткуванням і досягненням критичних значень глибин розробки. У зв'язку зі збільшенням глибини розробки понад 100 – 120 м виникають складнощі із застосуванням транспортної системи розробки, що обумовлені високими експлуатаційними витратами на перевезення корисної копалини з вибоїв на поверхню кар'єру, до цього додається негативний екологічний ефект використання техніки з двигунами внутрішнього згорання.

Досвід експлуатації глибоких кар'єрів дозволяє стверджувати, що одним з найбільш ефективних рішень для зниження собівартості розробки є запровадження циклічно-потоквої технології, що передбачає спорудження перевантажувального пункту на концентраційному горизонті в середині

кар'єру де в подальшому відбувається перевантаження гірничої маси зі самоскидів на похилий конвеєр. Однак ефективність цієї технології досягається за рахунок високої продуктивності підприємства, яка може сягати понад 10 млн т/рік, що не гарантує доцільність її запровадження при експлуатації кар'єрів будівельної сировини.

Найбільш перспективною на сьогодні при експлуатації кар'єрів будівельної сировини вважається технологічна схема із застосуванням мобільної дробильно-сортувальної установки на концентраційному горизонті, що дозволяє виготовляти товарну продукцію на незначній відстані від видобувних вибоїв і відвантажувати її споживачу з мінімальними витратами на внутрішньокар'єрне перевезення.

Однак невирішеним, в наш час, залишається питання щодо визначення діапазонів глибини і продуктивності кар'єру, за яких використання мобільної дробильно-сортувальної установки на концентраційному горизонті матиме економічні переваги перед іншими технологічними схемами.

На підставі вищенаведеного, обґрунтування ефективних технологічних схем видобутку нерудної будівельної сировини для підвищення продуктивності та зменшенню собівартості продукції гірничих підприємств є сучасною та актуальною задачею.

**Метою дослідження** є обґрунтування ефективних технологічних схем видобутку нерудної будівельної сировини з використанням мобільних дробильно-сортувальних комплексів (МДСУ) на робочих майданчиках кар'єра.

Для досягнення поставленої мети сформульовано та вирішено наступні завдання:

1. Аналіз наукових досліджень з обґрунтування технології відкритої розробки нерудних корисних копалин.
2. Обґрунтування ефективних параметрів технологічних схем розробки родовищ будівельної нерудної сировини.

3. Дослідження ефективних технологічних схем освоєння родовищ нерудних корисних копалин.

4. Оцінка інвестиційної привабливості технологічних схем з використанням мобільних дробильно - сортувальних установок

**Об'єкт досліджень** – процеси виймально-навантажувальних та транспортних робіт при розробці родовищ будівельної нерудної сировини.

**Предмет досліджень:** параметри технологічних схем освоєння родовищ нерудних корисних копалин.

**Методи досліджень.** У роботі використаний комплекс теоретичних і експериментальних методів дослідження, а саме: математичне та графічне моделювання при встановленні залежностей продуктивності підприємства від глибини кар'єру та відстані транспортування; аналітичний метод досліджень застосовувався при встановленні залежності дисконтованої вартості грошових потоків і терміну окупності інвестицій від глибини розробки родовища при заданій продуктивності кар'єру; техніко-економічний аналіз при встановленні ефективної технологічної схеми розробки родовищ нерудної мінеральної сировини. Метод імітаційного моделювання використовувався для визначення параметрів технологічних схем із застосуванням необхідного виймально-навантажувального та транспортного обладнання.

**Наукова новизна** одержаних результатів:

1. Встановлено залежності продуктивності автосамоскидів та їх необхідної кількості від глибини і виробничої потужності кар'єру при використанні транспортної системи розробки та циклічно – потокової технології розробки нерудного родовища.

2. Встановлені залежності відстані транспортування корисної копалини при розробці родовища нерудної мінеральної сировини від глибини кар'єра при застосуванні технологічних схем з використанням автотранспорту, конвеєрів та МДСУ на робочих майданчиках кар'єра.

3. Отримані залежності собівартості виготовлення щебеневої продукції від продуктивності кар'єру та глибини розробки при технологічній схемі з використанням мобільної дробильно-сортувальної установки на концентраційному горизонті за різними глибинами кар'єру.

4. Визначено вплив глибини розробки родовища на показники дисконтованої вартості грошових потоків, чистого доходу підприємства NPV і терміну окупності інвестицій, що дозволило встановити найбільш ефективну технологічну схему з використанням МДСУ.

**Практичні значення** отриманих результатів роботи полягають у наступному:

1. Розроблено методику визначення впливу глибини кар'єру на параметри гірничотранспортного комплексу при використанні техніки циклічної та поточної дії на кар'єрах нерудної сировини, яка враховує місце розташування мобільної дробильно-сортувальної установки, зміну глибини та річної продуктивності кар'єру, його площу та параметри траншей.

2. Визначено термін окупності інвестицій при застосуванні основних технологічних схем розробки кар'єрів нерудної сировини в діапазоні глибин 50 – 150 м. Встановлено, що за глибини кар'єру 50 м термін окупності інвестиції при схемі з використанням дробильно-сортувальної установки складає 2,2 роки і є меншим на 19 - 24 % за інші розглянуті схеми. Визначено, що за глибини 150 м застосування запропонованої схеми дозволяє зменшити термін окупності інвестицій у 2,06 - 2,09 разів у порівнянні з іншими технологічними рішеннями.

**Впровадження результатів роботи.** Запропоновані методичні рекомендації щодо встановлення ефективних технологічних схем розробки родовищ нерудної мінеральної сировини, передані в проектний інститут ТзОВ «Гірхімпром» для використання в робочих проектах будівництва та експлуатації нерудних родовищ корисних копалин будівельної мінеральної сировини.

Рекомендації з вибору раціональних технологічних схем розробки родовищ нерудної сировини впроваджені в гірничий відділ кар'єру АТ «Малинський каменедробильний завод».

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.**

Обраний напрям досліджень пов'язаний з виконанням науково-дослідної госпдоговірної тематика №010270-23 від 03.02.2023 «Обґрунтування ефективних технологічних схем розробки Пинязевицького родовища гранітів» згідно договору №010270-23 між АТ «Малинський каменедробильний завод» та НТУ «Дніпровська політехніка» де автор брав участь як виконавець.

Особистий внесок здобувача полягає у формулюванні мети, науково практичної задачі роботи, обґрунтуванні наукової новизни за результатами досліджень, обґрунтуванні ефективних технологічних схем розробки родовищ нерудної мінеральної сировини, встановленні терміну окупності інвестицій при застосуванні технологічних схем розробки родовищ.

# **1. СУЧАСНИЙ СТАН, АНАЛІЗ НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ВІДКРИТОЇ РОЗРОБКИ НЕРУДНИХ РОДОВИЩ КОРИСНИХ КОПАЛИН, ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ ДОСЛІДЖЕНЬ**

## **1.1. Аналіз гірничо-геологічних особливостей нерудних родовищ корисних копалин**

Україна має широкий перелік родовищ нерудних корисних копалин, без яких неможливе ефективне функціонування будівельної, хімічної та харчової промисловості. За запасами деяких мінералів наша країна входить до десятки світових лідерів, що гарантує наявність сировинної бази не лише для внутрішньої промисловості, але й забезпечує експорт, що дає можливість економіці розвиватися за рахунок валютних надходжень [1].

Основної уваги заслуговує вдосконалення технологічних рішень при освоєнні мінеральної бази будівельної сировини, оскільки Україна має багаті запаси різних видів нерудних корисних копалин. Ці корисні копалини можуть бути використані у будівельній галузі з попередньою переробкою або без неї [2].

До родовищ будівельної сировини відносять поклади, що містять: мергель, вапняк, граніти, крейду, глину, пісковики, базальти і мрамур [3]. Ці родовища розосереджені на території України, але основні запаси приходяться на Житомирську, Рівненську, Хмельницьку, Запорізьку та Дніпропетровську області, що підтверджує широку географію їх розташування.

Родовища магматичного походження представлені інтрузивними та ефузивними скельними породами. Характеристики таких родовищ, а також їх кар'єрних полів, якими вони розробляються, наведені в роботі. Зазначені родовища нерудних твердих корисних копалин за своїм генезисом відносяться до магматичних, метаморфічних і осадових Українського кристалічного щита. З корисних копалин таких родовищ виготовляються щебенева і піщана продукція, будівельний камінь, що використовуються в

будівельній галузі [24]. Глибина відпрацювання таких родовищ визначена проектами з урахуванням їх гідрогеологічних умов, розташування відносно населених пунктів та вищезазначених природних і штучних перепонів. Як правило, ця глибина на діючих кар'єрах не перевищує 95-100 м (Гніваньський, Коростенський, Крюківський кар'єри). При цьому розміри родовища по поверхні не перевищують 900-1000 м [23].

Породи розкриву магматичних нерудних родовищ зосереджені в товщі наносів, які покривають корисну копалину. Вони представлені м'якими глинами, суглинками, супісками і пісками, інколи з домішками обломистих брекчій скельних порід вапняків, піщаників, кременя, з прошарками мергелястих та крейдяних відкладень. Середня потужність порід розкриву не перевищує 15-20 м. Інколи їх потужність збільшується до 45-60 м (Рибальський і Чаплинський гранкар'єри, Крюківське кар'єроуправління) [24].

Родовища з покладами корисної копалини осадового і метаморфічного походження у вигляді ізометричних за формою тіл зустрічаються рідше. Це вапнякові родовища Криму (Західно-Кадиківське, Псілерахське, Інкерманське,) і доломітів у Закарпатті (Кузинське). Їх поклади розповсюджуються на глибину до 180-220 м, а в плані досягають поперечних розмірів 1200-1700 м. На цих родовищах глибина розробки досягає 130-150 м, а в окремих випадках понад 200-210 м (Псілерахське, Західно-Кадиківське родовища). Інші родовища осадового та метаморфічного генезису відпрацьовують кар'єрами, що мають меншу глибину розробки. Так, видобуток сировини для виготовлення цементів здійснюється кар'єрами з кінцевою глибиною розробки від 30 до 80 м. Лише окремі родовища запроектовані до глибини розробки 105-140 м (Амвросіївське мергелів, Зариньське вапняків) [24].

За об'ємами видобутку гірничої маси в кар'єрах нерудних родовищ на першому місці знаходяться ті родовища осадових і метаморфогенних корисних копалин, які є сировинною базою гірничодобувних підприємств

для видобутку флюсової сировини і доломітів для потреб металургійної галузі. Це кар'єри Докучаєвського ФДК, Комсомольського, Новотроїцького і Балаклавського рудоуправлінь. Річна потужність з видобутку корисної копалини на цих кар'єрах досягала 1600- 2300 тис. м<sup>3</sup>. На кар'єрах магматичних корисних копалин видобуток твердої мінеральної сировини для переробки її на щебенево-піщану і будову продукцію виконувався з продуктивністю від 170 до 2000 тис. м<sup>3</sup> /рік. [23, 24]. Особливо широкою різноманітністю представлені граніти різного віку, тек-стури й кольору. До характерних потужних родовищ гранітів відноситься Пинязевицьке, що розташоване на території Малинського району Житомирської області, на відстані в 6 км від м. Малин. В орографічному відношенні район родовища належить до Поліської низовини і являє собою слабогорбисту, покриту лісом, заболочену рівнину без балок і ярів. Абсолютні відмітки поверхні коливаються в межах 138-150 м. Гідрографічна мережа входить до складу водного басейну річки Дніпро. Район робіт у південно-східному напрямку перетинає річка Ірша.

Ситуаційний план району родовища наведено на рис. 1.1.

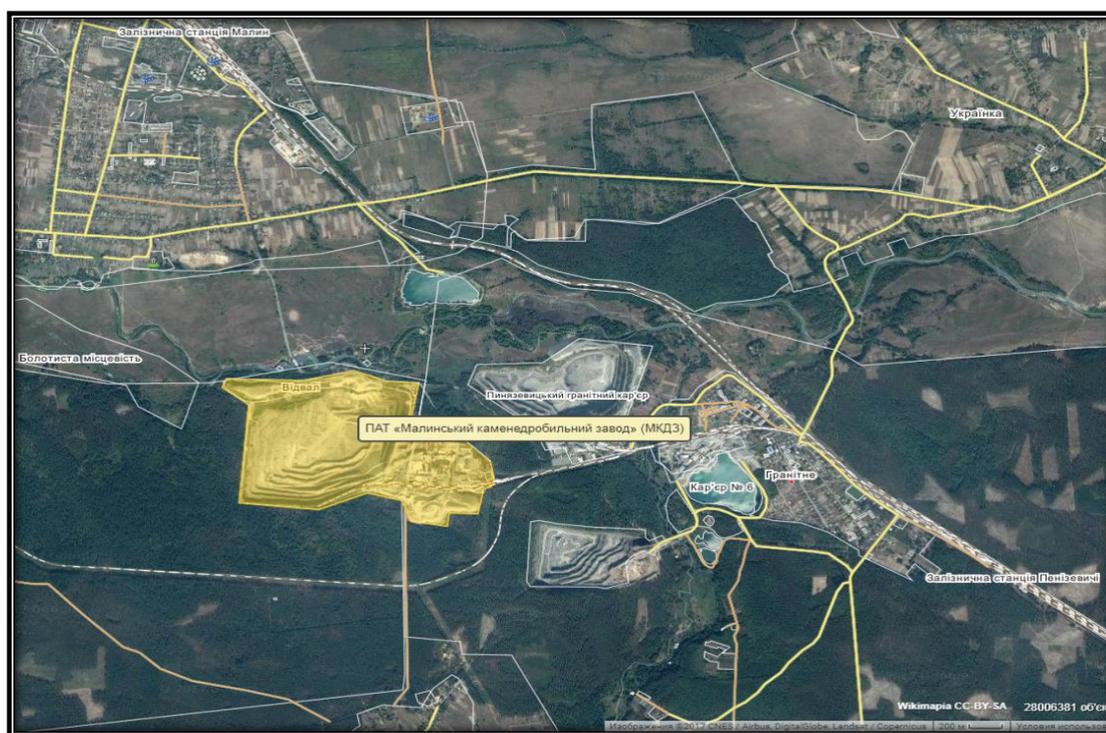


Рис. 1.1. Ситуаційний план району родовища

Геологічна будова родовища характерна для Коростенського магматичного комплексу. Тут гірські породи є наймолодшими протерозойськими утвореннями які повсюдно перекриті неогеновими та четвертинними осадовими відкладами. Граніти родовища відносяться до середньозернистих, інколи до дрібно- або крупнозернистих порід гранітової, гранофірової, структури та однорідної масивної текстури. За мінеральним складом породи досить однорідні, що складаються з наступних мінералів: плагіоклаз, калішпат, кварц, біотит, піроксен, апатит, циркон.

У південній частині спостерігається потужний тектонічний вузол, що утворений перетином зон підвищеної тріщинуватості та дроблення порід (рис. 1.2), що є характерною особливістю для родовищ магматичного та метаморфічного походження нерудної мінеральної сировини.



Рис. 1.2. Зони тектонічних порушень

Зони підвищеної тріщинуватості та дроблення порід складені метаморфічними породами - мілонітом - кластогенною гірською породою, одновіковою з корінними породами, що утворилася при динамометаморфізмі

в зонах розломів при перетиранні і розвальцюванні різних гірських порід по поверхні розривів тектонічних. Відрізняються від своїх аналогів - материнських гранітів - тонкодисперсністю (на які вплинули тектонічні напруги і які втратили первісну структуру. Зерна породотвірних мінералів розтріскані (сітка тріщин), подрібнені, вигнуті, кристалічні ґратки деформовані). За зовнішнім виглядом - щільні конгломерати. За результатами лабораторних досліджень відібраних проб з тріщин та зон дроблення порід зроблений висновок, що до їхньої непридатності для виготовлення щебеневої продукції.

Потужність корисної копалини (незмінених гранітів) до горизонту підрахунку запасів (відмітка +30,0 м) на площі непорушеній гірничими роботами змінюється в межах від 90,8 м до 107,8 м при середній 100,3 м.

Загальна кількість промислових балансових запасів Пинязевицького родовища затверджених протоколом ДКЗ України і становить понад 51 млн м<sup>3</sup>.

Гірничо-геометричний аналіз кар'єрного поля дозволив встановити середній коефіцієнт розкриття за поточними роками відпрацювання родовища складає - 0,07 м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>.

Родовище розкрито загальною траншеєю внутрішнього закладання, яка розташована в південно-східній частині родовища.

Система розробки родовища транспортна, багатоуступна з паралельним просуванням фронту робіт, зовнішнім розташуванням відвалів на північному борту кар'єра і по мірі відпрацювання горизонту +30 м з внутрішнім відвалоутворенням вздовж північного борту кар'єру. На теперішній час в кар'єрі розкрито вісім добувних горизонтів.

Розпушення корисної копалини відбувається за допомогою буровибухових робіт методом свердловинних зарядів.

Розробка підірваної гірничої маси здійснюється навантажувачем CAT-988H, екскаваторами ЕКГ-5А, TEREX RH 40-Е, CAT-6015FS з подальшим її

транспортуванням для перероблення на ДСЗ – автосамоскидами БілАЗ-7547, 7548, 7555В та САТ-773F.

Проектна, річна продуктивність кар'єру з видобутку гранітів в щільному тілі складає 1600,0 тис. м<sup>3</sup>. Середньорічна продуктивність кар'єру по розкривним породам складає:

- по пухкому розкриву – 159,785 тис. м<sup>3</sup> (в тому числі породи родючого шару – 5,235 тис. м<sup>3</sup>);

- по скельному розкриву – 43,233 тис. м<sup>3</sup>.

В наш час на виконання планових показників роботи кар'єру з видобутку та переробки гранітів на щебенеvu продукцію досить суттєво впливають наступні чинники: достатньо висока вартість транспортування гірських порід порівняно із вартістю готової продукції; порівняно невеликі об'єми виробництва обмежують ефективність застосування сучасного високопродуктивного гірничого та мобільного збагачувального устаткування, що обумовлює розробку та впровадження сучасних гнучких технологічних схем освоєння родовищ, які мають враховувати специфіку зміни вимог щодо якості сировини та різкі коливання її потреб на ринку.

Вихідними даними для дисертаційних досліджень з обґрунтування ефективних технологічних схем видобутку нерудної будівельної сировини з використанням мобільних дробильно-сортувальних комплексів (МДСУ) на робочих майданчиках кар'єра проводились за гірничо – технічними умовами розробки Пинязевецького родовища гранітів.

## **1.2. Особливості розробки родовищ будівельної мінеральної сировини**

Аналіз наукових досліджень з обґрунтування технології відкритої розробки нерудних корисних копалин з застосуванням мобільних дробарних комплексів в кар'єрі показує, що родовища твердих нерудних корисних копалин України мають ряд особливостей, що істотно впливають на роботу кар'єрів та способи розробки родовищ [25].

Основними з них є:

- специфіка споживання продукції;
- масовість і повсюдність попиту на неї в різних обсягах;
- широка розповсюдженість і відносно невисока вартість одиниці продукції;
- якісна неоднорідність корисних копалин;
- різноманітний асортимент продукції;
- неоднаковість вимог споживачів щодо кондицій готової продукції;
- взаємозв'язок технологій розробки й переробки;
- необхідність комплексного використання родовищ.

Розробка щєбеневої нерудної сировини, потужність і розташування кар'єрів з їх видобування визначаються потребами галузей споживання, які в різних районах неоднакові. Цим пояснюється значна неоднорідність кар'єрів за виробничою потужністю і технічним оснащенням, видами та призначенням їхньої продукції. Кількісно переважають невеликі кар'єри, які дають змогу максимально наблизити сировинну базу до споживача і скоротити дорогі транспортні перевезення, але вони різко відрізняються від крупних кар'єрів за рівнем механізації та техніко-економічними показниками роботи.

Характерними для щєбеневої промисловості є часті зміни вимог щодо якості вживаної сировини та різкі коливання потреб у сировині того або іншого виду та значний вплив на галузь інших секторів виробництва. Це накладає додаткові умови на вибір технологічних схем і комплексів механізмів, вимагає їх підвищеної гнучкості з метою забезпечення можливості швидкої перебудови робіт відповідно до зміни режиму споживання сировини.

Вибір способу розробки будь-якого родовища обумовлений природними умовами залягання корисної копалини та вимогами виробництва, які до нього ставляться. Ці вимоги можуть суттєво змінюватися протягом розроблення родовища внаслідок динамічних змін у сфері

суспільного виробництва. Такі швидкі зміни є особливо характерними для підприємств із виготовлення щибеневої продукції. Це накладає додаткові умови на вибір технологічних схем і комплексів механізмів для ведення гірничих робіт, потребує їхньої підвищеної гнучкості.

Підсумовуючи викладене, можна виділити наступні особливості підприємств, які здійснюють суттєвий вплив на розробку родовищ твердих нерудних корисних копалин:

1. Масовість споживання за їх широкою розповсюдження та неоднакових обсягів споживання в різних регіонах призводить до значної неоднорідності підприємств за виробничою потужністю, рівнем механізації та техніко-економічним показникам їхньої роботи.

2. Висока вартість транспортування порівняно із вартістю готової продукції обмежують економічно доцільну зону споживання продукції одного підприємства. Це у більшості випадків обумовлює необхідність ведення гірничих робіт у порівняно невеликих обсягах.

3. Порівняно невеликі обсяги виробництва на таких кар'єрах обмежують ефективність застосування сучасного високопродуктивного гірничого устаткування. Це потребує розробки сучасних технологічних схем, які враховують специфіку роботи таких підприємств.

4. Різний ступінь розповсюдження та різні умови залягання окремих родовищ призводять до дефіциту на деякі види сировини у різних районах країни та до великих витрат на її перевезення з місця добування до місця споживання.

5. Швидкі зміни вимог щодо якості сировини та різкі коливання потреб у сировині того або іншого виду у конкретному регіоні залежно від типу й масштабів виробництв накладають додаткові умови на вибір технологічних схем і комплексів механізмів, вимагають їхньої підвищеної гнучкості з метою забезпечення конкурентною сировиною споживачів.

6. Можливість використання готової продукції у різних галузях народного господарства визначають як комплексне їх використання, так і

комплексне вирішення технологічної та економічної структури всього підприємства.

Впровадження на кар'єрах самохідних дробильних агрегатів (СДА) та самохідних дробильних установок (СДУ) забезпечує:

- застосування екологічно чистих технологій, що виключає необхідність установки дорогого устаткування для провітрювання кар'єрів;
- істотне зниження (в 2-3 рази) енергоспоживання і металоємності в результаті заміни в кар'єрі численних колісних транспортних засобів конвеєрними засобами доставки гірничої маси;
- високий рівень автоматизації гірничого виробництва і збільшення в 1,5-2 рази продуктивності праці;
- зниження в 2-2,5 рази собівартості продукції за рахунок зниження експлуатаційних і капітальних витрат.

Система самохідних дробильних установок ґрунтується на складових елементах, узгоджених один з одним таким чином, що забезпечується можливість оптимальної адаптації дробильних установок до швидкості руху фронту очисної виїмки і дальності транспортування дробильного матеріалу. Дробильний матеріал подається вантажним агрегатом безпосередньо в завантажувальний бункер самохідної дробильної установки.

Розміри і виконання дробарки визначаються в залежності від необхідної продуктивності і розмірів шматків породи, що подаються, заданого ступеня подрібнення, форми зерна і твердості матеріалу. Вибір апарату здійснюється з ряду роторних, молоткових (відцентрово-ударних), щоккових і конусних дробарок.

Самохідні дробильні агрегати призначені для дроблення підірваної скельної гірської маси з метою підготовки за крупністю (кусковатістю), раціональної для подальшої переробки або транспортування безперервними видами транспорту.

Залежно від гірничотехнічних умов, технологічних завдань СДА класифікують за такими ознаками:

- *за способом застосування*: для дроблення підірваної гірничої маси безпосередньо в вибоях кар'єрів з пересуванням за виймально-навантажувальним пристроєм; для дроблення підірваної гірничої маси на перевантажувальних пунктах напівстаціонарного (тимчасового) і стаціонарного типів;

- *за технологічною схемою*: у відкритому технологічному циклі з однією стадією дроблення без попереднього просівання вихідної гірської маси; те ж, але з попередніми грохоченням вихідної гірської маси в відкритому технологічному циклі, з декількома стадіями дроблення з попередніми грохоченням вихідної гірської маси і без нього; в замкнутому технологічному циклі з однією або декількома стадіями дроблення з попередніми грохоченням;

- *за способом завантаження*: екскаваторами, скреперними установками, ковшовими навантажувачами, автосамоскидами;

- *за типом застосування дробильного апарату*: з роторними або молотковими дробарками, з щоківі дробарками, з конусними або щокково-конусними дробарками, зі спеціальними типами дробарок;

- *за типом ходового пристрою*: гусеничні, крокуючі, пневмоколісні, залізничні, спеціальні, комбіновані;

- *по розташуванню верхньої будови щодо ходового пристрою*: поздовжнє, поперечне;

- *по силовому обладнанні*: електричні, дизель-електричні, дизельні, дизель-гідравлічні, електрогідравлічні;

- *за способом розвантаження*: на конвеєрний транспорт, на гідротранспорт, на пневмотранспорт, в колісні види транспорту;

- *по потужності*: малої потужності (до 300 т / год.), середньої потужності (300 ÷ 600 т/год.), великої потужності (1000 ÷ 2000т/год.), надпотужні (більше 2000 т/год.).

Самохідні дробильні агрегати для великого дроблення виконуються, як правило, з відкритим технологічним циклом з одного стадією дроблення. Як

правило, виконують агрегати в спрощених варіантах з метою забезпечення їх компактності, високої маневреності на складних кар'єрних трасах, малої металоємності і досягнення високої експлуатаційної надійності. Тому попереднє просівання вихідної гірської маси вводиться в технологічні схеми лише в тому випадку, якщо це викликається необхідністю збільшення пропускної спроможності рухомого агрегату або коли в результаті переробки переподрібнюється корисна копалина і внаслідок цього збільшуються її втрати або знижується якість продукту.

Найбільшого поширення набули гусеничні ходові пристрої, які застосовують для СДА продуктивністю понад 200 т/год. Ходові механізми для СДА вибирають в залежності від несучої здатності ґрунтів, складності кар'єрних трас, кліматичних та інших гірничотехнічних умов, а також з урахуванням типу ходових пристроїв суміжно працюючого вибійного устаткування (екскаваторів) і їх характеристик.

Застосування дробильних агрегати самохідного типу розпочалося ще в 50-х роках минулого століття із дорожнього будівництва багатьох розвинених країн світу. Ці агрегати за умовами будівельних робіт зазвичай мали порівняно невелику продуктивність (100-300 т/год.) і були змонтовані на пневмоколісному ході.

У той же час, паралельно із галуззю дорожнього будівництва, мобільні дробильні та сортувальні комплекси почали застосовуватися на великих вапнякових кар'єрах США, ФРН та інших розвинених країн. За тогочасними умовами гірничих робіт продуктивність агрегатів збільшили до 500-1000 т/годину, а для зручності пересування їх за екскаватором їм надали власний ходовий механізм.

Такі тогочасні високопродуктивні дробильні агрегати для гірничих робіт будувалися, головним чином, з дробарками ударної дії (роторні або молоткові), рідше – з використанням на них щоківих та конусних дробарок. Такі агрегати виготовлялися у ФРН, США, Франції.

На той час особливістю таких кар'єрних самохідних агрегатів було встановлення всіх механізмів дробарок на одному гусеничному візку, що забезпечило агрегатам високу маневреність при пересуванні за екскаватором. Лише в деяких випадках, коли застосовувався автомобільний хід, обладнання агрегату розподілялося на два візки, пов'язані або не пов'язані між собою.

Технологічне обладнання самохідних агрегатів складалося з приймального бункера, похилого живильника, власне дробарки, піддробильного живильника та консольного конвеєра. У деяких конструкціях для збільшення продуктивності агрегату до або після похилого живильника ставлять грохіт, який тією чи іншою мірою скорочує надходження дрібниці в дробарку.

Відповідно до розвитку відкритих гірничих робіт та перспективних засовів комплексної механізації в 70 –х роках минулого століття, мобільні дробильні та сортувальні агрегати на кар'єрах розглядалися ще й як ланка, що поєднує обладнання циклічної дії (одноківшеві екскаватори) та безперервної дії – стрічкових конвеєрів (рис. 1.3) [23].

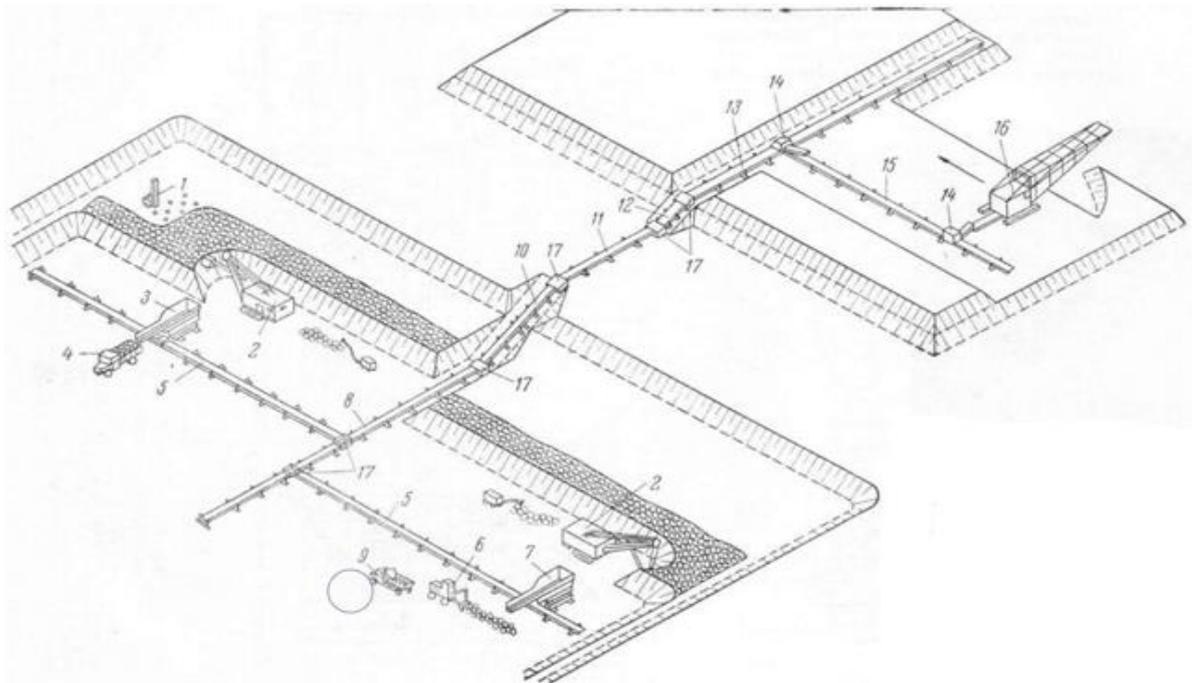


Рис. 1.3. Принципова схема циклічно-поточної технології з дробильними агрегатами самохідного типу

Самохідний дробильний агрегат, що вироблявся того часу на одному з підприємств сходу Німеччини, був оснащений роторною дробаркою продуктивністю 400 т/год. (рис. 1.4). Самохідний агрегат призначений для роботи з екскаваторами з місткістю ківша не більше 4 м<sup>3</sup>.

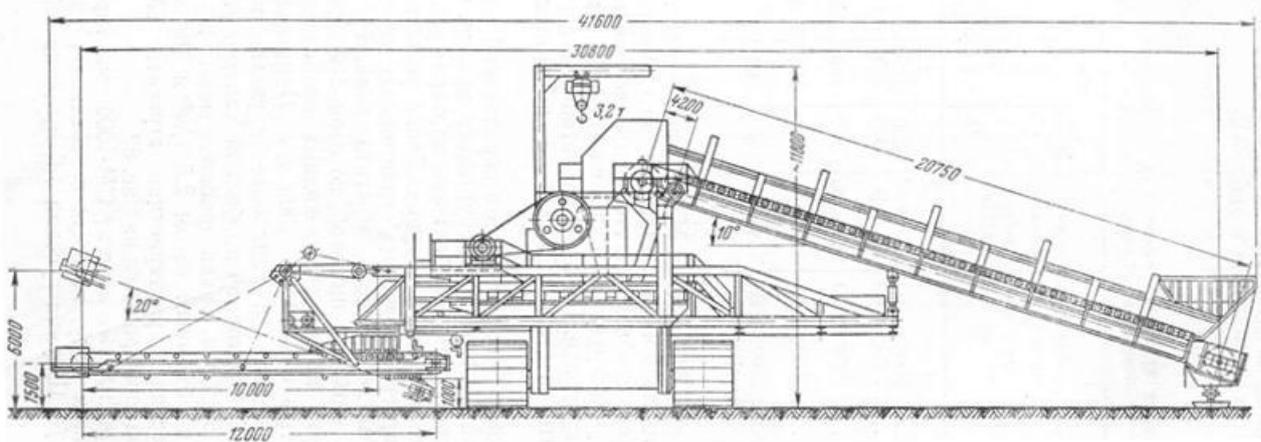


Рис. 1.4. Самохідний дробильний агрегат оснащений роторною дробаркою продуктивністю 400 т/год.

Інший самохідний дробильний агрегат був створений із продуктивністю 1000 т/год., (рис. 1.5).

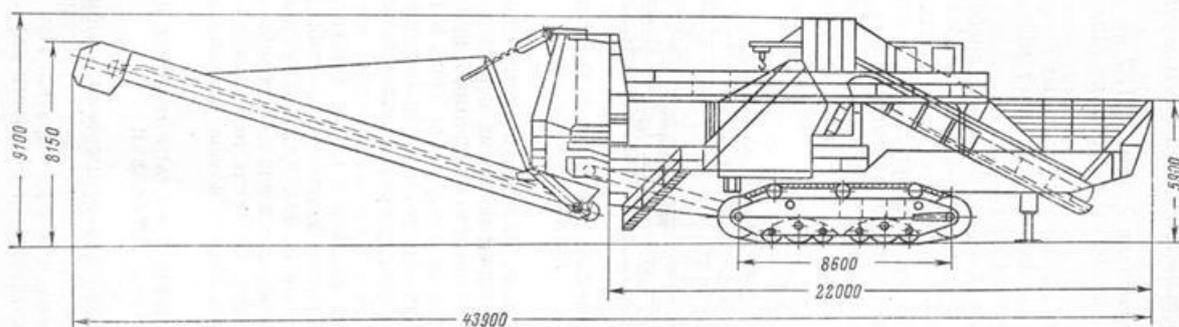


Рис. 1.5. Самохідний дробильний агрегат продуктивністю 1000 т/год.

Французька фірма відповідно до вимог гірничих підприємств створила серію пересувних дробарок великої продуктивності, здатних слідувати за

вибоєм, завантажуватися шматковим матеріалом, отриманим при масових вибухах, і дробити його до розмірів, придатних для транспортування конвеєрами (рис. 1.6).

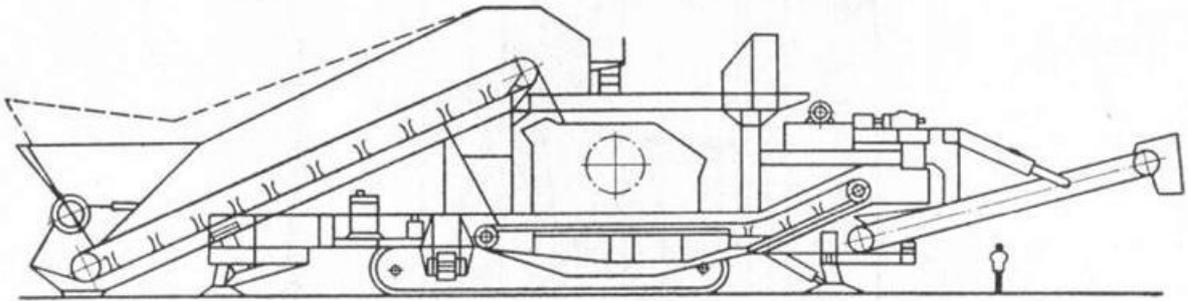


Рис. 1.6. Самохідний дробильний агрегат з шарнірним кріпленням похилого пластинчастого живильника

Особливістю французьких самохідних дробильних агрегатів було шарнірне кріплення похилого пластинчастого живильника на корпусі дробарки. Завдяки цьому похилий живильник разом із приймальним бункером під час пересування агрегату піднімався гідравлічними циліндрами, а при роботі дробарки вузол живлення опускався на ґрунт вибою. Гусеничний візок пов'язувався з шасі агрегату трьома точками опор на балансирній підвісці для того, щоб агрегат добре слідував за нерівностями ґрунту. Кожна гусениця для зручності обслуговування розташовувалася із зовнішньої сторони опорної рами та мала автономний привід.

*Сучасний досвід впровадження мобільного обладнання в технологічних схемах відпрацювання твердих нерудних корисних копалин будівельної сировини.*

Серед сучасних виробників і споживачів обладнання для дроблення та сортування скельної гірничої маси великою популярністю користуються сучасні мобільні (самохідні) установки. Подібні мобільні установки – це високотехнологічне гірниче обладнання, що поєднує в собі високі показники з продуктивності, надзвичайно широкого сортаменту моделей, типів та

виробників, забезпечує мобільність комплексів обладнання як у вибоях та на робочих майданчиках, так і по відношенню до джерел живлення двигунів – здебільшого обладнуються дизельними двигунами.

З усіх видів сучасного дробильно-сортувального обладнання – стаціонарного, напівстаціонарного, причіпного і так далі – саме самохідні дробильні установки мають найвищу швидкість підготовки до роботи і, навпаки, переведення в транспортне положення. Не вдаючись до допомоги допоміжної техніки, вони здатні самостійно переміщатися робочим майданчиком, істотно знижуючи витрати на транспортування матеріалу.

Сучасні самохідні дробильні та дробильно-сортувальні установки мають масу переваг. Крім уже перерахованих вище, потрібно згадати їхню автономність – незалежність від зовнішніх джерел живлення: кожна установка такого типу має власний силовий агрегат, що працює на дизельному паливі (а деякі опціонально оснащені пристроями для з'єднання з віддаленим джерелом електропостачання).

Приступити до безпосереднього виконання гірничих операцій самохідні установки можуть набагато раніше за іншу кар'єрну техніку – ще тоді, коли до кар'єру тільки будуються під'їзні шляхи, вони вже виконують покладену на них частину роботи. У процесі подрібнення їх можна швидко переналаштувати з однієї фракції на іншу. І нарешті, до їх переваг потрібно віднести високу мобільність: для розгортання і початку експлуатації самохідного обладнання потрібно зовсім невелика площа, що дозволяє йому працювати навіть в обмежених просторах.

Самохідні дробильно-сортувальні установки монтуються на гусеничному шасі. Кожна одиниця такої техніки має раму особливої конструкції, на яку рівномірно розподіляється вага всіх вузлів та агрегатів установки – ця конструктивна особливість запобігає перекиданню техніки. Деякі з установок такого типу додатково оснащують висувними опорами для оперативного вирівнювання при роботі на насипних ґрунтах.

Висока мобільність установки дозволяє їй у разі потреби переміщатися робочим майданчиком у робочому положенні. А ось для переміщення техніки на віддалений об'єкт через її солідну вагу буде потрібний потужний тягач з низькорамною платформою.

Привід у більшості моделей самохідних дробильно-сортувальних установок дизель-гідравлічний, а в деяких, здатних опціонально підключатися і до зовнішнього джерела електроживлення, – дизель-електричний. Також зустрічаються моделі з опціональною можливістю встановлення електродвигуна чи дизельного генератора.

Самохідні дробильні та дробильно-сортувальні установки компактніші за стаціонарні та напівстаціонарні аналоги з тією ж продуктивністю. Для мобільної техніки конструктори, як правило, передбачають можливість складання конвеєрів, стінок бункера, майданчиків обслуговування, зміну положення грохота (якщо такий передбачений) – а також закладають можливість широкого вибору додаткового обладнання. Для швидкого переведення перерахованих пристроїв у робоче або, навпаки, транспортне положення установки цього типу оснащені спеціальними гідроприводами. Адже компактність та швидкість підготовки до роботи – головні сильні сторони техніки цього типу.

З інших переваг використання самохідних дробильно-сортувальних установок слід зазначити невисокі вимоги, які пред'являються до місця їхньої роботи. Майданчик повинен бути рівним і здатним витримати вагу працюючої, спираючись на власні гусениці або на гусениці і висувні опори, установки – ось, мабуть, і все.

Існують і деякі обмеження при застосуванні подібної техніки. Наприклад, для завантаження установок первинного дроблення можна використовувати лише екскаватори або фронтальні навантажувачі, адже бункери у такої техніки мають порівняно невеликий об'єм. З цієї ж причини на другій та третій стадіях дроблення для установок повного циклу характерна нерівномірна подача живлення, що ускладнює отримання щебеню

покращеної форми — а це потребує додаткових зусиль технологів та вищої кваліфікації операторів. Крім всього сказаного, порівняно невеликий розмір бункерів такої техніки дещо знижує її продуктивність по гірничій масі порівняно зі стаціонарними установками.

Дизельна силова установка та гідравлічна система самохідних дробильно-сортувальних установок найчастіше потребують заміни мастил та фільтрів — міжсервісний інтервал, як правило, становить 250 годин. А при необхідності термінового ремонту на місці робіт доступ до деяких вузлів може виявитися скрутним для фахівця — адже з метою мобільності всі агрегати та елементи техніки встановлені з максимально можливою компактністю. Тому обслуговування та ремонт самохідних дробильних та дробильно-сортувальних установок, як правило, виконується фахівцями найвищої кваліфікації.

Самохідні установки для дроблення та сортування вимагають постійного постачання дизельним паливом у значних кількостях — адже вони витрачають його не лише на безпосереднє виконання виробничих завдань, а й на власне переміщення робочим майданчиком, що за певних видів кар'єрних робіт їм доводиться робити досить часто. Наприклад, при буровибухових роботах на майданчику самохідні дробильні установки переміщуються за її межі, в безпечну зону з метою збереження обладнання.

Враховуючи, що крім власне дробильно-сортувального обладнання (дробарок різного типу, вібраційних грохотів, приймального пристрою тощо) кожна самохідна установка має гусеничне шасі, вартість подібної техніки значно вища, ніж у стаціонарних та напівстаціонарних аналогів. Але й можливості застосування у самохідної техніки також вищі.

Слід зазначити, що самохідні дробильні установки не покликані замінити потужні стаціонарні комплекси. На великих підприємствах із великими обсягами виробництва останні незамінні. Однак там, де при роботі переробляється від 300 до 800 тисяч тонн породи на рік, самохідне дробильне та дробильно-сортувальне обладнання є оптимальним вибором.

Самохідні дробарки зазвичай оснащені різними функціями, призначеними для оптимізації виробничого процесу та скорочення експлуатаційних витрат:

- датчик рівня завантаження камери дроблення, який керує швидкістю подачі матеріалу, забезпечуючи рівномірну роботу дробарки під завантаженням, підтримуючи стабільно високий рівень продуктивності;

- гідравлічне регулювання розвантажувальної щілини (CSS), що дозволяє оперативно підлаштовуватися під зміни гранулометричного складу у вихідному матеріалі, а також витримати необхідний фракційний склад дробленого продукту;

- можливість реверсивного руху щік, що слугує для захисту від заклинювання матеріалу дробарки;

- інтелектуальні системи керування з кольоровим дисплеєм PLC забезпечує візуальний виведення всіх робочих параметрів установки.

Зі світових виробників техніки найбільший попит має обладнання компаній Metso, Sandvik, Extec, McCloskey, Terex (бренди Powerscreen і Finlay) та інші.

Однією з найпопулярніших у світі самохідних дробильних установок, що випускаються під брендом Sandvik, є модель QJ341 (рис. 1.7). Вона комплектується економічними двигунами CAT C9 потужністю 355 к.с. або fixed speed потужністю 375 к.с., а також високопродуктивною щоквою дробаркою з однією розпірною плитою. Завдяки великому завантажувальному отвору (розмір приймальної щілини 1200x750 мм) та високій швидкості дроблення вона здатна виробляти до 400 т на годину готової продукції, забезпечуючи при цьому високий коефіцієнт дроблення. Установка здатна запускатись під навантаженням, що дозволяє забезпечити максимальний час безвідмовної роботи та гранично можливу продуктивність.



Рис. 1.7. Загальний вигляд дробарки Sandvik QJ341

Самохідна дробильна установка QJ341 у версії «+» має вузол попереднього грохочення і є найбільшим типорозміром щоклової дробарки на гусеничному ході в лінійці Sandvik Premium range (Q-range).

Самохідна дробильна установка Sandvik QJ341 має вагу 48,8 т та транспортні габарити (довжина/ширина/висота) 14,05×2,86×3,45 м.

Ще один всесвітньо відомий постачальник високотехнологічного дробильно-сортувального та промивального обладнання, компанія Powerscreen, що випускає широкий асортимент техніки цього роду, включаючи самохідні дробильні установки, серед яких і модель роторної установки Трактор 550SR (рис. 1.8).

Ця самохідна дробильна установка з горизонтальним ротором створена для первинного та вторинного дроблення таких матеріалів, як природний камінь, асфальт, будівельне сміття.

Powerscreen Трактор 550SR універсальна в роботі завдяки сити та циркуляційному конвеєру (SR), який повертає негабаритний продукт у дробарку для подальшого дроблення.



Рис. 1.8. Загальний вигляд дробарки Trakpactor 550SR

Самохідна дробильна установка з горизонтальним ротором Trakpactor 550SR має транспортні габарити (довжина/ширина/висота) 21,8×3,45×3,8 м і вагу 66,8 т.

Самохідні гусеничні грохоти є невід'ємним механізмом при розробці родовищ твердих нерудних корисних копалин із впровадженням мобільних дробильно-сортувальних комплексів. Вони використовуються з метою якісного поділу продуктів дроблення та для попереднього сортування різних природних матеріалів. На них можуть встановлюватися як різна кількість сит (дек) залежно від обраної комплектації (рис. 1.9, 1.10, 1.11).

Грохоти сучасного виконання за рахунок оригінальних технічних рішень сприяють високому рівню просіювання, мають можливість регулювання кута нахилу сит.

Використання технологічних схем, що включають мобільні дробильні комплекси, враховують гірничотехнічні особливості родовищ, дозволяють забезпечити підвищення раціональності проектних рішень.



Рис. 1.9. Загальний вигляд однодекової мобільної сортувалки Powerscreen Chieftain 2100X продуктивністю до 600 т/год.



Рис. 1.10. Загальний вигляд дводекової мобільної сортувалки Powerscreen Chieftain 2100X Vivitec продуктивністю до 400 т/год

На рис. 1.11 наведено загальний виклад мобільної дробильно-сортувальної установки (МДСУ) виробництва компанії TEREX, зокрема модельного ряду Finlay, чия пропускна здатність сягає 300–400 т за годину. У

цю установку входять: дробарка – Finlay J-1160 (споживає 224 кВт/год) та вузол для розділення гірничої маси – Finlay 984 2 D (потужність 83 кВт/год).



Рис. 1.11. Комплекс МДСУ від TEREX в кар'єрі

Технологічні схеми можуть включати використання мобільних дробильно-сортувальних комплексів тільки першої, або першої та другої, а також першої, другої та третьої стадій дроблення, до складу яких можуть входити грохоти необхідні для сортування продукції за фракціями. У типовій схемі окремі машини та механізми за продуктивністю та параметрами повинні бути суворо ув'язані, найповніше задовольняти вимогам виробничого процесу та забезпечити високі показники їх використання.

Для скорочення кількості пересувань мобільного дробильно-сортувального комплексу та скорочення пов'язаних з цим витрат, доцільно використовувати у якості видобувного та завантажувального обладнання - колісний навантажувач, який буде здійснювати розробку гірничої маси з розпушеного масиву, а також проводити завантаження транспортних судин

гірничою породою котру вже було відсортовано чи щебеневої продукції споживачам прямо з робочого майданчика кар'єру де встановлена МДСУ.

Параметри робочого майданчика при роботі МДСУ TEREX наведено на рис. 1.12.

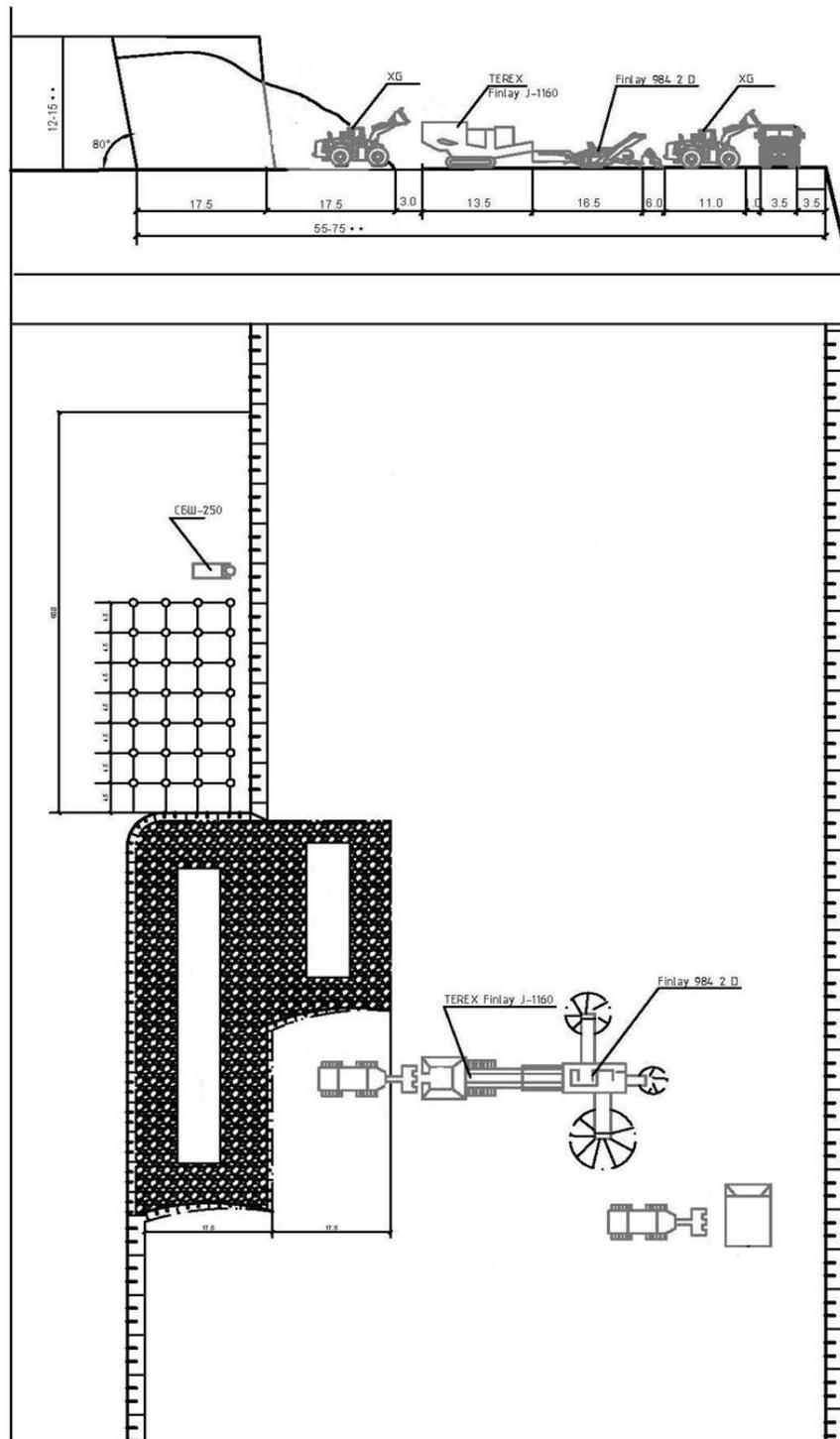


Рис. 1.12. Параметри робочого майданчика МДСУ TEREX в кар'єрі

Необхідно також відмітити, що впровадження на кар'єрах конвеєрного транспорту потребує значних капіталовкладень з тривалим терміном окупності при застосуванні в роботі мобільних дробильно-сортувальних комплексів з транспортуванням готової фракційної продукції на поверхневий склад.

### **1.3. Аналіз наукових досліджень з обґрунтування технології відкритої розробки нерудних корисних копалин**

Питаннями удосконалення циклічної технології розробки на родовищах твердих нерудних корисних копалин України, як складова частина галузі будівельних матеріалів, займалось багато науковців.

Значна їх частина детально вивчала процеси буро-підривних робіт на кар'єрах для ефективного розпушення масивів твердих порід. Результати досліджень Кучерявого Ф.І., Крисіна Р.С., Друкованого М.Ф., Єфремова Є.І., Федоренка П.І., Воробйова В.Д., Кривцова М.В. та їх учнів [23, 24] показують що розроблені ними технології бурових та вибухових робіт забезпечують ефективне отримання у вибоях кар'єрів твердих нерудних корисних копалин порід потрібного гранулометричного складу. Для нерудних кар'єрів у зазначених роботах усестороннє освітлені новітні ефективні методи розрахунку параметрів та організації ведення підривних робіт з дотриманням мінімального згубного впливу їх на навколишнє середовище.

Проблеми виймання та навантаження гірничої маси у вибоях кар'єрів вирішувались застосуванням однокішневих екскаваторів [24] та мобільних колісних навантажувачів [24,26]. Аналіз цих робіт підтверджує необхідність, ефективність і доцільність більш широко застосування фронтальних колісних навантажувачів з ємкістю ківша 2,5-6 м<sup>3</sup> на нерудних кар'єрах як для виймально-навантажувальних робіт у вибоях, так і виймально-транспортних (з доставкою порід до внутрішньокар'єрних мобільних дробильно-

сортувальних установок – МДСУ). Тому вдосконалення технології розробки нерудних родовищ твердих корисних копалин в подальших дослідженнях повинне опиратися на обґрунтованому застосуванні мобільних комплексів обладнання в складі колісних навантажувачів та МДСУ. При цьому залишаються недостатньо вирішеними питання: доставки частково переробленої в кар'єрі гірничої маси (або отриманої після переробки на МДСУ готової продукції) на поверхню – до складського вузла і пункту завантаження продукції в транспорт споживачів; прикінцевої доробки гірничої маси на готову продукцію – чи переробляти її остаточно в кар'єрі і відвантажувати готову продукцію звідси, або ж виконувати дороблення основних сортamentів готової продукції на поверхні (в грохотильних вузлах, які встановлені стаціонарно) та звідси відвантажувати її споживачам.

Умовами застосування циклічної технології розробки нерудних родовищ також присвячені праці дослідників: І.І. Гаврилюка, Ю.Д. Буянова, Б.І. Шлайна, В.І. Горкунова, А.С. Лягутка, В.І. Симоненка тощо. В цих роботах обґрунтовувались переважно схеми з подрібненням корисної копалини в кар'єрному дробильному пункті та конвеєрною доставкою подрібнених порід із кар'єра до поверхневого ДСЗ, ДСУ, на якому здійснюється прикінцеве дороблення корисної копалини на готову продукцію. Такі технологічні схеми досить широко застосовуються в зарубіжній практиці. Знаходять вони розповсюдження і на вітчизняних нерудних кар'єрах. Але детальних обґрунтованих результатів ефективної їх роботи в умовах щебеневих кар'єрів України не існує.

Технологічні схеми з застосуванням МДСУ, що розташовані на робочих майданчиках уступів, в умовах конкретних вітчизняних кар'єрів ще недостатньо вивчені.

В роботі [24], авторами розглядається застосування мобільного дробильно-сортувального обладнання в комплексі з конвеєрним транспортом. Зокрема наголошується, що з ростом інтенсивності виробництва відкритих гірничих робіт збільшується глибина кар'єрів. Це

призводить до збільшення вартості транспортування видобутого матеріалу автотранспортом і спричиняє розгляд можливості використання більш дешевого способу – конвеєрного Дроблення на місці видобутку самохідними дробильними агрегатами (СДА) і подальше безперервне транспортування подрібненого матеріалу за допомогою конвеєрів призводить до скорочення витрат на 60 %.

В роботі [8] виконані дослідження з визначення ефективності використання конвеєрних установок за показниками споживання енергії та впливу на навколишнє середовище при відпрацюванні скельних порід на кар'єрах. Під час досліджень враховано концепцію регенеративного конвеєра з рекуперацією енергії під час руху конвеєра вниз, що може бути використано при розміщенні конвеєрів у крутих траншеях при використанні циклічно-потокової технології. В роботі визначено, що використання регенеративних конвеєрів дозволяє зменшити вартість транспортування на 95% у порівнянні з кар'єрними автосамоскидами. Проте в роботі не розглянуто, яким чином може позначитися зміна продуктивності кар'єру та збільшення глибини розробки на ефективність запропонованих рішень.

В проведених дослідженнях [27] визначені параметри роботи сучасних дробильних систем, що використовуються для подрібнення скельних порід на кар'єрах. Відповідно до встановлених результатів, на більшості підприємств використовується традиційна стаціонарну дробарка на поверхні кар'єру. При виконанні досліджень визначалися витрати на встановлення стаціонарної та напівмобільної дробильної установки в кар'єрі. Не зважаючи на встановлені техніко-економічні показники двох технологічних схем з урахуванням довгострокових експлуатаційних витрат, залишається відкритим питання впливу глибини і продуктивності кар'єру на собівартість виробництва щєбеневої продукції особливо при збільшенні глибини відпрацювання кар'єру до 150 м.

В дослідженнях [28] визначені техніко-економічні показники застосування напівмобільних або комбінованих дробильно-транспортних

систем у кар'єрі у порівнянні зі звичайними схемами де застосовується транспортна система з одноковшовими екскаваторами. Отримані показники підтверджують, що напівмобільні системи дозволяють досягти скорочення загальної кількості автосамоскидів за рахунок чого досягається зниження експлуатаційних витрат. Основну увагу в роботі приділено параметрам розташування дробильно-сортувальних установок в кар'єрі, однак залишається невирішеним питання впливу продуктивності кар'єру на собівартість отримання щебеневої продукції при змінній глибині кар'єру.

Автори роботи [28] спрямували основні зусилля для визначення оптимального розміщення дробильних установок в кар'єрі протягом усього терміну його експлуатації. Пропонується двоетапна математична модель для визначення найкращого місця розташування дробарки з урахуванням поглиблення робочих горизонтів. Отримані результати на прикладі рудного родовища показують, що доцільне переміщення зазначеної дробарки спостерігаються на дев'ятому році розробки родовища, що досліджується. Однак в роботі залишається не вирішеним питання порівняння циклічно-поточної технології з використанням мобільних дробильно-сортувальних комплексів в кар'єрі за показником собівартості виготовлення продукції.

Дослідження екологічної складової виконані в роботі [29], які спрямовані на порівняння ефективності застосуванні автосамоскидів і конвеєрних систем. Результати, отримані в роботі показують, що майже 90% вантажів на кар'єрах Німеччини переміщуються з використанням вантажівок, а решта частково або повністю здійснюється конвеєрними системами. Отримані результати досліджень підтверджують, що використання безперервних технології на кар'єрах потребує додаткового наукового обґрунтування, а вже впроваджені технологічні рішення на гірничих підприємствах мають суттєвий економічний і екологічний ефект.

Авторами [24] наводиться інформація, що за кордоном останні 10-15 років застосовуються, в основному, самохідні дробильні установки (СДУ), які використовуються для дроблення гірничої маси, переробки будівельних

матеріалів, відходів будівництва та промислових відходів. Також широко поширені і автономні пересувні дробильно-сортувальні установки (ПДСУ) і транспортуються дробильно-сортувальні установки (ТДСУ).

Дослідження, виконані у роботі [2] присвячені встановленню максимальної глибини гранітних кар'єрів з урахуванням розташування внутрішніх відвалів. Запропоновані рішення дозволяють підвищити ефективність гірничих робіт та досягти економічного ефекту при досягненні кар'єром максимальної глибини. Розроблена методика враховує показники ресурсо- та землезбереження при експлуатації кар'єру з виробництва щебеневої продукції. В той же час, запропоновані рішення не дозволяють порівняти ефективність технологічних схем розробки кар'єру заданої продуктивності при використанні мобільних дробильно-сортувальних установок.

В роботі [30] наводяться результати досліджень, спрямовані на підвищення ефективності гірничих робіт при розробці гранітного кар'єру з подальшим виготовленням щебеневої продукції. Запропоновані рішення передбачають залучення нових ділянок родовища для забезпечення зростаючого попиту на продукцію. Встановлено доцільність проведення нових інвестицій в створення інфраструктури, закупівлю устаткування та працевлаштування нових співробітників. Однак у виконаних дослідженнях не розглянуті питання щодо встановлення ефективності застосування нових технологічних рішень в існуючих умовах експлуатації кар'єру.

Результати досліджень в роботі [31] дозволяють отримати інвестору інструмент для прийняття рішень при розробці нерудних кар'єрів з урахуванням економічної оцінки реалістичного сценарію. За допомогою запропонованої методології виконано аналіз ризиків, враховуючи значну кількість сценаріїв невизначеності. Розроблені рішення, у свою чергу, не враховують динаміку збільшення глибини розробки родовища протягом терміну експлуатації, що не дає можливості визначити найбільш ефективну технологічну схему серед можливих варіантів.

В дослідженнях [32] у якості основного критерію оцінки ефективності технологічних рішень приймається максимальний чистий прибуток для визначення кінцевої глибини кар'єру. Отримані результати доводять ефективність залучання збіднених корисних копалин у виробничий процес, що дозволяє подовжити термін експлуатації родовища і підвищити рівень прибутку на 10%. Недоліком розроблених методичних рекомендацій з економічної оцінки є відсутність аналізу можливої заміни існуючих технологічних схем розробки.

Виконані в роботі [33] дослідження, дозволили встановити, що не тільки капітальні витрати визначають виробничу собівартість щебеню, а й витрати на проведення вибухових робіт, вартість буріння та обслуговування обладнання, а також витрати на руйнування негабаритів. Відповідно до цих зауважень, результати досліджень підтверджують можливість підвищення ефективності роботи кар'єрів шляхом зниження експлуатаційних витрат. Однак зазначені рекомендації не мають значного впливу на вибір технологічних схем, в яких роботи з підготовки гірничої маси до виймання виконуються за однаковою технологією. В той же час не враховується показник транспортної роботи підприємства при поглибленні кар'єру.

Дослідження в роботі [34] спрямовані на підвищення ефективності видобутку і переробки корисних копалин, що використовуються як дрібний заповнювач у різних галузях промисловості. Недоліком розглянутої роботи є відсутність пропозицій щодо підвищення ефективності гірничих робіт з метою зменшення собівартості заповнювачів.

Аналіз попередніх досліджень з удосконалення видобувних робіт на кар'єрах з видобутку твердих нерудних корисних копалин та досвід розробки аналогічних підприємств України та близького зарубіжжя, показує що перспективним на даний момент є впровадження мобільних дробильно-сортувальних комплексів. Ці комплекси здійснюють переробку корисної копалини безпосередньо у виробленому просторі кар'єру (вибої). На основі аналізу літературних джерел можна стверджувати, що більшість авторів

рекомендують застосування в комплексі з мобільним обладнанням конвеєрного транспорту, однак ці рекомендації стосуються здебільшого кар'єрів з великою глибиною розробки.

Дослідження в роботах науковців виконувалися, в першу чергу, для потужних залізородних і нерудних кар'єрів та обґрунтовували ефективність застосування мобільних комплексів у сукупності з конвеєрним транспортом.

Як наслідок, методики, наведені в роботах, стосуються розрахунків параметрів роботи мобільного дробильно-сортувального обладнання як невід'ємної частини циклічно-потокowego комплексу потужних кар'єрів із доставкою корисної копалини на поверхню стрічковими конвеєрами. А позитивний ефект, від впровадження обладнання, наведено як сукупність факторів спільної взаємодії циклічно-потоковой технології скомпонованої мобільними комплексами та конвеєрним транспортом. Ці методики не враховують можливість застосування мобільного обладнання із доставкою готової фракційної продукції на поверхню наявним на підприємстві автомобільним транспортом.

Незважаючи на численні публікації з удосконалення видобувних робіт на кар'єрах будівельної нерудної сировини, питання впровадження сучасних технологічних схем розробки родовищ з застосуванням на робочих горизонтах кар'єра мобільного дробильного та сортувального висвітлено не достатньо.

#### **1.4. Ціль, задачі та методи дослідження.**

**Метою дослідження** є обґрунтування ефективних технологічних схем видобутку нерудної будівельної сировини з використанням мобільних дробильно-сортувальних комплексів (МДСУ) на робочих майданчиках кар'єра.

Для досягнення поставленої мети сформульовано та вирішено наступні завдання:

1. Аналіз наукових досліджень з обґрунтування технології відкритої розробки нерудних корисних копалин.

2. Обґрунтування ефективних параметрів елементів системи розробки родовищ будівельної нерудної сировини.

3. Дослідження ефективних технологічних схем освоєння родовищ нерудних корисних копалин.

4. Оцінка інвестиційної привабливості технологічних схем з використанням мобільних дробильно - сортувальних установок.

**Об'єкт досліджень** – процес виймально-навантажувальних та транспортних робіт при розробці родовищ будівельної нерудної сировини.

**Предмет досліджень:** параметри технологічних схем освоєння родовищ нерудних корисних копалин.

**Методи досліджень.** У роботі використаний комплекс теоретичних і експериментальних методів дослідження, а саме: математичне та графічне моделювання при встановленні залежностей продуктивності підприємства від глибини кар'єру та відстані транспортування; аналітичний метод досліджень застосовувався при встановленні залежності дисконтованої вартості грошових потоків і терміну окупності інвестицій від глибини розробки родовища при заданій продуктивності кар'єру; техніко-економічний аналіз при встановленні ефективної технологічної схеми розробки родовищ нерудної мінеральної сировини. Метод імітаційного моделювання використовувався для визначення параметрів технологічних схем із застосуванням необхідного виймально-навантажувального та транспортного обладнання.

## **2. ОБҐРУНТУВАННЯ ЕФЕКТИВНИХ ПАРАМЕТРІВ ТЕХНОЛОГІЧНИХ СХЕМ РОЗРОБКИ РОДОВИЩ БУДІВЕЛЬНОЇ НЕРУДНОЇ СИРОВИНИ**

### **2.1. Обґрунтування ефективних параметрів транспортної системи розробки родовища при розташуванні дробильного комплексу на поверхні кар'єру**

Україна має широкий перелік родовищ нерудних корисних копалин, без яких неможливе ефективне функціонування будівельної, хімічної та харчової промисловості. За запасами деяких мінералів наша країна входить до світових лідерів, що гарантує наявність сировинної бази не лише для внутрішньої промисловості, але й забезпечує розвиток економіки за рахунок валютних надходжень.

Основної уваги заслуговує вдосконалення технологічних рішень при освоєнні мінеральної бази будівельної сировини, оскільки Україна має багаті запаси різних видів корисних копалин, які можуть бути використані у будівництві з попередньою переробкою або без неї.

До родовищ будівельної сировини відносять: мергель, вапняк, граніти, крейду, глину, пісковики, базальти, мармур. Ці родовища розосереджені на території України, але основні їх запаси приходяться на Житомирську, Рівненську, Хмельницьку, Запорізьку, Дніпропетровську області, що підтверджує широку географію розташування будівельної мінеральної сировини.

В активному користуванні сьогодні знаходяться сотні кар'єрів з виготовлення щебеневої продукції, які стикаються з проблемами виснаження запасів на незначних глибинах і необхідністю поглиблення робочих горизонтів до 100 – 150 м. Це призводить до збільшення відстані транспортування автосамоскидів від видобувних вибоїв до поверхні кар'єру, що впливає на їх продуктивність і потребує збільшення гірничотранспортного обладнання. У зв'язку з цим ефективність існуючої транспортної системи

розробки суттєво знижується, а собівартість кінцевої продукції постійно зростає.

Під час виконання досліджень вирішувалися наступні завдання: визначити вплив глибини розробки нерудного родовища на відстань транспортування корисної копалини від вибою до дробарно-сортувальної фабрики в залежності від технологічної схеми з використанням транспортної та циклічно-потокової технології, а також схеми з дробильно-сортувальною установкою на концентраційному горизонті кар'єру.

Найбільш вагомим параметром, що впливає на техніко-економічні показники розробки родовища будівельних матеріалів при поглибленні кар'єру є відстань транспортування корисної копалини з вибоїв до дробарно-сортувальної фабрики [35]. Оскільки за кожною технологічною схемою розробки відстані транспортування будуть відрізнятися між собою, проведено дослідження зі встановлення залежності середньозваженої відстані транспортування корисної копалини від глибини кар'єру з урахуванням параметрів зазначених технологічних схем при застосуванні трьох найбільш поширених технологічних схем розробки нерудних родовищ, які відповідають вимогам безпеки до проектування гірничого підприємства: схема (ТСР) передбачає використання автомобільного транспорту для доставки корисної копалини на поверхню кар'єру з подальшим подрібненням на стаціонарній дробарці на поверхні кар'єру; схема (ЦПТ) передбачає застосування циклічно-потокової технології з подрібненням корисної копалини на концентраційному горизонті кар'єру з подальшим транспортуванням на поверхню похилим конвеєром і сортуванням на борту кар'єру [29]; схема (МДСУ) включає застосування мобільної дробильно-сортувальної установки на концентраційному горизонті кар'єру з подальшим навантаженням товарної продукції у транспортні засоби споживача. Кожна з розглянутих технологічних схем, представлена на рис. 2.1.

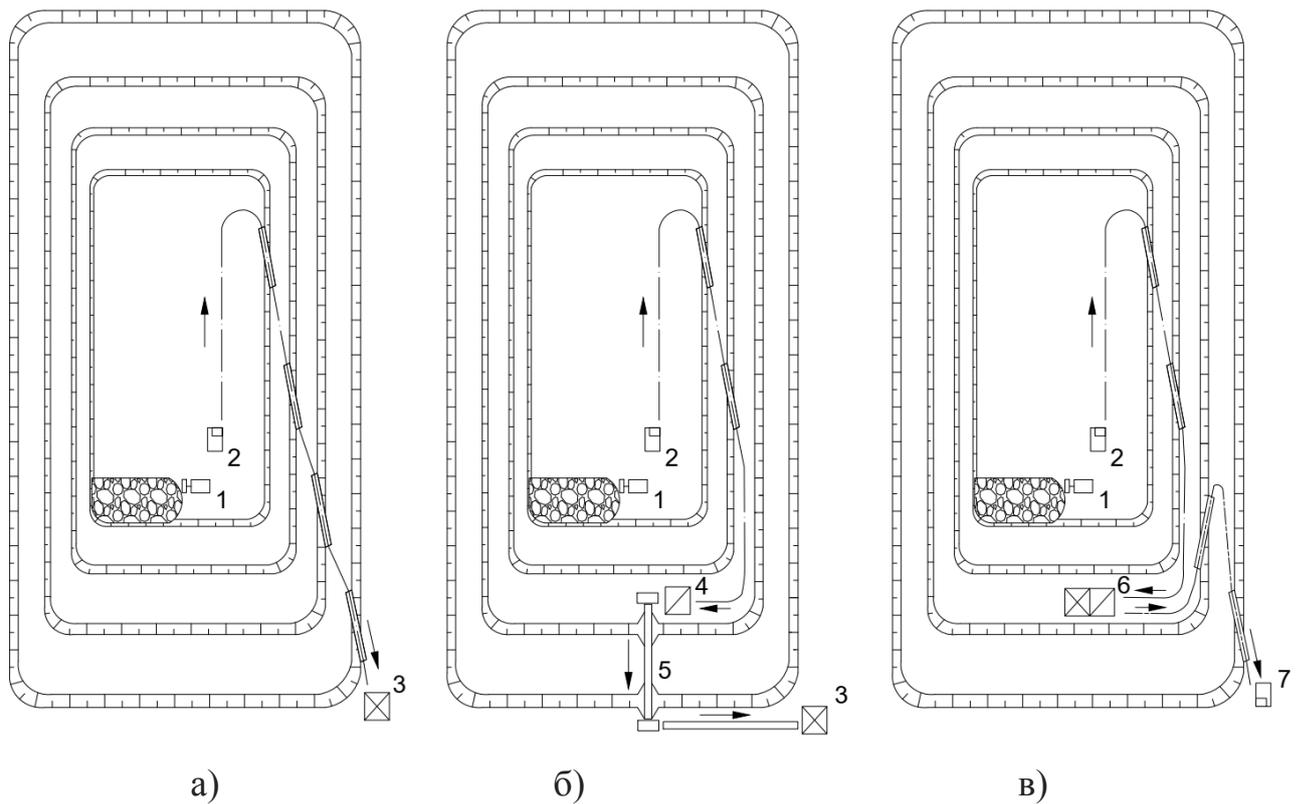


Рис. 2.1. Технологічні схеми при розробці нерудних родовищ з використанням: а – автомобільного транспорту (ТСР), б – циклічно-потокової технології (ЦПТ); в – мобільної дробильно-сортувальної установки (МДСУ);

1 – видобувний екскаватор; 2 – автосамоскид; 3 – дробильно-сортувальна фабрика; 4 – дробарка; 5 – крутий конвеєр; 6 – мобільна дробильно-сортувальна установка; 7 – транспорт споживача

Порівняння трьох розглянутих технологічних схем за показником середньої відстані транспортування гірничої маси на поверхню кар'єру при зміні його глибини наведено на рис. 2.2.

Відповідно до отриманих залежностей (рис. 2.2) встановлено, що найбільш ефективним технологічним рішенням є застосування циклічно-потокової технології відпрацювання кар'єру з розташуванням концентраційного горизонту на другому уступі від дна кар'єру. Таке рішення дозволяє зменшити відстань транспортування гірничої маси на поверхню кар'єру в 1,9 рази з 2550 до 1350 м при глибині кар'єру 150 м.

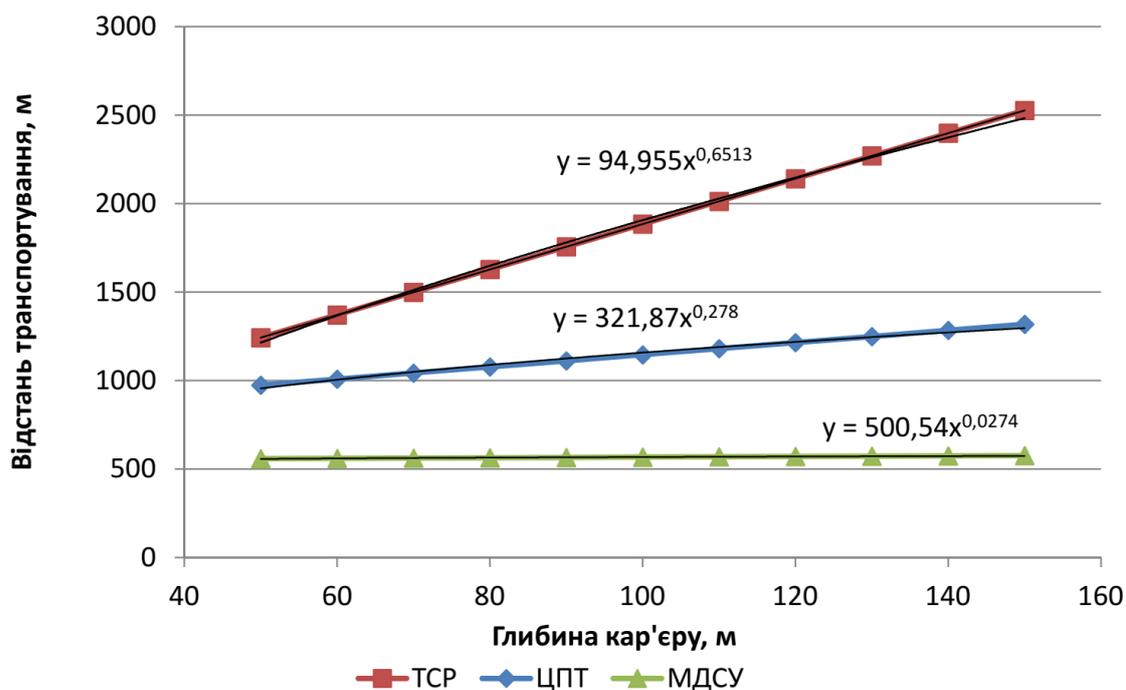


Рис. 2.2. Вплив глибини розробки нерудного родовища на відстань транспортування корисної копалини від вибою до дробарно-сортувальної фабрики в залежності від технологічної схеми: 1 – ТСП; 2 – ЦПТ; 3 – МДСУ

Це призводить до зменшення кількості автосамоскидів в роботі в 2 рази з 18 до 9 одиниць при продуктивності кар'єру 1600 тис. т. У той же час при заміні технологічної схеми ТСП на МДСУ, середньозважена відстань транспортування зменшується у 3,4 рази до 741 м, за рахунок можливості завантаження товарної продукції на концентраційному горизонті кар'єру.

Також за рахунок використання похилого конвеєру при технологічній схемі 2 (ЦПТ) досягається зменшення кількості автосамоскидів для перевезення корисної копалини в 2 рази з 18 до 9 одиниць при продуктивності кар'єру 1600 тис. т. У той же час при заміні технологічної схеми ТСП на МДСУ, середньозважена відстань транспортування зменшується у 3,4 рази до 741 м, за рахунок можливості завантаження товарної продукції на концентраційному горизонті кар'єру.

Визначення впливу глибини кар'єру на параметри транспортної системи розробки має враховувати річну продуктивність кар'єру, його площу

та параметри траншей, якими відбувається доставка гірничої маси з кар'єру на поверхню (рис. 2.3).

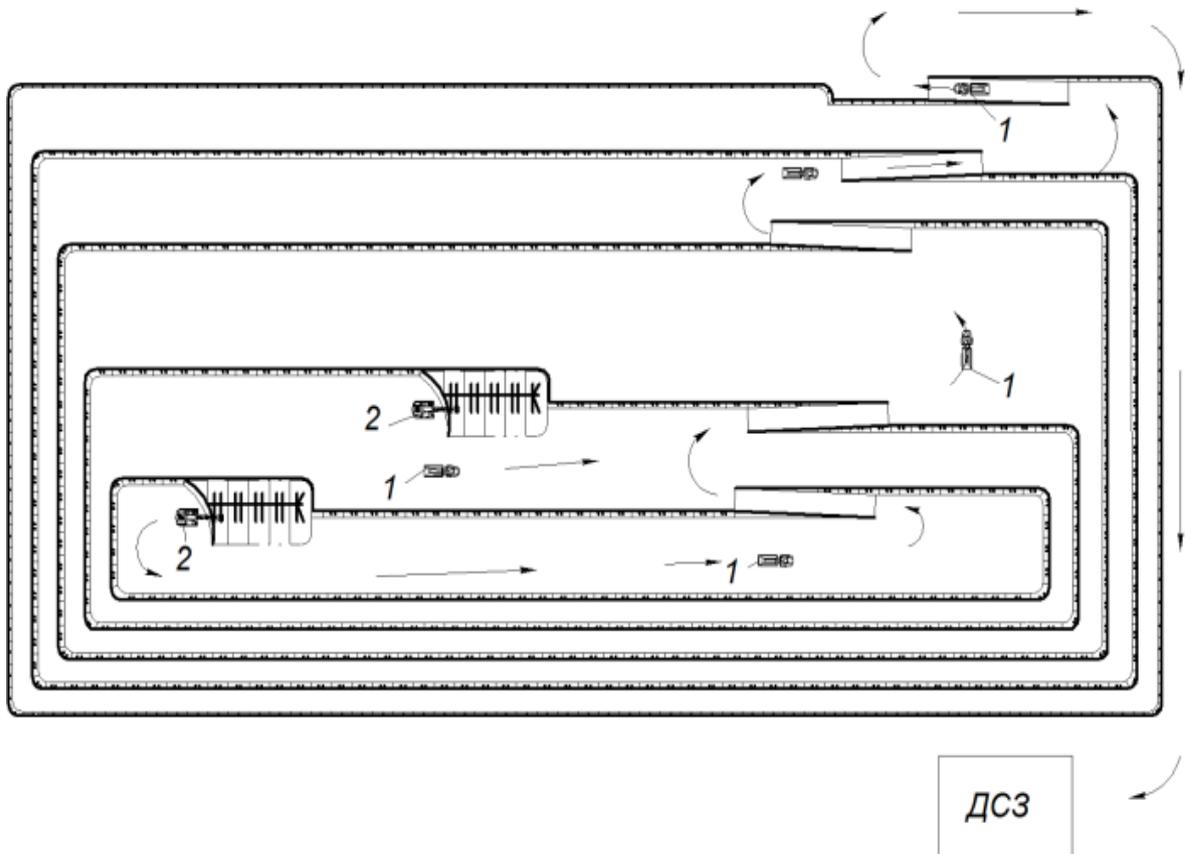


Рис. 2.3. Схема до визначення параметрів транспортної системи розробки нерудного кар'єру з використанням автосамоскидів: 1 – автосамоскид; 2 – екскаватор

Методика для розрахунку параметрів обсягу перевезень гірничої маси, середньої відстані транспортування, необхідної кількості транспортного обладнання для забезпечення річної продуктивності кар'єру з урахуванням його глибини має наступну послідовність:

1. Об'єм гірничої маси в контурах кар'єру:

$$V_{GM} = \frac{1}{3} H_K (L \cdot W + \sqrt{L \cdot W \cdot L' \cdot W'} + L' \cdot W'), \text{ м}^3, \quad (2.1)$$

де  $H_K$  – глибина кар'єру;  $W$  – ширина дна кар'єру, м;  $L$  – довжина дна кар'єру, м;  $W'$  – ширина верхнього контуру кар'єру, м;  $L'$  – довжина верхнього контуру кар'єру, м.

2. Об'єм корисної копалини в межах кар'єру:

$$V_{KK} = \frac{1}{3} h_M \left( L \cdot W + \sqrt{L \cdot W \cdot L'_M \cdot W'_M} + L'_M \cdot W'_M \right), \text{ м}^3, \quad (2.2)$$

де  $h_M$  – потужність корисної копалини;  $W'_M$  – ширина першого видобувного горизонту, м;  $L'_M$  – довжина першого видобувного горизонту, м.

3. Об'єм розкривних порід в межах кар'єру:

$$V_P = V_{GM} - V_{KK}, \text{ м}^3. \quad (2.3)$$

4. Термін експлуатації кар'єру:

$$T = V_{KK} / Q, \text{ м}^3, \quad (2.4)$$

де  $Q$  – річна продуктивність кар'єру, м<sup>3</sup>.

5. Відстань транспортування автосамоскидами гірничої маси похилими гірничими виробками:

$$L_{IT} = \frac{1000 \cdot H_K}{i}, \text{ м}, \quad (2.5)$$

де  $i$  – нахил траншеї, ‰.

6. Середня відстань транспортування горизонтальними майданчиками в кар'єрі:

$$L_{HT} = 0,5(L + W - 2(H_K \text{ctg} \beta - 0,5 \cdot H_K \cdot W_B / H_y)), \text{ м}, \quad (2.6)$$

де  $\beta$  – кут укосу борта кар'єру, град.;  $W_B$  – ширина берми безпеки, м;  $H_y$  – висота уступу, м.

7. Середня відстань транспортування гірничої маси в кар'єрі:

$$L_{CH} = L_{IT} + L_{HT}, \text{ м}, \quad (2.7)$$

8. Середній час рейсу автосамоскиду від вибоїв на поверхню:

$$T_R = 120 \cdot \left( \frac{L_{IT}}{1000 \cdot V_{IG}} + \frac{L_{CH}}{1000 \cdot V_{CG}} \right) + t_M, \text{ хв.}, \quad (2.8)$$

де  $V_{IG}$  – швидкість руху самоскиду при русі на підйом в порожньому і навантаженому стані, км/год;  $V_{CG}$  – швидкість руху самоскиду горизонтальними майданчиками, км/год;  $t_M$  – час на завантаження, розвантаження і маневри.

9. Продуктивність автосамоскиду:

$$P_{AM} = \frac{60 T_S V_T k_N}{T_R k_P k_G} N_S N_D, \text{ т/рік}, \quad (2.9)$$

де  $T_S$  – час зміни, год.;  $V_T$  – вантажопідйомність самоскида, т;  $k_N$  – коефіцієнт наповнення ківша;  $k_P$  – коефіцієнт розпушення породи;  $k_G$  – коефіцієнт готовності самоскиду;  $N_S$  – кількість змін на добу;  $N_D$  – кількість робочих днів в році.

10. Кількість автосамоскидів для забезпечення продуктивності кар'єру при транспортній системі розробки:

$$N_T = \frac{Q}{P_{AM}}, \text{ од.} \quad (2.10)$$

При проведенні досліджень приймалися наступні вихідні дані: глибина кар'єру 50 – 150 м; ширина дна кар'єру – 600 м; довжина дна кар'єру 600 м;

потужність розкриву – 10 м; кут укосу борта кар'єру –  $50^\circ$ ; висота уступу – 10 м; ширина берм безпеки – 10 м; кут нахилу траншеї – 80 ‰; швидкість руху авто на ухилах – 22 км/год; швидкість руху авто горизонтальними майданчиками – 40 км/год.; час на завантаження, розвантаження і маневри – 4 хв.; вантажопідйомність автосамоскиду – 30 т; кількість робочих змін – 1; кількість робочих днів у році – 305; тривалість зміни – 12 год.; коефіцієнт наповнення ківша – 0,85; коефіцієнт розпушення породи – 1,2; коефіцієнт готовності самоскиду – 0,85.

Результати розрахунків основних показників транспортної системи розробки нерудних родовищ корисних копалин представлені в табл. 2.1.

Відповідно до отриманих результатів досліджень доведено, що збільшення глибини кар'єру має вкрай негативний вплив на показники транспортної системи розробки з використанням автосамоскидів. В першу чергу зменшується продуктивність автосамоскидів, що призводить до збільшення їх необхідної кількості та зростання собівартості продукції, а також збільшується негативний вплив на навколишнє середовище через збільшення об'ємів викидів шкідливих речовин від роботи двигунів внутрішнього згоряння.

Залежності відстані транспортування і продуктивності самоскидів від глибини розробки родовища, при застосуванні технологічної схеми з використанням автотранспорту і стаціонарної дробарки на борту кар'єру, наведені на рис. 2.4.

Проведені дослідження також дозволили встановити, що необхідність зростання кількості автосамоскидів при розробці нерудних родовищ підсилюється зі збільшенням річної продуктивності кар'єрів. На рис. 2.3. наведені графіки залежностей, що дозволяють встановити вплив глибини кар'єру на необхідну кількість автосамоскидів з урахуванням збільшення продуктивності кар'єру з 400 до 1600 тис. т на рік.

Таблиця 2.1

Показники транспортної системи розробки при використанні  
автосамоскидів

Глибина кар'єру, м	Об'єм корисної копалини, млн т	Відстань транспортування похилими ділянками, м	Середня відстань транспортування на робочих горизонтах, м	Відстань транспортування, м	Час рейсу автосамоскида, хв.	Продуктивність автосамоскиду, т/рік	Кількість самоскидів при продуктивності кар'єру, тис. т			
							400	800	1200	1600
50	16,07	625	616,95	1241,95	16,66	232,5	2	4	6	7
60	20,63	750	620,35	1370,35	19,20	197,6	3	5	7	9
70	25,43	875	623,74	1498,74	21,73	179,7	3	5	7	9
80	30,46	1000	627,13	1627,13	24,26	158,1	3	6	8	11
90	35,72	1125	630,52	1755,52	26,79	146,4	3	6	9	11
100	41,24	1250	633,91	1883,91	29,33	131,8	4	7	10	13
110	47,01	1375	637,30	2012,30	31,86	123,5	4	7	10	13
120	53,03	1500	640,69	2140,69	34,39	112,9	4	8	11	15
130	59,32	1625	644,08	2269,08	36,92	106,8	4	8	12	15
140	65,88	1750	647,47	2397,47	39,46	98,8	5	9	13	17
150	72,71	1875	650,86	2525,86	41,99	94,1	5	9	13	18

Отримані результати досліджень (табл. 2.1) дозволяють перейти до наступного етапу досліджень з визначення техніко-економічних показників роботи кар'єру при застосуванні транспортної системи розробки з використанням автосамоскидів. Оскільки при збільшенні глибини кар'єру зменшується продуктивність автосамоскидів, в розрахунках собівартості виготовлення щебеневої продукції необхідно враховувати даний чинник.

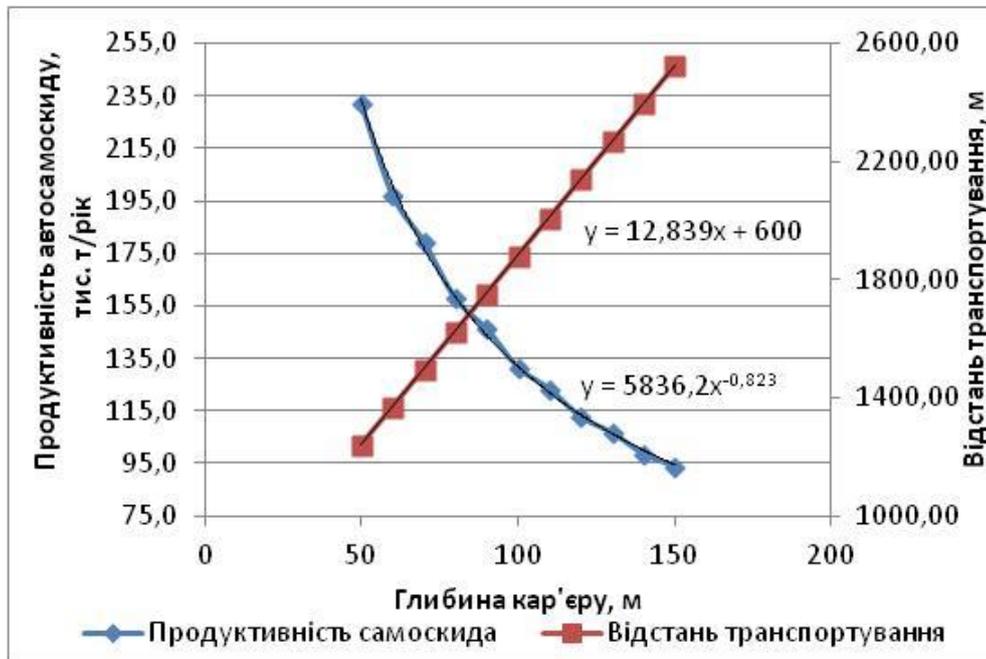


Рис. 2.4. Вплив глибини розробки нерудного кар'єру на продуктивність автосамоскидів

З даних, які наведені на рис. 2.4 можна зробити висновок, що збільшення глибини кар'єру в три рази з 50 до 150 м приводить до зростання відстані транспортування майже в два рази, що в свою чергу зменшує продуктивність кар'єрних автосамоскидів в 2,5 рази.

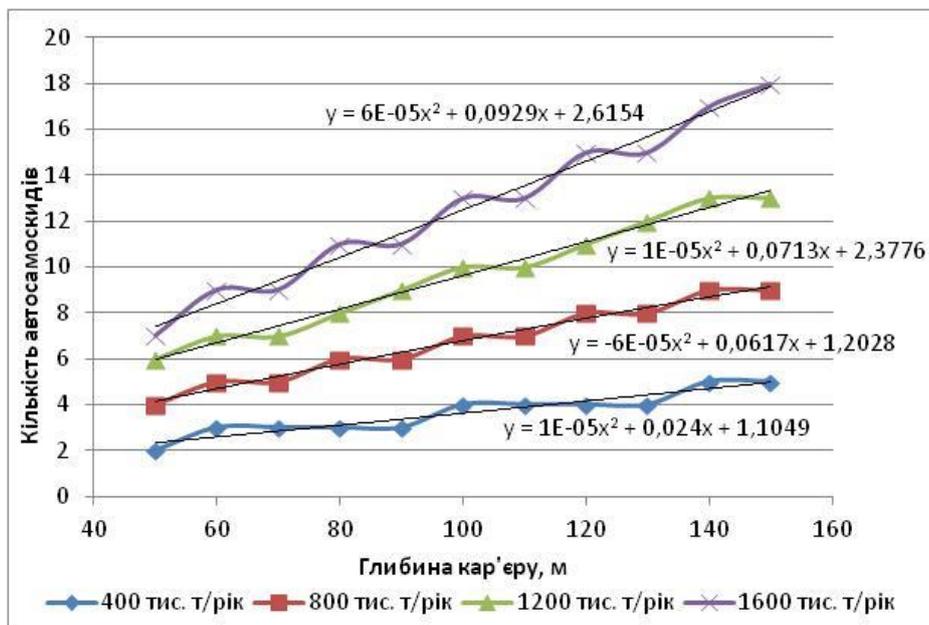


Рис. 2.5. Вплив глибини розробки нерудного кар'єру на кількість автосамоскидів в кар'єрі при заданій річній продуктивності

Відповідно до встановлених залежностей (рис. 2.5), зростання глибини кар'єру в 3 рази з 50 до 150 м призведе до зростання кількості автосамоскидів в 2,5 – 2,6 разів, в той час як збільшення продуктивності кар'єру в 4 рази з 400 до 1600 тис. т/рік призведе до збільшення транспортного парку у 3,5 – 3,6 разів.

Встановлені результати досліджень, дозволять в подальшому визначити техніко-економічні показники застосування транспортної системи розробки з використанням автосамоскидів з метою визначення ефективної області застосування циклічно-потокової технології при розробці нерудних родовищ корисних копалин.

## **2.2. Встановлення ефективних параметрів системи розробки при використанні циклічно-потокової технології**

Проведені дослідження дозволили встановити, що зі збільшенням глибини кар'єру суттєво знижується продуктивність автосамоскидів (рис. 2.2), за рахунок зростання відстані переміщення гірничої маси з вибоїв на денну поверхню кар'єру. Основною причиною такого збільшення є значні відстані транспортування похилими ділянками кар'єру, керуючий підйом на яких за технікою безпеки не може перевищувати 80 %.

З метою зменшення прямої відстані транспортування гірничої маси автосамоскидами на глибоких кар'єрах отримало поширення використання комбінації автомобільного і конвеєрного транспорту, який розташовується на борті кар'єру в крутій траншеї, або на поверхні в системі ковзних з'їздів борту кар'єру (рис. 2.6).

Основною перевагою зазначеної технологічної схеми розробки є мінімізація відстаней транспортування автосамоскидами в межах робочих горизонтів і суттєве зменшення відстаней транспортування виїзними траншеями.

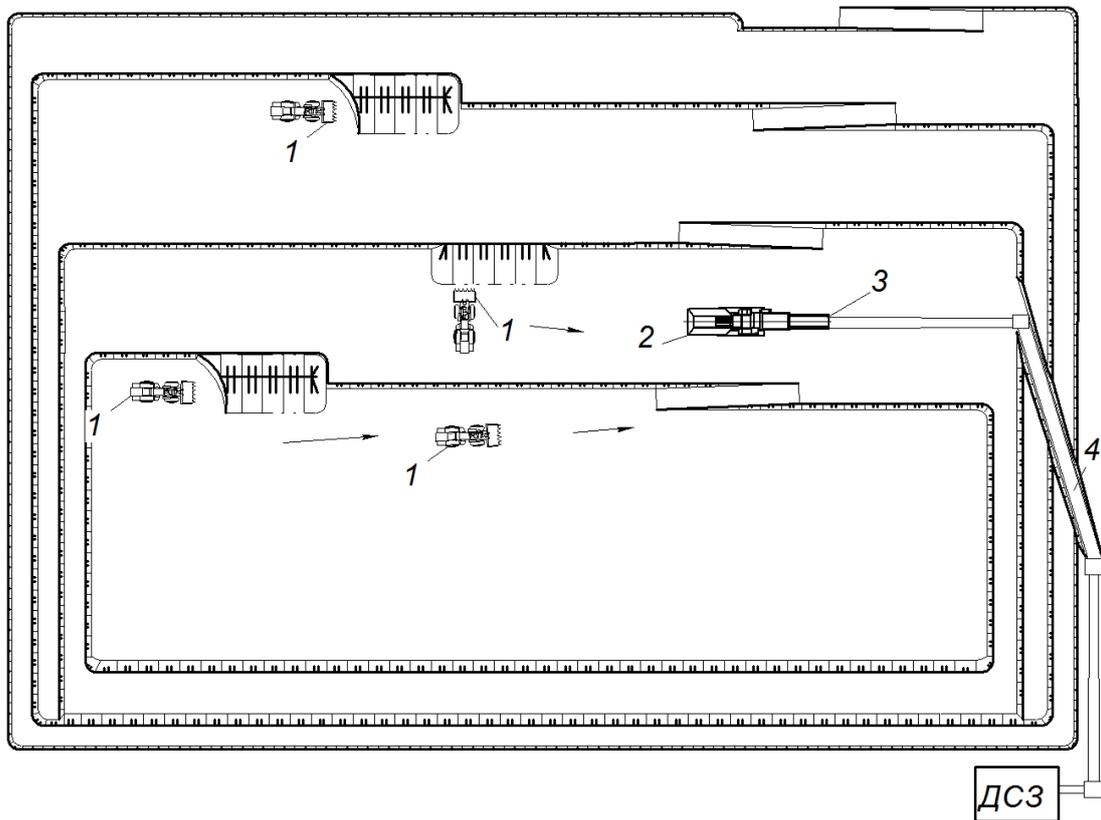


Рис. 2.6. Схема до визначення параметрів транспортної системи розробки нерудного кар'єру з використанням циклічно-поточної технології:  
 1 – автосамоскид; 2 – екскаватор; 3 – навантажувач; 4 – мобільна дробарка;  
 5 – крута траншея

У даній технологічній схемі додатково передбачено використання рудоскатів з верхніх горизонтів на концентраційний горизонт, на якому розташована мобільна дробарка. Це дозволить зменшити відстань транспортування гірничої маси похилими ділянками, однак призведе до необхідності залучення додаткового перевантажувача. Його основна функція буде полягати у переміщенні гірничої маси з навалу рудоскату до мобільної дробарки. Додаткові витрати для запровадження циклічно-поточної технології також будуть пов'язані зі встановленням мобільної дробарки, стрічкового конвеєру і спорудженням крутої траншеї для встановлення підйомного стрічкового конвеєра.

Визначення основних параметрів технологічної схеми з устаткуванням циклічно-поточної дії виконується за наступною послідовністю:

Розрахунок параметрів (п. 1 – 4) за вищенаведеною методикою виконувався згідно формул (2.1 – 2.4), які використовувалися при визначенні параметрів транспортної системи розробки з автосамоскидами.

5. Відстань транспортування гірничої маси автосамоскидами похилими ділянками на концентраційний горизонт, що знаходиться на верхньому майданчику другого уступу від дна кар'єру:

$$L'_{IT} = \frac{1000 \cdot 2Hy}{i}, \text{ м.} \quad (2.11)$$

6. Середня відстань транспортування гірничої маси горизонтальними майданчиками автосамоскидами в кар'єрі до мобільної дробарки:

$$L'_{HT} = 0,25(L + W - 2(H_K \text{ctg}\beta - 0,5 \cdot H_K \cdot W_B / Hy)), \text{ м.} \quad (2.12)$$

7. Середня відстань транспортування гірничої маси автосамоскидами в кар'єрі:

$$L'_{CH} = L'_{IT} + L'_{HT}, \text{ м,} \quad (2.13)$$

Визначення тривалості рейсу автосамоскидів і їх необхідна кількість виконується відповідно до виразів (8) – (10).

8. Довжина системи конвеєрів за умови розташування концентраційного горизонту на верхньому майданчику другого уступу від дна кар'єру:

$$L_{CT} = 0,5W + 2 \cdot Hy \cdot \text{ctg}\beta + (H_K - 2Hy) \cdot \text{ctg}\gamma, \text{ м,} \quad (2.14)$$

де  $\gamma$  – кут закладання крутої траншеї, град.

9. Гірничо - капітальний об'єм внутрішньої крутої траншеї:

$$V_{TP} = H_K^2 (ctg\gamma - ctg\beta) \left[ \frac{b}{2} + \frac{H_K}{3} (ctg\gamma - ctg\beta) \frac{ctg\alpha_T}{ctg\gamma} \right], \text{ м}^3, \quad (2.15)$$

де  $b$  – ширина крутої траншеї по низу, м;  $\alpha_T$  – кут укосу бортів траншеї, град.

Під час проведення досліджень приймалися діапазони глибини і продуктивності кар'єру аналогічні транспортній системі розробки з використанням автосамоскидів.

Додаткові параметри для розрахунків наступні: кут закладання крутої траншеї –  $17^\circ$ ; ширина крутої траншеї по низу – 20 м; кут укосу бортів траншеї –  $45^\circ$ .

Встановлені результати циклічно-потокової технології розробки кар'єрів нерудної сировини з використанням автомобільного і конвеєрного транспорту наведені у табл. 2.2.

Таблиця 2.2

Показники циклічно-потокової технології розробки з використанням  
автомобільного і конвеєрного транспорту

Глибина кар'єру, м	Довжина конвеєру, м	Об'єм крутої траншеї, млн м <sup>3</sup>	Відстань транспортування самоскидами похилими ділянками, м	Середня відстань транспортування самоскидами на робочих горизонтах, м	Відстань транспортування автосамоскидами, м	Продуктивність автосамоскиду, т/рік	Кількість самоскидів при продуктивності кар'єру, тис. т			
							400	800	1200	1600
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
50	414,91	0,14	250	308,48	558,48	395,3	2	3	4	5
60	447,62	0,22		310,17	560,17	359,3	2	3	4	5
70	480,32	0,33		311,87	561,87	329,4	2	3	4	5
80	513,03	0,46		313,56	563,56	304,1	2	3	4	6
90	545,74	0,64		315,26	565,26	282,3	2	3	5	6

Продовження таблиці 2.2.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
100	578,45	0,85	250	316,95	566,95	263,5	2	4	5	7
110	611,16	1,10		318,65	568,65	247,1	2	4	5	7
120	643,87	1,39		320,35	570,35	232,5	2	4	6	7
130	676,58	1,73		322,04	572,04	219,6	2	4	6	8
140	709,28	2,13		323,74	573,74	208,0	2	4	6	8
150	741,99	2,58		325,43	575,43	197,6	3	5	7	9

Отримані результати досліджень підтверджують, що запровадження циклічно-поточної технології розробки кар'єрів нерудних родовищ дозволяє суттєво зменшити відстані транспортування гірничої маси автосамоскидами (рис. 2.5). Особливо ефективність даної схеми спостерігається при глибині кар'єру 150 м і зростанні продуктивності до 1,6 млн т/рік за рахунок збільшення продуктивності автосамоскиду в 2,1 рази з 94,1 до 197,6 тис. т/рік у порівнянні з застосуванням транспортної системи розробки з використанням автосамоскидів.

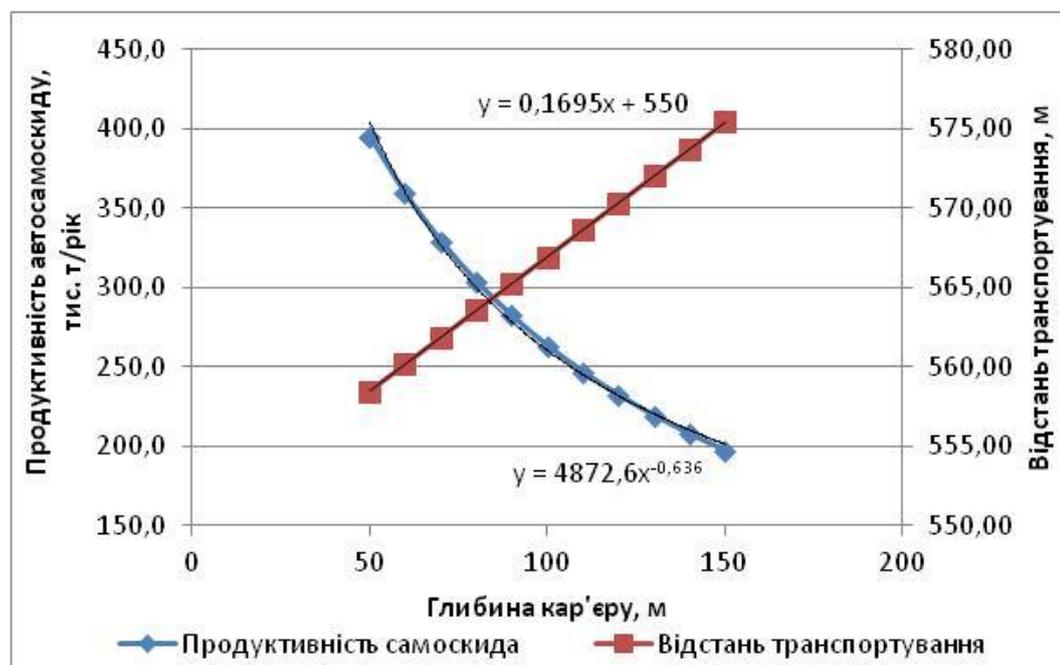


Рис. 2.5. Вплив глибини розробки нерудного кар'єру на продуктивність автосамоскидів при використанні циклічно-поточної технології

За рахунок збільшення продуктивності автосамоскидів в 2,1 рази при циклічно-потоковій технології досягається зменшення їх загальної кількості в два рази, з 18 до 9 одиниць при однаковій продуктивності і глибині розробки, на відміну від транспортної системи, де уся гірничча маса доставляється на поверхню автосамоскидами (рис. 2.6).

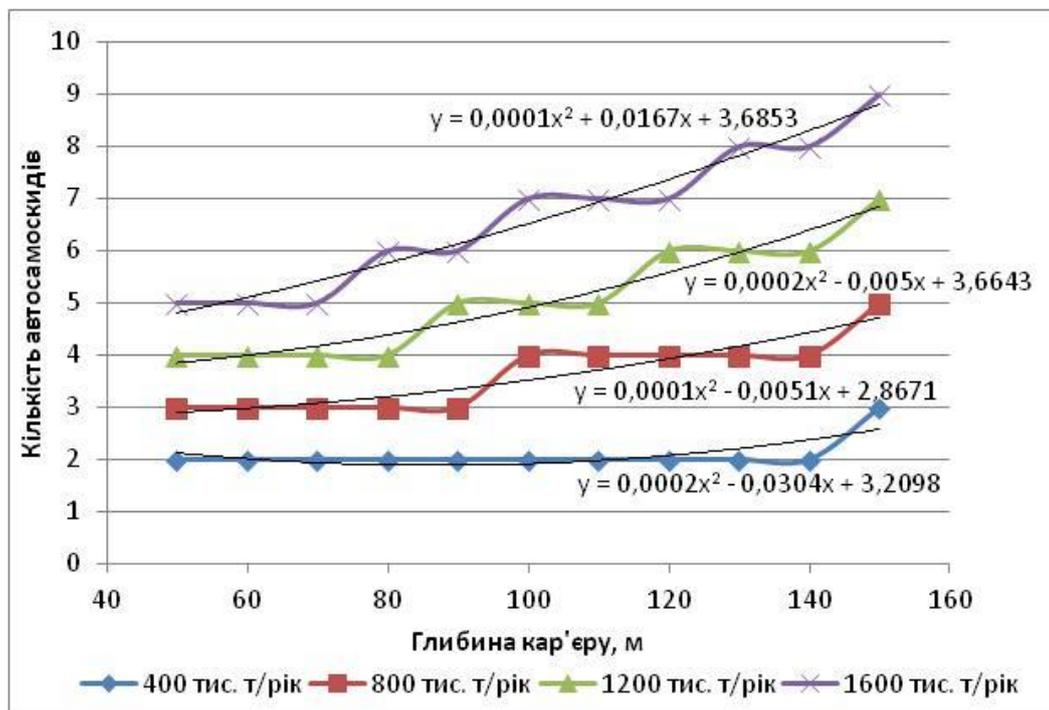


Рис. 2.6. Залежність кількості автосамоскидів від глибини кар'єру при розробці нерудного кар'єру за циклічно-потоковою технологією

Окрім суттєвих переваг застосування циклічно-потокової технології при збільшенні глибини нерудних кар'єрів існують значні перешкоди у її впровадженні. Основним недоліком збільшення витрат на гірничо-капітальні роботи при спорудженні крутої траншеї на борту кар'єру для облаштування похилого конвеєра. Також суттєвих витрат потребують мобільно-дробильна установка і встановлення вибійного і похилого конвеєрів на борту кар'єру. Об'єм гірничокапітальних робіт зі спорудження траншеї та довжина конвеєру будуть зростати по мірі пониження глибини гірничих робіт (рис. 2.7).

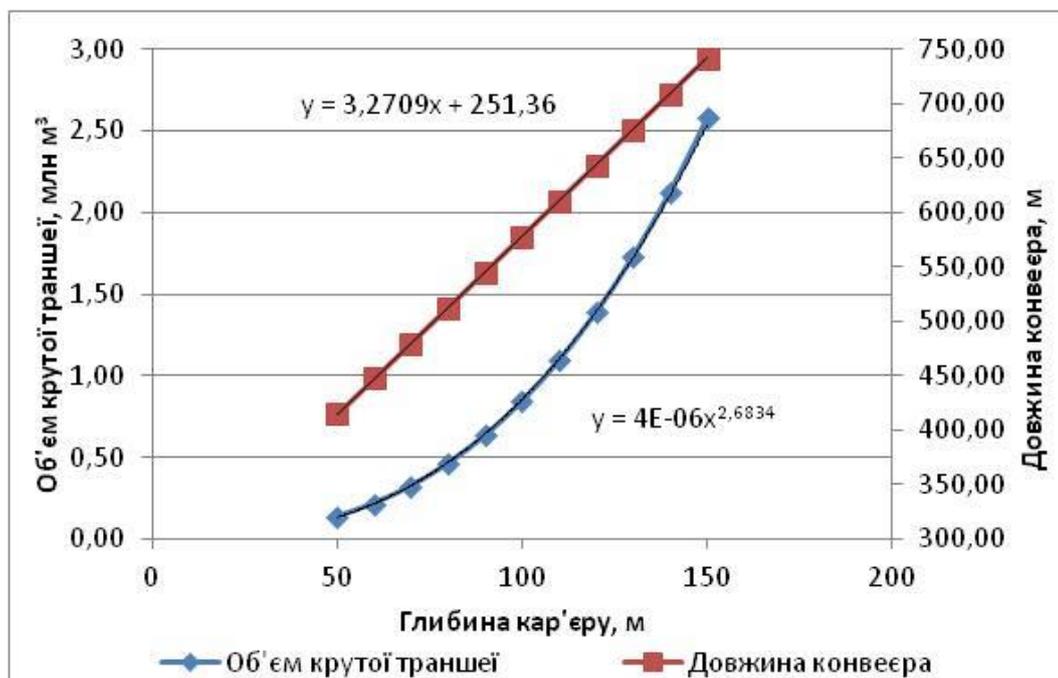


Рис. 2.7. Залежність об'єму крутої траншеї і довжини конвеєрів від глибини нерудного кар'єру при циклічно-потоківій технології

Відповідно до встановлених залежностей (рис. 2.7), збільшення глибини кар'єру в 3 рази з 50 до 150 м призведе до збільшення об'єму крутої траншеї у 18,4 рази, при цьому загальна довжина конвеєру збільшиться у 1,8 рази з 414 до 741 м.

Для реалізації даної технологічної схеми також необхідно враховувати додаткові витрати на придбання колісного навантажувача, який буде забезпечувати доставку гірничої маси з рудоскатів до мобільно-дробильної установки.

### 2.3. Визначення ефективних параметрів елементів системи розробки при використанні мобільної дробильно-сортувальної установки на концентраційному горизонті кар'єру

Аналіз сучасних технологічних рішень з підвищення ефективності відкритої розробки нерудних корисних копалин дозволив встановити, що найбільш перспективними на сьогодні є схеми з розташуванням на

концентраційному горизонті окрім мобільної дробарки мобільної дробильно-сортувальної установка (МДСУ). За рахунок габаритних параметрів і низької металоємності у порівнянні зі стаціонарним дробильно-сортувальним комплексом на поверхні кар'єру досягається суттєва економія капітальних витрат (рис. 2.8, 2.9). Зазначена схема на відміну від схем, що розглянуті вище, дозволяє виготовляти товарну продукцію на концентраційному горизонті в середині кар'єру, звідки споживач може вивозити її на поверхню власним автотранспортом. Окрім цього зазначена технологія дозволяє зменшити негативний вплив на навколишнє середовище за рахунок зменшення кількості робочого устаткування в кар'єрі.

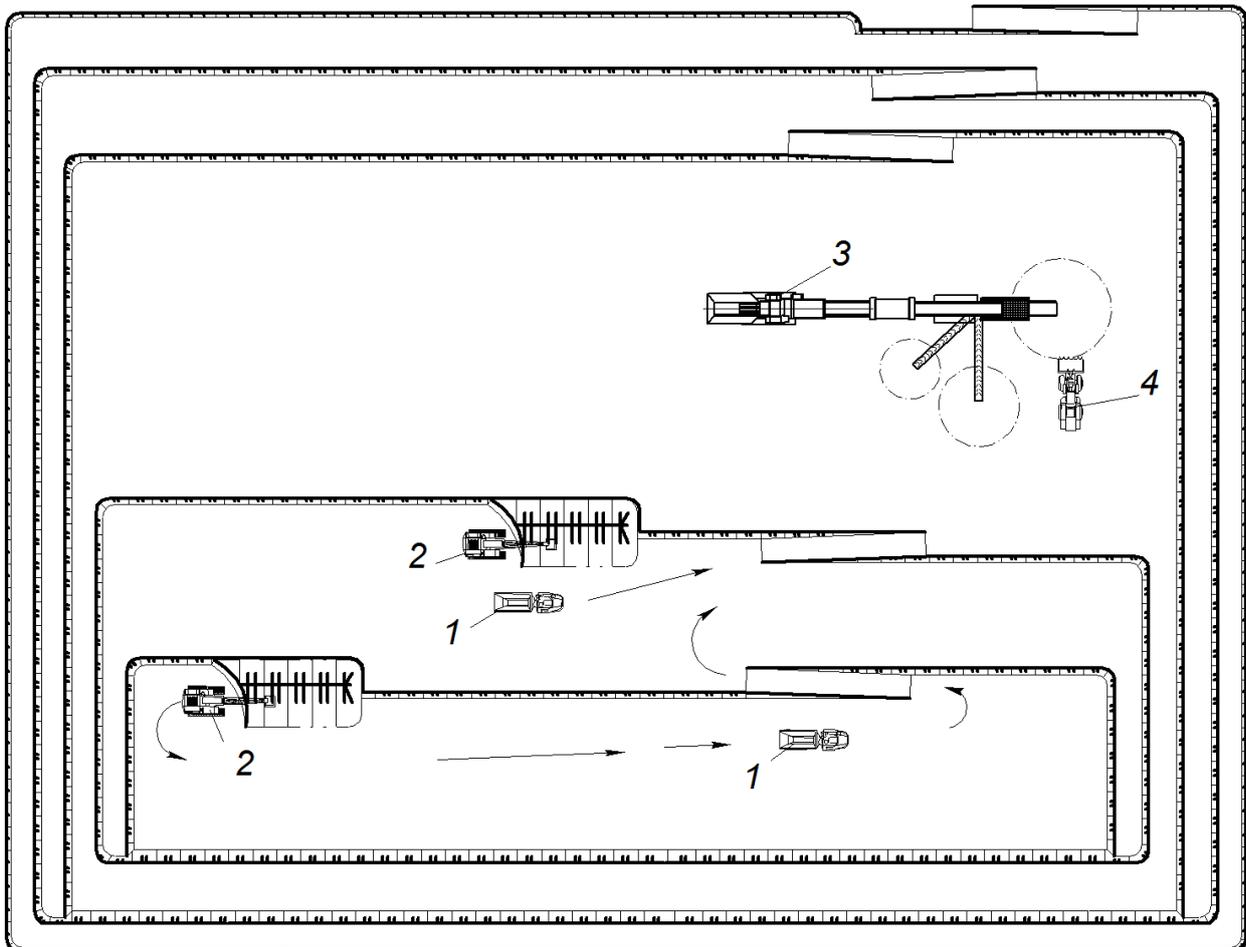


Рис. 2.8. Технологічна схема з переробкою гірничої маси на концентраційному горизонті кар'єру: 1 – автосамоскид; 2 – екскаватор; 3 – мобільна дробарка; 4 – навантажувач; 5 – мобільна дробильно-сортувальна установка.

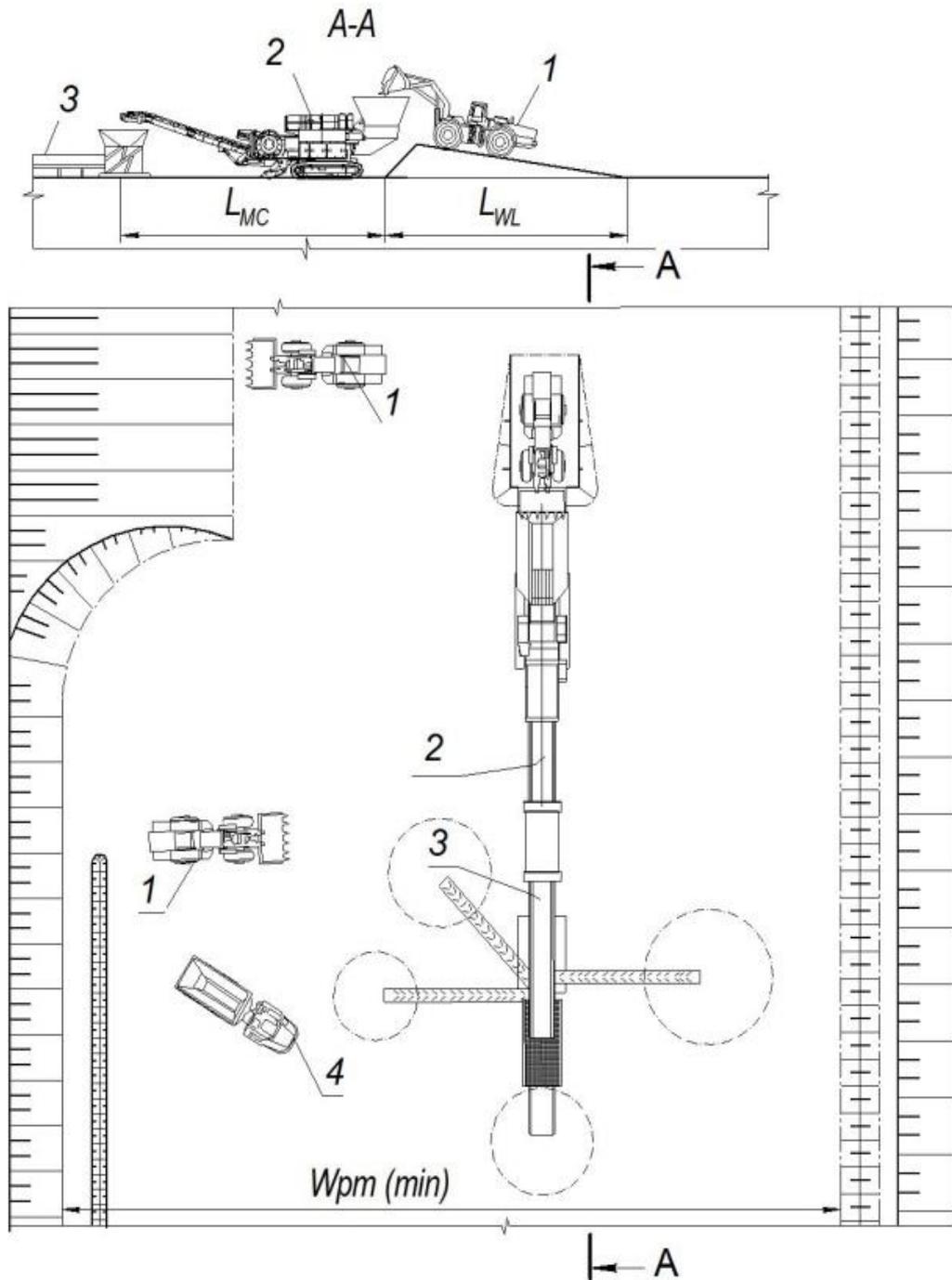


Рис. 2.9. Схема розташування мобільного дробильно-сортувального комплексу на концентраційному горизонті в кар'єрі: 1 – колісний навантажувач; 2 – мобільна дробарка; 3 – МДСУ; 4 – автосамоскид

Висота видобувних уступів у кар'єрах повинна відповідати робочим параметрам гірничо-виймального устаткування. При цьому висота вибою (розвалу) не повинна перевищувати максимальну висоту черпання екскаватора або підйому ковша навантажувача. Виходячи із цих вимог з

урахуванням застосування сучасних закордонних і вітчизняних гідравлічних екскаваторів пряма й обернена мехлопата з ємкістю ківша 2,1-3,0 м<sup>3</sup>, висота уступів може становити 10-12 м. При використанні ковшових навантажувачів з ковшами ємкістю 4,6-5,0 м<sup>3</sup> розвал гірничої маси не повинен перевищувати 4-5 м.

Ширина розвалу підірваної корисної копалини  $B_x$  регулюється з урахуванням діаметру свердловинних зарядів, кількості рядів в обуреному блоці уступу, схемі підривання, конструкції заряду тощо. Наприклад, при підриванні зарядів діаметром 100-105 мм, кількості рядів 3-4, повна ширина розвалу становить буде становити 34 - 36 м. Висота розвалу корисної копалини у вибої: 11,0 м [23]. З урахуванням зазначених параметрів, ширина бурової заходки буде становити 15-16 м. При цьому ширина майданчика з розміщеним комплексом МДСУ буде становити  $Ш_{pm} = 50$  м. Ширина робочого майданчика концентраційного горизонту також складе 50 м.

Ширина робочого майданчика уступу, на якому екскаватор розробляє корисну копалину з навантаженням в автотранспорт або колісним навантажувачем доставляється до майданчика МДСУ суміжного уступу становить 45 - 46 м, ширина транспортної смуги на цих уступах 24 м.

При реалізації транспортної системи розробки на тимчасово неробочій ділянці борта між суміжними уступами залишаються берми шириною 2,5-3,0 м. У цьому випадку кут нахилу (укосу) борта на даній ділянці  $\alpha_{нб}=72-73^\circ$ . Кут нахилу (укосу) тимчасово неробочої ділянки борта складе  $\alpha_{внб}=29-30^\circ$ .

Переекскавація підірваної корисної копалини на концентраційний горизонт здійснюється видобувним екскаватором. Для вищевказаних гідравлічних екскаваторів їхній максимальний радіус розвантаження становить 12-12,5 м. При ширині майданчика на видобувному уступі, після підривання бурової заходки, що складає 18 м, весь об'єм корисної копалини від першої заходки ( $V_{к.к.}=1280-1320$  м<sup>3</sup> на погонний метр уступу) буде розроблений за один прохід екскаватора. Гірська маса з розвалу двох інших

заходок (у межах ширини розвалу  $B_c = 48$  м) може бути переєккавована тільки при двох-трьох кратному проході екскаватора.

З метою зниження витрат на переєккавацію пропонується наступна технологія виймання й перевалки корисної копалини на концентраційний уступ. Ту частину розвалу порід, що має висоту 4-5 м, варто відробити колісними навантажувачами. Навантажувачі після забору породи й наповнення ківша підїжджають до укосу й виконують підвалку порід під нього. Відстань маневрування колісним навантажувачем при зачерпуванні й розвантаженні в досліджуваних умовах не перевищить 30-40 м. При цьому видобувний екскаватор формує новий розвал для колісних навантажувачів висотою 4-5 м шляхом розробки порід з розвалу й розвантаження під вибій навантажувачів.

Відповідно до зазначеної схеми (рис. 2.8), підготовлена продукція з заданою фракційністю може бути спрямована до споживача декількома варіантами з безпосереднім вивезенням щебеню вантажівками замовника з концентраційного горизонту кар'єру, або шляхом облаштування похилого конвеєра на борту кар'єру для подачі готової продукції на поверхню.

При розрахунку параметрів технологічної схеми з мобільною дробильно-сортувальною установкою використовуються вирази (2.1 – 2.4), (2.8 – 2.13).

Визначення відстані транспортування готової продукції автосамоскидами з концентраційного горизонту кар'єру на поверхню виконується відповідно до виразу:

$$L_{HS} = 0,5W + \frac{1000 \cdot (H_K - 2Hy)}{i}, \text{ м.} \quad (2.16)$$

При порівнянні другої і третьої технологічних схем встановлено, що значна частина параметрів будуть тотожними, оскільки під час розрахунків приймалися однакові вихідні даними. До того ж мобільна дробарка на концентраційному горизонті встановлюється на тому ж місті, що і мобільно

дробильно-сортувальна установка, що призводить до необхідності збільшення транспортного устаткування для доставки товарної продукції на поверхню кар'єру. Розрахунок параметрів роботи автосамоскидів при доставці гірничої маси до МДСУ і від неї на поверхню кар'єру наведені в табл. 2.3.

Таблиця 2.3

Показники транспортної системи розробки з використанням автомобільного транспорту і концентраційним горизонтом з МДСУ

Глибина кар'єру, м	Відстань транспортування автосамоскидами до МДСУ, м	Продуктивність автосамоскиду на ділянці від вибоїв до МДСУ, т/рік	Кількість самоскидів для доставки гірничої маси до МДСУ, тис. т				Відстань від МДСУ до поверхні кар'єру, м	Продуктивність автосамоскиду на ділянці від МДСУ до поверхні кар'єру, тис. т/рік	Кількість самоскидів для доставки гірничої маси від МДСУ на поверхню, тис. т			
			400	800	1200	1600			400	800	1200	1600
50	558,48	395,3	2	3	4	5	675,0	359,3	2	3	4	5
60	560,17	359,3	2	3	4	5	800,0	304,1	2	3	4	6
70	561,87	329,4	2	3	4	5	925,0	282,3	2	3	5	6
80	563,56	304,1	2	3	4	6	1050,0	247,1	2	4	5	7
90	565,26	282,3	2	3	5	6	1175,0	232,5	2	4	6	7
100	566,95	263,5	2	4	5	7	1300,0	208,0	2	4	6	8
110	568,65	247,1	2	4	5	7	1425,0	188,2	3	5	7	9
120	570,35	232,5	2	4	6	7	1550,0	179,7	3	5	7	9
130	572,04	219,6	2	4	6	8	1675,0	164,7	3	5	8	10
140	573,74	208,0	2	4	6	8	1800,0	158,1	3	6	8	11
150	575,43	197,6	3	5	7	9	1925,0	146,4	3	6	9	11

Відповідно до встановлених показників транспортної системи розробки з використанням автомобільного транспорту і концентраційним горизонтом з МДСУ встановлено, що за умови доставки товарної продукції з концентраційного горизонту на поверхню кар'єру самоскидами підприємства, їх загальний автопарк буде дорівнювати за кількістю транспортній системі розробки (п. 2.1), в якій подрібнення гірничої маси відбувається на поверхні кар'єру.

Встановлені показники транспортної системи розробки з використанням автомобільного і конвеєрного транспорту, а також застосування МДСУ на концентраційному горизонті кар'єру дозволять перейти до наступного етапу досліджень.

Однак отримані результати досліджень не дозволяють з повною впевненістю визначити перевагу однієї з трьох технологічних схем, оскільки використання критерію середньозваженої відстані транспортування не враховує капітальні витрати на впровадження кожної з технологій у виробництво. У зв'язку з цим, обґрунтування ефективної технологічної схеми при розробці нерудних родовищ має відбуватися за показниками питомих витрат на виробництво кінцевої продукції, визначення яких дозволить розробити методичні рекомендації для впровадження ефективних технологічних схем розробки нерудної мінеральної.

### **Висновки до 2 розділу.**

1. Встановлено залежності відстані транспортування корисної копалини від глибини розробки родовища з застосуванням технологічних схем при транспортній системі розробки, циклічно – потоковій технологічній схемі та при використанні мобільно – дробильної установки в кар'єрі за різною глибиною кар'єра, які дозволили встановити, що при застосуванні МДСУ в кар'єрі відстань транспортування може зменшуватися від 1,9 до 3,4 разів.

2. Встановлено залежності продуктивності автосамоскидів від глибини розробки нерудного кар'єру. Відповідно до отриманих залежностей при збільшенні глибини кар'єру в три рази з 50 до 150 м продуктивність кар'єрних автосамоскидів зменшується в 2,5 рази при транспортній системі розробці та в 2 рази при циклічно-потоківій.

3. Проведено обґрунтування ефективних параметрів елементів системи розробки родовищ будівельної нерудної сировини за транспортною, циклічно-потоківією системою розробки та застосування технологічної схеми з розташуванням мобільної дробально – сортувальної установки на робочих майданчиках кар'єру.

4. Встановлено залежність об'єму крутої траншеї і довжини конвеєрів від глибини нерудного кар'єру при циклічно-потоківій технології. Відповідно до встановлених залежностей, збільшення глибини кар'єру з 50 до 150 м призведе до збільшення об'єму крутої траншеї у 18,4 рази, при цьому загальна довжина конвеєру збільшиться у 1,8 рази з 414 до 741 м.

5. Встановлено, що найбільш ефективною технологічним рішенням є застосування циклічно-потоківієї технології відпрацювання кар'єру з розташуванням концентраційного горизонту на другому уступі від дна кар'єру. Це дозволяє зменшити відстань транспортування гірничої маси на поверхню кар'єру в 1,9 рази при глибині кар'єру 150 м та призводить до зменшення кількості автосамоскидів в роботі в 2 рази.

### **3. ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ СХЕМ ОСВОЄННЯ РОДОВИЩ НЕРУДНИХ КОРИСНИХ КОПАЛИН**

#### **3.1. Розробка методики визначення техніко-економічних параметрів ефективності застосування технологічних схем**

Отримані результати досліджень в попередньому розділі не дозволяють з повною впевненістю визначити перевагу однієї з трьох технологічних схем, оскільки використання критерію середньої відстані транспортування не враховує капітальні витрати на впровадження кожної з технологій у виробництво. У зв'язку з цим, обґрунтування ефективної технологічної схеми при розробці нерудних родовищ має відбуватися за показниками питомих витрат на виробництво щелевеної продукції, визначення яких дозволить в подальшому розробити відповідні рекомендації з урахуванням глибини кар'єру.

При виконанні досліджень з обґрунтування ефективних параметрів елементів системи розробки та виборі технологічних схем розробки родовищ гранітів основними вихідними даними приймалися показники системи розробки Пинязевицького родовища гранітів, що наведені в табл. 3.1.

Вихідними даними для виконання розрахунків було використано: кількість і вартість гірничотранспортного устаткування, що використовується на підприємстві за умови змінної глибини кар'єру і річної продуктивності. Під час проведення досліджень діапазон глибини кар'єру обирався у межах 50 – 150 м, а продуктивність змінювалася від 0,4 до 1,6 млн м<sup>3</sup>/рік. При цьому питомі витрати на виробництво щелевеної продукції для кожного варіанта не включає витрати на буро-вибухові та адміністративні витрати, які прямопропорційно здорожують вартість продукції і можуть бути додані до отриманих значень витрат.

Варто зазначити, що зміна глибини і продуктивності кар'єру суттєво впливають на кількість необхідних автосамоскидів, у той час як

продуктивність визначає типорозміри виймально-навантажувального устаткування і потужність дробильно-сортувальної фабрики.

Таблиця 3.1

## Основні параметри системи розробки Пинязевицького родовища

Найменування параметру	Од. виміру	Величина
Мінімальна ширина робочих майданчиків:		
- по пухких розкривних породах	м	28
- по скельному розкриву	м	27-34
- по корисній копалині	м	27-34
Ширина робочих майданчиків:		
- по пухких розкривних породах	м	39
- по скельному розкриву	м	51
- по корисній копалині	м	51
Висота уступу розкриву	м	до 5
Висота уступу добувного	м	12-14 (до 15)
Кут укосу робочого уступу:		
- по пухких розкривних породах	град.	60
- по скельному розкриву	град.	80
- по корисній копалині	град.	80
Кут стійкого укосу уступу:		
- по пухких розкривних породах	град.	40
- по скельному розкриву	град.	75
- по корисній копалині	град.	75
Результуючий кут укосу погашеного борту	град.	47-65
Відмітки робочих горизонтів, м	м	124; 112; 99; 86; 72; 58; 44; 30
Кут укосу ярусу відвалу	град.	34
Висота ярусу відвалу	м	10
Ширина транспортної берми на видобувних робочих горизонтах	м	24,0
Ширина транспортної берми на робочих горизонтах з пухкими породами	м	20,0
Ширина запобіжних берм	м	8-10

Розрахунок питомих витрат виготовлення щибеневої продукції виконується у наступній послідовності:

1. Розрахунок фонду зарплати інженерно-технічних працівників формується виходячи з посадових окладів з урахуванням преміальних доплат. Фонду заробітної плати інженерно-технічних працівників провадиться за формулою:

$$З_{міс} = O + \Phi_{\partial}, \text{ грн,}$$

де  $\Phi_{\partial} = D_{ніч} + P_{імн} + D_n$ ;  $P_{імн}$  – премія ІТП і службовців,  $P_{ІТП} = 40\%$ ;  $O$  – величина місячного посадового окладу, грн.

2. При розрахунку амортизаційних відрахувань необхідно враховувати, що амортизаційні відрахування для кожної групи основних фондів розраховуються на підставі норм амортизації, затверджених Кабінетом Міністрів України.

Розрахунок амортизаційних відрахувань на обладнання, що застосовується на кар'єрі, провадиться за формулою:

$$A_{відр.р} = A_{обл.} \cdot H_{амор.}, \text{ тис. грн,}$$

де  $A_{обл.}$  – балансова вартість обладнання, тис. грн;

$H_{амор.}$  – річна норма амортизаційних відрахувань (15 %).

3. Розрахунок витрат на матеріали має враховувати витрати на допоміжні матеріали для обладнання, визначаються виходячи з кількості гірничого обладнання, нормам витрат та ціни за одиницю. Норми витрати матеріалів та ціни на них приймаються відповідно до даних підприємства.

Витрати на  $i$ -ий матеріал визначимо за формулою:

$$C_i = Ц_i \cdot Q_v \cdot Ц_i \cdot N_i,$$

де  $C_i$  - ціна  $i$ -того матеріалу, грн;  $Q_p$  - річна продуктивність кар'єру, т.;  $N_i$  - норма витрати на  $i$ -ий матеріал.

6. Розрахунок загальних витрат на розробку родовища і виготовлення щебеневої продукції дозволяє визначити питомі витрати виготовлення щебеневої продукції на підставі встановлених вище витрат на заробітну плату, амортизацію та ремонт, паливних матеріалів та електроенергії шляхом сумування цих витрат виробництва.

### **3.2. Обґрунтування техніко-економічних показників виготовлення щебеневої продукції за технологічною схемою з використанням автотранспорту і стаціонарної дробарки на борту кар'єру**

Вихідними даними для виконання розрахунків з обґрунтування техніко-економічних показників є кількість і вартість гірничотранспортного устаткування, що використовується на підприємстві за умови змінної глибини кар'єру і річної продуктивності.

Під час проведення досліджень діапазон глибини кар'єру обирався у межах 50 – 150 м, а продуктивність змінювалася від 0,4 до 1,6 млн м<sup>3</sup>/рік. При цьому собівартість щебеневої продукції для кожного варіанта не включає витрати на буро-вибухові та адміністративні витрати, які прямопропорційно здорожують вартість продукції і можуть бути додані до отриманих значень витрат.

Варто зазначити, що зміна глибини і продуктивності кар'єру суттєво впливають на кількість необхідних автосамоскидів, у той час як продуктивність визначає типорозміри виймально-навантажувального устаткування і потужність дробильно-сортувальної фабрики.

Для розрахунку фонду заробітної плати на штат працівників, які обслуговують обладнання за технологічною схемою з використанням автотранспорту і стаціонарної дробарки на борту кар'єру, наприклад, при його продуктивності 0,4 млн м<sup>3</sup>/рік використовуються наступні вихідні дані:

- при розробці кар'єру глибиною 50 м на розкривній ділянці використовуються 1 екскаватор Volvo EC360BLC і 1 автосамоскид Cat-773. У бригади екскаватора графік роботи цілодобовий з тривалістю зміни 8 годин, 80 робочих днів на рік. Екскаватори обслуговують по 1 машиністу. Кожен автосамоскид також обслуговує 1 машиніст. На видобувній ділянці використовуються 1 екскаватор CAT-345B L і 2 автосамоскиди Cat-773. Екскаватор обслуговується одним машиністом. Кожен автосамоскид також обслуговує 1 машиніст. Для завантаження товарної продукції споживачу використовується навантажувач CAT-988H, який обслуговує 1 машиніст. Для виконання допоміжних робіт застосовується бульдозер Cat D6R2, який обслуговує один машиніст. Стационарна дробарка на борту кар'єру обслуговується 2 операторами. У бригад, що пов'язані з виконанням видобувних робіт графік роботи цілодобовий з тривалістю зміни 8 годин, 208 робочих днів на рік. Кількість працівників на кар'єрі складає 27 осіб:

- при розробці кар'єру глибиною 100 м на розкривній ділянці використовуються 1 екскаватор Volvo EC360BLC і 1 автосамоскид Cat-773. У бригади екскаватора графік роботи цілодобовий з тривалістю зміни 8 годин, 80 робочих днів на рік. Екскаватори обслуговують по 1 машиністу. Кожен автосамоскид також обслуговує 1 машиніст. На видобувній ділянці використовується 1 екскаватор CAT-345B L і 4 автосамоскиди Cat-773. Екскаватор обслуговується одним машиністом. Кожен автосамоскид також обслуговує 1 машиніст. Для завантаження товарної продукції споживачу використовується навантажувач CAT-988H, який обслуговує 1 машиніст. Для виконання допоміжних робіт застосовується бульдозер Cat D6R2, який обслуговує один машиніст. Стационарна дробарка на борту кар'єру обслуговується 2 операторами. У бригад, що пов'язані з виконанням видобувних робіт графік роботи цілодобовий з тривалістю зміни 8 годин, 208 робочих днів на рік. Кількість працівників на кар'єрі - 33 особи;

- при розробці кар'єру глибиною 150 м на розкривній ділянці, як і в попередніх варіантах використовуються 1 екскаватор Volvo EC360BLC і 1

автосамоскид Cat-773. У бригади екскаватора графік роботи цілодобовий з тривалістю зміни 8 годин, 80 робочих днів на рік. Екскаватори обслуговують по 1 машиністу. Кожен автосамоскид також обслуговує 1 машиніст. На видобувній ділянці використовується 1 екскаватор CAT-345B L і 5 автосамоскидів Cat-773. Екскаватор обслуговується одним машиністом. Кожен автосамоскид також обслуговує 1 машиніст. Для завантаження товарної продукції споживачу використовується навантажувач CAT-988H, який обслуговує 1 машиніст. Для виконання допоміжних робіт застосовується бульдозер Cat D6R2, який обслуговує один машиніст. Стационарна дробарка на борту кар'єру обслуговується 2 операторами. У бригад, що пов'язані з виконанням видобувних робіт графік роботи цілодобовий з тривалістю зміни 8 годин, 208 робочих днів на рік. Кількість працівників на кар'єрі - 36 осіб.

При аналізі технологічної схеми з використанням автосамоскидів і стаціонарної дробильно-сортувальної фабрики на борту кар'єру з продуктивністю 1,0 млн м<sup>3</sup>/рік, також досліджувався діапазон глибини кар'єру у межах 50 – 150 м. При визначенні питомих витрат на щебенеvu продукцію для кожного варіанта також не включалися витрати на буровибухові роботи та адміністративні витрати.

Варто зазначити, що при збільшенні продуктивності кар'єру в умовах Пинязевецького родовища гранітів, збільшення продуктивності кар'єру з 0,4 до 1,0 млн м<sup>3</sup>/рік також призведе до зміни годинної продуктивності підприємства за розкривними породами і корисною копалиною. Годинна продуктивність зросте з 80 до 200 м<sup>3</sup>/год., а об'єм розробки розкривних порід збільшиться з 78,0 до 195 м<sup>3</sup>/год. Таким чином, для розробки зазначених об'ємів необхідно буде залучити 2 розкривних екскаватора Volvo EC360BLC і замінити видобувний екскаватор CAT-345B L (2,9 м<sup>3</sup>) на більш потужний CAT-5080 FS (5 м<sup>3</sup>).

Методика розрахунку техніко-економічних показників технологічної схеми з використанням автотранспорту і стаціонарної дробарки на борту

кар'єру при його продуктивності 1,6 млн м<sup>3</sup>/рік є аналогічною до тієї, що використовувалася для кар'єрів з меншою продуктивністю.

При збільшенні продуктивності кар'єру в умовах Пинязевицького родовища гранітів з 1,0 до 1,6 млн м<sup>3</sup>/рік зміниться годинна продуктивність підприємства за розкривними породами і корисною копалиною. Годинна продуктивність зросте з 200 до 320 м<sup>3</sup>/год., об'єм розробки розкривних порід збільшиться з 195,0 до 312 м<sup>3</sup>/год. Таким чином, для розробки зазначених об'ємів необхідно буде залучити 3 розкривних екскаватора Volvo EC360BLC і замінити видобувний екскаватор CAT-5080 FS (5 м<sup>3</sup>) на більш потужний CAT-6015FS (7 м<sup>3</sup>).

При розрахунку фонду заробітної плати на штат працівників, які обслуговують обладнання при продуктивності кар'єру 1,6 млн м<sup>3</sup>/рік використовувалися наступні вихідні дані:

- при розробці кар'єру глибиною 50 м на розкривній ділянці використовуються 3 екскаватори Volvo EC360BLC і 1 автосамоскид Cat-773. У бригади екскаватора графік роботи цілодобовий з тривалістю зміни 8 годин, 80 робочих днів на рік. На видобувній ділянці використовується 1 екскаватор CAT-6015FS і 7 автосамоскидів Cat-773. Для завантаження товарної продукції споживачу використовується навантажувач CAT-988H. Для виконання допоміжних робіт застосовується бульдозер CAT D6R2. Стационарна дробарка на борту кар'єру обслуговується 2 операторами. У бригад, що пов'язані з виконанням видобувних робіт таки же графік роботи. Кількість працівників на кар'єрі складає 48 осіб;

- при розробці кар'єру глибиною 100 м на розкривній ділянці використовуються 3 екскаватори Volvo EC360BLC і 1 автосамоскид Cat-773. У бригади екскаватора графік роботи цілодобовий з тривалістю зміни 8 годин, 80 робочих днів на рік. На видобувній ділянці використовується 1 екскаватор CAT-6015FS і 13 автосамоскидів Cat-773. Для завантаження товарної продукції споживачу використовується навантажувач CAT-988H та

бульдозер CAT D6R2. Стационарна дробарка на борту кар'єру обслуговується 2 операторами. Кількість працівників на кар'єрі складає 66 осіб;

- при розробці кар'єру глибиною 150 м на розкривній ділянці використовуються 3 екскаватори Volvo EC360BLC і 1 автосамоскид Cat-773. У бригади екскаватора графік роботи цілодобовий з тривалістю зміни 8 годин, 80 робочих днів на рік. На видобувній ділянці використовується 1 екскаватор CAT-6015FS і 18 автосамоскидів Cat-773. Для завантаження товарної продукції споживачу використовується навантажувач CAT-988H та бульдозер CAT D6R2. Стационарна дробарка на борту кар'єру обслуговується 2 операторами. На видобувних роботах графік роботи цілодобовий з тривалістю зміни 8 годин, 208 робочих днів на рік. Кількість працівників на кар'єрі складає 81 особа.

Розрахунки ФЗП на штат працівників з використанням автотранспорту і стационарної дробарки на борту кар'єру при глибині кар'єра 50, 100 і 150 м та його продуктивності: 0,4; 1,0; 1,6 млн м<sup>3</sup>/рік, які обслуговують обладнання; розрахунок амортизаційних відрахувань на гірничотранспортне обладнання і устаткування для переробки щебеню, витрати на паливо-мастильні і допоміжні матеріали, електроенергію та загальна калькуляція собівартості виготовлення щебеневої продукції, визначені за наведеною методикою.

Відповідно до вихідних даних дослідження встановлено залежності питомих витрат на виготовлення щебеневої продукції від продуктивності кар'єру без урахування витрат на буро-вибухові та адміністративні витрати при застосуванні технологічної схеми розробки кар'єру з автотранспортом і стационарною дробаркою на борту кар'єру (рис. 3.1).

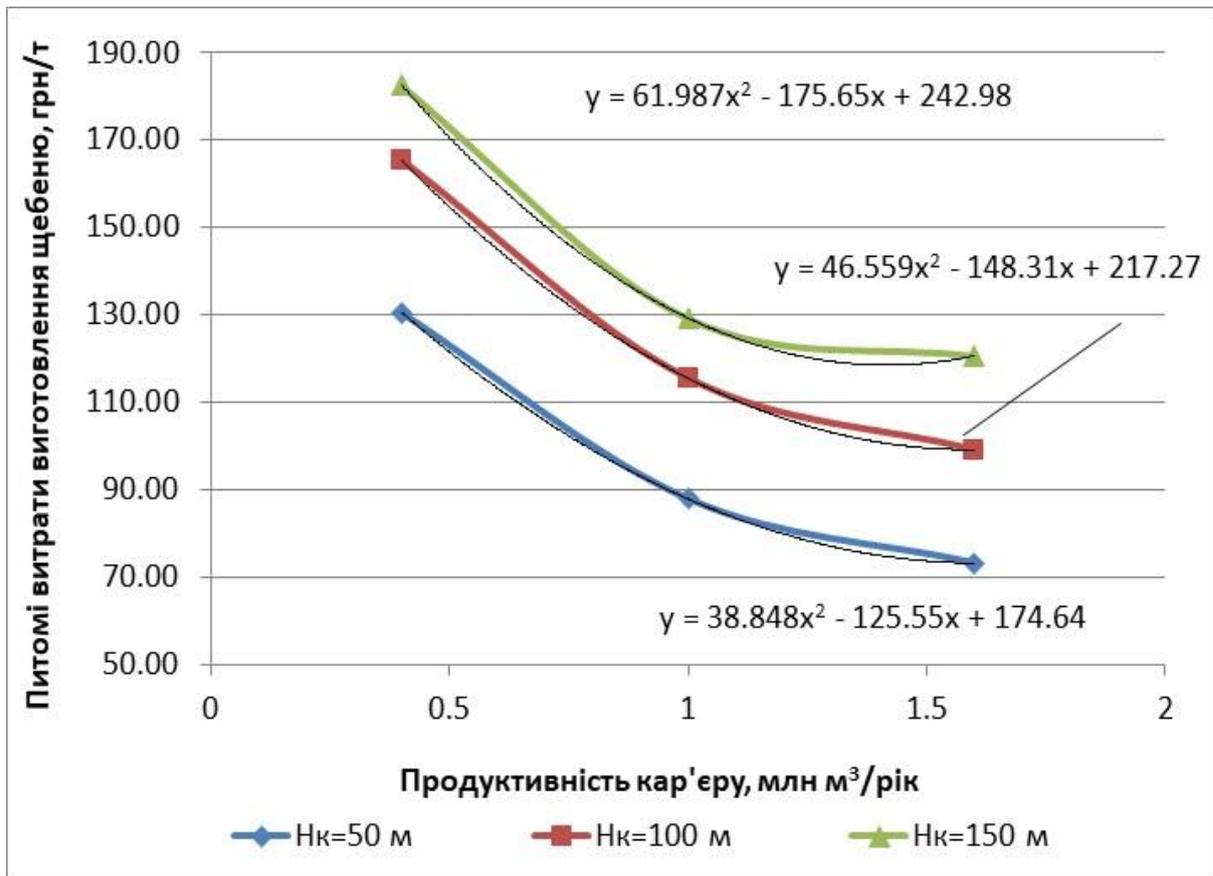


Рис. 3.1. Залежності питомих витрат виготовлення щебеневої продукції від продуктивності кар'єру при технологічній схемі з використанням автотранспорту і стаціонарної дробарки на борту кар'єру

За рахунок встановлених залежностей (рис. 3.1) доведено, що збільшення продуктивності кар'єру позитивно впливає на зниження питомих витрат виготовлення щебеневої продукції.

При розробці кар'єру, глибиною 50 м, збільшення продуктивності кар'єру в 4 рази з 0,4 до 1,6 млн м³/рік, дозволяє зменшити витрати на розробку в 1,78 рази зі 130 до 73 грн на одну тонну продукції.

При розробці кар'єру, глибиною 100 м аналогічне збільшення продуктивності кар'єру дозволить зменшити витрати у 1,66 рази до 99,2 грн/т, у той час як для кар'єру глибиною 150 м витрати зменшаться лише у 1,5 разів зі 180 до 120 грн.

### **3.3. Обґрунтування техніко-економічних показників виготовлення щелепної продукції за технологічною схемою з використанням циклічно-поточної технології та стаціонарної дробарки на борту кар'єру**

Вихідними даними для виконання розрахунків з обґрунтування техніко-економічних показників за технологічною схемою з використанням циклічно-поточної технології та стаціонарної дробарки на борту кар'єру є також кількість і вартість гірничотранспортного устаткування, що і при транспортній системі розробки.

Для розрахунку фонду заробітної плати на штат працівників, які обслуговують обладнання за технологічною схемою з використанням циклічно поточної технології зі стаціонарною дробаркою на борту кар'єру з продуктивністю 0,4 млн м<sup>3</sup>/рік використовуються наступні вихідні дані:

- при розробці кар'єру глибиною 50 м на розкривній ділянці використовуються 1 екскаватор Volvo EC360BLC і 1 автосамоскид Cat-773. У бригади графік роботи цілодобовий з тривалістю зміни 8 годин, 80 робочих днів на рік. На видобувній ділянці використовуються 1 екскаватор CAT-345B L і 2 автосамоскиди Cat-773. Для завантаження товарної продукції споживачу використовується навантажувач CAT-988H. Конвеєр потужністю 500 кВт/год обслуговується 2 операторами. Для виконання допоміжних робіт застосовується бульдозер Cat D6R2, який обслуговує один машиніст. Мобільна і стаціонарна дробарка на борту кар'єру обслуговуються 2 операторами. На видобувних роботах графік роботи такий же. Кількість працівників на кар'єрі складає 33 особи;

- при розробці кар'єру глибиною 100 м на розкривній ділянці використовуються 1 екскаватор Volvo EC360BLC і 1 автосамоскид Cat-773. У бригади екскаватора графік роботи цілодобовий з тривалістю зміни 8 годин, 80 робочих днів на рік. На видобувній ділянці використовуються 1 екскаватор CAT-345B L і 2 автосамоскиди Cat-773. Екскаватор

обслуговується одним машиністом. Для завантаження товарної продукції споживачу використовується навантажувач CAT-988H, який обслуговує 1 машиніст. Конвеєр потужністю 1000 кВт/год обслуговується 2 операторами. Для виконання допоміжних робіт застосовується бульдозер Cat D6R2, який обслуговує один машиніст. Мобільна і стаціонарна дробарка на борту кар'єру обслуговуються 2 операторами. Кількість працівників на кар'єрі складає 33 особи;

- при розробці кар'єру глибиною 150 м на розкривній ділянці використовуються 1 екскаватор Volvo EC360BLC і 1 автосамоскид Cat-773. У бригади екскаватора графік роботи цілодобовий з тривалістю зміни 8 годин, 80 робочих днів на рік.. На видобувній ділянці використовуються 1 екскаватор CAT-345B L і 3 автосамоскиди Cat-773. Для завантаження товарної продукції споживачу використовується навантажувач CAT-988H. Конвеєр потужністю 1500 кВт/год обслуговується 2 операторами. Для виконання допоміжних робіт застосовується бульдозер Cat D6R2. Мобільна і стаціонарна дробарка на борту кар'єру обслуговуються 2 операторами. Кількість працівників на кар'єрі складає 36 особи.

При аналізі технологічної схеми з використанням автосамоскидів і стаціонарної дробильно-сортувальної фабрики на борту кар'єру з продуктивністю 1,0 та 1,6 млн м<sup>3</sup>/рік, також досліджувався діапазон глибини кар'єру у межах 50 – 150 м. Зі збільшення продуктивності кар'єра до 1,0 млн м<sup>3</sup>/рік годинна продуктивність зростає з 80 до 200 м<sup>3</sup>/год., а об'єм розробки розкривних порід збільшиться з 78,0 до 195 м<sup>3</sup>/год. Тому для розробки зазначених об'ємів необхідно буде залучити 2 розкривних екскаватора Volvo EC360BLC і замінити видобувний екскаватор CAT-345B L (2,9 м<sup>3</sup>) на більш потужний CAT-5080 FS (5 м<sup>3</sup>).

Для розрахунку фонду заробітної плати на штат працівників, які обслуговують обладнання за технологічною схемою з використанням автотранспорту і стаціонарної дробарки на борту кар'єру при його продуктивності 1,0 млн м<sup>3</sup>/рік використовуються наступні вихідні дані:

- при розробці кар'єру глибиною 50 м кількість необхідних працівників на кар'єрі складає 42 особи; - при глибині 100 м - 45 осіб; - при глибині 150 м - 48 осіб.

Розрахунки ФЗП на штат працівників; амортизаційних відрахувань, витрати на паливо-мастильні і допоміжні матеріали, електроенергію та загальна калькуляція собівартості виготовлення щебеневої продукції, визначені за наведеною методикою п. 3.1.

За результатами проведених досліджень встановлено значний вплив продуктивності кар'єру на питомі витрати виготовлення щебеневої продукції без урахування витрат на буро-вибухові та адміністративні витрати при застосуванні технологічної схеми розробки кар'єру з циклічно-поточною технологією і стаціонарною дробаркою на борту кар'єру глибиною 50, 100 і 150 м (рис. 3.2).

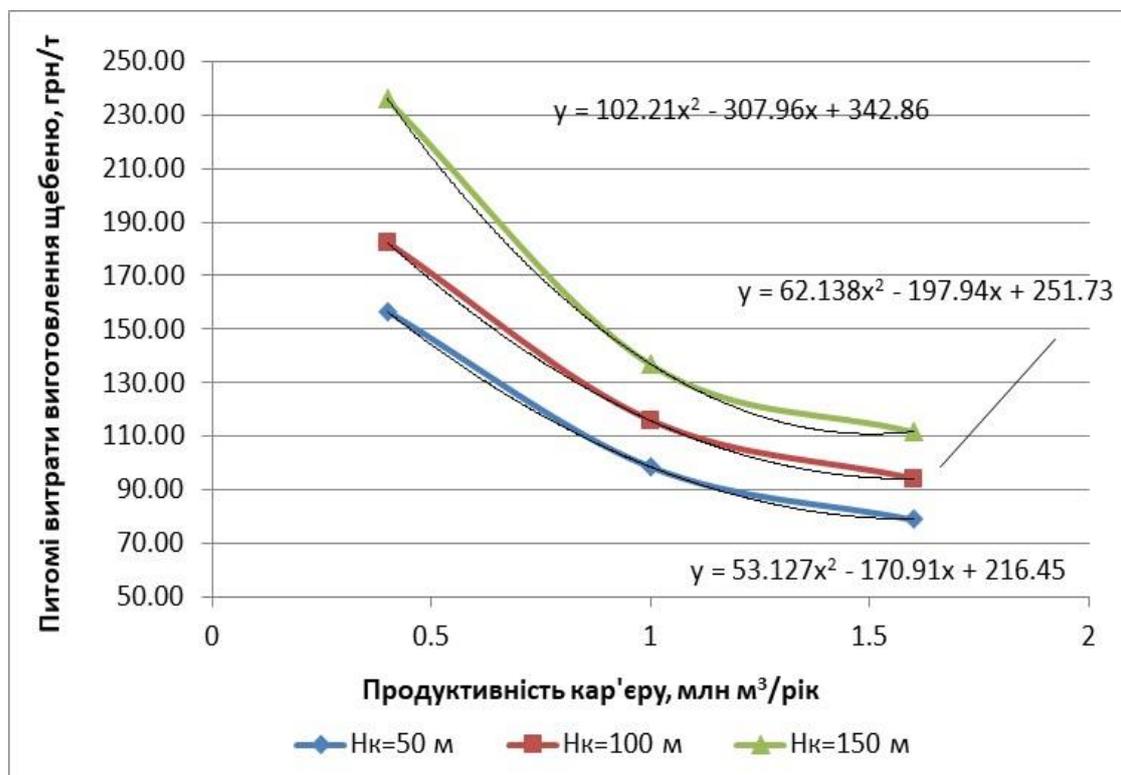


Рис. 3.2. Залежності питомих витрат виготовлення щебеневої продукції від продуктивності кар'єру при технологічній схемі з використанням циклічно-поточної технології та стаціонарної дробарки на борту кар'єру

Встановлені залежності (рис. 3.2) дозволяють стверджувати, що збільшення продуктивності кар'єру, як і в технологічній схемі з використанням автомобільного транспорту, позитивно впливає на зниження питомих витрат виготовлення щебеневої продукції. Встановлено, що при розробці кар'єру глибиною 50 м, збільшення його продуктивності в 4 рази з 0,4 до 1,6 млн м<sup>3</sup>/рік, дозволяє зменшити витрати в 1,98 рази зі 156 до 79 грн на одну тону продукції. При розробці кар'єру глибиною 100 м аналогічне збільшення продуктивності кар'єру дозволить зменшити витрати у 1,9 разів до 94,1 грн/т.

Найкращий показник зростання ефективності зафіксований для кар'єру глибиною 150 м. У цьому випадку питомі витрати на виготовлення щебеню зменшаться у 2,1 рази зі 236 до 111 грн/т.

### **3.4. Обґрунтування техніко-економічних показників виготовлення щебеневої продукції за технологічною схемою з використанням мобільної дробильно-сортувальної установки**

Вихідними даними для встановлення собівартості виготовлення щебеневої продукції з використанням МДСУ в кар'єрі є кількість і вартість гірничотранспортного устаткування, що застосовується на підприємстві за умови змінної глибини кар'єру і річної продуктивності. При цьому, як і в попередніх розрахунках, собівартість щебеневої продукції для кожного варіанта не включає витрати на буро-вибухові та адміністративні витрати, які прямопропорційно здорожують вартість продукції і можуть бути додані до отриманих значень собівартості.

Для розрахунку фонду заробітної плати на штат працівників, які обслуговують обладнання за технологічною схемою з використанням МДСУ в кар'єрі з продуктивністю 0,4 млн м<sup>3</sup>/рік застосовуються наступні вихідні дані:

- при розробці кар'єру глибиною 50 м на розкривній ділянці використовуються 1 екскаватор Volvo EC360BLC і 1 автосамоскид Cat-773. У бригади екскаватора графік роботи цілодобовий з тривалістю зміни 8 годин, 80 робочих днів на рік. На видобувній ділянці використовуються 1 екскаватор CAT-345B L і 1 автосамоскиди Cat-773. Для завантаження товарної продукції споживачу використовується навантажувач CAT-988H. Для виконання допоміжних робіт застосовується бульдозер Cat D6R2. МДСУ потужністю 500 кВт на концентраційному горизонті кар'єру обслуговуються 1 оператором. На видобувних роботах такий же графік роботи як і на розкривних. Кількість працівників на кар'єрі складає 21 особу;

- при розробці кар'єру глибиною 100 м кількість працівників на кар'єрі складає 24 особи; - при розробці кар'єру глибиною 150 м - 27 осіб.

При продуктивності 1 млн м<sup>3</sup>/рік та глибині кар'єра 50 м кількість працівників на кар'єрі складає – 36 осіб; при глибині кар'єра 100 м – 39 осіб та при 150 м – 42 особи.

Методика розрахунку техніко-економічних показників технологічної схеми з використанням МДСУ на концентраційному горизонті кар'єру при продуктивності 1,6 млн м<sup>3</sup>/рік є аналогічною до тієї, що використовувалася для кар'єрів з меншою продуктивністю. При цьому кількість працівників в кар'єрі при глибині 50, 100, 150 складе відповідно 45, 51 та 57 осіб.

Розрахунки ФЗП на штат працівників; амортизаційних відрахувань, витрати на паливо-мастильні і допоміжні матеріали, електроенергію та загальна калькуляція собівартості виготовлення щебеневої продукції, визначені, як при попередніх розрахунках згідно методики п. 3.1.

Відповідно до результатів проведених досліджень, як і для попередніх технологічних схем, встановлено значний вплив продуктивності кар'єру на питомі витрати виготовлення щебеневої продукції без урахування витрат на буро-вибухові та адміністративні витрати при застосуванні технологічної схеми розробки кар'єру з МДСУ на концентраційному горизонті кар'єру глибиною 50, 100 і 150 м (рис. 3.3).

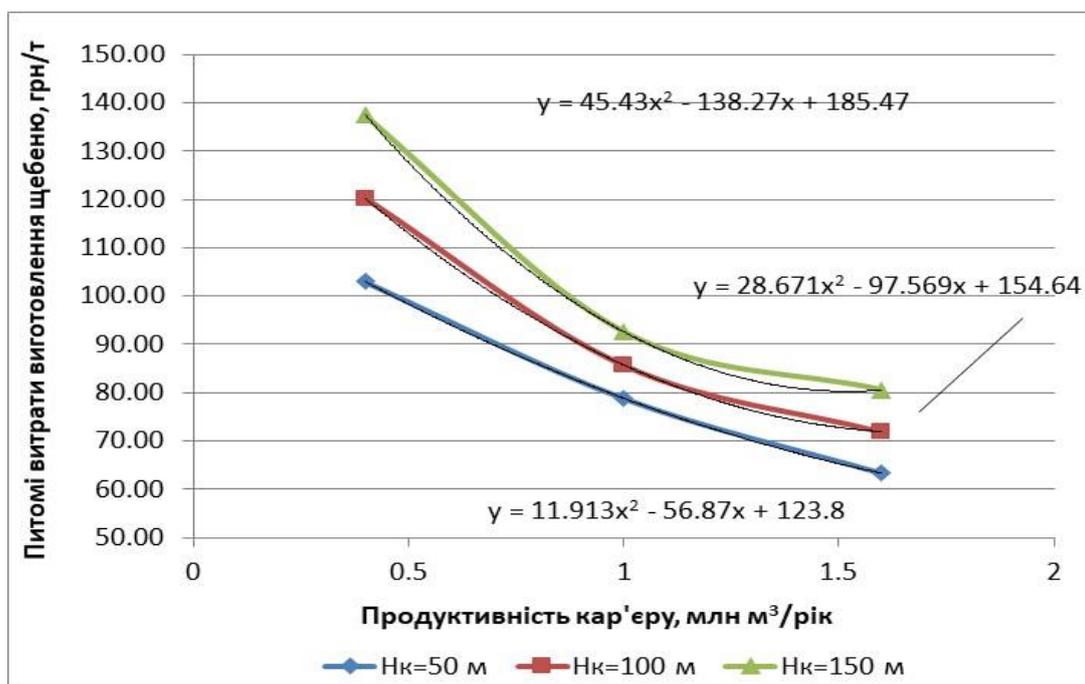


Рис. 3.3. Залежності продуктивності кар'єру від собівартості виготовлення щебеневої продукції при технологічній схемі з використанням мобільної дробильно-сортувальної установки на концентраційному горизонті кар'єру

Встановлені залежності, що наведені на рис. 3.3 показують, що зі збільшенням продуктивності кар'єру, як і в технологічних схемах з використанням автомобільного транспорту і циклічно-потокової технології, знижуються питомі витрати на виготовлення щебеневої продукції.

Встановлено, що при розробці кар'єру глибиною 50 м, збільшення його продуктивності в 4 рази з 0,4 до 1,6 млн м³/рік, дозволяє зменшити витрати в 1,63 рази зі 103,0 до 63,3 грн на одну тону продукції. При розробці кар'єру глибиною 100 м аналогічне збільшення продуктивності кар'єру дозволить зменшити витрати у 1,67 рази до 71,9 грн/т.

Найкращий показник зростання ефективності зафіксований для кар'єру глибиною 150 м. У цьому випадку, при зростанні продуктивності кар'єру до 1,6 млн м³/рік, витрати виготовлення щебеню зменшаться у 1,71 рази з 137,4 до 80,5 грн/т.

### **3.5. Встановлення впливу продуктивності гірничого підприємства на питомі витрати виготовлення щебеневої продукції**

При визначенні питомих витрат виготовлення щебеневої продукції розглядалися основні параметри трьох технологічних схем ТСП, ЦПТ і МДСУ з продуктивною потужністю 0,4, 1,0 та 1,6 млн м<sup>3</sup>/рік. Для кожного з розглянутих варіантів обрано типорозмір виймально-навантажувального устаткування [20], а також визначено, що навантаження товарної продукції здійснюється навантажувачем CAT-988H, а допоміжні роботи виконуються бульдозером CAT D6R2.

Вихідними даними для відповідних розрахунків приймалися наступні параметри кар'єрів:

1) при застосуванні технологічної схеми ТСП передбачено залучення різного устаткування і працівників в залежності від продуктивності кар'єру:

- 0,4 млн м<sup>3</sup>/рік; на розкривній ділянці – екскаватор Volvo EC360BLC і автосамоскид CAT-773; на видобувній ділянці – екскаватор CAT-345B L і два автосамоскиди CAT-773; подрібнення і сортування гірничої маси – стаціонарна дробарка на борту кар'єру потужністю 500 кВт; кількість працівників – 27 осіб;

- 1,0 млн м<sup>3</sup>/рік; на розкривних роботах – два екскаватори Volvo EC360BLC і автосамоскид Cat-773; на видобувній ділянці – екскаватор CAT-5080 FS і 5 автосамоскидів CAT-773; подрібнення і сортування гірничої маси – стаціонарна дробарка на борту кар'єру потужністю 1000 кВт; кількість працівників – 39 осіб;

- 1,6 млн м<sup>3</sup>/рік; на розкривній ділянці – три екскаватори Volvo EC360BLC і автосамоскид CAT-773; на видобувній ділянці – екскаватор CAT-6015FS і 7 автосамоскидів CAT-773; подрібнення і сортування гірничої маси – стаціонарна дробарка на борту кар'єру потужністю 1 500 кВт; кількість працівників – 48 осіб.

2) при застосуванні технологічної схеми ЦПТ передбачено залучення різного устаткування і працівників в залежності від продуктивності кар'єру:

- 0,4 млн м<sup>3</sup>/рік; на розкривних роботах – екскаватор Volvo EC360BLC і автосамоскид Cat-773; на видобувній ділянці – екскаватор CAT-345B L і 2 автосамоскиди Cat-773; подрібнення корисної копалини – на мобільній дробарці на концентраційному горизонті кар'єру та стаціонарній дробарці на борту кар'єру, загальною потужністю 500 кВт; підйом корисної копалини з кар'єру на поверхню – конвеєр потужністю 500 кВт; кількість працівників – 33 особи;

- 1,0 млн м<sup>3</sup>/рік: на розкривних роботах – екскаватор Volvo EC360BLC і автосамоскид Cat-773; на видобувній ділянці – екскаватор CAT-5080 FS і 4 автосамоскиди Cat-773; подрібнення корисної копалини – на мобільній дробарці на концентраційному горизонті кар'єру та стаціонарній дробарці на борту кар'єру, загальною потужністю 1000 кВт; підйом корисної копалини з кар'єру на поверхню – конвеєр потужністю 1000 кВт; кількість працівників – 42 особи;

- 1,6 млн м<sup>3</sup>/рік: на розкривних роботах – три екскаватори Volvo EC360BLC і один автосамоскид Cat-773; на видобувній ділянці – екскаватор CAT-6015FS і 5 автосамоскидів Cat-773; подрібнення корисної копалини – на мобільній дробарці на концентраційному горизонті кар'єру та стаціонарній дробарці на борту кар'єру, загальною потужністю 1500 кВт; підйом корисної копалини з кар'єру на поверхню – конвеєр потужністю 1 500 кВт; кількість працівників – 48 осіб;

3) при застосування технологічної схеми МДСУ передбачено залучення різного устаткування і працівників в залежності від продуктивності кар'єру:

- 0,4 млн м<sup>3</sup>/рік; на розкривних роботах – екскаватор Volvo EC360BLC і автосамоскид Cat-773; на видобувній ділянці – екскаватор CAT-345B L і автосамоскид Cat-773; подрібнення і сортування гірничої маси – МДСУ на концентраційному горизонті кар'єру потужністю 500 кВт; кількість працівників – 21 особа;

- 1,0 млн м<sup>3</sup>/рік; на розкривній ділянці – два екскаватори Volvo EC360BLC і один автосамоскид Cat-773; на видобувній ділянці – один екскаватор CAT-5080FS і 4 автосамоскиди Cat-773; подрібнення і сортування гірничої маси – МДСУ на концентраційному горизонті кар'єру потужністю 1000 кВт; кількість працівників – 36 осіб;

- 1,6 млн м<sup>3</sup>/рік; на розкривній ділянці – три екскаватори Volvo EC360BLC і автосамоскид Cat-773; на видобувній ділянці – екскаватор CAT-6015FS і 5 автосамоскидів Cat-773; подрібнення і сортування гірничої маси – МДСУ на концентраційному горизонті кар'єру потужністю 1500 кВт; кількість працівників – 45 осіб.

Результати проведених розрахунків з визначення питомих витрат на отримання щебеневої продукції при глибині кар'єру 50 м і змінній продуктивності від 0,4 до 1,6 млн м<sup>3</sup> на рік наведено на (рис. 3.4).

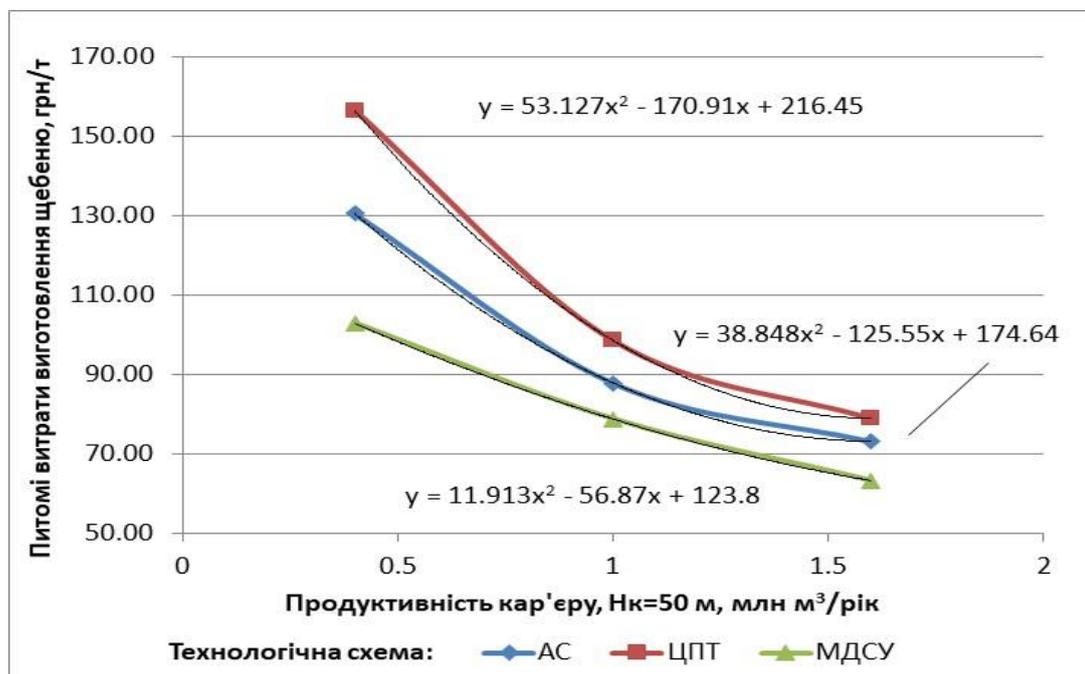


Рис. 3.4. Вплив продуктивності кар'єру на питомі витрати виготовлення щебеневої продукції при глибині кар'єру 50 м з урахуванням технологічної схеми розробки

Відповідно до встановлених залежностей (рис. 3.4) доведено, що збільшення продуктивності кар'єру для кожної розглянутої технологічної

схеми, позитивно впливає на зниження витрат виготовлення щебеневої продукції. При цьому, за глибини 50 м, найменш ефективною є технологічна схема з використанням циклічно-поточної технології та стаціонарної дробарки на борту кар'єру, оскільки має найбільші показники питомих витрат при будь-якій продуктивності кар'єру. Варто зазначити, що при застосування цієї схеми, збільшення продуктивності кар'єру в 4 рази з 0,4 до 1,6 млн м<sup>3</sup>/рік, дозволяє зменшити витрати в 1,98 разів зі 156,6 до 79,0 грн за тонну продукції.

Встановлено, що при глибині кар'єру 50 м технологічна схема з автотранспортом і стаціонарною дробаркою на борту кар'єру є більш ефективною ніж схема з циклічно-поточною технологією, але вона поступається технологічній схемі МДСУ. При збільшенні продуктивності кар'єру з 0,4 до 1,6 млн м<sup>3</sup>/рік за цієї схеми можливо досягти зменшення витрат в 1,78 рази зі 130,6 до 73,2 грн за одну тонну продукції.

Відповідно до отриманих графіків (рис. 3.1), при глибині кар'єру 50 м найбільш ефективною є технологічна схеми з використанням мобільної дробильно-сортувальної установки на концентраційному горизонті. При збільшенні продуктивності кар'єру з 0,4 до 1,6 млн м<sup>3</sup>/рік, витрати на виготовлення щебеневої продукції зменшуються в 1,63 рази зі 103,0 до 63,3 грн за одну тонну.

Таким чином, використання технологічної схеми з використанням МДСУ на концентраційному горизонті кар'єру глибиною 50 м дозволить зменшити питомі витрати від 15 % до 51 %, у порівнянні з іншими технологічними схемами

Збільшення глибини розробки кар'єру до 100 м, призведе до збільшення відстані транспортування корисної копалини на поверхню (рис. 2.1). Особливо цей вплив позначиться при використанні технологічних схеми ТСП, оскільки весь шлях підйому буде здійснюватися автосамоскидом за найбільшою відстанню.

Показники питомих витрат отримання щєбеневої продукції при глибині кар'єру 100 м виконано для трьох технологічних схем ТСП, ЦПТ і МДСУ, з урахуванням зміни продуктивності підприємства від 0,4 до 1,6 млн м<sup>3</sup>/рік. Як і при глибині кар'єру 50 м, для навантаження товарної продукції та здійснення допоміжних роботах задіяні навантажувач САТ-988Н і бульдозер САТ D6R2.

При розрахунку техніко-економічних показників визначено наступні вихідні дані:

1) під час застосування технологічної схеми ТСП при продуктивності кар'єру:

- 0,4 млн м<sup>3</sup>/рік; на розкривній ділянці – екскаватор Volvo EC360BLC і автосамоскид САТ-773; на видобувній ділянці – екскаватор САТ-345В L і 4 автосамоскиди САТ-773; подрібнення корисної копалини – стаціонарна дробарка потужністю 500 кВт; кількість працівників – 33 особи;

- 1,0 млн м<sup>3</sup>/рік; розкривні роботи – два екскаватори Volvo EC360BLC і автосамоскид САТ-773; видобуток корисної копалини – екскаватор САТ-5080 FS і 9 автосамоскидів Cat-773; подрібнення корисної копалини – стаціонарна дробарка потужністю 1000 кВт; кількість працівників – 51 особа;

- 1,6 млн м<sup>3</sup>/рік; розкривні роботи – три екскаватори Volvo EC360BLC і автосамоскид САТ-773; на видобувній ділянці – екскаватор САТ-6015FS і 13 автосамоскидів САТ-773; подрібнення корисної копалини – стаціонарна дробарка потужністю 1 500 кВт; кількість працівників – 66 осіб.

2) при застосуванні технологічної схеми ЦПТ при продуктивності кар'єру:

- 0,4 млн м<sup>3</sup>/рік; розкривні роботи – екскаватор Volvo EC360BLC і автосамоскид Cat-773; видобуток корисної копалини – екскаватор САТ-345В L і 2 автосамоскиди Cat-773; подрібнення корисної копалини – мобільна дробарка на концентраційному горизонті кар'єру та стаціонарна дробарці на борту кар'єру загальною потужністю 500 кВт; підйом корисної копалини на поверхню – конвеєр потужністю 1 000 кВт; кількість працівників – 33 особи;

- 1,0 млн м<sup>3</sup>/рік; розкривні роботи – два екскаватори Volvo EC360BLC і автосамоскид Cat-773; видобуток корисної копалини – екскаватор CAT-5080FS і 5 автосамоскидів Cat-773; подрібнення корисної копалини – мобільна дробарка на концентраційному горизонті кар'єру та стаціонарна дробарці на борту кар'єру загальною потужністю 1000 кВт; підйом корисної копалини на поверхню – конвеєр потужністю 1 500 кВт; кількість працівників – 45 осіб;

- 1,6 млн м<sup>3</sup>/рік; розкривні роботи – три екскаватори Volvo EC360BLC і автосамоскид Cat-773; видобуток корисної копалини – екскаватор CAT-6015FS і 7 автосамоскидів Cat-773; подрібнення корисної копалини – мобільна дробарка на концентраційному горизонті кар'єру та стаціонарна дробарці на борту кар'єру загальною потужністю 1500 кВт; підйом корисної копалини на поверхню – конвеєр потужністю 2 000 кВт; кількість працівників – 54 особи;

3) при застосуванні технологічної схеми МДСУ при продуктивності кар'єру:

- 0,4 млн м<sup>3</sup>/рік; розкривні роботи – екскаватор Volvo EC360BLC і автосамоскид Cat-773; видобуток корисної копалини – екскаватор CAT-345B L і 2 автосамоскиди Cat-773; подрібнення і сортування гірничої маси – МДСУ потужністю 500 кВт на концентраційному горизонті кар'єру; кількість працівників – 24 особи;

- 1,0 млн м<sup>3</sup>/рік; розкривні роботи – два екскаватори Volvo EC360BLC і автосамоскид Cat-773; видобуток корисної копалини – екскаватор CAT-5080FS і 5 автосамоскидів Cat-773; подрібнення і сортування гірничої маси – МДСУ потужністю 1000 кВт на концентраційному горизонті кар'єру; кількість працівників – 39 осіб;

- 1,6 млн м<sup>3</sup>/рік; розкривні роботи – три екскаватори Volvo EC360BLC і автосамоскид Cat-773; видобуток корисної копалини – екскаватор CAT-6015FS і 7 автосамоскидів Cat-773; подрібнення і сортування гірничої маси –

МДСУ потужністю 1500 кВт на концентраційному горизонті кар'єру; кількість працівників – 51 особа.

Виконані розрахунки за попередньою методикою дозволили встановити питомі витрати на виготовлення щебеневої продукції при застосуванні трьох технологічних схем за глибини кар'єру 100 м і змінній продуктивності від 0,4 до 1,6 млн м<sup>3</sup>/рік (рис. 3.2).

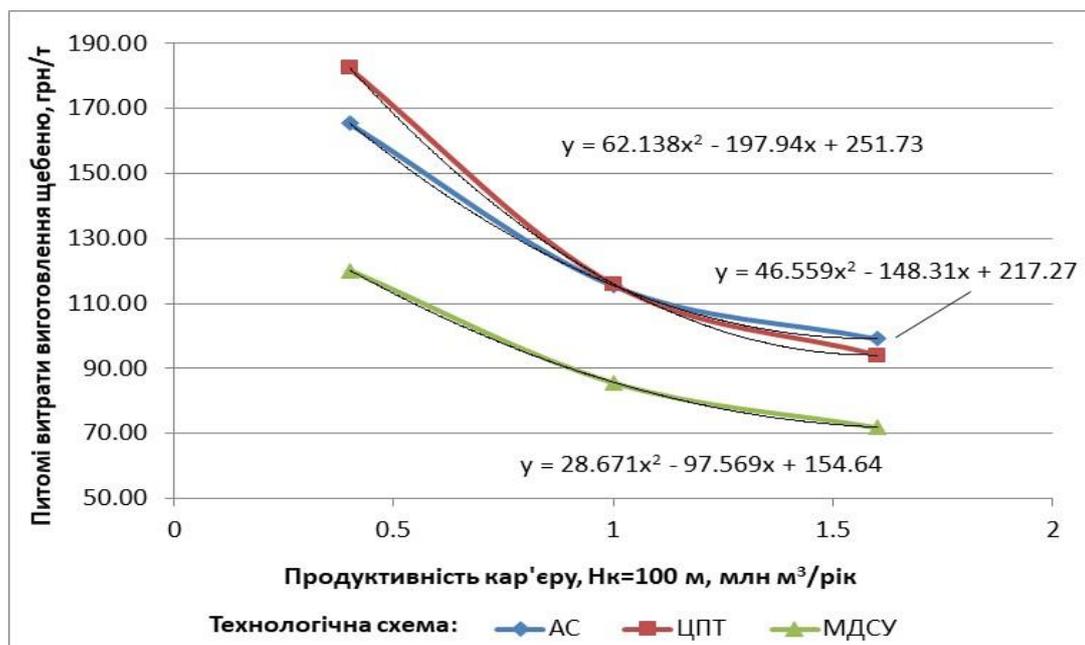


Рис. 3.5. Вплив продуктивності кар'єру на питомі витрати виготовлення щебеневої продукції при глибині кар'єру 100 м з використання технологічних схем ТСП, ЦПТ і МДСУ

Відповідно до отриманих залежностей (рис. 3.2) встановлено, що збільшення продуктивності кар'єру при глибині 100 м також позитивно впливає на зниження витрат виготовлення щебеневої продукції, як і при глибині 50 м. Отримані залежності доводять, що за вказаної глибини, найбільш ефективним є застосування технологічної схеми МДСУ. При збільшенні продуктивності кар'єру в 4 рази з 0,4 до 1,6 млн м<sup>3</sup>/рік, витрати виготовлення щебеневої продукції зменшується в 1,67 рази зі 120,2 до 71,9 грн/т.

Встановлено, що продуктивність кар'єру має суттєвий вплив на ефективність технологічних схем ТСР і ЦПТ. За продуктивності кар'єру менше 1,0 млн м<sup>3</sup>/рік, більш ефективною буде схема ТСР з використанням автотранспорту зі стаціонарною дробаркою на борту кар'єру. Однак, при збільшенні продуктивності кар'єру понад 1,0 млн м<sup>3</sup>/рік, більш ефективною за показником питомих витрат буде схема з використанням циклічно-поточної технології та дробарки на борту кар'єру.

Варто зазначити, що при застосуванні схеми ТСР, збільшення продуктивності кар'єру з 0,4 до 1,6 млн м<sup>3</sup>/рік, дозволяє зменшити витрати в 1,65 рази зі 165,4 до 99,0 грн/т. Визначено, що за технологічної схеми ЦПТ при глибині кар'єру 100 м збільшення продуктивності з 0,4 до 1,6 млн м<sup>3</sup>/рік можна досягти зменшення питомих витрат в 1,9 рази зі 182,5 до 94,1 грн/т.

Таким чином, при порівнянні технологічних схем за глибини кар'єру 100 м рекомендується застосування технологічної схеми МДСУ при продуктивності кар'єру в діапазоні 0,4 до 1,6 млн м<sup>3</sup>/рік. У випадку відсутності можливості застосування схеми МДСУ, при продуктивності кар'єру до 1,0 млн м<sup>3</sup>/рік більш ефективною буде схема ТСР, а при зростанні продуктивності менша собівартість досягається за схеми ЦПТ.

Розробка щебневих кар'єрів глибиною 150 м, потребує значних витрат на доставку гірничої маси на поверхню, що призводить до значного здороження кінцевої продукції. Зниження витрат на розробку можливе лише шляхом запровадження комбінованого транспорту або виготовлення товарної продукції на робочих горизонтах кар'єру. Такий підхід дозволяє відвантажувати готову продукцію споживачу з мінімальними витратами на транспортні роботи.

При визначення питомих витрат на отримання щебеневої продукції при заданій глибині кар'єру за трьома технологічними схемами, як і в попередніх розрахунках приймалася продуктивність від 0,4 до 1,6 млн м<sup>3</sup>/рік. Аналогічно з параметрами технологічних схем, що застосовувалися при глибині кар'єру 50-100 м, для навантаження товарної продукції використовується

навантажувач CAT-988H, а допоміжні роботи виконуються бульдозером Cat-D6R2.

Вихідні дані для розрахунку собівартості виготовлення щебеневої продукції:

1) при використанні технологічної схеми ТСП при продуктивності кар'єру:

- 0,4 млн м<sup>3</sup>/рік; розкривні роботи – екскаватор Volvo EC360BLC і автосамоскид Cat-773; видобуток корисної копалини – екскаватор CAT-345B L і 5 автосамоскидів Cat-773; подрібнення корисної копалини – стаціонарна дробарка потужністю 500 кВт; кількість працівників – 36 осіб;

- 1,0 млн м<sup>3</sup>/рік; розкривні роботи – два екскаватори Volvo EC360BLC і автосамоскид CAT-773; видобуток корисної копалини – екскаватор CAT-5080 FS і 11 автосамоскидів Cat-773; подрібнення корисної копалини – стаціонарна дробарка потужністю 1000 кВт; кількість працівників – 57 осіб;

- 1,6 млн м<sup>3</sup>/рік; розкривні роботи – три екскаватори Volvo EC360BLC і автосамоскид CAT-773; видобуток корисної копалини – екскаватор CAT-6015FS і 18 автосамоскидів CAT-773; подрібнення корисної копалини – стаціонарна дробарка потужністю 1500 кВт; кількість працівників – 81 особа.

2) при використанні технологічної схеми ЦПТ при продуктивності кар'єру:

- 0,4 млн м<sup>3</sup>/рік: розкривні роботи – екскаватор Volvo EC360BLC і автосамоскид Cat-773; видобуток корисної копалини – екскаватор CAT-345B L і 3 автосамоскиди Cat-773; подрібнення корисної копалини – мобільна дробарка на концентраційному горизонті кар'єру та стаціонарна дробарці на борту кар'єру загальною потужністю 500 кВт; підйом корисної копалини на поверхню – конвеєр потужністю 1 500 кВт; кількість працівників – 36 осіб;

- 1,0 млн м<sup>3</sup>/рік: розкривні роботи – два екскаватори Volvo EC360BLC і автосамоскид Cat-773; видобуток корисної копалини – екскаватор CAT-5080 FS і 6 автосамоскидів Cat-773; подрібнення корисної копалини – мобільна дробарка на концентраційному горизонті кар'єру та стаціонарна дробарці на

борту кар'єру загальною потужністю 1000 кВт; підйом корисної копалини на поверхню – конвеєр потужністю 2 000 кВт; кількість працівників – 48 осіб;

- 1,6 млн м<sup>3</sup>/рік; розкривні роботи – три екскаватори Volvo EC360BLC і автосамоскид Cat-773; видобуток корисної копалини – екскаватор CAT-6015FS і 9 автосамоскидів Cat-773; подрібнення корисної копалини – мобільна дробарка на концентраційному горизонті кар'єру та стаціонарна дробарці на борту кар'єру загальною потужністю 1500 кВт; підйом корисної копалини на поверхню – конвеєр потужністю 2 500 кВт; кількість працівників – 60 осіб;

3) при використанні технологічної схеми МДСУ при продуктивності кар'єру:

- 0,4 млн м<sup>3</sup>/рік; розкривні роботи – екскаватор Volvo EC360BLC і автосамоскид Cat-773; видобуток корисної копалини – екскаватор CAT-345B L і 3 автосамоскиди Cat-773; подрібнення і сортування гірничої маси – МДСУ потужністю 500 кВт на концентраційному горизонті кар'єру; кількість працівників – 27 осіб;

- 1,0 млн м<sup>3</sup>/рік: розкривні роботи – два екскаватори Volvo EC360BLC і автосамоскид Cat-773; видобуток корисної копалини – екскаватор CAT-5080FS і 6 автосамоскидів Cat-773; подрібнення і сортування гірничої маси – МДСУ потужністю 1000 кВт на концентраційному горизонті кар'єру; кількість працівників – 42 особи;

- 1,6 млн м<sup>3</sup>/рік; розкривні роботи – три екскаватори Volvo EC360BLC і автосамоскид Cat-773; видобуток корисної копалини – екскаватор CAT-6015FS і 9 автосамоскидів Cat-773; подрібнення і сортування гірничої маси – МДСУ потужністю 1500 кВт на концентраційному горизонті кар'єру; кількість працівників – 57 осіб.

Відповідно до встановлених техніко-економічних параметрів технологічних схем ТСП, ЦПТ і МДСУ при розробці кар'єру глибиною 150 м з урахуванням зміни продуктивності від 0,4 до 1,6 млн м<sup>3</sup> на рік, визначено питомі витрати виготовлення щебеневої продукції (рис. 3.3).

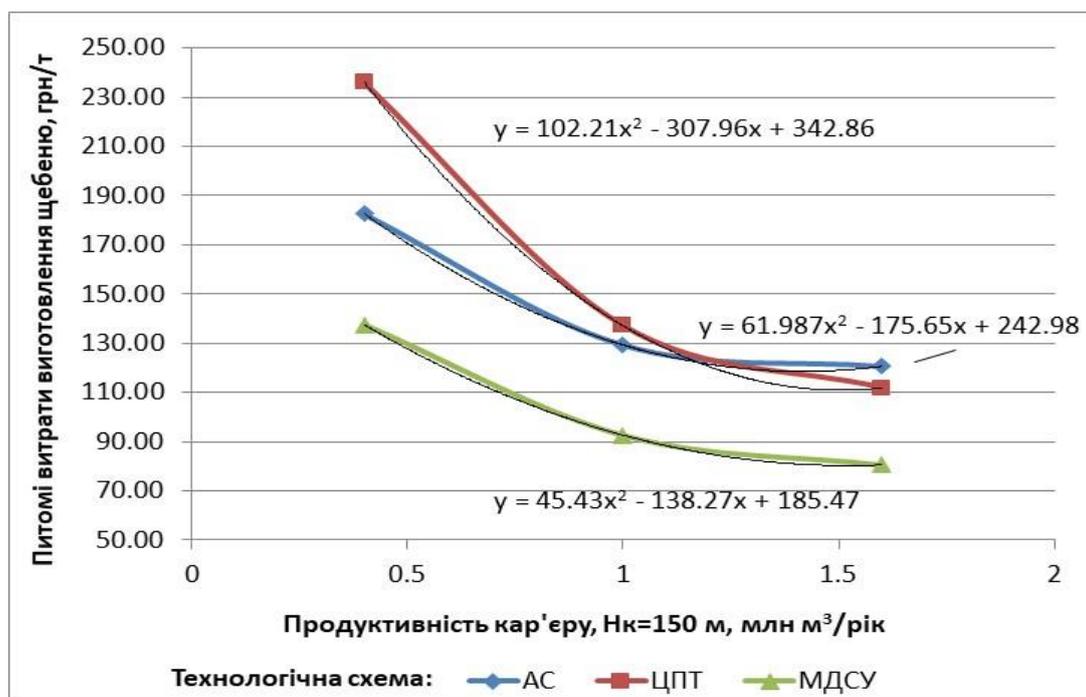


Рис. 3.6. Вплив продуктивності кар'єру на питомі витрати виготовлення щебеневої продукції при глибині кар'єру 150 м за технологічними схемами ТСП, ЦПТ і МДСУ

Відповідно до встановлених залежностей (рис. 3.1, 3.2, 3.3) доведено, що при глибині кар'єру 50 – 150 м, збільшення виробничої потужності призводить до зниження витрат на виготовлення щебеневої продукції.

Залежності, представлені на графіку на (рис. 3.6), дозволяють стверджувати, що при глибині кар'єру 150 м найбільш ефективною залишається технологічна схема МДСУ. За її використання, збільшення продуктивності кар'єру з 0,4 до 1,6 млн м³/рік, призведе до зменшення витрат виготовлення щебеневої продукції в 1,71 рази зі 137,4 до 80,5 грн/т.

Встановлено, що продуктивність кар'єру має вплив на ефективність технологічної схеми ТСП у порівнянні з ЦПТ. У тому випадку, коли продуктивність кар'єру складатиме менше 1,2 млн м³/рік більш ефективною буде схема ТСП з використанням автотранспорту зі стаціонарною дробаркою на борту кар'єру. При збільшенні продуктивності кар'єру понад 1,2 млн м³/рік, більш ефективною буде схема ЦПТ з використанням циклічно-поточної технології та стаціонарної дробарки на борту кар'єру.

Відповідно до результатів досліджень (рис. 3.6) при застосуванні схеми ТСР збільшення продуктивності кар'єру з 0,4 до 1,6 млн м<sup>3</sup>/рік, дозволяє зменшити витрати в 1,51 рази зі 182,6 до 120,6 грн/т.

Визначено, що при глибині кар'єру 150 м використання технологічної схеми ЦПТ, збільшення продуктивності кар'єру в 4 рази до 1,6 млн м<sup>3</sup>/рік дозволяє досягти зменшення витрат в 2,1 рази зі 236,0 до 111,8 грн/т.

Таким чином, при розробці кар'єру глибиною 150 м більш ефективною буде схема МДСУ при продуктивності кар'єру в діапазоні 0,4 до 1,6 млн м<sup>3</sup>/рік, однак у випадку відсутності можливості її застосування, при продуктивності кар'єру до 1,2 млн м<sup>3</sup>/рік більш ефективною буде схема ТСР, а при зростанні продуктивності – схема ЦПТ.

### **3.6. Розробка рекомендацій щодо впровадження ефективних технологічних схем розробки нерудної мінеральної сировини при змінній глибині кар'єра**

*Рекомендації з вибору технологічної схеми розробки кар'єру потужністю 0,4 млн м<sup>3</sup>/рік.*

Результати попередніх досліджень, дозволяють визначити вплив глибини кар'єру на питомі витрати отримання щебеневої продукції. Однак, крім глибини кар'єру, важливим показником впливу на витрати при виготовленні продукції виступає продуктивність кар'єру.

Тому, розробка рекомендації щодо вибору ефективної технологічної схеми при заданій продуктивності є актуальним завданням для існуючих підприємств. З метою встановлення ефективної схеми розробки кар'єру з продуктивністю 0,4 млн м<sup>3</sup>/рік встановлені залежності питомих витрат на виготовлення щебеневої продукції від глибини кар'єру, при застосуванні трьох технологічних схем: ТСР, ЦПТ і МДСУ (рис. 3.7).

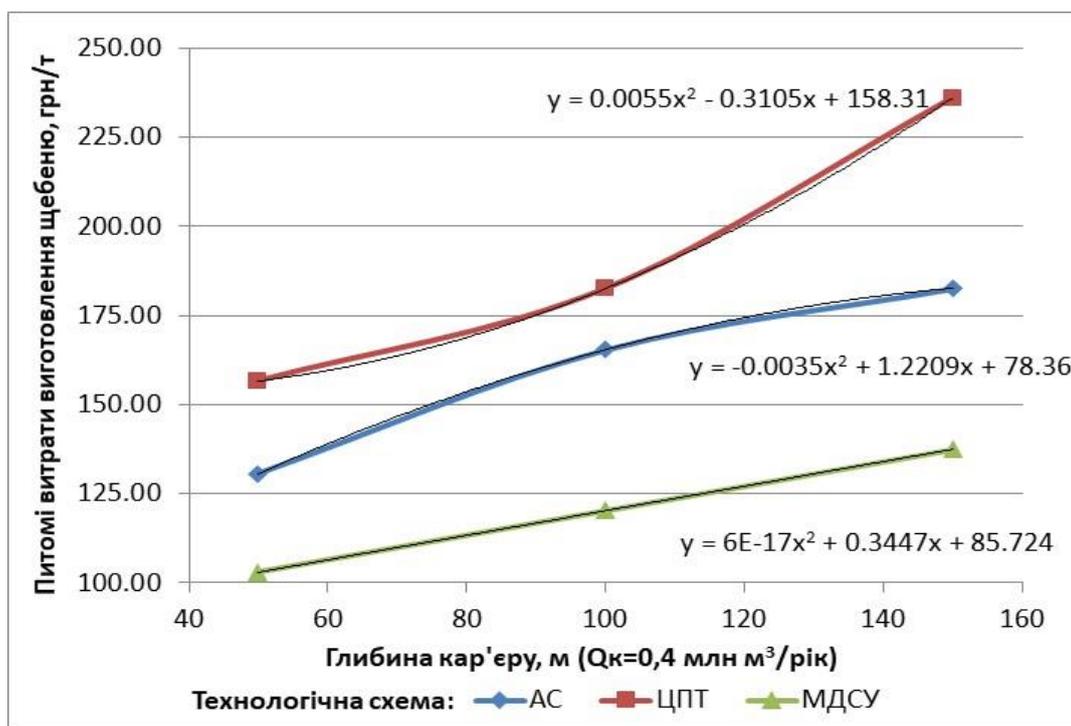


Рис. 3.7. Залежності питомих витрат на виготовлення щебеневої продукції від глибини кар'єру при заданій потужності кар'єру 0,4 млн м<sup>3</sup>/рік з використанням технологічних схем ТСП, ЦПТ і МДСУ.

Відповідно до встановлених залежностей (рис. 3.7) доведено, що збільшення глибини кар'єру для кожної з розглянутих технологічних схем, призводить до зростання витрат виготовлення щебеневої продукції при продуктивності кар'єру 0,4 млн м<sup>3</sup>/рік. Найменш ефективною технологічною схемою при розробці кар'єру продуктивністю 0,4 млн м<sup>3</sup>/рік є ЦПТ, оскільки має найбільші показники витрат в заданому діапазоні глибин кар'єру. Варто зазначити, що при застосування цієї схеми, збільшення глибини кар'єру в 3 рази з 50 до 150 м, призведе до зростання витрат в 1,5 рази зі 156,6 до 236,0 грн/т.

Визначено, що при продуктивності кар'єру 0,4 млн м<sup>3</sup>/рік використання технологічної схеми ТСП більш ефективно ніж використання схеми ЦПТ, але поступається технологічній схемі з використанням МДСУ. При збільшенні глибини кар'єру в 3 рази до 150 м за схеми ТСП витрати збільшується в 1,39 разів зі 130,6 до 182,6 грн за одну тонну продукції.

Як видно з даних графіку на (рис. 3.7), при розробці кар'єру продуктивністю 0,4 млн м<sup>3</sup>/рік найбільш ефективною є схеми з використанням МДСУ. За її використання, збільшення глибини кар'єру з 50 до 150 м, призведе до зростання витрат виготовлення щебеневої продукції в 1,33 рази зі 103,0 до 137,4 грн/т.

Таким чином, рекомендується застосування технологічної схеми МДСУ з використанням мобільної дробильно-сортувальної установки на концентраційному горизонті кар'єру з продуктивністю 0,4 млн м<sup>3</sup>/рік при глибині розробки від 50 до 150 м. У разі неможливості її застосування рекомендується використання схеми ТСП.

*Рекомендації з вибору технологічної схеми розробки при потужності кар'єру 1,0 млн м<sup>3</sup>/рік.*

Для встановлення ефективної схеми розробки кар'єру продуктивністю 1,0 млн м<sup>3</sup>/рік, проведено визначення техніко-економічних показників з метою порівняння питомих витрат на виготовлення щебеневої продукції при застосуванні трьох технологічних схем ТСП, ЦПТ і МДСУ (рис. 3.8).

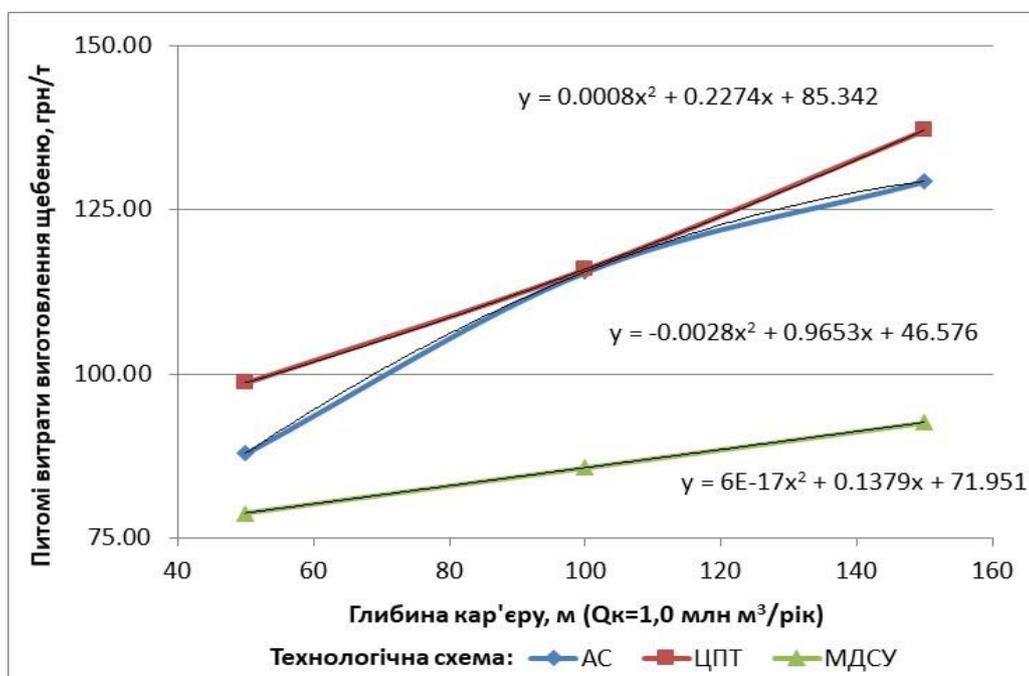


Рис. 3.8. Вплив глибини кар'єру на питомі витрати виготовлення щебеневої продукції при продуктивності кар'єру 1,0 млн м<sup>3</sup>/рік з використанням технологічних схем ТСП, ЦПТ і МДСУ

Встановлені залежності (рис. 3.8) дозволяють стверджувати, що збільшення глибини розробки кар'єру продуктивністю 1,0 млн м<sup>3</sup>/рік призводить до суттєвого зростання витрат виготовлення щебеневої продукції від 17 до 47 %.

Як видно з графіків, що зображені на рис. 3.8, при заданій продуктивності кар'єру найбільш ефективним є застосування технологічної схеми з використанням мобільної дробильно-сортувальної установки на концентраційному горизонті. При збільшенні глибини кар'єру в 3 рази з 50 до 150 м, витрати на виготовлення щебеневої продукції за схемою МДСУ зростають на 17 % з 78,8 до 92,6 грн /т.

Встановлено, що збільшення глибини кар'єру також призводить до зростання витрат на виготовлення щебеневої продукції при використанні схем ТСП і ЦПТ. При розробці кар'єру глибиною 50 – 150 м при більш ефективною буде схема ТСП, оскільки її використання дозволить досягти менших витрат на отримання продукції. Однак варто зазначити, що у тому випадку, коли глибина кар'єру складатиме 100 м схеми ТСП і МДСУ матимуть однакові питомі витрати на виготовлення продукції 115 грн/т.

Детальний аналіз питомих витрат на виготовлення продукції при застосуванні схеми ТСП показує, що під час збільшення глибини кар'єру в 3 рази з 50 до 100 м, відбувається зростання витрат в 1,47 разів зі 87,9 до 129,3 грн/т. У той же час, при відпрацюванні кар'єру продуктивністю 1,0 млн м<sup>3</sup>/рік, з використанням технологічної схеми ЦПТ, збільшення глибини розробки з 50 до 150 м призведе до зростання витрат на отримання щебеневої продукції в 1,38 разів зі 98,7 до 137,1 грн/т.

Встановлені залежності доводять, що при розробці кар'єру продуктивністю 1,0 млн м<sup>3</sup>/рік найменші витрати досягаються за технологічної схеми МДСУ при глибині кар'єру в діапазоні 50-100 м. У випадку відсутності можливості застосування схеми МДСУ, рекомендується обирати схему ТСП, однак при глибині кар'єру 100 м схема ЦПТ може

конкурувати з нею за показником собівартості виготовлення щебеневої продукції.

*Рекомендації з вибору технологічної схеми розробки при потужності кар'єру 1,6 млн м<sup>3</sup>/рік.*

Порівняння питомих витрат на виготовлення щебеневої продукції при застосуванні трьох технологічних схем розробки кар'єру з продуктивністю 1,6 млн м<sup>3</sup>/рік виконується відповідно до встановлених вихідних даних. Результати виконаних досліджень для технологічних схем ТСР, ЦПТ і МДСУ наведені на (рис. 3.9.).

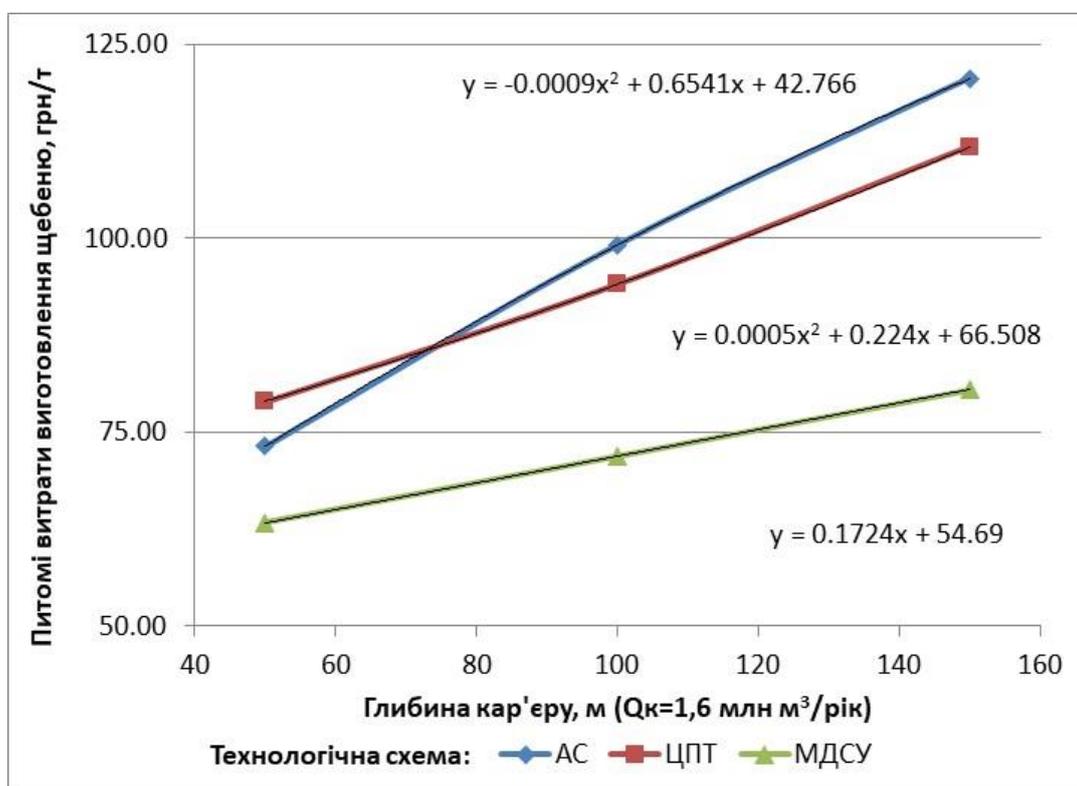


Рис. 3.9. Вплив глибини кар'єру на питомі витрати виготовлення щебеневої продукції при продуктивності кар'єру 1,6 млн м<sup>3</sup>/рік з використанням технологічних схем ТСР, ЦПТ і МДСУ

Отримані залежності, що наведені на рис. 3.9, підтверджують, що збільшення глибини кар'єру продуктивністю 1,6 млн м<sup>3</sup>/рік, як і для кар'єрів продуктивністю 0,4-1,0 млн м<sup>3</sup>/рік, призводить до збільшення витрат на виготовлення щебеневої продукції за трьома технологічними схемами.

Відповідно до графіку залежності собівартості розробки від глибини кар'єру найбільш ефективною є технологічна схема МДСУ з використанням мобільної дробильно-сортувальної установки на концентраційному горизонті. При збільшенні глибини кар'єру в 3 рази з 50 до 150 м, питомі витрати на виготовлення щебеневої продукції зростають в 1,27 рази зі 63,3 до 80,5 грн/т.

Встановлено, що глибина кар'єру має вплив на ефективність технологічних схем ТСР і ЦПТ та змінює їх пріоритети при поглибленні робіт. При глибині кар'єру до 76 м більш ефективною буде схема ТСР, однак подальше збільшення глибини розробки дозволить досягти менших витрат виготовлення щебеневої продукції при технологічній схемі ЦПТ.

Відповідно до результатів досліджень (рис. 3.9) при застосуванні схеми ТСР збільшення глибини кар'єру з 50 до 150 м, призведе до збільшення витрат в 1,64 рази зі 73,2 до 120,6 грн / т. У той же час, при використанні технологічної схеми ЦПТ збільшення глибини кар'єру в 3 рази до 150 м призведе до зростання витрат в 1,41 разів зі 79,0 до 111,8 грн / т продукції.

Проведені дослідження дозволяють стверджувати, що при розробці кар'єру продуктивністю 1,6 млн м<sup>3</sup>/рік найбільш ефективним за показником питомих витрат на виготовлення щебеневої продукції є застосування технологічної схеми МДСУ при глибині розробки від 50 до 150 м. У випадку відсутності можливості застосування схеми МДСУ, рекомендовано обирати схему ТСР при глибині кар'єру до 76 м, а у випадку зростання глибини, обирати технологічну схему за циклічно – потоковою технологією.

### Висновки до розділу 3.

1. Встановлено залежності питомих витрат на виготовлення щебеневої продукції від глибини розробки родовища і виробничої потужності кар'єру при використанні технологічних схем ТСР, ЦПТ і МДСУ. Доведено, що збільшення продуктивності кар'єру позитивно впливає на зниження собівартості виготовлення щебеневої продукції в 1,5 – 1,78 рази.

2. Доведено, що мінімальні витрати виготовлення щебеневої продукції на кар'єрі з річною продуктивністю 0,4 – 1,6 млн м<sup>3</sup> досягається шляхом запровадження технологічної схеми МДСУ в виробничий процес. При порівнянні двох технологічних схем ТСР і ЦПТ розробки кар'єру глибиною 100 м і продуктивністю до 1,0 млн м<sup>3</sup>/рік більш ефективною буде схема ТСР, а при зростанні продуктивності менші витрати досягаються за схемою ЦПТ.

3. Встановлено, що при порівнянні питомих витрат на виготовлення щебеневої сировини на кар'єрі глибиною 150 м за схемами ТСР і ЦПТ, більш ефективною буде технологічна схема ТСР при продуктивності кар'єру до 1,2 млн м<sup>3</sup>/рік, а при подальшому зростанні продуктивності – схема ЦПТ.

4. Встановлені залежності глибини розробки від показника питомих витрат отримання щебеневої продукції дозволяють стверджувати, що при глибині кар'єру 50 – 150 м найбільш ефективною є технологічна схема МДСУ. Варто відзначити, що при розробці кар'єру продуктивністю 1,6 млн м<sup>3</sup>/рік за відсутності схеми МДСУ, при глибині кар'єру до 76 м більш ефективною є схема ТСР, а при подальшому зростанні глибини менші витрати будуть досягнуті за технологічною схемою ЦПТ.

5. Проведеними дослідженнями визначено, що використання технологічної схеми МДСУ із застосуванням мобільної дробильно-сортувальної установки на концентраційному горизонті кар'єру є найбільш ефективною для розглянутих діапазонів глибин і продуктивності кар'єру, що

дозволяє рекомендувати її до впровадження при розробці родовищ мінеральної нерудної сировини.

#### **4. ОЦІНКА ІНВЕСТИЦІЙНОЇ ПРИВАБЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ МОБІЛЬНОЇ ДРОБИЛЬНО-СОРТУВАЛЬНОЇ УСТАНОВКИ ПРИ РОЗРОБЦІ НЕРУДНИХ КАР'ЄРІВ**

Розробка родовищ нерудної сировини передбачає значний перелік технологічних процесів, від правильної організації яких залежить ефективність функціонування гірничого підприємства [36]. Оцінка проектних рішень здійснюється з розрахунку собівартості отримання готової щебеневої продукції і перевага надається технологічній схемі, що дозволяє забезпечити мінімальні показники [1].

Основною складністю оцінки техніко-економічних показників роботи кар'єрів з розробки нерудних родовищ є збільшення витрат протягом життєвого циклу родовища [37]. Це пов'язано з постійним поглибленням кар'єру і необхідним збільшенням відстані транспортування гірничої маси з видобувних і розкривних уступів на поверхню [38].

Оскільки розробка уступів кар'єру відбувається послідовно [2], то мінімальні витрати на видобуток одиниці корисної копалини будуть припадати на початкові роки експлуатації підприємства [39], у той час як збільшення витрат буде відбуватися при пониженні видобувних уступів на кожний новий горизонт [40]. При цьому прибуток підприємства від реалізації готової продукції при фіксованій продуктивності кар'єру залишатиметься незмінним. Таким чином, виникає необхідність порівняння ефективності технологічних схем з урахуванням вартості теперішніх і майбутніх витрат [30].

Такий підхід дозволить коректно визначити вартість грошових потоків протягом періоду реалізації проекту, що особливо важливо під час вдосконалення технологічних рішень для підвищення ефективності роботи нерудних кар'єрів на глибинах понад 100м [41]. Основною метою вдосконалення технологічних схем є зменшення об'ємів транспортної роботи підприємства [42], що припадає на автосамоскиди шляхом запровадження

циклічно-поточною технології, а також облаштування мобільних дробильно-сортувальних установок на концентраційних горизонтах кар'єру. Ці горизонти в подальшому використовуються як майданчики де відбувається навантаження готової продукції у транспорт споживачів [43].

Таким чином, порівняння існуючої технологічної схеми на кар'єрі з запропонованими рішеннями має відбуватися за визначений проміжок часу реалізації проєкту [44]. Проведені дослідження дадуть змогу встановити показники дисконтованої вартості грошових потоків, прибутку підприємства NPV і оцінити інвестиційну привабливість технологічних схем розробки кар'єру шляхом визначення терміну окупності інвестицій [31].

Під час виконання досліджень вирішувалися наступні завдання: визначити вплив глибини кар'єру на розподіл дисконтованих грошових потоків протягом 10 років експлуатації з урахуванням технологічної схеми відпрацювання кар'єру; встановити грошовий баланс підприємства (NPV) при розробці кар'єру заданої потужності і змінної глибини; встановити залежність терміну окупності інвестицій від глибини розробки нерудного кар'єру з урахуванням техніко-економічних показників технологічних схем; порівняти ефективність схем транспортної системи розробки, циклічно-поточною технології та мобільної дробильно-сортувальної установки за показниками дисконтованої вартості грошових потоків і терміну окупності інвестицій при розробці нерудного кар'єру продуктивністю 1,6 млн м<sup>3</sup> зі зміною глибини від 50 до 150 м.

#### **4.1. Визначення дисконтованих грошових потоків при розробці кар'єрів нерудних матеріалів**

Інвестиційна привабливість схем розробки кар'єрів нерудних матеріалів виконується відповідно до визначеного періоду експлуатації підприємства. Під час виконання досліджень приймаємо термін основного етапу освоєння - 10 років, а підготовчий етап перед введенням в експлуатацію – 1 рік.

При аналізі техніко-економічних показників кожної технологічної схеми досліджується кар'єр з розробки нерудної сировини при постійній річній продуктивності 1,6 млн м<sup>3</sup>. Це дозволяє коректно порівняти капітальні та експлуатаційні витрати при видобутку сировини з подальшим встановленням собівартості отримання щебеневої продукції з урахуванням глибини розробки родовища.

На першому етапі встановлення інвестиційної привабливості виконується порівняння техніко-економічних показників трьох технологічних схем, що були визначені у попередніх дослідженнях. До них відносяться: транспортна система розробки (ТРС); циклічно-потоква технологія (ЦТП); використання мобільної дробильно-сортувальної установки в середині кар'єру (МДСУ).

Відповідно до проведених раніше досліджень встановлено вихідні техніко-економічні показники кожної із зазначених схем для розрахунку грошових потоків при відпрацюванні кар'єру глибиною 50 м (табл. 4.1).

Таблиця 4.1.

Вихідні дані для встановлення грошових потоків при розробці кар'єру глибиною 50 м

Види витрат	Технологічна схема		
	ТРС	ЦТП	МДСУ
Капітальні, млн грн:			
Екسкавація та транспортування	185,6	161,6	161,6
Подрібнення	120,0	93,5	48,0
Додаткове устаткування	15,3	12,8	10,5
Інфраструктура	7,6	6,4	5,2
Разом	328,5	274,2	225,3
Експлуатаційні:			
Видобуток корисних копалин, грн/м <sup>3</sup>	97,7	107,9	133,5
Розкривні роботи, грн/м <sup>3</sup>	12,7	14,0	17,3
Подрібнення, грн/м <sup>3</sup>	70,6	77,9	96,4
Накладні витрати, млн грн/рік	21,6	21,6	21,6

Для визначення грошових потоків підприємства, що експлуатує кар'єр з розробки нерудної сировини і виготовляє щебенеvu продукцію протягом 10 років, окрім капітальних і експлуатаційних витрат для кожної з трьох технологічних схем необхідно прийняти усереднені показники вартості реалізації щебеневої продукції та природну густину щебеню для визначення ваги товарної продукції. Під час визначення грошових потоків усереднена вартість щебеневої продукції приймалась – 180 грн/т, у той час як природна густина корисної копалини – 2,7 т/м<sup>3</sup>. Річний об'єм розкривних порід складає 0,2 млн м<sup>3</sup>, за коефіцієнту розкриву – 0,12.

Відповідно до зазначених даних виконано аналіз грошових потоків за трьома проектами, які включають застосування трьох технологічних схем: транспортної системи розробки; циклічно-потокової технології; використання мобільної дробильно-сортувальної установки в середині кар'єру.

Детальний аналіз грошових потоків для технологічної схеми із застосуванням транспортної системи розробки наведено в табл. 4.2.

Відповідно до отриманих результатів аналізу грошових потоків (табл. 4.2) встановлено, що об'єм загальних інвестицій на підготовчому році до експлуатації за технологічною схемою ТСП складає 358 млн грн, які включають капітальні витрати та проведення дорозвідки родовища. Щорічний прибуток підприємства, при заданих техніко-економічних показниках, складатиме 622,1 млн грн, а експлуатаційні витрати 293,4 млн грн. З урахуванням решти показників грошовий потік за даною технологічною схемою складатиме від 173,9 до 194,1 млн грн, в залежності від року експлуатації кар'єру.

Таблиця 4.2

Аналіз грошових потоків проекту під час застосування технологічної схеми  
ТСП при розробці кар'єру глибиною 50 м і продуктивністю 1,6 млн м<sup>3</sup>

Показники	Рік розробки											Разом, млн грн	
	-1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
Виручка	0,0	622,1	622,1	622,1	622,1	622,1	622,1	622,1	622,1	622,1	622,1	6220,8	
Експлуатаційні витрати	21,6	293,4	293,4	293,4	293,4	293,4	293,4	293,4	293,4	293,4	293,4	2955,6	
Дохід	-21,6	328,7	328,7	328,7	328,7	328,7	328,7	328,7	328,7	328,7	328,7	3265,2	
Амортизація матеріальних активів	32,9	32,9	32,9	32,9	32,9	32,9	32,9	32,9	32,9	32,9	32,9	0,0	328,5
Амортизація нематеріальних активів	0,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	30,0
Невраховані втрати	0,0	31,1	31,1	31,1	31,1	31,1	31,1	31,1	31,1	31,1	31,1	31,1	311,0
Дохід, що оподатковується	-54,5	258,7	258,7	258,7	258,7	258,7	258,7	264,7	264,7	264,7	264,7	297,6	2595,6
Податок	-28,3	134,5	134,5	134,5	134,5	134,5	134,5	137,7	137,7	137,7	137,7	154,7	1349,7
Прибуток	-26,1	124,2	124,2	124,2	124,2	124,2	124,2	127,1	127,1	127,1	127,1	142,8	1245,9
<i>Амортизація матеріальних активів</i>	32,9	32,9	32,9	32,9	32,9	32,9	32,9	32,9	32,9	32,9	32,9	0,0	328,5
<i>Амортизація нематеріальних активів</i>	0,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	30,0
<i>Невраховані витрати</i>	0,0	31,1	31,1	31,1	31,1	31,1	31,1	31,1	31,1	31,1	31,1	31,1	311,0
Розвідка родовища	30,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	30,0
Капітальні витрати	328,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	328,5
Залишкова вартість	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Грошовий потік, млн грн	-351,8	194,1	194,1	194,1	194,1	194,1	194,1	191,0	191,0	191,0	191,0	173,9	1556,9

За аналогічною методикою виконано аналіз грошових потоків для технологічних схем з використанням циклічно-потокової технології та

застосуванням мобільної дробильно-сортувальної установки в середині кар'єру.

Для коректного порівняння грошових потоків за різними технологічними схемами і роками необхідно використовувати метод дисконтування, що дозволить врахувати вплив фактору часу на економічні показники. Під час встановлення чистої приведеної вартості грошових потоків (NPV) використовувалася ставка дисконтування 10 %, що відповідає середньому відсотку зберігання грошей на депозиті.

Результати аналізу дисконтованих річних грошових потоків (NPV) в залежності від року розробки нерудного кар'єру глибиною 50 м за трьома технологічними схемами наведені на рис. 4.1.

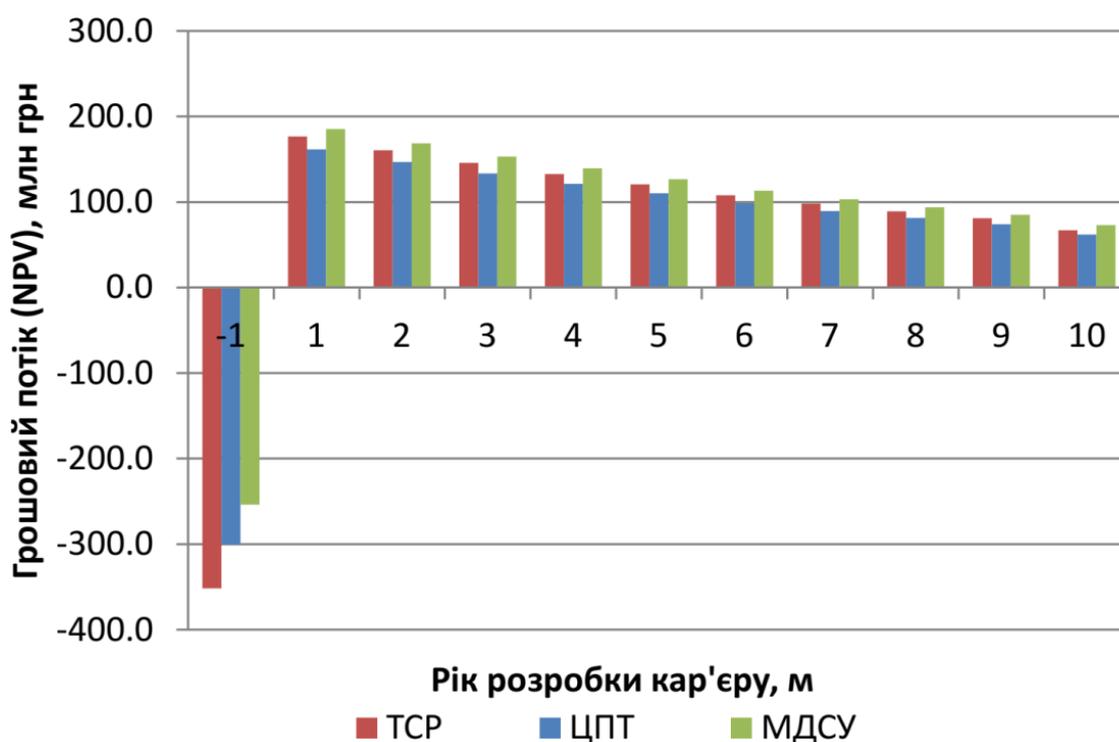


Рис. 4.1. Залежність показника дисконтованого грошового потоку (Cash flow) від року розробки родовища при глибині кар'єру 50 м з урахуванням технологічної схеми відпрацювання

Відповідно до встановлених результатів (рис. 4.1) за глибини кар'єру 50 м, найбільші грошові потоки зафіксовані при використанні технологічної

схеми МДСУ. Варто зазначити, що ще під час підготовчих робіт до вводу кар'єру в експлуатацію загальні витрати за технологічною схемою ТСР складуть понад 350 млн грн, тоді як застосування схеми МДСУ дозволить скоротити зазначені витрати в 1,4 рази до 250 млн грн. Витрати на підготовчому етапі за технологічною схемою ЦПТ складають 300 млн грн, що перевищує у 1,2 рази схему МДСУ, однак за цим показником дана схема у 1,16 разів більш ефективна за схему ТСР.

Встановлено, що протягом досліджуваного періоду експлуатації кар'єру в 10 років, із застосуванням прийнятих технологічних схем, найбільші грошові потоки зафіксовані для технологій ТСР і МДСУ, оскільки при глибині розробки 50 м за даних схем підприємство може отримувати найбільш високі прибутки за рахунок меншої собівартості виготовлення продукції у порівнянні зі схемою ЦПТ.

Загальна вартість грошових потоків NPV при глибині розробки кар'єру 50 м з продуктивністю 1,6 млн м<sup>3</sup> при використанні технологічної схеми ТСР складатиме 827 млн грн, ЦПТ – 778 млн грн, МДСУ – 987 млн грн. Однак при подальшому збільшенні глибини розробки кар'єру, грошові потоки підприємства будуть зменшуватися у зв'язку зі збільшенням витрат і собівартості виготовлення готової продукції.

Для визначення подальшого впливу глибини розробки та ефективність технологічних схем відпрацювання нерудного родовища за показником дисконтованого грошового потоку встановлено техніко-економічні показники роботи підприємства при експлуатації кар'єру глибиною 100 м. При виконанні цих досліджень продуктивна потужність кар'єру приймалась як у попередніх розрахунках у розмірі 1,6 млн м<sup>3</sup>/рік. Решта вихідних даних для встановлення залежностей дисконтованих грошових потоків (NPV) від року розробки кар'єру глибиною 100 м з використанням трьох технологічних схем наведені в табл.4.3.

Таблиця 4.3

Вихідні дані для встановлення показників грошових потоків при розробці кар'єру глибиною 100 м

Види витрат	Технологічна схема		
	ТСП	ЦПТ	МДСУ
Капітальні, млн грн:			
Екскавація та транспортування	257,6	185,6	185,6
Подрібнення	120,0	161,0	48,0
Додаткове устаткування	18,9	17,3	11,7
Інфраструктура	9,4	8,7	5,8
Разом, млн грн	405,9	372,6	251,1
Експлуатаційні:			
Видобуток корисних копалин, грн/м <sup>3</sup>	133,5	127,4	98,3
Розкривні роботи, грн/м <sup>3</sup>	17,3	16,5	12,7
Подрібнення, грн/м <sup>3</sup>	96,4	92,0	71,0
Накладні витрати, млн грн/рік	21,6	21,6	21,6

Встановлення показників дисконтованих грошових потоків за технологічними схемами ТСП, ЦПТ і МДСУ для кар'єру глибиною 100 м виконувалося в тій самій послідовності, як і для глибини 50 м. При встановленні показників дисконтованих грошових потоків усереднена вартість щелевеної продукції, природна густина корисної копалини та річний об'єм розкривних порід не змінювалися.

Відповідно до встановлених результатів, об'єм загальних інвестицій на підготовчому році до експлуатації за технологічною схемою ТСП складає 435 млн грн, які необхідно зосередити для погашення капітальних витрат і проведення додаткової розвідки родовища у підготовчий рік до експлуатації кар'єру. Для схеми ЦПТ в підготовчий рік загальні витрати становитимуть 402 млн грн, що у 1,43 рази більше за технологічну схему МДСУ, при якій витрати складатимуть 281 млн грн.

Щорічні експлуатаційні витрати за схемою ТСП складатимуть 392,4 млн грн, що на 5% більше за схему ЦПТ, в якій витрати сягатимуть 376 млн грн.

Найбільш ефективною за цим показником є технологічна схема МДСУ, в якій експлуатаційні витрати складають 294 млн грн, що у 1,33 і 1,27 разів менше ніж у схемах ТСП і ЦПТ, відповідно.

З урахуванням всіх встановлених показників, річний грошовий потік за технологічною схемою ТСП складатиме в межах 126 – 146 млн грн. При застосуванні схеми ЦПТ він коливатиметься в межах 134 – 151 млн грн, у той час як використання схеми МДСУ дозволить його суттєво збільшити до 173 – 188 млн грн на рік.

Зведені результати порівняння грошових потоків за технологічними схемами ТСП, ЦПТ і МДСУ при відпрацюванні кар'єру глибиною 100 м з використанням методу дисконтування наведені на рис. 4.2.

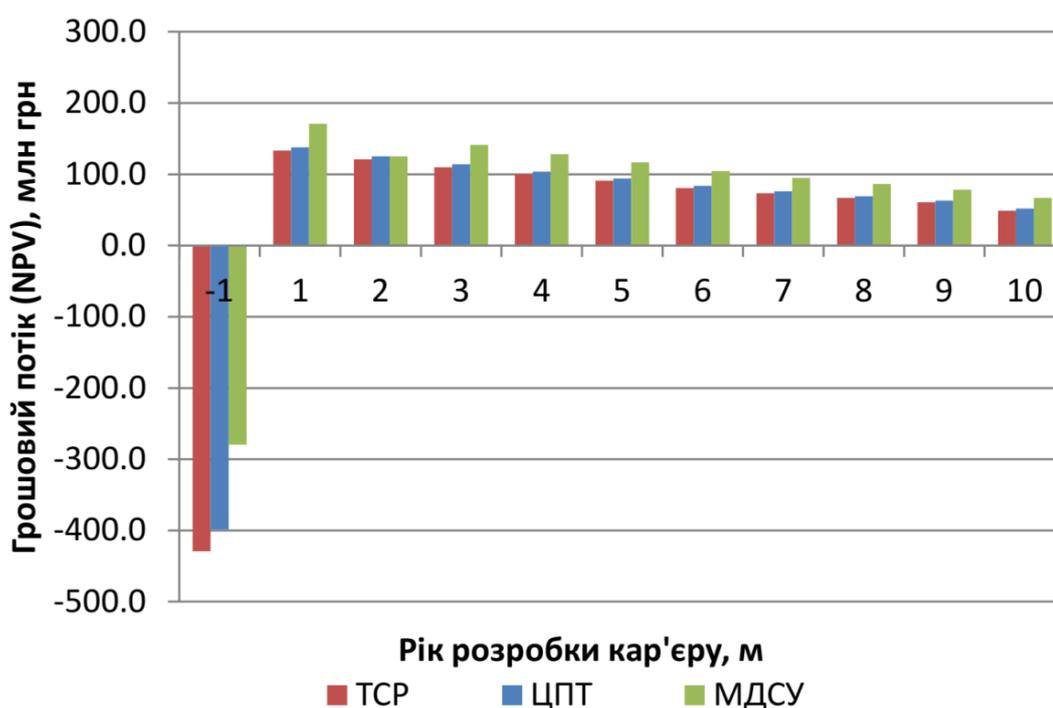


Рис. 4.2. Залежність показника дисконтованого грошового потоку (Cash flow) від року розробки родовища при глибині кар'єру 100 м з урахуванням технологічної схеми

Встановлений вплив року розробки родовища на показник дисконтованого грошового потоку при глибині кар'єру 100 м (рис. 4.2)

дозволяє стверджувати, що найбільші капітальні витрати відповідають схемі ТСР, у той час як схема МДСУ може вважатися найбільш ефективною за цим показником. За показником дисконтованих грошових потоків найменш ефективною є схема ТСР.

Визначено, що протягом 10 років експлуатації кар'єру за розглянутими технологічними схемами, найбільші грошові потоки зафіксовані для технологій ЦПТ і МДСУ, що відрізняється від показників отриманих при розробці кар'єру глибиною 50 м. За рахунок зменшення експлуатаційних витрат технологічна схема ЦПТ стає більш привабливою за ТСР, однак в решті поступається МДСУ.

При розробці кар'єру глибиною 100 м загальна вартість грошових потоків NPV при використанні технологічної схеми ТСР складатиме 456,3 млн грн, ЦПТ – 520,3 млн грн, МДСУ – 836,8 млн грн. Таким чином загальні грошові потоки схеми ЦПТ збільшуються у 1,14 рази у порівнянні зі схемою МДСУ. Також встановлено, що при збільшенні глибини кар'єру в два рази з 50 до 100 м знижується загальна вартість грошових потоків NPV в 1,2 – 1,8 разів в залежності від технологічної схеми, що пов'язано зі збільшенням витрат підприємства при сталих показниках виручки.

В подальших дослідженнях основна увага приділяється впливу технологічної схеми на показники дисконтованих грошових потоків при збільшенні глибини кар'єру до 150 м. Важливість цих досліджень підкреслюється тим, що на сьогодні значна кількість кар'єрів нерудної сировини перевищує глибину 100 м, що вкрай негативно впливає на формування конкурентоспроможної ціни товарної продукції.

Під час визначення впливу технологічної схеми відпрацювання нерудного родовища на показник дисконтованого грошового потоку встановлюються техніко-економічні показники роботи кар'єру глибиною 150 м. Вихідні дані для отримання показників дисконтованих грошових потоків (NPV) протягом 10 років розробки кар'єру з постійною виробничою

потужністю 1,6 млн м<sup>3</sup>/рік при застосуванні трьох технологічних схем наведено в табл.4.4.

Таблиця 4.4

Вихідні дані для встановлення показників грошових потоків при розробці кар'єру глибиною 150 м

Види витрат	Технологічна схема		
	ТСП	ЦПТ	МДСУ
Капітальні, млн грн:			
Екسкавація та транспортування	317,6	209,6	209,6
Подрібнення	120,0	314,0	48,0
Додаткове устаткування	21,9	26,2	12,9
Інфраструктура	10,9	13,1	6,4
Разом, млн грн	470,4	562,9	276,9
Експлуатаційні:			
Видобуток корисних копалин, грн/м <sup>3</sup>	190,3	172,8	128,4
Розкривні роботи, грн/м <sup>3</sup>	15,1	13,7	10,2
Подрібнення, грн/м <sup>3</sup>	96,6	87,8	65,2
Накладні витрати, млн грн/рік	21,6	21,6	21,6

Згідно з вихідними даними (табл. 4.4) найбільші капітальні витрати з урахуванням геологічної розвідки спостерігаються при технологічній схемі ЦПТ і складають 592,9 млн грн, що у 1,18 разів вище ніж при схемі ТСП і у 1,93 рази ніж при МДСУ. В першу чергу такі витрати викликані необхідністю спорудження траншей для розміщення похилих конвеєрів, що забезпечують транспортування гірничої маси.

Найбільші експлуатаційні витрати при розробці нерудного кар'єру глибиною 150 м зафіксовані при схемі ТСП. Вони складають 483,6 млн грн, що на 9% перевищує витрати за схемою ЦПТ з витратами 441,3 млн грн. Найменші експлуатаційні витрати за цієї глибини кар'єру спостерігаються у технологічній схемі МДСУ з показником 333,5 млн грн. Це в 1,45 разів менше ніж у схемі ТСП і в 1,32 рази менше ніж у ЦПТ. Таким чином при збільшенні глибини кар'єру до 150 м, зростає ефективність застосування

схеми МДСУ за показником експлуатаційних витрат у порівнянні з іншими схемами.

Визначення показників річних грошових потоків за кожною технологічною схемою дозволило встановити, що за схемою ТСП він складатиме від 82,6 до 102,8 млн грн в залежності від року розробки, у той час як при застосуванні схеми ЦПТ його значення коливатиметься від 102,9 до 120,3 млн грн. Найбільші значення грошових потоків зафіксовано при технологічній схемі МДСУ, за якої вони складають від 154,7 до 169,5 млн грн на рік. Це пов'язано з меншими капітальними і експлуатаційними витратами, що досягаються за схемою МДСУ.

Встановлені показники дисконтованих грошових потоків за роками при розробці кар'єру глибиною 150 м за технологічними схемами ТСП, ЦПТ і МДСУ наведено на рис. 4.3.

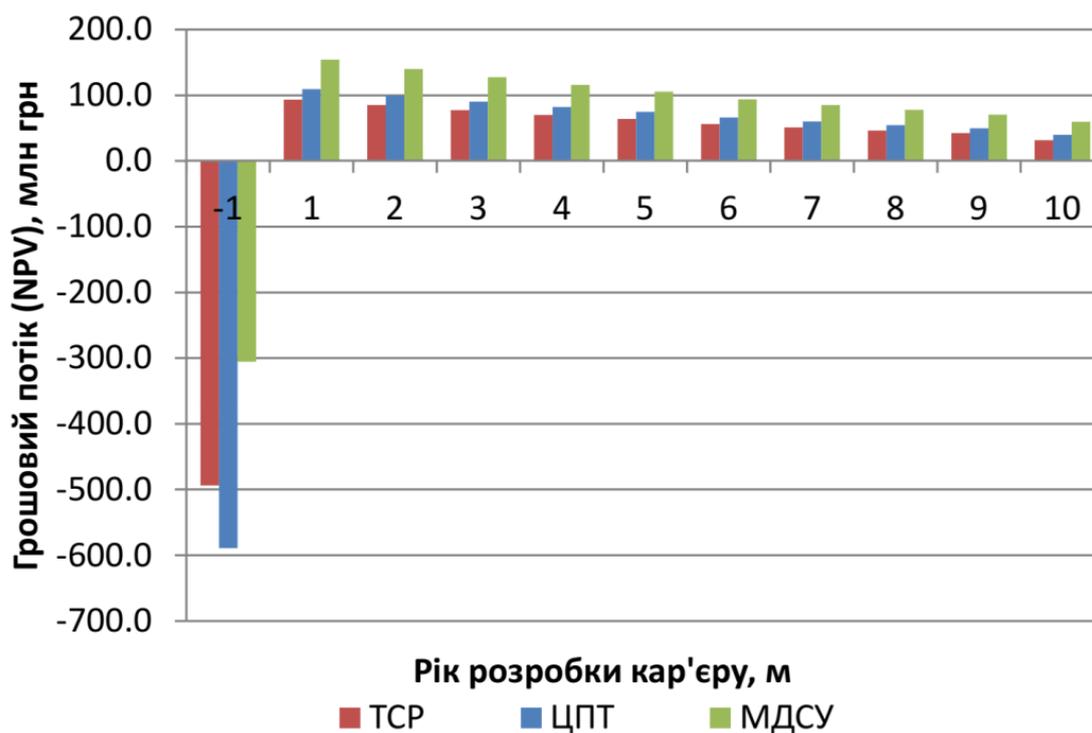


Рис. 4.3. Залежність показника дисконтованого грошового потоку (Cash flow) від року розробки родовища при глибині кар'єру 150 м з урахуванням технологічної схеми відпрацювання

Аналіз отриманих залежностей (рис. 4.3) підтверджує, що при глибині кар'єру 150 м найбільш ефективною за показником дисконтованого грошового потоку є технологічна схема МДСУ. Це досягається за рахунок того, що на підготовчому етапі розробки кар'єру витрати за нею є мінімальними, а експлуатаційні витрати протягом реалізації проєкту є найменшими.

Також встановлено, що за розглянутими технологічними схемами протягом 10 років, найменші дисконтовані грошові потоки є при використанні схеми ТСР, хоча на підготовчому етапі дана схема є більш привабливою за схему ЦПТ.

Встановлені залежності показують, що при збільшенні глибини кар'єру до 150 м дисконтована вартість грошових потоків за технологічної схеми ТСР складає 124,1 млн грн, що у 3,6 разів менше ніж при глибині кар'єру 100 м. Застосування схеми ЦПТ дозволяє несуттєво збільшити цей показник до 137,1 млн грн, що у 3,8 разів менше ніж при глибині розробки 100 м. Найкращими показниками володіє схема МДСУ, за якої загальна дисконтована вартість грошових потоків сягає 724,3 млн грн, що лише на 15% менше ніж при глибині кар'єру 100 м.

Отримані результати дозволяють стверджувати, що загальні грошові потоки за схемою МДСУ є у 5,8 разів кращими ніж при схемі ТСР і у 5,2 рази перевершують схему ЦПТ. Таким чином збільшення глибини кар'єру у 1,5 рази зі 100 до 150 м призводять до суттєвого зниження загальної вартості грошових потоків NPV в схемах ТСР і ЦПТ, що пов'язано з високими капітальними і експлуатаційними витратами при розробці кар'єрів на значних глибинах.

Результати отриманих показників вартості грошових потоків NPV по роках роботи підприємства дозволяють перейти до оцінювання технологічних схем ТСР, ЦПТ і МДСУ за показником терміну окупності інвестицій проєкту.

## 4.2. Встановлення терміну окупності інвестицій при застосуванні різних технологічних схем розробки родовища

Зазначена методика ґрунтується на визначенні показників грошового балансу підприємства (NPV) за роками і дозволяє обрати найбільш привабливу технологічну схему розробки нерудного кар'єру при однакових глибинах відпрацювання родовища і показниках продуктивності кар'єру.

Порівняння технологічних схем за показником дисконтованих грошових потоків є ефективним інструментом під час оцінки тривалих проєктів. Також показники грошових потоків за роками дозволяють перейти до порівняння технологічних схем за терміном окупності інвестицій, що є більш затребуваним під час залучення кредитних грошей.

Під час аналізу ефективності розробки нерудного кар'єру з заданою продуктивністю при застосуванні технологічних схем ТСП, ЦПТ і МДСУ в першу чергу розглядалась глибина розробки 50 м. Результати встановлення показників грошових балансів підприємства з урахуванням фактору часу при застосуванні різних схем наведено в табл. 4.5.

Таблиця 4.5

Грошовий баланс підприємства протягом 11 років реалізації проєкту при глибини кар'єру 50 м

Рік реалізації проєкту	Грошовий баланс підприємства при застосуванні технологічної схеми, млн грн		
	ТСП	ЦПТ	МДСУ
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
-1	-351,8	-300,3	-254,0
1	-143,3	-111,5	-45,4
2	30,1	45,6	127,3
3	173,3	175,0	269,0
4	290,1	280,4	383,9

Продовження таблиці 4.5

1	2	3	4
5	384,3	365,3	475,7
6	457,2	430,7	545,8
7	513,6	481,1	599,3
8	556,1	518,8	638,5
9	586,5	545,7	665,7
10	600,3	557,9	678,1

Відповідно до встановлених даних, кожна з розглянутих схем у перший рік розробки кар'єру має негативний баланс, що пов'язано з високими капітальними витратами у підготовчий період, проте у кожній схемі 3 рік проекту є терміном окупності. Для встановлення більш точного терміну окупності інвестицій розглянемо вплив часу на грошовий баланс підприємства (рис. 4.4).

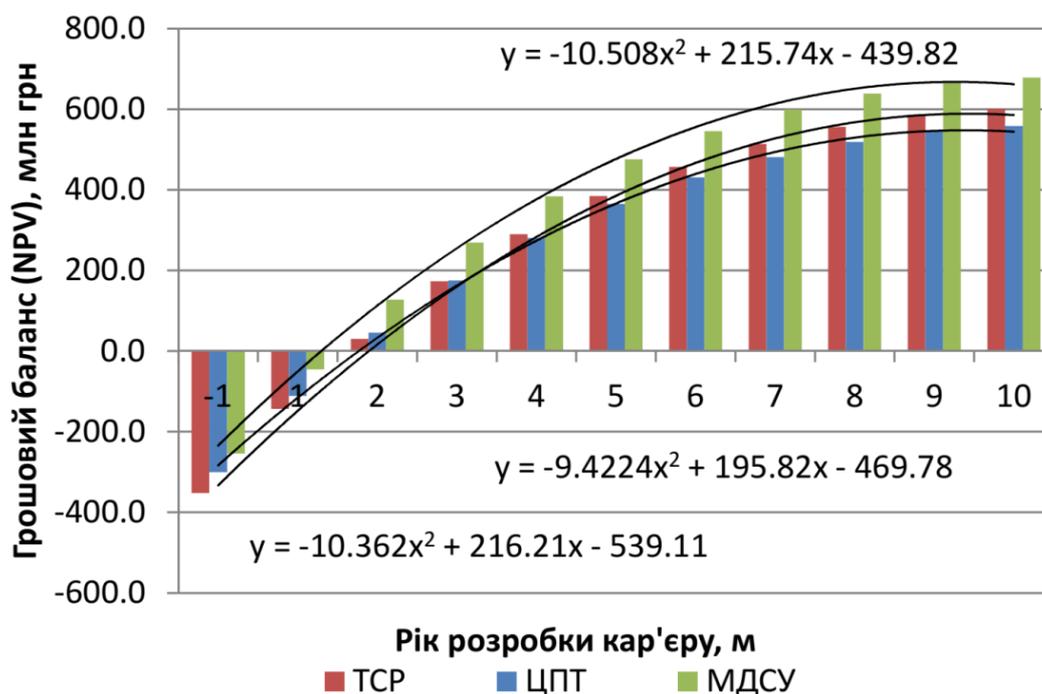


Рис. 4.4. Залежність терміну окупності інвестицій з урахуванням дисконтування від року розробки родовища при глибині кар'єру 50 м при застосуванні

Залежності, наведені на (рис. 4.4) дозволяють визначити, що за показником терміну окупності при глибині кар'єру 50 м, найбільш ефективною є технологічна схема МДСУ. При її застосуванні термін окупності складає 2,2 роки реалізації проєкту, що на 25 % менше ніж схемі ТСР і 19 % ніж при ЦПТ.

Також варто відзначити, що при даній глибині кар'єру застосування технологічної схеми ЦПТ є більш привабливим за показником терміну окупності (на 4 %) у порівнянні зі схемою ТСР, проте за показником грошового балансу підприємства (NPV) схема ТСР є на 7 % ефективнішою за ЦПТ на 11 рік реалізації проєкту за рахунок акумулювання більшого прибутку. Як видно з графіків (рис. 4), на 3 році розробки кар'єру грошовий баланс підприємства за схемою ТСР досягає показників схеми ЦПТ і в подальшому перевершує їх.

Таким чином, перевага у виборі схеми ТСР над ЦПТ буде визначатися в залежності від пріоритетності показників терміну окупності інвестицій або величини грошового балансу підприємства на кінець реалізації проєкту.

Наступними для порівняння виступають показники грошового балансу підприємства і терміну окупності інвестицій для технологічних схем ТСР, ЦПТ і МДСУ при відпрацюванні кар'єру глибиною 100 м. Під час визначення показників дисконтованих грошових потоків, найбільш привабливою схемою протягом 11 років реалізації проєкту є МДСУ, у той час як схема ТСР мала найгірші показники. При використанні цієї схеми, загальна вартість грошових потоків була меншою у 1,8 і 1,14 разів у порівнянні зі схемами МДСУ і ТСР, відповідно.

Для оціни ефективності розглянутих схем за показником терміну окупності інвестицій визначено грошовий баланс підприємства протягом 11 років реалізації проєкту при глибині розробки кар'єру 100 м (табл. 4.6).

Таблиця 4.6

Грошовий баланс підприємства протягом 11 років реалізації проекту при глибини кар'єру 100 м

Рік реалізації проекту	Грошовий баланс підприємства при застосуванні технологічної схеми, млн грн		
	ТСП	ЦПТ	МДСУ
-1	-429,2	-398,7	-279,8
1	-257,1	-224,6	-83,4
2	-112,8	-78,8	79,6
3	7,5	42,3	213,6
4	106,8	142,0	322,7
5	188,0	223,3	410,1
6	251,8	286,8	477,2
7	302,4	337,0	528,7
8	341,7	375,6	566,9
9	371,4	404,5	593,8
10	386,3	419,5	606,6

Аналіз отриманих показників грошових балансів підприємства за роками (табл. 4.6) підтверджує суттєвий вплив збільшення глибини кар'єру до 100 м на ефективність технологічних схем ТСП і ЦПТ. За їх використання термін окупності інвестицій збільшується з двох до трьох років реалізації проекту, у той час як при застосуванні схеми МДСУ грошовий баланс підприємства знижується лише на 11% у порівнянні з розробкою кар'єру глибиною 50 м. Залежності дисконтованих грошових потоків підприємства від терміну реалізації проекту наведені на (рис. 4.5).

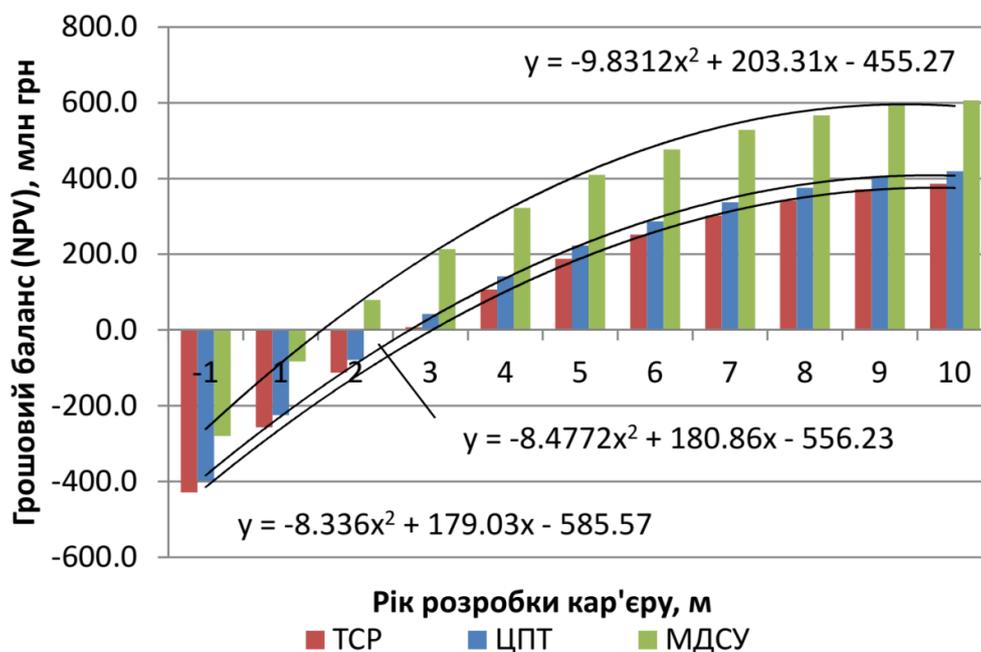


Рис. 4.5. Залежність терміну окупності інвестицій з урахуванням дисконтування від року розробки родовища при глибині кар'єру 100 м при застосуванні

Відповідно до встановлених залежностей (рис. 4.5) термін окупності інвестицій за технологічною схемою МДСУ складає 2,5 років, що на 44 % менше ніж при використанні схеми ЦПТ (3,6 років) і на 57 % ніж при ТСР (3,9 років). Це додатково підтверджує зниження ефективності схем ТСР і ЦПТ при збільшенні глибини кар'єру з 50 до 100 м у порівнянні з показниками схеми МДСУ.

На відміну від показників технологічних схем ТСР і ЦПТ, які були зафіксовані при розробці кар'єру глибиною 50 м, збільшення глибини до 100 м призводить до того, що за схемою ЦПТ термін окупності зменшується на 8 %, а грошовий баланс підприємства збільшується на 9 % на кінець реалізації проекту у порівнянні зі схемою ТСР. Таким чином, застосування технології ТСР є найменш привабливим у порівнянні зі схемами ЦПТ і МДСУ при глибині кар'єру 100 м, як за показником терміну окупності так і за дисконтованим грошовим балансом підприємства протягом 11 років реалізації проекту.

Останнім етапом досліджень з порівняння ефективності технологічних схем ТСР, ЦПТ і МДСУ за показником терміну окупності інвестицій є встановлення дисконтованих грошових балансів підприємства при глибині кар'єру 150 м. При аналізі відповідних параметрів за глибини кар'єру 50 - 100 м встановлено, що найбільш ефективною технологічною схемою є МДСУ. Схема ЦПТ випереджає за ефективністю схему ТСР при глибині розробки 100 м, а при глибині кар'єру 50 м вони мають приблизно однакові показники.

З метою оцінки ефективності схем ТСР, ЦПТ і МДСУ та визначення найбільш привабливої за показником терміну окупності інвестицій встановлено розподіл грошових балансів за роками при розробці кар'єру глибиною 150 м (табл. 4.7).

Таблиця 4.7

Грошовий баланс підприємства протягом 11 років реалізації проекту при глибини кар'єру 150 м

Рік реалізації проекту	Грошовий баланс підприємства при застосуванні технологічної схеми, млн грн		
	ТСР	ЦПТ	МДСУ
-1	-493,7	-589,0	-305,6
1	-355,4	-426,0	-123,7
2	-238,1	-287,9	27,7
3	-139,2	-171,3	152,5
4	-56,3	-73,5	254,5
5	12,7	7,8	336,6
6	67,8	73,3	399,9
7	112,8	126,8	449,0
8	149,0	169,9	485,8
9	177,8	204,2	512,2
10	193,5	225,3	525,3

Відповідно до отриманих показників грошових потоків (табл. 4.6) можна стверджувати, що при застосуванні технологічних схем ТСП і ЦПТ на кар'єрах глибиною 150 м фінансові показники підприємства значно погіршуються у порівнянні зі схемою МДСУ. Як видно з наведених даних, грошовий баланс підприємства на 11 рік реалізації проєкту буде найменшим за схемою ТСП і складатиме 193,5 млн грн, що на 16 % менше ніж за схемою ЦПТ і у 2,7 разів ніж за МДСУ. Для визначення терміну окупності інвестицій розглянемо графіки залежності, наведені на рис. 4.6.

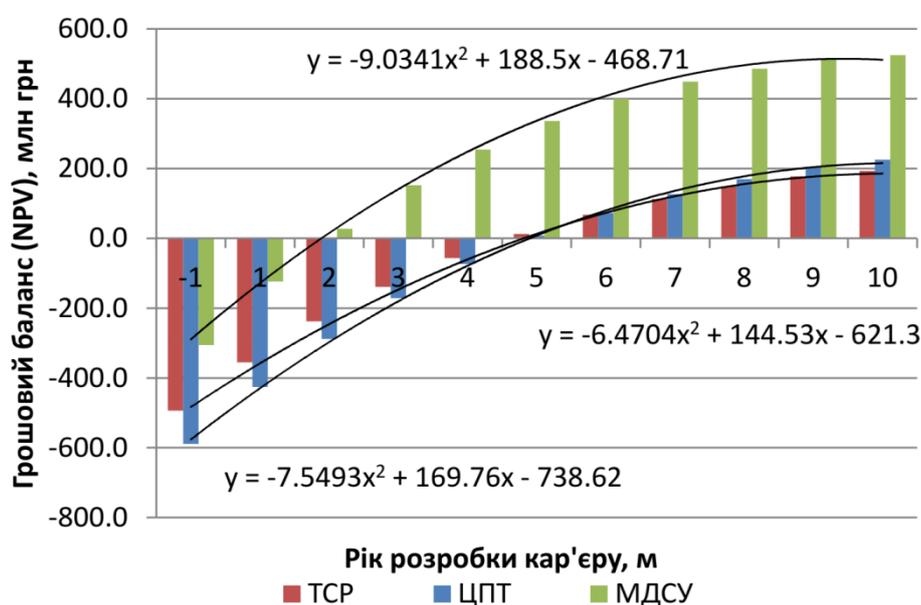


Рис. 4.6. Залежність терміну окупності інвестицій з урахуванням дисконтування від року розробки родовища при глибині кар'єру 150 м при застосуванні

Отримані залежності (рис. 4.6) дозволяють визначити чітку перевагу технологічної схеми МДСУ при розробці кар'єру глибиною 150 м. В даному випадку термін окупності інвестицій складає 2,8 роки, що лише на 12% більше ніж при розробці кар'єру глибиною 100 м. В той же час при використанні технологічних схем ТСП і ЦПТ термін окупності інвестицій збільшиться і складатиме 5,8 і 5,9 років, відповідно. Зазначені терміни окупності є доволі тривалими і у певних випадках можуть сприйматися

інвесторами як неприйнятні, що унеможливить використання цих схем на практиці при глибині кар'єру 150 м.

При загальному порівнянні технологічної схеми МДСУ з іншими за показником терміну окупності інвестицій, то він 2,0 рази менше ніж при використанні схеми ТСП (5,8 років) і 2,1 рази ніж при ЦПТ (2,9 років).

Варто відзначити, що при глибині кар'єру 150 м виникає схожа ситуація, яка була зафіксована при глибині розробки 50 м. Перевага при виборі між технологічними схемами ТСП і ЦПТ буде визначатися в залежності від пріоритетності показників терміну окупності або грошового балансу підприємства. При цій глибині застосування технологічної схеми ТСП є більш привабливим за показником терміну окупності (на 2 %) у порівнянні зі схемою ЦПТ, однак за показником грошового балансу підприємства (NPV) на кінець реалізації проєкту схема ЦПТ є на 16 % ефективнішою за ТСП за рахунок акумулювання більшого прибутку. У даному випадку на 5 році розробки кар'єру грошовий баланс підприємства за схемою ЦПТ досягає показників схеми ТСП і перевершує їх.

#### **4.3. Дослідження впливу глибини розробки родовища на ефективність технологічних схем за показниками дисконтованої вартості грошових потоків, чистого доходу підприємства NPV і терміну окупності інвестицій**

Встановлені залежності дисконтованих грошових потоків і грошового балансу підприємства в залежності від року розробки дозволяють визначити вплив глибини розробки родовища на інвестиційну привабливість кожної технологічної схеми.

В першу чергу розглянемо залежність показника загальної вартості грошових потоків (NPV) від глибини кар'єру з розробки нерудної сировини при заданій продуктивності (рис. 4.7).

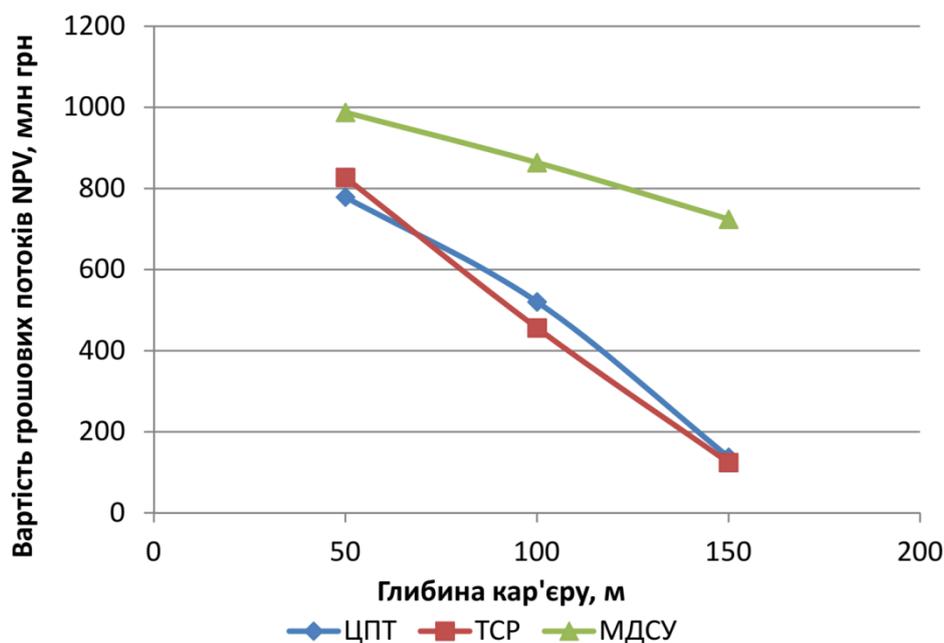


Рис. 4.7. Залежність загальної вартості грошових потоків NPV від глибини кар'єру за 11 років реалізації проекту при продуктивності підприємства 1,6 млн м<sup>3</sup> щебеню на рік

Відповідно до отриманих залежностей (рис. 4.7), технологічна схема МДСУ є найбільш привабливою за інші протягом 11 років реалізації в діапазоні глибини кар'єру 50 – 150 м. Її найбільша ефективність за показником загальної вартості грошових потоків досягається за глибини кар'єру 50 м і складає 987,7 млн грн. При збільшенні глибини кар'єру в три рази до 150 м, ефективність схеми МДСУ зменшується в 1,36 рази і сягає 724,3 млн грн.

Варто зазначити, що за показником загальної вартості грошових потоків NPV технологічні схеми ТСП і ЦПТ є вкрай близькими за ефективністю при збільшенні кар'єру з 50 до 150 м. Збільшення глибини кар'єру в зазначеному діапазоні для цих схем призводить до зменшення їх ефективності у 5,6 і 6,6 разів для схем ЦПТ і ТСП, відповідно. Це підтверджує значну перевагу схеми МДСУ, оскільки за її використання не відбувається такого суттєвого скорочення загальної вартості грошових потоків.

Відповідно до графіків (рис. 4.7) при порівнянні схем ТСР і ЦПТ за глибини кар'єру 50 м більш ефективною є перша схема оскільки її показник загальної вартості грошових потоків буде на 6 % вище ніж за схемою ЦПТ. Однак при зростанні глибини кар'єру до 100 м за схемою ЦПТ вартість грошових потоків складатиме 520,3 млн грн, що на 14 % вище ніж за схемою ТСР (456,3 млн грн). При зростанні глибини кар'єру до 150 м ефективність схеми ЦПТ буде на 10% вищою за ТСР, загальна вартість грошових потоків якої складатиме 124,1 млн грн.

Проведені дослідження зі встановлення грошових потоків протягом реалізації проекту дозволили визначити вплив глибини розробки кар'єру на прибуток підприємства при застосуванні технологічних схем ТСР, ЦПТ і МДСУ. Визначені показники загального дисконтованого прибутку підприємства за 11 років реалізації проекту з урахуванням глибини кар'єру при його продуктивності 1,6 млн м<sup>3</sup>/рік, наведено на рис. 4.8.

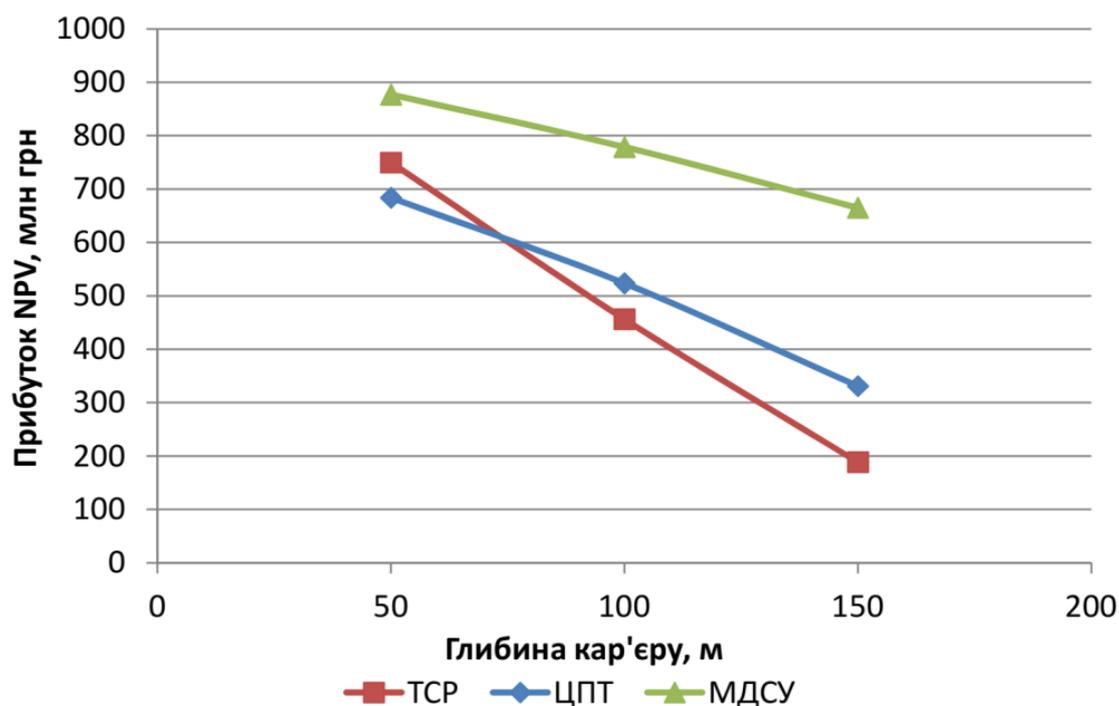


Рис. 4.8. Вплив глибини кар'єру на загальний прибуток підприємства NPV за 11 років реалізації проекту

Встановленні залежності загального прибутку підприємства від глибини розробки з використанням технологічних схем ТСР, ЦПТ і МДСУ (рис. 4.8) дозволяють стверджувати, що схема МДСУ є найкращою за цим показником в зазначеному діапазоні глибин розробки родовища. Максимальний прибуток NPV досягається за цією схемою при розробці кар'єру глибиною 50 м і складає 876,8 млн грн. При збільшенні глибини кар'єру до 150 м загальний прибуток за цією схемою зменшується у 1,31 рази і складає 665,0 млн грн.

На відміну від показника загальної вартості грошових потоків технологічні схеми ТСР і ЦПТ мають чіткі межі ефективності за показником загального прибутку. При розробці кар'єру глибиною 50 м ефективність схеми ТСР буде на 9 % вищою за схему ЦПТ і складатиме 749,8 млн грн. Під час збільшення глибини кар'єру до 72 м, технологічна схема ЦПТ матиме аналогічний загальний прибуток NPV зі схемою ТСР, який складатиме 609,5 млн грн. При подальшому зростанні глибини кар'єру, ефективність схеми ЦПТ за показником загального прибутку буде збільшуватися і сягатиме 331,2 млн грн при глибині розробки 150 м, що на 75 % вище ніж за схемою ТСР.

При порівнянні схем ТСР і ЦПТ з МДСУ встановлено, що при глибині розробки кар'єру 50 м відмінність між ними складає 17 і 28 %, відповідно. Це обумовлено відносно невеликою різницею у капітальних і експлуатаційних витратах за цими схемами на невеликих глибинах розробки кар'єру.

При зростанні глибини кар'єру до 150 м, технологічна схема МДСУ має суттєві переваги у порівнянні зі схемами ТСР і ЦПТ. При застосуванні схеми МДСУ замість ТСР, за вказаної глибини розробки, загальний прибуток підприємства зросте у 3,5 разів зі 188,6 до 665,0 млн грн за 11 років реалізації проєкту, що підтверджує високу ефективність запропонованих рішень. Під час порівняння загальних прибутків підприємства NPV технологічних схем МДСУ і ЦПТ встановлено перевагу першої у 2,0 рази, що дозволяє за час реалізації проєкту збільшити прибуток на 333,9 млн грн.

Отримані результати досліджень дозволяють перейти до встановлення впливу глибини розробки кар'єру на термін окупності інвестицій з

урахуванням техніко-економічних показників технологічних схем розробки ТСР, ЦПТ і МДСУ. Оскільки порівняння ефективності технологічних схем за показником терміну окупності інвестицій є одним з найбільш визнаних методів оцінки при прийнятті рішень, попередні результати можуть слугувати лише як допоміжний матеріал. Встановлені залежності терміну окупності інвестицій від глибини кар'єру за трьома технологічними схемами наведено на рис.4.9.

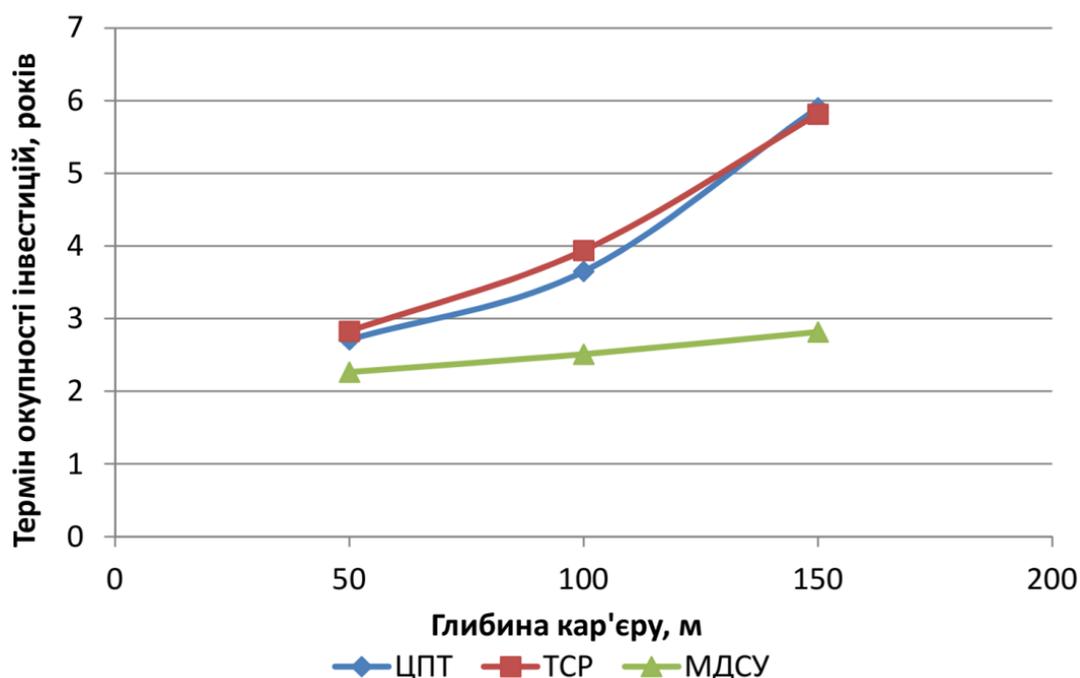


Рис. 4.9. Залежність терміну окупності інвестицій від глибини розробки кар'єру з заданою продуктивністю підприємства 1,6 млн м<sup>3</sup> щебеню на рік

Визначений вплив глибини кар'єру на термін окупності інвестицій (рис. 4.9) при порівнянні трьох технологічних схем ТСР, ЦПТ і МДСУ дозволяє стверджувати, що найбільш ефективною є остання схема в діапазоні глибини розробки 50 – 150 м. За рахунок зменшення капітальних і експлуатаційних витрат у порівнянні зі схемами ТСР і ЦПТ досягається мінімальний термін окупності інвестицій, що складає 2,3 роки при глибині кар'єру 50 м.

Подальше збільшення глибини кар'єру до 150 м за схемою МДСУ призводить до збільшення терміну окупності інвестицій на 24 % до 2,8 років.

Порівняння технологічної схеми МДСУ зі схемами ТСР і ЦПТ дозволяє стверджувати, що при глибині кар'єру 50 м термін окупності першої зменшується на 19 і 24 %, відповідно. При подальшому збільшенні глибини кар'єру до 150 м ефективність схеми МДСУ зростає ще більше за рахунок незначного впливу глибини розробки на термін окупності. У порівнянні зі схемою ТСР термін окупності схеми МДСУ при глибині розробки 150 м зменшується в 2,09 разів у той час як ефективність застосування схеми ЦПТ є меншою у 2,06 разів.

Технологічні схеми ТСР і ЦПТ мають схожі показники терміну окупності інвестицій при збільшенні глибини кар'єру з 50 до 150 м. При глибині розробки 50 м більш ефективною схемою є схема ЦПТ з терміном окупності 2,7 років, що на 4 % менше ніж при ТСР. При збільшенні глибини кар'єру до 140 м термін окупності інвестицій для технологічних схем ЦПТ дорівнює терміну окупності схеми ТСР і складає 5,2 роки. При подальшому збільшенні глибини кар'єру до 150 м, технологічна схема ТСР стає більш ефективною за схему ЦПТ на 2%, при цьому термін окупності інвестицій за нею складає 5,8 років.

Варто зазначити, що у випадку прийняття рішення про недоцільність інвестицій при максимальному терміні окупності понад 5 років, технологічні схеми ТСР і ЦПТ можуть бути застосовані лише при глибині кар'єру зазначеної продуктивної потужності до 134 м. Подальше збільшення глибини за даних схем призведе до відсутності необхідного прибутку і незадовільних термінів окупності інвестицій, які необхідні для реалізації проєкту.

#### **Висновки до розділу 4.**

1. Встановлено вплив глибини розробки родовища на показники дисконтованої вартості грошових потоків, чистого доходу підприємства NPV і терміну окупності інвестицій при використанні схем ТСР, ЦПТ і МДСУ, що

дозволило довести ефективність останньої технологічної схеми при заданій продуктивності кар'єру 1,6 млн м<sup>3</sup>/рік.

2. Відповідно до показника загальної дисконтованої вартості грошових потоків технологічна схема МДСУ є найбільш привабливою в діапазоні глибини кар'єру 50 – 150 м. Встановлено, що ефективність схеми МДСУ за цим показником є кращою у порівнянні зі схемами ТСР і ЦПТ відповідно на 19 і 26 % при глибині кар'єру 50 м. При зростанні глибини кар'єру зі 100 до 150 м ефективність схеми МДСУ за показником загальних грошових потоків буде 5,2 і 5,8 разів перевершувати показники схем ЦПТ і ТСР, відповідно.

3. Встановлено залежність загальної вартості грошових потоків від глибини кар'єру при застосуванні розглянутих схем. Визначено, що використання схеми МДСУ у порівнянні зі схемами ТСР і ЦПТ при глибині розробки кар'єру 50 м є більш ефективним на 17 і 28 %, відповідно. У той же час при зростанні глибини кар'єру до 150 м, ефективність технологічної схеми МДСУ за показником загального прибутку підприємства суттєво зростає, і у 2,0 та 3,5 разів перевершує схеми ЦПТ і ТСР, відповідно.

4. Отримані залежності загального прибутку підприємства від глибини розробки з використанням технологічних схем ТСР, ЦПТ і МДСУ. Встановлено, що максимальний прибуток досягається за схемою МДСУ при розробці кар'єру глибиною 50 м і складає 876,8 млн грн. При збільшенні глибини кар'єру до 150 м загальний прибуток за цією схемою зменшується у 1,31 рази і складає 665,0 млн грн.

5. Встановлено залежності терміну окупності інвестицій від глибини розробки, що дозволяють підтвердити перевагу технологічної схеми МДСУ над іншими схемами за глибини кар'єру 50 – 150 м. Встановлено, що за глибини кар'єру 50 м термін окупності інвестиції при схемі МДСУ є меншим на 19 і 24 %, у порівнянні зі схемами ТСР і ЦПТ, відповідно. При збільшенні глибини кар'єру до 150 м ефективність схеми МДСУ зростає ще більше і дозволяє зменшити термін окупності інвестицій у 2,06 і 2,09 разів у порівнянні зі схемами ЦПТ і ТСР, відповідно.

6. Встановлено, що при обмежених термінах окупності інвестицій тривалістю понад 5 років, використання технологічних схем ТСП і ЦПТ можливе лише за граничної глибини 134 м. Подальше збільшення глибини призведе до відсутності необхідного прибутку, який гарантує заданий термін окупності інвестицій.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Дисертація є завершеною науково-дослідницькою роботою, в якій вирішена актуальна наукова задача, що полягає в обґрунтуванні ефективних технологічних схем видобутку нерудної будівельної сировини з використанням мобільних дробильно - сортувальних комплексів на робочих майданчиках кар'єра, що дозволяє підвищити ефективність відкритих гірничих робіт за рахунок суттєвого зменшення відстані транспортування гірничої маси та зниження експлуатаційних витрат на гірничотранспортні роботи. Основні результати досліджень є вагомими для технології розробки родовищ нерудної будівельної сировини з використанням мобільних дробильно - сортувальних установок в кар'єрі.

Найбільш важливі наукові й практичні результати, висновки й рекомендації полягають наступному:

1. Встановлено залежності відстані транспортування корисної копалини від глибини розробки родовища з застосуванням технологічних схем при транспортній системі розробки, циклічно – потоковій технологічній схемі та при використанні мобільно – дробильної установки в кар'єрі за різною глибиною кар'єра, які дозволили встановити, що при застосуванні МДСУ в кар'єрі відстань транспортування може зменшуватися від 1,9 до 3,4 разів.

2. Встановлено залежності продуктивності автосамоскидів від глибини розробки нерудного кар'єру. Відповідно до отриманих залежностей при збільшенні глибини кар'єру в три рази з 50 до 150 м продуктивність кар'єрних автосамоскидів зменшується в 2,5 рази при транспортній системі розробці та в 2 рази при циклічно-потоковій.

3. Встановлено залежність об'єму крутої траншеї і довжини конвеєрів від глибини нерудного кар'єру при циклічно-потоковій технології. Відповідно до встановлених залежностей, збільшення глибини кар'єру з 50 до 150 м призведе до збільшення об'єму крутої траншеї у 18,4 рази, при цьому загальна довжина конвеєру збільшиться у 1,8 рази з 414 до 741 м.

4. Отримано залежності питомих витрат на виготовлення щебеневої продукції від глибини розробки родовища і виробничої потужності кар'єру при використанні технологічних схем ТСР, ЦПТ і МДСУ. Доведено, що збільшення продуктивності кар'єру позитивно впливає на зниження собівартості виготовлення щебеневої продукції в 1,5 – 1,78 рази.

5. Доведено, що за показником загальної дисконтованої вартості грошових потоків застосування МДСУ є найбільш привабливим в діапазоні глибини кар'єру 50 – 150 м. При цьому, вища ефективність у порівнянні зі схемами ТСР і ЦПТ становить, відповідно 19 і 26 % при глибині кар'єру 50 м. При зростанні глибини кар'єру зі 100 до 150 м ефективність застосування МДСУ буде в понад 5,2 разів перевершувати показники розглянутих схем.

6. Встановлено, що за показником загальної вартості грошових потоків використання схеми з МДСУ у порівнянні зі схемами ТСР і ЦПТ при глибині розробки кар'єру 50 м є більш ефективним на 17 і 28 %, відповідно. При зростанні глибини кар'єру до 150 м, ефективність технологічної схеми МДСУ за показником загального прибутку підприємства суттєво зростає, і у 2,0 та 3,5 разів перевершує схеми ЦПТ і ТСР, відповідно.

7. Розроблені та впроваджені рекомендації застосування на кар'єрах нерудної мінеральної сировини ефективних технологічних схем розробки при змінній глибині кар'єра від 50 до 150 м та виробничій потужності кар'єра від 0,4 до 1,6 млн/м<sup>3</sup>.

### Список використаних джерел

1. Symonenko, V. I., Haddad, J. S., Cherniaiev, O. V., Rastsvietaiev, V. O., & Al-Rawashdeh, M. O. (2019). Substantiating systems of open-pit mining equipment in the context of specific cost. *Journal of The Institution of Engineers (India): Series D*, 100, 301-305. <https://doi.org/10.1007/s40033-019-00185-2>.
2. Cherniaiev, O., Pavlychenko, A., Romanenko, O., & Vovk, Y. (2021). Substantiation of resource-saving technology when mining the deposits for the production of crushed-stone products. *Mining of Mineral Deposits*. <https://doi.org/10.33271/mining15.04.099>.
3. Carvalho, F. P. (2017). Mining industry and sustainable development: time for change. *Food and Energy security*, 6(2), 61-77. <https://doi.org/10.1002/FES3.109>.
4. Ishchenko, K., Konoval, V., & Lohvyna, L. (2019). An effective way to rock mass preparation on metallic and nonmetallic quarries Ukraine. In *E3S Web of Conferences* (Vol. 109, p. 00031). EDP Sciences. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201910900031>.
5. Braun, T., Hennig, A., & Lottermoser, B. G. (2017). The need for sustainable technology diffusion in mining: Achieving the use of belt conveyor systems in the German hard-rock quarrying industry. *Journal of Sustainable Mining*, 16(1), 24-30. <https://doi.org/10.1016/J.JSM.2017.06.003>.
6. Sdvyzhkova, O., Moldabayev, S., Bascetin, A., Babets, D., Kuldeyev, E., Sultanbekova, Z., ... & Issakov, B. (2022). Probabilistic assessment of slope stability at ore mining with steep layers in deep open pits. *Mining of Mineral Deposits*, 16(4). <https://doi.org/10.33271/mining16.04.011>.
7. Dryzhenko, A., Moldabayev, S., Shustov, A., Adamchuk, A., & Sarybayev, N. (2017). Open pit mining technology of steeply dipping mineral occurrences by steeply inclined sublayers. *International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM*, 17(13), 599-606. <https://doi.org/10.5593/sgem2017/13/s03.076>.

8. Kawalec, W., Król, R., & Suchorab, N. (2020). Regenerative belt conveyor versus haul truck-based transport: Polish open-pit mines facing sustainable development challenges. *Sustainability*, 12(21), 9215. <https://doi.org/10.3390/su12219215>
9. Paricheh, M., Osanloo, M., & Rahmanpour, M. (2017). In-pit crusher location as a dynamic location problem. *Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*, 117(6), 599-607. <https://doi.org/10.17159/2411-9717/2017/v117n6a11>.
10. Owolabi, A. O. (2019). Loading and haulage equipment selection for optimum production in a granite quarry. *Int. J. Min. Sci*, 5, 35-40. <https://doi.org/10.20431/2454-9460.0502004>.
11. Shamsi, M., Pourrahimian, Y., & Rahmanpour, M. (2022). Optimisation of open-pit mine production scheduling considering optimum transportation system between truck haulage and semi-mobile in-pit crushing and conveying. *International Journal of Mining, Reclamation and Environment*, 36(2), 142-158. <https://doi.org/10.1080/17480930.2021.199698.3>.
12. Khussan, B., Abdiev, A., Bitimbayev, M., Kuzmin, S., Issagulov, S., & Matayev, A. (2022). Substantiation and development of innovative container technology for rock mass lifting from deep open pits. *Mining of Mineral Deposits*, 16(4). <https://doi.org/10.33271/mining16.04.087>.
13. Abbaspour, H., Drebenstedt, C., Paricheh, M., & Ritter, R. (2019). Optimum location and relocation plan of semi-mobile in-pit crushing and conveying systems in open-pit mines by transportation problem. *International Journal of Mining, Reclamation and Environment*, 33(5), 297-317. <https://doi.org/10.1080/17480930.2018.1435968>.
14. Shustov, O., Perkova, T. (2022). Methodological principles of the selection of a resource-saving technology while developing water-bearing placer deposits. *Mining of Mineral Deposits*, 16(3). <https://doi.org/10.33271/mining16.03.115>.

15. Tolovkhan B., Smagulova A., Khuangan N. (2023) Studying rock mass jointing to provide bench stability while Northern Katpar deposit developing in Kazakhstan. *Mining of Mineral Deposits*. 2023, 17(2):99-111. <https://doi.org/10.33271/mining17.02.099>.

16. Colangelo, F., Navarro, T. G., Farina, I., & Petrillo, A. (2020). Comparative LCA of concrete with recycled aggregates: A circular economy mindset in Europe. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 25, 1790-1804. <https://doi.org/10.1007/s11367-020-01798-6>.

17. Gorova, A., Pavlychenko, A., Borysovs'ka, O., & Krups'ka, L. (2013). The development of methodology for assessment of environmental risk degree in mining regions. *Annual Scientific-Technical Colletion - Mining of Mineral Deposit*, 207-209. <https://doi.org/10.1201/b16354-38>.

18. Sdvyzhkova, O., Babets, D., Kravchenko, K., & Smirnov, A. V. (2015). Rock state assessment at initial stage of longwall mining in terms of poor rocks of Western Donbass. *New Developments in Mining Engineering: Theoretical and Practical Solutions of Mineral Resources Mining*, 65-70. <https://doi.org/10.1201/B19901-13>.

19. Drebenstedt, C. (2017). Selection of environmentally safe open-pit technology for mining water-bearing deposits. *Mining of Mineral Deposits*, 11 (3), 70-75. <https://doi.org/10.15407/mining11.03.070>.

20. Levytskyi, V., Skyba, G. (2019). Conceptual development of the transition from drill and blast excavation to non-blasting methods for the preparation of mined rock in surface mining. *Rudarsko-geološko-naftni zbornik*, 34(3). <https://doi.org/10.17794/rgn.2019.3.3>.

21. Yu, H., & Zahidi, I. (2023). Environmental hazards posed by mine dust, and monitoring method of mine dust pollution using remote sensing technologies: An overview. *Science of The Total Environment*, 864, 161135. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.161135>.

22. Gumenik, I. (2015). Current condition of damaged lands by surface mining in Ukraine and its influence on environment. *New Developments in Mining Engineering*, 2015, 139. <https://doi.org/10.1201/B19901-26>.

23. Симоненко, В.І. (2010). Розробити технологічні основи еколого- й енергозберігаючого виробництва при видобутку твердої нерудної сировини в межах санітарно-захисних зон. Звіт про НДР (проміжний). №ДР 0110U000532.

Дніпропетровськ: Національний гірничий університет.

24. Технологія екологобезпечної відкритої розробки нерудних родовищ твердих корисних копалин: монографія. Симоненко В.І., Павличенко А.В., Анісімов О.О., Бондаренко А.О., Черняєв О.В., Гриценко Л.С. Дніпро: Журфонд, 2022. 365 с.

25. М.Т. Бака, В.Й. Сивко. Видобування та переробка будівельних гірських порід: Навчальний посібник. – Житомир: РВВ ЖДТУ, 2003. – 249с.

26. Симоненко В.І. Спосіб відкритої розробки нерудних твердих корисних копалин [Текст] / Корисна модель 61984 Україна, МПК E21C41/00, E21C41/26 / Симоненко В.І., Черняєв О.В., Мостика А.В., Гриценко Л.С. (Україна). - № U201015772; заявл. 27.12.2010; опубл. 10.08.2011, Бюл. № 15.

27. Fischer, T. (2016, May). Stationary vs. semi-mobile crushing plant in comparison. In 2016 IEEE-IAS/PCA Cement Industry Technical Conference (pp. 1-7). IEEE.<https://doi.org/10.1109/CITCON.2016.7742674>.

28. Paricheh, M., Osanloo, M., & Rahmanpour, M. (2017). In-pit crusher location as a dynamic location problem. *Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*, 117(6), 599-607. <https://doi.org/10.17159/2411-9717/2017/v117n6a11>.

29. Braun, T., Hennig, A., & Lottermoser, B. G. (2017). The need for sustainable technology diffusion in mining: Achieving the use of belt conveyor systems in the German hard-rock quarrying industry. *Journal of Sustainable Mining*, 16(1), 24-30. <https://doi:10.1016/J.JSM.2017.06.003>.

30. Mireku-Gyimah, D., & Ansah, N. O. (2017). An Economic Evaluation of the Loye Quarry of Atiwa Quarries Limited. *Ghana Mining Journal*, 17(1), 43-53. <https://doi.org/10.4314/gm.v17i1.5>.
31. Mariz, J. L. V., Juvenal, R. S., Rocha, S. S., Assis, A. A. A., & Souza, J. C. Preliminary study of economic feasibility of a project of aggregates mining through probabilistic analysis. *Associação Brasileira de Metalurgia, Materiais e Mineração. Proceedings of*, 20, 1-3. <http://dx.doi.org/10.5151/2594-357X-33616>.
32. Joshi, D., Chithaluru, P., Singh, A., Yadav, A., Elkamchouchi, D. H., Breñosa, J., & Anand, D. (2022). An optimized open pit mine application for limestone quarry production scheduling to maximize net present value. *Mathematics*, 10(21), 4140. <https://doi.org/10.3390/math10214140>.
33. Adesida, P. A., Gbolagade, M. A., & Opafunso, Z. O. (2017). Effect of Capital and Operating Cost on the Aggregate Production in Some Selected Quarries in North-Central Nigeria. *British Journal of Applied Science and Technology*. <https://doi.org/10.9734/BJAST/2017/32187>.
34. Moura, L. C., André, F. P., Miceli, H., Neumann, R., & Tavares, L. M. (2019). Manufactured feldspar-quartz sand for glass industry from gneiss quarry rock fines using dry rare-earth magnetic separation. *Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review*, 40(5), 333-343. <https://doi.org/10.1080/08827508.2019.1643341>.
35. Bustillo Revuelta, M., & Bustillo Revuelta, M. (2021). Aggregates. *Construction Materials: Geology, Production and Applications*, 17-53 <https://doi.org/10.1007/978-3-030-65207-4>.
36. Sobko, B., Lozhnikov, O., & Kriachek, V. (2024). Assessment of the using a mobile crushing and sorting plant investment attractiveness at the development of construction material quarries. *Mining of Mineral Deposits*, 18(4). <https://doi.org/10.33271/mining18.04.034>.
37. Kuchersky, N., Shelepov, V., Gumenik, I., & Lozhnikov, A. (2015). Development of inclined conveyor hard rock transportation technology by the

cyclical-and-continuous method. In Proceedings of the 12th International Symposium Continuous Surface Mining-Aachen 2014 (pp. 41-46). <https://doi.org/10.1007/978-3-319-12301-15>.

38. Sobko B., Lozhnikov O., M. Chebanov, D. Vinivitin. (2022). Substantiation of the optimal parameters of the bench elements and slopes of iron ore pits. *Natsional'nyi Hirnychiy Universytet. Naukovyi Visnyk* 5 (2022): 26-32. <https://doi.org/10.33271/nvngu/2022-5/026>.

39. Prokopenko V., Pilov P., Cherep A. and Pilova D. (2020) Managing Mining Enterprise Productivity by Open Pit Reconstruction *Eurasian mining* 1 42-6. <https://doi.org/10.17580/em.2020.01.08>.

40. Saik, P., Cherniaiev, O., Anisimov, O., Dychkovskiy, R., & Adamchuk, A. (2023). Mining of non-metallic mineral deposits in the context of Ukraine's reconstruction in the war and post-war periods. *Mining of Mineral Deposits* This link is disabled., 17(4), pp. 91-102. <https://doi.org/10.33271/mining17.04>.

41. Cherniaiev, O., Anisimov, O., Saik, P., & Akimov, O. (2024). Theoretical substantiation of water inflow into the mined-out space of quarries mining hard-rock building materials *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* This link is disabled. 1319(1), 012002. <https://doi:10.1088/1755-1315/1319/1/012004>.

42. Lozhnikov, O., Sobko, B., Pavlychenko A. (2023). Technological Solutions for Increasing the Efficiency of Beneficiation Processes at the Mining of Titanium-Zirconium Deposits. *Inzynieria Mineralna*, 2023, (1), pp. 61–68. <http://doi.org/10.29227/IM-2023-01-07>.

43. Dryzhenko, A., Moldabayev, S., Shustov, A., Adamchuk, A., & Sarybayev, N. (2017). Open pit mining technology of steeply dipping mineral occurrences by steeply inclined sublayers. *International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM*, 17(13), 599-606. <https://doi.org/10.5593/sgem2017/13/s03.076>.

44. Anisimov, O., Symonenko, V., Cherniaiev, O., & Shustov, O. (2018). Formation of safety conditions for development of deposits by open mining. Web of Conferences. E3S Web of Conferences forthcoming. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20186000016>.

## Додаток А

ЗАТВЕРДЖУЮ

Директор

ТОВ «Інститут гірничо-хімічної промисловості»  
(ТЗОВ «Інститут «ГІРХІМПРОМ»)

І.В. САМОФАЛ

» \_\_\_\_\_ 2025 р.

## АКТ ВПРОВАДЖЕННЯ

результатів дисертаційної роботи на здобуття наукового ступеня  
доктора філософії з спеціальності «184 Гірництво», аспіранта  
НТУ «Дніпровська політехніка»,  
КРЯЧЕКА Віталія Павловича

Цим актом підтверджується, що результати дисертаційної роботи В.П. Крячека, представлені у вигляді «Рекомендації щодо обґрунтування ефективних технологічних схем розробки родовищ будівельної нерудної сировини», які впроваджені в гірничий відділ ТОВ «Інститут гірничо-хімічної промисловості» (ТЗОВ «Інститут «ГІРХІМПРОМ»).

Вид впроваджених результатів: «Рекомендації щодо обґрунтування ефективних технологічних схем розробки родовищ будівельної нерудної сировини»

1. Характеристика масштабу впровадження \_\_\_\_\_ одиничне \_\_\_\_\_

(унікальне, одиничне, партія, масове, серійне)

2. Форма впровадження: Рекомендації \_\_\_\_\_

Методика (метод, рекомендації)

3. Новизна результатів науково - дослідних робіт

\_\_\_\_\_ принципово нові \_\_\_\_\_

(піонерні, принципово нові, якісно нові, модифікація,  
модернізація старих розробок)

4. Дослідно - промислова перевірка \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_ (вказати номер та дату актів випробовування,

найменування підприємства, період)

6. Впроваджені:

- в промислове виробництво: \_\_\_\_\_

(дільниця, цех (цехи), процес)

- в проектні роботи проектного інституту ТОВ «Інститут гірничо-хімічної промисловості» (ТЗОВ «Інститут «ГІРХІМПРОМ») \_\_\_\_\_

(впровадження в проект)

7. Річний економічний ефект:

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

(від впровадження в проект)

фактичний \_\_\_\_\_ тис. грн

в тому числі часткова участь \_\_\_\_\_

тис.грн

8. Соціальний та науково-технічний ефект:

*«Рекомендації щодо обґрунтування ефективних технологічних схем розробки родовищ будівельної нерудної сировини», що дозволяє визначити вибір ефективних параметрів елементів системи розробки родовищ нерудної мінерального сировини та використовувати в проектній документації сучасні технологічні схеми розробки кар'єрів при виготовленні щелевеної продукції.*

(охорона навколишнього середовища, надр; поліпшення і оздоровлення умов праці, вдосконалення структури управління, науково-технічних напрямків, спеціальні призначення і т.п.)

Від виконавця

Виконавець робіт, м.н.с.

В.П.Крячек

Керівник робіт, д.т.н., проф.

Б.Ю. Собко

Від підприємства

Заступник директора з науковий та проектних робіт

М.М. Штангрет



## Додаток Б

ЗАТВЕРДЖУЮ

Директор  
 АТ «Малинський каменодобильний завод»



М.ОНОПРИЄНКО

2025 р.

## АКТ ВПРОВАДЖЕННЯ

результатів дисертаційної роботи на здобуття наукового ступеня  
 доктора філософії з спеціальності «184 Гірництво», аспіранта  
 НТУ «Дніпровська політехніка»,  
 КРЯЧЕКА Віталія Павловича

Цим актом підтверджується, що результати дисертаційної роботи  
 Крячека В.П., представлені у вигляді «Рекомендації щодо вибору ефективних  
 технологічних схем розробки нерудних корисних копалин при змінній глибині  
 та продуктивності кар'єрів», які впроваджені в гірничий відділ АТ «Малинський  
 каменодобильний завод».

Вид впроваджених результатів: «Рекомендації щодо вибору ефективних  
 технологічних схем розробки нерудних корисних копалин при змінній глибині та  
 продуктивності кар'єрів»

1. Характеристика масштабу впровадження одиничне

(унікальне, одиничне, партія, масове, серійне)

2. Форма впровадження: Рекомендації

Методика (метод, рекомендації)

3. Новизна результатів науково - дослідних робіт

принципово нові

(піонерні, принципово нові, якісно нові, модифікація,  
 модернізація старих розробок)

4. Дослідно - промислова перевірка \_\_\_\_\_

(вказати номер та дату актів випробовування,  
 найменування підприємства, період)

## 6. Впроваджені:

- в промислове виробництво: АТ «Малинський каменедробильний завод»,  
(дільниця, цех (цехи), процес)

- в проектні роботи \_\_\_\_\_  
(впровадження в проект)

## 7. Річний економічний ефект:

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

(від впровадження в проект)

фактичний \_\_\_\_\_ тис. грн

в тому числі часткова участь

\_\_\_\_\_ тис. грн

## 8. Соціальний та науково-технічний ефект:

«Рекомендації щодо вибору ефективних технологічних схем розробки нерудних корисних копалин при змінній глибині та продуктивності кар'єрів», що дозволяють визначити вибір ефективних технологічних схем розробки родовищ нерудної мінеральної сировини в залежності від глибини кар'єру та використовувати їх гірничому виробництві при виготовленні щелевеної продукції.

(охорона навколишнього середовища, надр; поліпшення і оздоровлення умов праці, вдосконалення структури управління, науково-технічних напрямків, спеціальні призначення і т.п.)

Від виконавця

Виконавець робіт, м.н.с.

\_\_\_\_\_ В.П.Крячек

Керівник робіт, д.т.н., проф.

\_\_\_\_\_ Б.Ю. Собко

Від підприємства

Головний інженер АТ «МКДЗ»

\_\_\_\_\_ С.А.Білобров