

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

Кваліфікаційна наукова  
праця на правах рукопису

**СУДАКОВА ДІАНА АНДРІЇВНА**

УДК 622.248.33

**ДИСЕРТАЦІЯ**

**ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ  
ТЕХНОЛОГІЇ ІЗОЛЯЦІЇ ПОГЛИНАЮЧИХ  
ГОРИЗОНТІВ БУРОВИХ СВЕРДЛОВИН**

**05.15.10 – Буріння свердловин**

Подається на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук

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

\_\_\_\_\_ Д.А. Судакова

Науковий керівник Кузін Юрій Леонідович, кандидат технічних наук, доцент

Дніпро – 2018

## АНОТАЦІЯ

*Судакова Д.А.* Обґрунтування параметрів технології ізоляції поглинаючих горизонтів бурових свердловин. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Кваліфікаційну наукову працю виконано в Національному технічному університеті «Дніпровська політехніка», м. Дніпро.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.15.10 – «Буріння свердловин». – Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, м. Івано-Франківськ, 2018.

### **Зміст анотації**

На теперішній час існує велике різноманіття технологій і матеріалів для ліквідації поглинання промивальної рідини. В більшості випадків ліквідація поглинань забезпечується тампонуванням каналів відходу промивальної рідини твердіючими або нетвердіючими тампонажними сумішами шляхом створення водонепроникного екрану в породі навколо свердловини.

Для ліквідації поглинання промивальної рідини застосовуються недостатньо ефективні тампонажні матеріали, які готуються на водній основі з введенням до їх складу мінералов'язких або синтетичних речовин.

Основними недоліками цих матеріалів є те, що вони мають велику чутливість до розбавлення водою. При тампонуванні розчини легко перемішуються з промивальною рідиною і водами пластів, особливо за наявності міжпластового перетікання. Відбувається збіднювання, седиментація тампонажних розчинів, що ведуть до підвищення часу схоплювання, розтіканню на значні відстані від свердловини та, як наслідок, призводить до перевитрати тампонажних сумішей, необхідності повторення операцій з тампонування. На практиці, при ліквідації поглинання промивальної рідини, витрачаються тонни, десятки тонн цементу.

Тому мають певний інтерес тампонажні розчини на основі термопластичних, що не збіднюються свердловинними і пластови водами матеріалів з низь-

кою температурою плавлення, розплав яких може легко проникати в канали поглинання промивальної рідини і тверднути там.

У дисертаційній роботі на підставі результатів теоретичних, експериментальних і виробничих досліджень вирішено актуальну наукову задачу, що полягає у встановленні закономірностей зміни осьового навантаження та частоти обертання при обґрунтуванні режимних параметрів ефективної термомеханічної технології ізоляції поглинаючих горизонтів від середньої межі міцності на одновісне стискання залежно від: складу композиту, співвідношення компонентів та виду наповнювача; температури перегріву розплаву, щільності, часу твердіння та кількості плавок тампонажного термопластичного композиційного матеріалу, розплав яких, проникаючи в канали поглинання з наступною зміною агрегатного стану, утворює малооб'ємну, але міцну ізоляційну оболонку навколо стовбура бурової свердловини.

На підставі виконаного аналізу літературних, патентних та ін джерел, отримала подальший розвиток теорія про те, що при бурінні в умовах тріщинуватих гірських порід застосування тампонажних сумішей на водній основі з використанням різних мінералов'язучих і синтетичних речовин досягло своєї межі. В останні десятиліття роботи щодо поліпшення властивостей тампонажних матеріалів зводяться до вирішення місцевих завдань, а не усунення головного недоліку – збіднювання.

Обґрунтовано той факт, що на сьогодні термопластичні матеріали, через недосконалість технологій, нестабільність фізико-механічних властивостей і певною мірою канцерогенність їх компонентів, не знайшли широкого застосування як тампонажні матеріали при ізоляції поглинаючих горизонтів бурових свердловин.

Уперше обґрунтовано і доведено можливість застосування у якості тампонажного термопластичного композиційного матеріалу інертних термопластичних побутових відходів на основі поліетилентерефталату. В результаті лабораторних досліджень фізико-механічних властивостей: розроблено рецептуру тампонажного термопластичного композиційного матеріалу для ізоляції погли-

наючих горизонтів бурових свердловин, яка захищена патентами на винахід України №№ 106505, 108791, 110442; обґрунтовано необхідність введення до складу тампонажного термопластичного композиційного матеріалу наповнювача; визначено вид і оптимальну концентрацію наповнювача, у якості наповнювача рекомендується застосовувати гравій крупністю менш 0,5 мм у співвідношенні 1:1 до вторинного поліетилентерефталату; показано, що тампонажний термопластичний композиційний матеріал з крупністю наповнювача менше 0,5 мм у співвідношенні 1:1:

- має найбільші міцнісні характеристики, і у віці 15 хв складає 52,6 МПа, що в 5,26 разів вище за міцність прототипу – тампонажного каменю на цементній основі віком 7 діб;

- у діапазоні температур 250 – 300 °С має розтікання, порівняне з розтіканням нормального тампонажного цементного розчину;

- проникність тампонажного каменю з тампонажного термопластичного композиційного матеріалу за 24 год при перепаді тиску 20 МПа відсутня;

- є «дуже абразивним» матеріалом і має найвищу міру зносостійкості.

Теоретично й експериментально показана можливість виготовлення тампонажного термопластичного композиційного матеріалу. Розроблено технологію виготовлення тампонажного термопластичного композиційного матеріалу на основі вторинного поліетилентерефталату, яка складається з підготовчого етапу, етапу виготовлення і формування.

Вперше обґрунтовано і доведено можливість термомеханічного плавлення в зоні ускладнення бурової свердловини тампонажного термопластичного композиційного матеріалу, оснований на застосуванні вторинного поліетилентерефталату. Розроблено й обґрунтовано технологію ізоляції поглинаючих горизонтів, для реалізації якої необхідно виконати такі технологічні операції: транспортування тампонажного термопластичного композиційного матеріалу до поглинаючого горизонту бурової свердловини, плавлення тампонажного термопластичного композиційного матеріалу в буровій свердловині та задавлювання тампонажного термопластичного композиційного матеріалу в канали



поглинання. Спосіб ізоляції поглинаючих горизонтів із застосуванням тампонажного термопластичного композиційного матеріалу на основі вторинного поліетилентерефталату захищено патентами України №№ 110471, 110472.

На підставі експериментальних і теоретичних досліджень обґрунтовано раціональну область застосування розробленої технології, а також умови ізоляції поглинаючих горизонтів. Областю застосування розробленої технології є ліквідація поглинань у бурових свердловинах різного цільового призначення, стінки яких представлено стійкими, кристалічними гірськими породами, в яких спостерігається інтенсивне або катастрофічне поглинання промивальної рідини. Максимальна глибина застосування технології залежить від величини геотермічного градієнта у свердловині та дорівнює глибині, при якій температура гірських порід поглинаючого горизонту стане рівною температурі плавлення термопластичного матеріалу. Якщо як в'язучу речовину тампонажного термопластичного композиційного матеріалу використовувати вторинний поліетилентерефталат, то максимальна глибина застосування технології складе 7000–8000 м.

Вперше в ході теоретичних, лабораторних і стендових досліджень обґрунтовано раціональні технологічні режими виготовлення і свердловинного термомеханічного плавлення тампонажного термопластичного композиційного матеріалу на основі вторинного поліетилентерефталату.

Експериментально й аналітично встановлено залежність температури нагріву тампонажного термопластичного композиційного матеріалу від його теплофізичних властивостей і режимних параметрів процесу термомеханічного плавлення в зоні ускладнення.

Отримало подальший розвиток теоретично обґрунтована й експериментально підтверджена математична модель температурного поля, що описує процес теплопередачі при термомеханічному плавленні тампонажного термопластичного композиційного матеріалу в зоні ускладнення бурової свердловини.

Вперше встановлено залежність проникаючої здатності тампонажних термопластичних композиційних матеріалів на основі поліетилентерефталату від розкриття тріщин у поглинаючому горизонті. Для цього в ході стендових

досліджень технології ізоляції поглинаючого горизонту розроблено і виготовлено: з урахуванням критеріїв подібності експериментальний стенд, що дозволяє моделювати процеси, які протікають у поглинаючому горизонті з різним розкриттям плоских радіальних тріщин; макет лабораторного термомеханічного інструменту, який дозволив при термомеханічному плавленні на вибої свердловини створити потужність від 1,7 кВт до 5,8 кВт. Встановлено залежність зміни температури в тампонажному термопластичному композиційному матеріалі від величини режимних параметрів термомеханічного плавлення.

Виконано оцінку і доведено економічну ефективність застосування технології ізоляції поглинаючих горизонтів тампонажними термопластичними композиційними матеріалами на основі вторинного поліетилентерефталату. Вартість проведення технологічних операцій, пов'язаних з тампонуванням поглинаючих горизонтів, у порівнянні з цементуванням може бути знижена на 16...26 тис. грн (у цінах 2018 р) на одну операцію.

Результати виконаного в дисертаційній роботі комплексу теоретичних і експериментальних досліджень знайшли практичне застосування при проведенні дослідно-промислового впровадження технології ліквідації поглинання промивальної рідини тампонажними термопластичними композиційними матеріалами, в умовах комерційного підприємства ТОВ «Промислово-геологічної групи «Дніпрогідробуд»».

Все вищевикладене дало можливість розробити «Технологічний регламент ізоляції поглинаючих горизонтів термопластичними тампонажними композиційними матеріалами на основі поліетилентерефталату», що діє як нормативний документ у виробничих організаціях Державної служби геології та надр України.

**Ключові слова:** буріння свердловин, поглинаючий горизонт, ізоляція, розплав, тампонажні матеріали.

## ABSTRACT

Sudakova D.A. Substantiation of parameters of insulation drilling horizons drilling technology. - Qualification scientific work as a manuscript.

Qualification scientific work is executed in the National technical university "Dniprovskaya Polytechnic", Dnipro.

Thesis for a Candidate of Technical Sciences degree on a speciality 05.15.10 «Drilling of holes». – Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, Ivano-Frankivsk, 2018.

### Contents of abstract

At present, there is a wide variety of technologies and materials for eliminating the absorption of drilling fluid. In most cases, the elimination of swallowing is provided by plugging the cleaning fluid outlets with hardening or non-hardening grouting mixtures, by creating a waterproof screen in the rock around the well.

To eliminate the absorption of washing liquid, insufficiently effective plugging materials are used, which are prepared on a water basis with the introduction of mineral-binding or synthetic substances into its composition.

The main drawbacks of these materials are that they have great sensitivity to dilution with water. When plugging, solutions are easily mixed with washing fluid and formation water, especially in the presence of interstitial overflow. There is dilution, sedimentation of oil wells, leading to an increase in setting time, spreading over considerable distances from the well, which, as a result, leads to the overspending of oil wells, the need for repetition of swabbing operations. In practice, with the elimination of the absorption of washing liquid, tons, tens of tons of cement are consumed.

Therefore, there is some interest in oil-well plugging solutions based on thermoplastic materials that are not useful for drilling wells and reservoirs with low melting points, the melt of which can easily penetrate into the absorption channels of the washing liquid and solidify there.

To solve this topical scientific problem in the dissertation work on the basis of the results of theoretical, experimental and industrial research, a solution is given to the actual problem consisting in establishing the regularities of the change and justifying the regime parameters of the thermomechanical technology of insulation of the absorbing horizons from the composition of the thermoplastic composite material on the basis of inert thermoplastic domestic waste, which as a binder material is a secondary polyethyl entherephthalate, whose melt, penetrating into the absorption channels with subsequent changes in the aggregate state, forms a small volume, but strong insulation shell around the borehole.

Based on the performed analysis of literature, patent, and other sources, the theory was further developed that, when drilling in fractured rocks, the use of oil-based slurry mixtures using various mineral-binding and synthetic substances reached its limit. In recent decades, work to improve the properties of oil wells has been reduced to solving local problems, rather than eliminating the main drawback - dilution. As a result of dilution of oil-based mud slurries, it leads to their sedimentation, significant losses of oil-well materials and time to eliminate the absorption of washing liquid, and in general to a rise in the cost of wells. It is possible to reduce these losses if, for the creation of an insulating shell, the absorption channels are filled with the melt of thermoplastic material by unreachable reservoir waters.

The fact that to date thermoplastic materials due to the imperfection of technology, instability of physical and mechanical properties, and to a certain extent carcinogenicity of their components have not been widely used as plugging materials in the isolation of borehole absorbing wells.

For the first time, the possibility of using inert thermoplastic household waste based on polyethylene terephthalate as a plugging thermoplastic composite material has been substantiated and proved. As a result of laboratory studies of physical and mechanical properties: a recipe for a plugging thermoplastic composite for the isolation of drilling horizons absorbing the horizons, protected by patents for the invention of Ukraine Nos. 106505, 108791, 110442; the necessity of introducing

filler in the composition of a grouting thermoplastic composite material is substantiated; the type and the optimum concentration of the filler are determined, it is recommended to use gravel less than 0.5 mm in a ratio of 1: 1 to secondary polyethylene terephthalate as the filler; it is shown that a plugging thermoplastic composite with a filler size of less than 0.5 mm in a ratio of 1: 1:

- has the highest strength characteristics, and at the age of 15 min. is 52.6 MPa, which is 5.26 times higher than that of the prototype - a cement slurry on cement basis at the period of 7 days;

- in the temperature range of 250-300 °C it has spreadability comparable to the spread of a normal cement slurry;

- the permeability of plugging stone from TPKM for 24 hours at a pressure drop of 20 MPa is absent;

- is a very abrasive material, and has the highest degree of wear resistance.

Theoretically and experimentally, it is possible to produce a plugging thermoplastic composite. Technology has been developed for the production of a plugging thermoplastic composite material based on secondary polyethylene terephthalate, which consists of a preparatory stage, a manufacturing and molding step;

For the first time, the possibility of thermomechanical melting in the zone of the complication of a borehole of a plugging thermoplastic composite material based on the use of secondary polyethylene terephthalate was substantiated and proved. The technology of insulation of absorbing horizons has been developed and justified, for which realization it is necessary to perform the following technological operations: transportation of oil-filled thermoplastic composite material to the absorbing horizon of the borehole, melting the oil-filled thermoplastic composite in the borehole, and crushing the oil-filled thermoplastic composite material into the absorption channels. The method of insulation of absorbing horizons using a plugging thermoplastic composite material based on secondary polyethylene terephthalate is protected by patents of Ukraine No.№110471; 110472.

From experimental and theoretical studies, a rational field of application of the developed technology, as well as conditions for the isolation of absorbing horizons, is substantiated. The area of application of the advanced technology is the elimination of uptake in drilling wells of various purpose, the walls of which are represented by stable, crystalline rocks, in which complete, intensive or catastrophic absorption of the washing liquid is observed. The maximum depth of application of technologies depends on the magnitude of the geothermal gradient in the well and is equal to the depth at which the temperature of the rocks of the absorbing horizon becomes equal to the melting temperature of the thermoplastic material. If a secondary polyethylene terephthalate is used as an astringent of a plugging thermoplastic composite material, the maximum depth of application of the technology will be 7000 - 8000 m.

For the first time in the course of theoretical, laboratory and bench studies, rational technological modes of production and downhole thermomechanical melting of a plugging thermoplastic composite material based on secondary polyethylene terephthalate have been substantiated.

The temperature dependence of the heating temperature of a thermoplastic composite material from its thermophysical properties and the regime parameters of the thermomechanical melting process in the complication zone was established experimentally and analytically.

The theoretically grounded and experimentally confirmed the mathematical model of the temperature field that describes the process of heat transfer during thermomechanical melting of a plugging thermoplastic composite in the zone of a borehole complication will be developed further.

For the first time, the dependence of the permeability of plugging thermoplastic composites based on polyethylene terephthalate on the opening of cracks in the absorbing horizon has been established. For this purpose, in the course of bench studies of the absorption horizon isolation technology, an experimental stand has been designed and manufactured with allowance for the similarity criteria, allowing one to simulate the processes taking place in the absorbing horizon with different opening of flat radial cracks; the model of the laboratory thermomechanical tool,

which allowed for thermomechanical melting at the bottom of the well to create power from 1.7 to 5.8 kW. The temperature dependence of the thermoplastic composite material was determined as a function of the value of the regime parameters of thermomechanical melting.

The economic efficiency of applying the technology of insulation of absorbing horizons with plugging thermoplastic composites based on secondary polyethylene terephthalate has been evaluated and proved. The cost of conducting technological operations associated with the swabbing of absorbing horizons, in comparison with cementing, can be reduced by 16...26 thousand UAH. (in prices of 2018 g) for one operation.

The results of the dissertation work of the complex of theoretical and experimental studies were applied in the pilot-industrial implementation of the technology for liquid removal of wash liquids by oil-filled thermoplastic composites made under the conditions of the commercial enterprise of the Dneprogidrostroy Industrial and Geological Group LLC.

All of the above provided an opportunity to develop the "Technological Regulations for the Isolation of Absorbing Horizons by Thermoplastic Backfilling Composite Materials Based on Polyethylene Terephthalate," acting as a normative document in the production organizations of the State Service of Geology of Ukraine.

**Keywords:** absorbing horizon, insulation, melt, plugging materials, well drilling.

### **Список публікацій здобувача / List of publications of competitor**

#### ***Статті, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації.***

1. Kuzin J., Mostinets O., Sudakova D., Isakova M. Isolation technology for swallowing zones by thermoplastic materials on the basis of polyethyleneterephthalate. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*. 2017. no. 1(157). p. 34–39. (Фахове видання, включене до наукометричної база Scopus).

2. Sudakov A., Dreus A., Khomenko O., Sudakova D. Analytic study of heat transfer in absorbing horizon of boreholes in the formation of protection cryogenic plugging material. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*. 2017. no. 3(159). p. 38–42. (Фахове видання, включене до наукометричної база Scopus).

3. Кузин Ю. Л., Судакова Д. А. О возможности применения бытовых отходов для изоляции поглощающих горизонтов буровых скважин. *Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения*. 2016. Вып. 19. С. 92–96.

4. Судакова Д. А. Нетрадиционная технология борьбы с поглощением буровых растворов в скважинах. *Вісті Донецького гірничого інституту*. 2017. №1. С. 227–233.

5. Судакова Д. А. Механические свойства тампонажного термопластичного материала на основе полиэтилентерефталата. *Вісті Донецького гірничого інституту*. 2017. №2. С. 107–116.

6. Судакова Д. А. Результаты стендовых исследований термомеханической технологии изоляции поглощающих горизонтов тампонажными термопластичными композиционными материалами. *Збірник наукових праць НГУ*. 2018. Вип. 54. С. 285 – 298.

#### ***Тези наукових конференцій.***

7. Isakova M. Sudakova D. Thermoplastic materials on the basis of polyethyleneterephthalate. *The 11th International Forum for Students and Young Researchers*, (Dnipropetrovsk, april 2016). Dnipropetrovsk: НГУ, 2016. – p. 62.

8. Кузин Ю. Л. Судакова Д. А. Инновационное развитие технологий ликвидации поглощения промысловых жидкостей при бурении скважин. *Інновації та трансфер технологій: VII науково-практична конференція (Дніпропетровськ, травень 2016 р.)* Дніпропетровськ: НГУ, 2016. – С 84-86.

9. Судакова Д. А. Нетрадиционная технология борьбы с поглощением буровых растворов в скважинах. *Технології и процеси в гірництві та будівництві*



*тві*: 5–а Міжнародна науково-практична конференція (Покровськ, травень 2017 р.) Покровськ: 2017. С. 227 – 233.

10. Судакова Д. А. Результаты анализа технологий тампонирования поглощающих горизонтов буровых скважин. *Школа підземної розробки: XI Міжнародна науково-практична конференція* (Бердянськ, вересень 2017 р.) Бердянськ: НГУ, 2017. С. 101– 102.

11. Кузін Ю. Л., Судакова Д. А. Термомеханічний спосіб тампонування проникних горизонтів бурових свердловин. *Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения: XVIII Международная конференция* (Трускавец, сентябрь 2017 г.) Трускавец: ІНМ, 2017. С. 98 – 102.

12. Кузін Ю. Л., Судакова Д. А., Лукьяненко М. В. Результаты исследований механических свойств тампонажного термопластичного композиционного материала на основе полиэтилентерефталата. *Форум горняков – 2017: материал международной научно-технической конференции* (Днепр, октябрь 2017 г.) Днепр: НГУ, 2017. С. 242-247.

13. Дреус А. Ю., Судакова Д. А. Моделирование тепловых процессов в технологии приготовления тампонажного термопластичного композиционного материала. *Теплотехника, энергетика и экология в металлургии: XVIII Международная конференция* (Днепр, октябрь 2017 г.) Днепр: 2017. – С. 213-216.

14. Судакова Д. А. О возможности применения бытовых отходов в качестве тампонажного термопластичного материала. *Молодь: наука та інновації – 2017: П'ята всеукраїнська науково-технічна конференція студентів, аспірантів і молодих учених* (Дніпро, 28 – 29 листопада 2017 р.) Дніпро: 2017. С. 34–35.

15. Судакова Д. А. Результаты внедрения технологии изоляции поглощающих горизонтов тампонажными термопластичными композиционными материалами. *Нафтогазова галузь: перспективи нарощування ресурсної бази: Міжнародна науково-технічна конференція* (Івано-Франківськ, травень 2018 р.) Івано-Франківськ, 2018. С. 217-220.

***Патенти та корисні моделі.***

16. Пат. 106505 Україна, МПК Е 21 В 33/10. Тампонажна суміш. Судаков А. К., Кузін Ю. Л., Судакова Д. А. №u201511128; заявл. 12.11.2015; опубл. 25.04.2016; Бюл. №8.

17. Пат. 106990 Україна, МПК Е 21 В 33/10. Спосіб тампонування свердловин. Судаков А. К., Кузін Ю. Л., Судакова Д. А. №u201512670; заявл. 21.12.2015; опубл. 10.05.2016; Бюл. №9.

18. Пат. 108791 Україна, МПК Е 21 В 33/10; С 09 К 8/50. Тампонажно-будівельний матеріал. Судаков А. К., Кузін Ю. Л., Мостинець О. Н., Судакова Д. А. №u201601991; заявл. 29.02.2016; опубл. 25.07.2016; Бюл. №14.

19. Пат. 110442 Україна, МПК Е 21 В 33/10; С 09 К 8/50. Тампонажно-будівельний матеріал. Судаков А. К., Кузін Ю. Л., Мостинець О. Н., Судакова Д. А. №u201603520; заявл. 04.04.2016; опубл. 10.10.2016; Бюл. №19

20. Пат. 110471 Україна, МПК Е 21 В 33/10. Спосіб тампонування свердловин. Судаков А. К., Кузін Ю. Л., Дреус А. Ю., Судакова Д. А. №u201603802; заявл. 08.04.2016; опубл. 10.10.2016; Бюл. №19.

21. Пат. 110472 Україна, МПК Е 21 В 33/10. Спосіб транспортування тампонажного матеріалу / Судаков А. К., Кузін Ю. Л., Судакова Д. А. №u201603803; заявл. 08.04.2016; опубл. 10.10.2016; Бюл. №19.

22. Пат. 118391 Україна, МПК Е 21 В 33/10. Термомеханічний спосіб тампонування проникних горизонтів бурових свердловин. Судаков А. К., Кузін Ю. Л., Дреус А. Ю., Судакова Д. А. №u201700565; заявл. 20.01.2017; опубл. 10.08.2017; Бюл. №15.

## ЗМІСТ

Вступ.....		<b>20</b>
Розділ 1	Сучасні технології ліквідації поглинань промивальної рідини.	
	Мета і завдання досліджень.....	<b>27</b>
	1.1 Аналіз умов виникнення і ліквідації поглинань промивальної рідини.....	<b>29</b>
	1.2 Аналіз технологій ліквідації поглинань промивальної рідини..	<b>37</b>
	1.2.1 Передумови розробки нетрадиційних технологій тампонування поглинаючих горизонтів.....	<b>39</b>
	1.2.2 Способи формування ізоляційної оболонки, основані на явищі фазового переходу тампонажного матеріалу.....	<b>41</b>
	1.3 Аналіз теплофізичних процесів при бурінні й експлуатації свердловин.....	<b>47</b>
	1.4 Висновки. Мета і завдання досліджень.....	<b>49</b>
Розділ 2	Розробка технології виготовлення тампонажного термопластичного композиційного матеріалу .....	<b>53</b>
	2.1 Вибір і обґрунтування тампонажного термопластичного матеріалу.....	<b>53</b>
	2.1.1 Передумови застосування поліетилентерефталату як тампонажного термопластичного матеріалу.....	<b>53</b>
	2.1.2 Аналіз фізико-механічних властивостей поліетилентерефталату як основи тампонажного термопластичного матеріалу.....	<b>57</b>
	2.1.3 Обґрунтування необхідності введення до складу тампонажного термопластичного матеріалу наповнювача .....	<b>62</b>
	2.2 Лабораторні дослідження фізико-механічних властивостей тампонажного термопластичного композиційного матеріалу.....	<b>64</b>
	2.2.1 Методика лабораторних досліджень фізико-механічних	

	властивостей тампонажного термопластичного композиційного матеріалу.....	<b>64</b>
	2.2.2 Результати лабораторних досліджень фізико-механічних властивостей тампонажного термопластичного композиційного матеріалу.....	<b>69</b>
	2.3 Переваги застосування тампонажного термопластичного композиційного матеріалу на основі поліетилентерефталату.....	<b>85</b>
	2.4 Технологія виготовлення тампонажного термопластичного композиційного матеріалу.....	<b>87</b>
	2.5 Аналітичне дослідження технології виготовлення тампонажного термопластичного композиційного матеріалу.....	<b>88</b>
	Висновки до розділу 2.....	<b>92</b>
<b>Розділ 3</b>	<b>Розробка технології ізоляції поглинаючих горизонтів бурових свердловин тампонажним термопластичним композиційним матеріалом.....</b>	<b>94</b>
	3.1 Обґрунтування технології ізоляції поглинаючих горизонтів бурових свердловин тампонажним термопластичним композиційним матеріалом .....	<b>94</b>
	3.1.1 Транспортування тампонажного термопластичного композиційного матеріалу до поглинаючого горизонту бурової свердловини.....	<b>95</b>
	3.1.2 Плавлення тампонажного термопластичного композиційного матеріалу в буровій свердловині.....	<b>98</b>
	3.1.3 Задавлювання розплаву тампонажного термопластичного композиційного матеріалу в канали поглинання.....	<b>100</b>
	3.1.4 Омонолічування розплаву тампонажного термопластичного композиційного матеріалу в каналах поглинання.....	<b>100</b>

3.2 Стендові дослідження термомеханічної технології ізоляції поглинаючих горизонтів бурових свердловин тампонажними термопластичними композиційними матеріалами.....	<b>101</b>
3.2.1 Програма і методика стендових досліджень термомеханічної технології ізоляції поглинаючих горизонтів бурових свердловин тампонажними термопластичними композиційними матеріалами.....	<b>101</b>
3.2.2 Результати стендових досліджень термомеханічної технології ізоляції поглинаючого горизонту бурових свердловин тампонажними термопластичними композиційними матеріалами.....	<b>111</b>
3.3 Аналітичні дослідження термомеханічної технології ізоляції поглинаючих горизонтів бурових свердловин тампонажними термопластичними композиційними матеріалами .....	<b>131</b>
Висновки до розділу 3.....	<b>146</b>
Розділ 4 Розробка технологічного регламенту технології ізоляції поглинаючих горизонтів бурових свердловин тампонажними термопластичними композиційними матеріалами.....	<b>148</b>
4.1 Технологічна схема ізоляції поглинаючих горизонтів тампонажними термопластичними композиційними матеріалами	<b>148</b>
4.2 Проектування ізоляції поглинаючого горизонту.....	<b>150</b>
4.2.1 Обґрунтування геометричних розмірів ізоляційної оболонки.....	<b>151</b>
4.2.2 Обґрунтування необхідного об'єму тампонажного термопластичного композиційного матеріалу.....	<b>157</b>
4.2.3 Розрахунок часу транспортування тампонажного термопластичного композиційного матеріалу по стовбуру свердловини.....	<b>159</b>
4.2.4 Обґрунтування параметрів термомеханічної технології ліквідації поглинання промивальної рідини.....	<b>162</b>

4.3	Організація тампонажних робіт .....	<b>165</b>
4.4	Область застосування термомеханічної технології ліквідації поглинання промивальної рідини з використанням тампонажного термопластичного композиційного матеріалу на основі поліетилентерефталату.....	<b>166</b>
	Висновки до розділу 4.....	<b>166</b>
Розділ 5	Дослідно-промислове впровадження технології ізоляції поглинаючих горизонтів бурових свердловин тампонажними термопластичними композиційними матеріалами.....	<b>168</b>
5.1	Методика виробничих випробувань термомеханічної технології ізоляції поглинаючих горизонтів бурових свердловин тампонажними композиційними термопластичними матеріалами.	<b>168</b>
5.1.1	Мета і завдання виробничих випробувань .....	<b>168</b>
5.1.2	Геолого-технічні умови проведення виробничих випробувань.....	<b>169</b>
5.1.3	Тампонажний матеріал.....	<b>171</b>
5.1.4	Показники, що визначаються.....	<b>171</b>
5.2	Виробничі випробування термомеханічної технології ізоляції поглинаючих горизонтів бурових свердловин тампонажними композиційними термопластичними матеріалами.....	<b>171</b>
5.2.1	Порядок проведення виробничих випробувань.....	<b>171</b>
5.2.2	Результати виробничих випробувань .....	<b>172</b>
5.3	Економічна ефективність технології ізоляції поглинаючих горизонтів бурових свердловин тампонажними термопластичними композиційними матеріалами.....	<b>173</b>
	Висновки до розділу 5.....	<b>177</b>
	Висновки.....	<b>179</b>
	Список використаних джерел .....	<b>182</b>
	Додатки .....	<b>200</b>
Додаток А	Список публікацій здобувача за темою дисертації та відомості	<b>201</b>

	про апробацію результатів дисертації.....	
Додаток Б	Узагальнені результати досліджень межі міцності на однісіне стискування тампонажного термопластичного композиційного матеріалу і результати їх статистичних досліджень .....	<b>205</b>
Додаток В	Протокол лабораторних досліджень термопластичного тампонажного композиційного матеріалу на основі поліетилентерефталату.....	<b>211</b>
Додаток Г	Протокол стендових досліджень технології ізоляції поглинаючих горизонтів тампонажними термопластичними композиційними матеріалами.....	<b>213</b>
Додаток Д	Акт виробничих випробувань технології ліквідації поглинання промивальної рідини тампонажними термопластичними композиційними матеріалами на ділянці с. Гаврилівка Покровського району Дніпропетровської області.....	<b>215</b>
Додаток Е	Акт виробничих випробувань технології ліквідації поглинання промивальної рідини тампонажними термопластичними композиційними матеріалами на ділянці с. Романки Покровського району Дніпропетровської області.....	<b>218</b>
Додаток Ж	Технологічний регламент ізоляції поглинаючих горизонтів термопластичними композиційними матеріалами.....	<b>221</b>

## ВСТУП

**Обґрунтування вибору теми досліджень.** Процес буріння свердловин пов'язаний з геологічними ускладненнями. Найбільш поширеним ускладненням є поглинання промивальної рідини. На ліквідацію поглинань витрачається значна частка часу і коштів від загальних витрат на буріння свердловин. Поглинання призводить до порушення технологічного режиму буріння, цілісності стінок свердловини, провокує аварії.

Для ліквідації поглинання промивальної рідини застосовують тампонажні суміші на водній основі з використанням різних мінералов'язучих і синтетичних речовин, які досягли межі своєї модернізації. В останні десятиліття роботи з поліпшення властивостей тампонажних матеріалів зводяться до вирішення місцевих завдань, а не головного їх недоліку – усунення чутливості до розведення водою. У зв'язку з неминучістю контакту тампонажної суміші з рідиною у свердловині та пласті така суміш, розчиняючись, втрачає свої тампонажні властивості, розтікаючись від свердловини на значні відстані, що потребує необхідності багаторазового повторення операцій з тампонування, значної витрати тампонажних матеріалів, праці та часу. На ліквідацію поглинання витрачають більш ніж 20% часу і коштів від загальних витрат на спорудження свердловини.

Для усунення недоліку тампонажних сумішей вихід один – застосування науково обґрунтованої технології ізоляції поглинаючих горизонтів, основаної на використанні нечутливих до розведення водою тампонажних матеріалів, розплав яких, проникаючи в канали поглинання з наступною зміною агрегатного стану, утворює малооб'ємну, але міцну ізоляційну оболонку навколо стовбура бурової свердловини.

Вирішенню цієї актуальної наукової задачі, що полягає у встановленні закономірностей зміни осьового навантаження та частоти обертання при обґрунтуванні режимних параметрів ефективної термомеханічної технології ізоляції поглинаючих горизонтів від середньої межі міцності на одновісне стискання залежно від: складу композиту, співвідношення компонентів та виду наповнювача; температури перегріву розплаву, щільності, часу твердіння та кількості



плавок тампонажного термопластичного композиційного матеріалу (ТПКМ), що має важливе практичне значення, і присвячена дисертаційна робота.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Дисертаційна робота пов'язана з науковим напрямом досліджень кафедри техніки розвідки родовищ корисних копалин ДВНЗ «Національний гірничий університет» і є складовою частиною досліджень, виконаних за такими держбюджетними науковими роботами: «Експлуатація і ремонт бурових свердловин на рідкі і газо-подібні корисні копалини» (№д.р. 0115U005618), «Ліквідація поглинання промивальної рідини в бурових свердловинах термопластичними матеріалами» (№д.р. 0118U000529) та відповідає напрямам і завданням «Загальнодержавної програми розвитку мінерально-сировинної бази України на період до 2030 р.», затвердженої законом України № 3268-VI від 21 квітня 2011 р.

**Мета і завдання дослідження.** Метою роботи є удосконалення термомеханічної технології ізоляції поглинаючих горизонтів бурових свердловин шляхом встановлених закономірностей зміни й обґрунтування її режимних параметрів від складу та фізико-механічних властивостей ТПКМ і, на цій основі, розробка технологічного регламенту, що містить рекомендації з виготовлення композиту й організації тампонажних робіт, проектування та ізоляції зон поглинання промивальної рідини в бурових свердловинах.

Поставлена в роботі мета досягається вирішенням таких завдань:

1. Вибрати й обґрунтувати склад, а також дослідити фізико-механічні властивості ТПКМ.
2. Розробити технологію виготовлення та технологію ізоляції поглинаючих горизонтів промивальної рідини ТПКМ.
3. Теоретично й експериментально дослідити режимні параметри технології виготовлення та технології ізоляції поглинаючих горизонтів промивальної рідини ТПКМ.
4. Розробити технологічний регламент ізоляції поглинаючих горизонтів бурових свердловин ТПКМ.
5. Виконати дослідно-промислову перевірку працездатності розробленої

технології ізоляції поглинаючих горизонтів бурових свердловин ТПКМ.

**Ідея роботи** полягає у встановленні та використанні закономірностей зміни фізико-механічних властивостей й переваг ТПКМ для обґрунтування режимних параметрів та впровадження у виробництво ефективної термомеханічної технології ізоляції поглинаючих горизонтів бурових свердловин.

**Об'єкт дослідження** – процес ізоляції поглинаючих горизонтів бурових свердловин з застосуванням ТПКМ на основі вторинного поліетилентерефталату (ПЕТ).

**Предмет дослідження** – режимні параметри технології ізоляції поглинаючих горизонтів бурових свердловин з застосуванням ТПКМ на основі вторинного ПЕТ.

**Методи дослідження.** Поставлені завдання вирішувалися комплексним методом дослідження, що містить аналіз і узагальнення літературних і патентних джерел, проведення аналітичних, експериментальних і виробничих досліджень. Обробка експериментальних даних проводилася з використанням методів математичної статистики. Експериментальні дослідження виконано з використанням положень теорії наукового експерименту і теорії випадкових процесів. Оцінка ефективності отриманих результатів проводилася у виробничих умовах.

**Наукові положення**, які виносяться на захист:

1. Межа міцності на одновісне стискання ТПКМ зі співвідношенням 1:1 в'язучого до гранульованого наповнювача при його крупності менш 0,5 мм має максимальне значення – 52,6 МПа, яке лінійно зменшується зі збільшенням гранулометричного складу та кількості гранульованого наповнювача і втричі зменшується за експоненціальним законом при перегріванні розплаву понад 300°C та при збільшенні кількості плавок.

2. При ліквідації катастрофічних поглинань промивальної рідини в бурових свердловинах, з використанням ТПКМ із співвідношенням компонентів 1:1 у поєднанні з осьовим навантаженням не менше 700 даН при частоті обертання інструменту 700 хв<sup>-1</sup>, забезпечується термомеханічне плавлення композиційно-

го матеріалу, радіус поширення розплаву якого залежить від розкриття тріщин і носить логарифмічний характер, забезпечуючи товщину ізоляційної оболонки до 100 мм та запас міцності у 2,8 рази при перепаді тиску в системі «свердловина-пласт» у 100 МПа.

**Наукова новизна** отриманих результатів полягає в наступному:

- вперше обґрунтовано і доведено можливість застосування ТПКМ на основі вторинного ПЕТ;
- вперше обґрунтовано і доведено можливість термомеханічного плавлення в зоні ускладнення бурової свердловини ТПКМ, що базується на застосуванні вторинного ПЕТ;
- отримала подальший розвиток теоретично обґрунтована й експериментально підтверджена модель температурного поля, що дозволяє описати процес теплопередачі при термомеханічному плавленні ТПКМ;
- вперше встановлено залежність величини режимних параметрів процесу термомеханічного плавлення ТПКМ від його теплофізичних властивостей і технічних характеристик;
- вперше встановлено залежність проникаючої здатності ТПКМ на основі ПЕТ від розкриття тріщин поглинаючого горизонту.

**Обґрунтованість і достовірність наукових положень**, висновків і рекомендацій підтверджується застосуванням для досліджень апробованих теоретичних і експериментальних методів теплофізики та тепломасопереносу ТПКМ, а також обсягом виконаних експериментів, що забезпечують розбіжність між результатами лабораторних і теоретичних досліджень у межах 10 – 15%.

**Наукове значення** роботи полягає у встановленні закономірностей зміни властивостей композиту від його складу, що дозволило визначити режимні параметри термомеханічної технології ізоляції поглинаючих горизонтів бурових свердловин із застосуванням ТПКМ на основі ПЕТ.

**Практичне значення отриманих результатів** полягає в:

- обґрунтуванні області застосування технології ізоляції поглинаючих горизонтів із використанням ТПКМ на основі вторинного ПЕТ;

- розробці обґрунтованих рекомендацій щодо вибору параметрів технології ізоляції поглинаючих горизонтів ТПКМ на основі ПЕТ;
- розробці на рівні винаходів (пат. України №№ 106505, 106990, 108791, 110442, 110471, 110472, 118391) принципово нової технології ізоляції поглинаючих горизонтів ТПКМ на основі ПЕТ;
- розробці технології виготовлення ТПКМ на основі ПЕТ;
- розробці програм і методик: дослідження фізико-механічних властивостей ТПКМ; моделювання в стендових умовах процесу термомеханічного плавлення й ізоляції поглинаючих горизонтів бурових свердловин; дослідно-промислових досліджень технології ізоляції поглинаючих горизонтів бурових свердловин;
- розробці технологічного регламенту ізоляції поглинаючих горизонтів ТПКМ на основі ПЕТ;
- використанні результатів досліджень у навчальному процесі при підготовці фахівців з буріння свердловин.

**Реалізація результатів роботи.** Розроблені методики, технології та технічні засоби знайшли практичне застосування при дослідно-промисловому впровадженні технології ізоляції поглинаючих горизонтів ТПКМ на основі ПЕТ в умовах підприємства ТОВ «Промислово-геологічна група «Дніпрогідробуд» – в населених пунктах Гаврилівка і Романки Покровського району Дніпропетровської області.

Технологічний регламент ізоляції поглинаючих горизонтів ТПКМ затверджено Державною службою геології та надр України і діє у виробничих організаціях служби як нормативний документ.

Результати досліджень використано в навчальному процесі при викладанні дисциплін «Очисні агенти і тампонажні суміші», «Ускладнення і аварії в бурінні» студентам спеціальності «Гірництво» в НТУ «Дніпровська політехніка».

**Особистий внесок здобувача** полягає у огляді сучасних технологій й визначенні умов ліквідації поглинань промивальної рідини [8, 10], визначенні на-

укової проблеми, ідеї та мети роботи, формулюванні завдань досліджень, наукових положень і їх новизни, виборі методів дослідження, розробці експериментального устаткування і стенда, проведенні лабораторних досліджень фізико-механічних властивостей ТПКМ [5, 12] й стендових досліджень термомеханічної технології ізоляції поглинаючих горизонтів [6] та обчислювальних експериментів для рішення модельних задач процесу теплопереносу при виготовленні тампонажного матеріалу [13], виборі й обґрунтуванні в'язучого тампонажного матеріалу [3, 7, 14, 16, 18, 19], а також обґрунтуванні та розробці технологій ізоляції поглинаючих горизонтів [1, 2, 4, 9, 11, 17, 20-22].

Впровадження результатів дисертаційної роботи в практику буріння при ліквідації поглинань промивальних рідин у бурових свердловинах відбувалося за безпосередньої участі здобувача [15].

**Апробація результатів дисертації.** Основні положення, наукові та практичні результати дисертаційної роботи розглядалися на: наукових семінарах кафедр техніки розвідки родовищ корисних копалин НТУ «Дніпровська політехніка» та буріння нафтових і газових свердловин Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу; XI Міжнародному форумі студентів і молодих учених «Розширюючи обрії» (Дніпропетровськ, 2016); VII науково-практичній конференції «Інновації та трансфер технологій» (Дніпропетровськ, 2016); V Міжнародній науково-практичній конференції «Технології і процеси в гірництві та будівництві» (Покровськ, 2017); XI Міжнародній науково-практичній конференції «Школа підземної розробки» (Бердянськ, 2017); XVIII Міжнародній конференції «Породоруйнівний і металообробний інструмент – техніка, технологія його виготовлення і застосування» (Трускавець, 2017); щорічній Міжнародній науково-практичній конференції «Форум гірників» (Дніпро, 2017); XVIII Міжнародній конференції «Теплотехніка, енергетика та екологія в металургії», (Дніпро, 2017); V Всеукраїнській науково-технічній конференції студентів, аспірантів і молодих вчених «Молодь: наука та інновації – 2017», (Дніпро, 2017); Міжнародній науково-технічній конференції «Нафтогазова галузь: перспективи нарощування ресурсної бази» (Івано-Франківськ, 2018).

**Публікації.** Основні наукові положення і результати дисертації опубліковано в 22 друкованих роботах, з них: 6 – у спеціалізованих журналах (2 з яких входять у наукометричну базу Scopus, 4 – без співавторів); 7 – патентів; 9 – доповідей і тез доповідей.

**Структура і обсяг дисертації.** Дисертаційна робота складається зі вступу, п'яти розділів, висновків і містить 240 сторінок машинописного тексту, в тому числі 61 рисуноків (з них 18 на окремих аркушах), 25 таблиць, список використаних джерел з 189 найменувань на 18 сторінках та 7 додатків на 40 сторінках.

## РОЗДІЛ 1

### СУЧАСНІ ТЕХНОЛОГІЇ ЛІКВІДАЦІЇ ПОГЛИНАНЬ ПРОМИВАЛЬНОЇ РІДИНИ. МЕТА ТА ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

Процес буріння свердловин пов'язаний з геологічними ускладненнями. Найбільш частими видами ускладнень, що порушують технологію бурових робіт, є поглинання бурових розчинів. При цьому щорічні витрати часу в загальному балансі на буріння зросли до 23 % і фінансових коштів до 10 % [1], [2]. Підтвердженням вищесказаного можуть слугувати відомості, наведені (рис. 1.1) Ліпатовим А.В. – по Кулішевському родовищу [3], Рафієнко І.І. – по Білгородському залізородному родовищу [4], Тітковим Н.І. – по Донбасантрацитівському управлінню [5], Мехтієвим Е.Х. – по нафтових родовищах Азербайджану [6] та ін. (табл. 1.1). Причому, не піддаються суворому обліку загальні витрати на ліквідацію поглинання промивальної рідини, в тому числі і повторного.

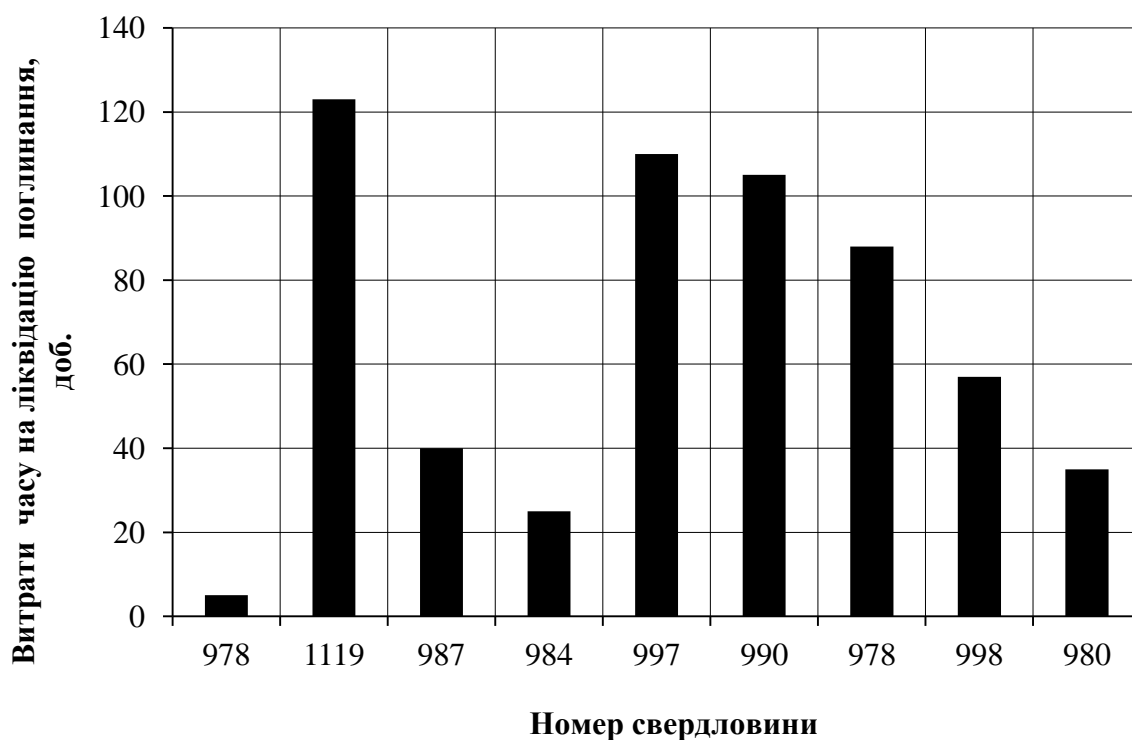


Рисунок 1.1 – Діаграма витрат часу на боротьбу з поглинаннями на Кулішевському родовищі (за Ліпатовим А.В.)

Аналіз останніх десятиліть показує, що ефективність традиційних методів боротьби з поглинаннями в середньому не перевищує 50 %.

Таблиця 1.1 – Результати робіт з ліквідації поглинань промивальної рідини на Білгородському залізорудному родовищі (за даними Рафієнка І.І.)

№ свердловини	Інтервал поглинання, м		Поглинаюча порода	Результат роботи
	від	до		
7	482,6	553,7	Вапняк	Не ліквідовано
43	488,3	509,2	Вапняк	Ліквідовано, використано 2,5 т цементу
75	482,4	549,0	Вапняк	Не ліквідовано, використано 28 т цементу
79	495,0	524,0	Вапняк	Ліквідовано обсадними трубами
173	486,5	519,1	Вапняк	Не ліквідовано, використано 19,4 т цементу
207	70,0	101,1	Мергель	Не ліквідовано, використано 10,7 т цементу
264	53,3	101,1	Крейда	Ліквідовано обсадними трубами

Автори [2] – [24], досліджуючи процес поглинання промивальних розчинів, сходяться на думці, що основними факторами виникнення поглинань у бурових свердловинах є :

1. Геологічні причини – розкриття проникного горизонту.
2. Технологічні причини – порушення гідравлічної рівноваги в системі свердловина-пласт, яка визначається такими чинниками:
  - підвищенням щільності розчину в процесі буріння диспергованим в ньому шламом, кіркою, що руйнується, й уламками розбуреної породи, занадто великими, щоб бути винесеними на денну поверхню;
  - збільшенням гідравлічних опорів при перебігу висхідного потоку на ділянці стовбура, який є звуженим внаслідок інтенсивного утворення кірки і сальників на стінках або інструменті;
  - гідравлічними ударами, які обумовлені різким включенням бурового насоса з надмірним підвищенням продавочних тисків при відновленні циркуляції



промивної рідини в свердловині;

- високими швидкостями спуску і підйому бурового снаряда в свердловині;

- зростанням продавочних тисків внаслідок підвищення в'язкості розчину і статичної напруги зсуву, а також через тіксотропне загустіння, зазвичай підсиленого температурним фактором.

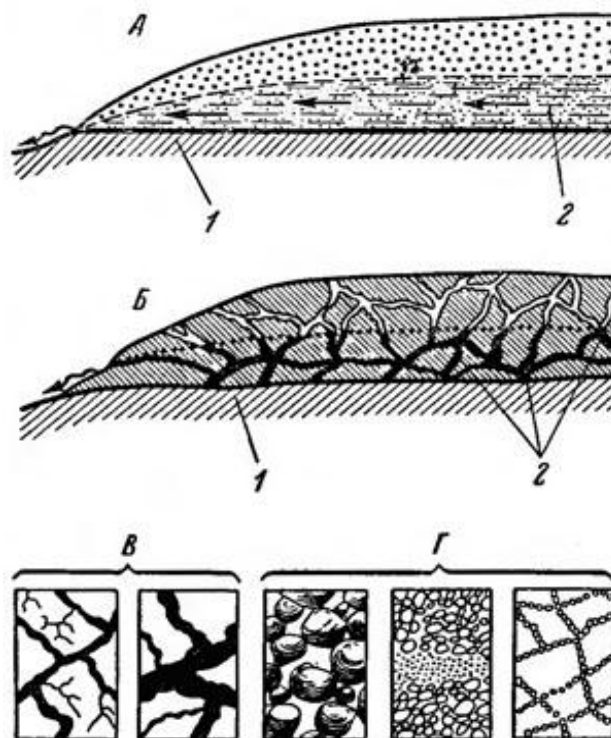
### **1.1 Аналіз умов виникнення і ліквідації поглинань промивальної рідини**

У результаті промислового досвіду [1] встановлено, що дуже часто існуючі способи боротьби з поглинаннями виявляються недостатньо ефективними. Це пов'язано, в першу чергу, з тим, що боротьба з цим видом ускладнення, в окремо взятому випадку, вимагає врахування великої кількості факторів: технічних даних свердловини; геолого-фізичних характеристик гірських порід; даних про гідродинамічний стан і поведінку системи «свердловина-проникний пласт».

Геологічні причини охоплюють всі геологічні та гідрологічні особливості умов ділянки робіт. Поглинаючі пласти можуть бути представлені непов'язаними дрібнопористими, пористими (піщаними і крупноуламковими), закарстованими, кавернозними і тріщинуватими породами (рис. 1.2). Ґрунтуючись на роботах авторів [11], [15], [17], поглинання ділиться на шість категорій, але чотири групи: часткове поглинання (менше  $0,6 \text{ м}^3/\text{год}$ ), повне поглинання ( $0,6\text{--}2 \text{ м}^3/\text{год}$ ), інтенсивне поглинання ( $2\text{--}10 \text{ м}^3/\text{год}$ ) і катастрофічне поглинання ( $10\text{--}15 \text{ м}^3/\text{год}$  і більше).

Руденко А.П. [25] вважає, що частота поглинання зменшується з глибиною від 18,8 % в інтервалі 0–100 м, в зоні вивітрювання – до 3 % в інтервалі 1500–1600 м. Найбільш інтенсивні поглинання найчастіше відзначаються в великоуламкових, закарстованих, кавернозних і тріщинуватих гірських породах.

Піщаники, в більшості випадків, мають потужність 20–25 м, рідше 70–80 м, і саме в них в основному спостерігається поглинання бурового розчину. З 1842 випадків поглинання 1491 випадок спостерігався в сильнотріщинуватих піщаниках, що становить 81 %, 237 випадків або 13 % – у сланцях і у вапняках – 114 випадків або 6 % [20].



А – пористі породи; Б – тріщинуваті породи; В – розміри водопровідних тріщин; Г – розміри і щільність розташування зерен у пористих породах  
1 – водонепроникні породи; 2 – породи, насичені водою

Рисунок 1.2 - Схема водопроникних порід [20]

У зв'язку з цим більшість авторів тріщинуватість порід вивчають як об'єкт можливих зон геологічних ускладнень. Їх форма і розкриття можуть бути різними – від волосяних тріщин до 1 м і більше. Наявність у породі тріщин розміром від 0,1 мм до 1 мм може виявитися вже достатньою при певних умовах для виникнення поглинання промивальної рідини. За розкриттям тріщини поділяють на: тонкі – менше 1,0 мм; дрібні – 1,5 мм; середні – від 5 мм до 20 мм, великі – від 20 мм до 100 мм і дуже великі – понад 100 мм [14].

Тріщини можуть бути вільними і заповненими флюїдом або матеріалом гірських порід, наприклад: кальцитом – у карбонатних породах; гіпсом – у відкладеннях гіпсу ц ангідриту. У тектонічних зонах – матеріалом з різним ступенем дезінтеграції аж до глин. У районах поширення вічномерзлих гірських порід тріщини можуть бути заповнені льодом. Реальною небезпекою для фільтрації промивальної рідини в пласт є вільні тріщини.

За генетичним типом оцінюють площу і глибину розподілу тріщин у масиві [26]. Ці характеристики тісно пов'язані з літологією масиву. Для них характерно те, що розкриття і густина тріщин визначаються потужністю та складом порід. Останньому підпорядкована також і орієнтація тріщин. Розподіл тектонічних тріщин контролюється будовою даної ділянки. Ці тріщини мають повсюдний розвиток і можуть зустрічатися в усіх видах порід. Вони найчастіше спричиняють обвали гірських порід у стовбур свердловини. Розподіл екзогенних тріщин підпорядкований як екзогенним факторам, так і літолого-тектонічним особливостям масиву.

Автор [27] стверджує, що поглинання промивальної рідини пов'язані з карстами, які зустрічаються в районах поширення розчинних порід (карбонатних, сульфатних, відкладеннях солей). При бурінні в таких породах можливо розкриття каверн, каналів, галерей, печер і т.д. Можливі провали бурового інструменту. Залежно від локальності розвитку карсту інтенсивність поглинання може різко змінюватися. Закарстованість порід згасає з глибиною. У табл. 1.2 наведено класифікацію гірських порід за тріщинуватістю, закарстованістю та ступенем водопроникності.

Узагальнена класифікація за ступенем суцільності порід, коефіцієнтом фільтрації та питомим водопоглинанням дозволила Гасумову Р.А. [28] використовувати дані гідрогеологічних досліджень свердловин для прогнозування можливих поглинань промивальної рідини при бурінні свердловин на тверді корисні копалини.

Таблиця 1.2 – Класифікація гірських порід по тріщинуватості, закарстованості та ступеня водопроникності (за Гасумовим Р.А.), [28]

Гірські породи	Коефіцієнт фільтрації, м <sup>3</sup> /год	Питоме водопоглинання
Практично монолітні	<0,01	<0,0003
Вельми слабоводопроникні, слаботріщинуваті та слабозакарстовані	0,01–0,1	0,0003–0,003
Слабоводопроникні, слаботріщинуваті та слабозакарстовані	0,1–10	0,003–0,3
Водопроникні, тріщинуваті та закарстовані	10–30	0,3–0,9
Сильноводопроникні, сильнотріщинуваті та сильнозакарстовані	30–100	0,9–3,0
Вельми сильноводопроникні, вельми сильнотріщинуваті та вельми сильнозакарстовані	>100	>3,0

Аналізуючи проблему, автори [13], [18], [24], [27] роблять висновок, що найбільш часті поглинання визначаються в зонах аномально низького пластового тиску.

Грунтуючись на дослідних даних:

- Ніколаєв Н.І. [29] показав, що зниження тиску, при підйомі інструменту, може досягати 1,58 МПа, а максимальний позитивний тиск збігається з найбільшою швидкістю спуску труб;

- Гасумов Р.А. [28] стверджує, що нормальним пластовим тиском є натиск вод, при якому градієнт гірського тиску  $C_2 = 0,01$  МПа. Тобто при  $C_2 < 0,01$  МПа почнеться поглинання бурового розчину пластом.

Штучні тріщини в основному отримують є результатом інженерної діяльності людини. Басаригін Ю.М. і Булатов А.І. [30] вважають, що поглинання бурових і цементних розчинів пов'язано також з гідророзривом пластів (ГРП). Тиск розриву і напрямок розвитку тріщин залежать від вертикального і бічного

гірського тиску, наявності природної та штучної тріщинуватості, значення тиску в поровому просторі, пористості, проникності гірських порід і в'язкості рідини розриву, подачі насосів.

Якщо гідростатичний тиск у стовбурі свердловини перевищить тиск у розкритому під час буріння пласті, то розчин з свердловини, долаючи місцевий гідравлічний опір, буде проникати в пори, канали і тріщини пласта [27]. І навпаки, зниження тиску в свердловині по відношенню до пластового призводить до руху флюїду з пласта в свердловину.

Експериментальне визначення гідродинамічного тиску в розвідувальних свердловинах проводилося Руденком А.П. [25] в тресті «Артемгеологія» та інших організаціях України. Значення гідродинамічного тиску в свердловинах №317 і №327 Щегловської ГРЕ при виконанні різних технологічних операцій наведено в табл. 1.3.

Таблиця 1.3 – Гідродинамічний тиск в свердловинах при різних технологічних операціях, МПа (за Руденком А.П.) [25]

Глибина виміру, м	Густина промивальної рідини $\gamma$ , г/см <sup>3</sup>	Гідростатичний тиск $\rho_a$	Витрати рідини 140 л/хв		Включення насоса		Спуск інструменту		Обертання інструменту, об/хв			
			$\rho_a$	$\Delta\rho$	$\rho_H$	$\Delta\rho$	$P_c$	$\Delta\rho$	67		128	
									$\rho_{в.г}$	$\Delta\rho$	$\rho_{в.г}$	$\Delta\rho$
600	1,00	64,5	65,0	0,5	67,0	2,5	66,0	1,5	66,5	2,0	67,0	2,5
	1,22	86,5	87,5	1,0	92,0	5,5	91,0	4,5	87,0	0,5	87,5	1,0
	1,28	87,5	90,5	3,0	94,0	6,5	96,0	8,5	90,0	2,5	91,0	3,5
800	1,00	86,0	86,0	0,0	89,0	3,5	90,0	4,0	84,0	2,0	86,0	0,0
	1,22	106,5	109,0	2,5	116,0	9,5	118,0	11,5	112,0	5,5	116,0	9,5
	1,28	117,0	121,0	4,0	128,0	11,0	137,0	20,0	126,0	9,0	130,0	13,0
1000	1,00	106,0	106,0	0,0	111,0	5,0	120,0	14,0	108,5	2,5	108,5	2,5
	1,22	142,0	144,0	2,0	158,0	16,0	165,5	23,5	148,5	6,5	149,5	7,5
	1,28	144,0	148,0	4,0	166,0	22,0	180,0	36,0	154,0	10,0	161,0	17,0

З табл. 1.3 видно, що максимальні значення гідродинамічного тиску виникають при спуску інструменту і досягають 17,7 МПа на глибині 1000 м. На гідродинамічний тиск дуже істотний вплив спричиняють щільність, в'язкість, а також витрати розчину для промивання. Додаткові тиски визначаються якістю промивального розчину, глибиною буріння і плавністю запуску бурового насоса. Найбільший вплив на зростання гідродинамічного тиску спричиняє величина зазору між стінками свердловини і бурильними трубами.

Як вважають автори [16], [27], [31], на значення тиску гідророзриву пласта (ГРП) великий вплив мають реологічні властивості рідин: чим більше значення динамічного напруження зсуву і структурної в'язкості рідини, тим при менших тисках виникають ГРП. Бурові та цементні розчини створюють підвищений тиск на пласт, що призводить до ГРП і поглинання.

Під впливом температури в процесі буріння змінюються реологічні властивості промивальної рідини, призводячи до поглинання [20].

Якщо вважати, що в свердловині існує сталий теплообмін, то можна сказати, що розподіл температури в порах залежить від глибини і геотермічного градієнта, величина якого різна для різних регіонів. Кулієв С.М. [32] наводить дані (табл. 1.4) без урахування температури пояса постійних температур.

Таблиця 1.4 – Розрахункове значення температури зі збільшенням глибини

Глибина, м	Температура, °С	
	за Дергуновим І.Д. [33]	за Любимовою Е.А. [34]
1000	22,00	20,43
2000	40,00	39,90
3000	56,94	58,73
4000	73,29	76,80
5000	89,21	94,12
6000	104,81	110,70
7000	120,15	126,53

За даними авторів [35], [36], найбільш високі температури спостерігаються в свердловинах Північного Кавказу. Так, в Озексуатській групі нафтових родовищ температура на глибині 2500 – 3000 м дорівнює 140 – 170 °С, а в Чечено-Інгушетії в свердловині 1 Галюгаєвська на глибині 5320 м зафіксована температура 190 °С.

Територія України має відокремлені регіони, відмінні один від одного віком, складом і умовами залягання складаючих їх утворень і сукупності основних природних факторів, які визначають закономірності формування, розподілу, складу й умов експлуатації родовищ. Температура пластових вод навіть у сусідніх гідрогеологічних областях хоч і має один порядок, але відрізняється в рази при одних і тих же глибинах (рис. 1.3).

Особливо це характерно для східних регіонів України. Так, в умовах ДДЗ температура флюїду, а отже і вміщуючих порід, неоднорідна. На глибинах 600 – 1800 м температура становить 30 – 33 °С, 1800 – 2000 м складає 45 – 48 °С [37]. У сусідній Донецькій складчастій гідрогеологічній області при глибині залягання горизонту 1500 м температура склала 65 °С, а в АР Крим при тій же глибині – 27 °С.

Таким чином, процес тампонування поглинаючих горизонтів відбувається:

- у горизонтах, які представлені незв'язними дрібнопористими, пористими (піщаними і крупноуламковими), закарстованими, кавернозними або тріщинуватими породами. Інтенсивне поглинання спостерігається в піщаниках (81 %), сланцях (13 %) і вапняках (6 %);

- з частотою поглинання, яка змінюється з глибиною від 18,8 % в інтервалі 0 – 100 м, у зоні вивітрювання – до 3 % в інтервалі 1500 – 1600 м;

- з інтенсивністю поглинання, яка змінюється від часткового (<0,6 м<sup>3</sup>/год) до катастрофічного (> 15 м<sup>3</sup>/год);

- у пористих і тріщинуватих породах з розкриттям тріщин (розмір пор) від 1,0 мм;

- в умовах перепаду тиску при глибині свердловини 1000 м до 18 МПа;



А – гідрогеологічна область тріщинуватих вод Українського кристалічного масиву; Б – Дніпровсько-Донецький артезіанський басейн; В – Волино-Подільський артезіанський басейн; Г – Причорноморський артезіанський басейн; Д – Донецька складчаста гідрогеологічна область; Е – Закарпатська складчаста гідрогеологічна область; Ж – басейн тріщинуватих вод гірського Криму

Рисунок 1.3 – Схема районування гідрогеологічної території України по температурі пластових вод



- у горизонтах з температурою від 5 – 10 °С при незначних глибинах і до 190,0 °С – при глибині понад 5000 м.

## **1.2 Аналіз технологій ліквідації поглинань промивальної рідини**

У даний час існує велике різноманіття технологій і матеріалів для ліквідації поглинання промивальної рідини. Це пояснюється різноманітністю геолого-технічних умов їх застосування. Цим і обумовлено основні методи боротьби з поглинаннями промивальної рідини, а саме:

- регулювання властивостей промивальної рідини;
- усунення перепаду тиску в системі «свердловина – пласт»;
- перекриття інтервалів поглинання промивальної рідини колоною обсадних труб;
- тампонування каналів відходу промивальної рідини тампонажними матеріалами.

На кафедрі техніки розвідки родовищ корисних копалин НТУ «Дніпровська політехніка» накопичено значний досвід розробки і впровадження у виробництво технологій попередження і ліквідації поглинаючих горизонтів. Упродовж низки років роботи виконували Бражененко А.М. [38], Пащенко О.В. [39], Мартиненко І.І. [40], Судаков А.К. [41]. На підставі аналізу Судаковим А.К. [37] і Курбановим Я.М. [35] розроблено класифікації способів ліквідації поглинань промивальної рідини. Найбільш вдалою, на наш погляд, є класифікація, зображена на рис. 1.4. У класифікації наведено як застосовувані технології, так і технології, застосування яких принципово можливе, але після доопрацювання.

У класифікації представлено два способи ліквідації поглинання промивальної рідини: методи регулювання гідравлічної рівноваги в системі «свердловина-пласт» та ізоляція зон поглинання промивальної рідини. Перший метод використовується для попередження поглинання промивальної рідини. Тому далі розглядаємо метод їх ізоляції.

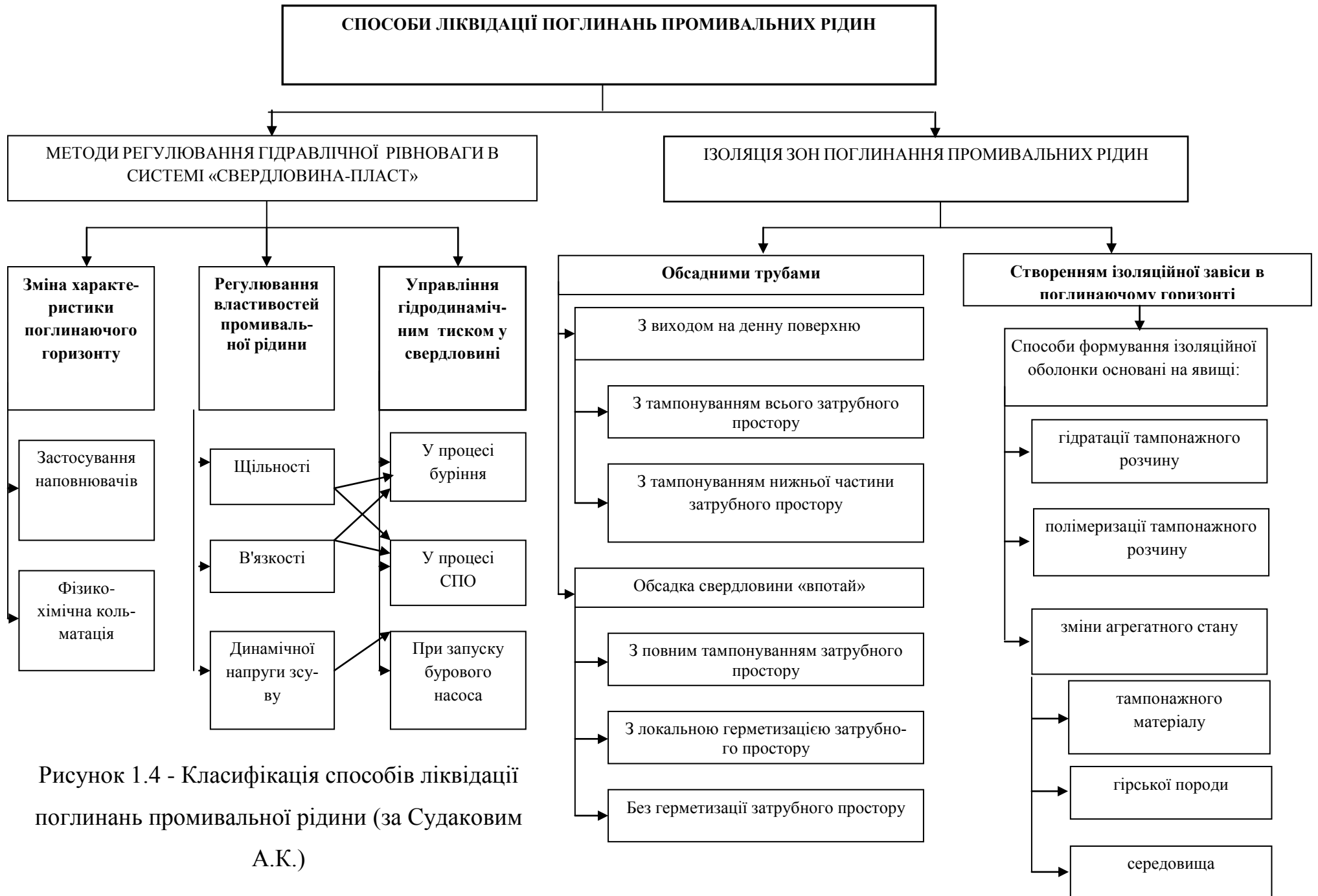


Рисунок 1.4 - Класифікація способів ліквідації поглинань промивальної рідини (за Судаковим А.К.)

### 1.2.1 Передумови розробки нетрадиційних технологій тампонування поглинаючих горизонтів

Для ліквідації поглинання промивальної рідини використовують два кардинальних підходи (рис. 1.4):

1. Перекриття проникних і нестійких горизонтів обсадними колонами як з виходом на денну поверхню, так і «впотай»;
2. Заповнення проникних горизонтів тампонажними розчинами.

Ізоляція зон поглинань промивальної рідини обсадними трубами є одним з найпоширеніших методів, що застосовуються в практиці буріння для ліквідації більшості видів ускладнень [42] – [44].

При перекритті обсадними колонами, незважаючи на високу якість проведення робіт, маються істотні недоліки, які стримують застосування даних технологій при бурінні свердловин. Це пов'язано з тим, що технології обладнання обсадними колонами бурових свердловин дорогі, матеріало – та трудомісткі, в більшості випадків вимагають закріплення затрубного простору тампонажними розчинами, при цьому застосування цих технологій не гарантує ізоляцію свердловини від проникних горизонтів [45].

Тому найбільш часто застосовують технології, основані на заповненні тампонажними розчинами поглинаючих горизонтів. Найбільшого поширення набули розчини, що базуються на утворенні тампонажного каменю або гелю, за рахунок явища гідратації або полімеризації [46].

Формування тампонажного каменю, що основане на явищі гідратації.

При ліквідації поглинання промивальної рідини знайшли застосування цементи та суміші на його основі (БСС, сухі композити, гелцементи і т.д.), а також гіпс, алебастр [12], [20], [30], [33]. Останні мають обмежене застосування. Перевага розчинів, тампонажний камінь яких отримують за рахунок явища гідратації, – це незначна їх вартість, технологічність виготовлення і застосування, можливість у широкому діапазоні змінювати властивості, доступність компонентів тампонажного розчину. Основними недоліками цих матеріалів є те, що вони ба-

гатокомпонентні, готуються на водній основі і, отже, мають велику чутливість до розведення водою.

В останні десятиліття в Україні, Росії, Казахстані та ін. країнах активно ведуться роботи з модернізації, вдосконалення цементних тампонажних розчинів. Свідченням цього є велика кількість виконаних науково-дослідних робіт [47] – [82]. Але вони не вирішують головної проблеми – збіднювання тампонажного розчину пластовими водами.

Процес твердіння тампонажного розчину в поглинаючому горизонті відбувається в агресивних умовах. В результаті розчини легко перемішуються з промивальною рідиною і пластовими флюїдами, особливо за наявності міжпластових перетікань. Відбувається збіднювання, седиментація тампонажних розчинів, що веде до підвищення часу схоплення, розтікання на значні відстані від свердловини і, як наслідок, перевитрати тампонажних матеріалів, необхідності повторення операцій з тампонування [3], [8], [14], [20], [24], [43].

Формування тампонажного каменю, що ґрунтується на явищі полімеризації.

Основа більшості застосовуваних синтетичних матеріалів – карбамідні смоли і латекси. Для затвердіння смол застосовують органічні та мінеральні кислоти (щавлеву, соляну й ін.), а латекси добре поєднуються з цементними розчинами і гіпсоцементними сумішами.

Переваги та недоліки синтетичних матеріалів, а також технології транспортування по стовбуру свердловини, задавлювання і процеси при твердінні в поглинаючому горизонті аналогічні розчинам і способам формування тампонажного каменю, ґрунтованого на явищі гідратації [4], [9], [19], [21], [26], [40].

На наш погляд, розглянуті технології вичерпали свою можливість подальшого вдосконалення, тому єдиний шлях – це розробка і застосування, для формування ізоляційних завіс, технологій ґрунтованих на матеріалах, що мають неводну основу, й інші процеси формування тампонажного каменю. До таких технологій можна віднести технології утворення тампонажного каменю, що базується на явищі фазового переходу.

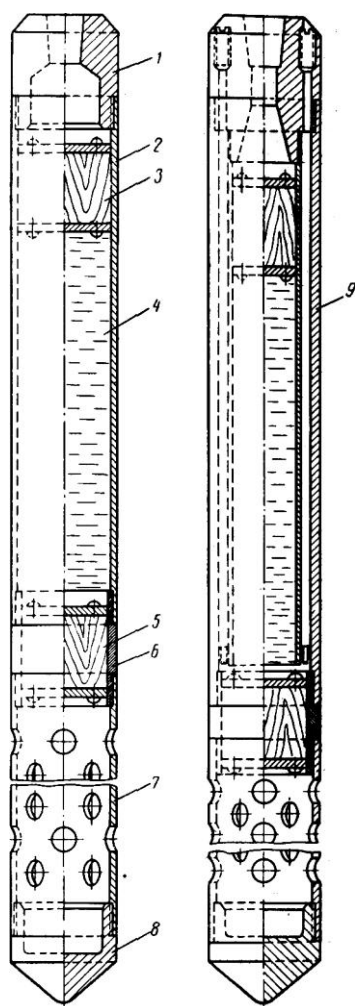
### 1.2.2 Способи формування ізоляційної оболонки, основані на явищі фазового переходу тампонажного матеріалу

Як альтернатива тампонажним розчинам на водній основі, що легко збіднюються пластовими водами, для ізоляції поглинаючих горизонтів були запропоновані термопластичні матеріали (ТПМ) з температурою плавлення 50 – 150 °С, розплав яких може легко проникати в канали поглинання промивальної рідини і тверднути там [83].

До теперішнього часу для тампонажу гірських порід із ТПМ широке застосування знайшли лише нафтові бітуми [84]. При цьому бітум розігрівали на поверхні і в два етапи по колонах труб закачували в тріщинуватий горизонт. Цей спосіб не знайшов застосування, тому що бітум дуже швидко застигає до непрокачуваного стану. Витрачається значна кількість часу на спуско-підйомні операції.

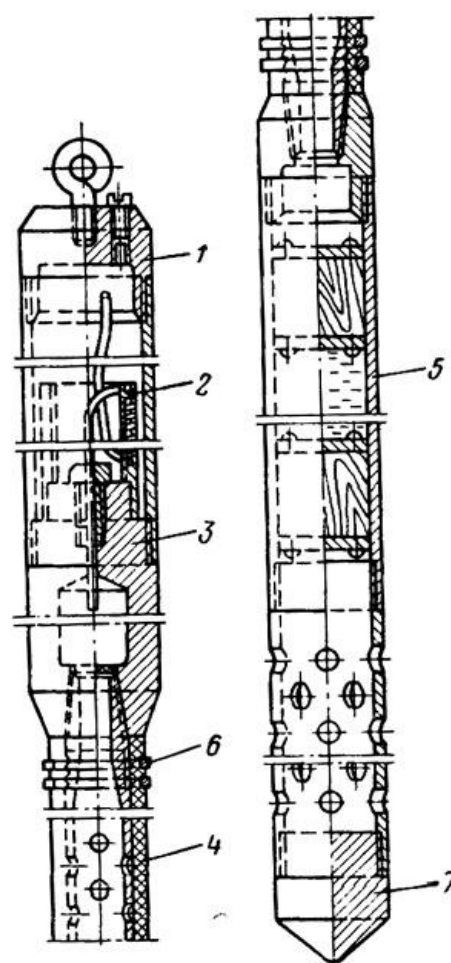
У розвідувальному бурінні спроби застосування бітуму були зроблені в 60-х роках ХХ століття Рафієнком І.І. [4], [85]. Він розробив два способи тампонування поглинаючих горизонтів сумішами на бітумній основі. У першому випадку розігрітий бітум доставляли в спеціальному теплоізоляційному контейнері на колоні бурильних труб (рис. 1.5). Цей спосіб отримав застосування при невеликій глибині розташування зони поглинання (до 100 м). Недолік цього способу – це обмеженість об'єму контейнера, а також охолодження бітуму при тривалому спуску його в свердловину на трубах, внаслідок чого його неможливо видавити з контейнера за допомогою насоса, крім того, витрачається багато часу на спуск і підйом такого контейнера.

Найбільш оригінальним є спосіб доставки розплавленого бітуму в снаряді (рис. 1.6), що опускається на тросі, з вмонтованою вибуховою камерою. Але недоліком способу є підвищені вимоги до техніки безпеки і пожежної безпеки, пов'язані з застосуванням вибухових речовин, розігрівом у котлах термопластичної суміші та заповненням нею контейнерів безпосередньо на буровій, а також не виключена можливість спрацьовування снаряда в непередбаченому ін-



1 – перехідник; 2 – контейнер;  
3 – верхня пробка; 4 – розплав ТПМ;  
5 – нижня пробка; 6 – ніпель; 7 – розпилювач;  
8 – напрямний конус;  
9 – зовнішня труба

Рисунок 1.5 – Снаряди для доставки розплаву ТПМ у зону поглинання на трубах [85]



1 – спеціальний перехідник;  
2 – камера горіння вогнепровідного шнура;  
3 – вибухова камера;  
4 – пакер;  
5 – контейнер;  
6 – розпилювач;  
7 – напрямний конус

Рисунок 1.6 – Снаряд для тампування поглинаючих горизонтів із застосуванням ефекту вибуху [4]

тервалі. Низька якість проведених робіт пов'язана з незначним проникненням тампонажного розчину в канали поглинання промивальної рідини.

Застосування нетвердіючих сумішей (НС), розроблених Мартиненко І.І. у 80-х роках у ПГО «Північукргеологія» на основі бітумів, які доставляли до поглинаючого горизонту в пакетах, з подальшим їх розбурюванням спеціальним

снарядом, так само не дало очікуваного ефекту [86] – [88]. Через незначну глибину проникнення НС у тріщини і релаксації при виконанні наступних технологічних операцій у свердловині відбувається руйнування ізоляційної оболонки, що несе за собою відновлення поглинання промивальної рідини. Тому ці способи тампонування поглинаючих горизонтів не знайшли широкого застосування.

Крім бітуму, як тампонажні термопластичні матеріали, використані різні полімери і мономери, які відносяться до групи термопластів [4], [89]. Термопласти характеризуються тим, що можуть плавитися при нагріванні та знову затвердівати при охолодженні. Цей процес може повторюватися багато разів, якщо нагрів не перевищує тієї межі, при якій полімер розкладається. В якості таких ТПМ можуть бути використані стирол, поліметакрилат, етилакрилат і ін.

З метою усунення недоліків властивих сумішам на бітумній основі, в Національному гірничому університеті, під керівництвом Бражененка А.М. [38], і паралельно в Санкт–Петербурзькому державному гірничому інституті, Литвиненка В.С. [90], були виконані роботи з розробки принципово нових нетрадиційних технологій тампонування поглинаючих горизонтів.

Відмінною особливістю запропонованих технологій є те, що ТПМ з низькою температурою плавлення доставляють у зону ускладнення в твердому гранульованому вигляді, де його нагрівають до рідкого стану вибійним тепловим джерелом з подальшим його задавлюванням у поровий простір поглинаючого або нестійкого горизонту.

У першому випадку [38], [91], [92] як ТПМ запропоновано застосування сірки. Перевагою такої технології було використання інертного, незбіднюваного тампонажного матеріалу на основі сірки, що має високі фізико–механічні властивості особливо в ранні терміни твердіння (охолодження). До недоліків можна віднести: високу вартість сірки, яка у 6 разів перевершує вартість тонни цементу; відсутність надійних свердловинних засобів нагріву тампонажного матеріалу і задавлювання (транспортування) в поглинаючий горизонт розплаву ТПМ; значні часові витрати при плавленні ТПМ у свердловинних умовах; в да-

ному разі крихкість матеріалу ТПМ і використання як пластифікаторів токсичних матеріалів – нафталіну.

У другому [90] – органічні в'язучі на основі синтетичних термопластів, які дозволяють отримати міцне і недороге безтрубне кріплення. Поліетилен і поліпропілен не мають екологічних протипоказань при кріпленні та проведенні ізоляційних робіт у свердловині. Гранульовані композиційні склади з органічною матрицею і мінеральними наповнювачами відповідають умовам екологічно чистого безтрубного кріплення й ізоляції ускладнених інтервалів свердловин. Недоліки технологій: відсутність технічної інформації про розроблену технологію, значні часові витрати при плавленні ТПМ у свердловинних умовах, обумовлені великими тепловими втратами; запропоновані тампонажні матеріали багатокомпонентні, що тягне за собою попередню підготовку сумішей і, як наслідок, їх подорожчання.

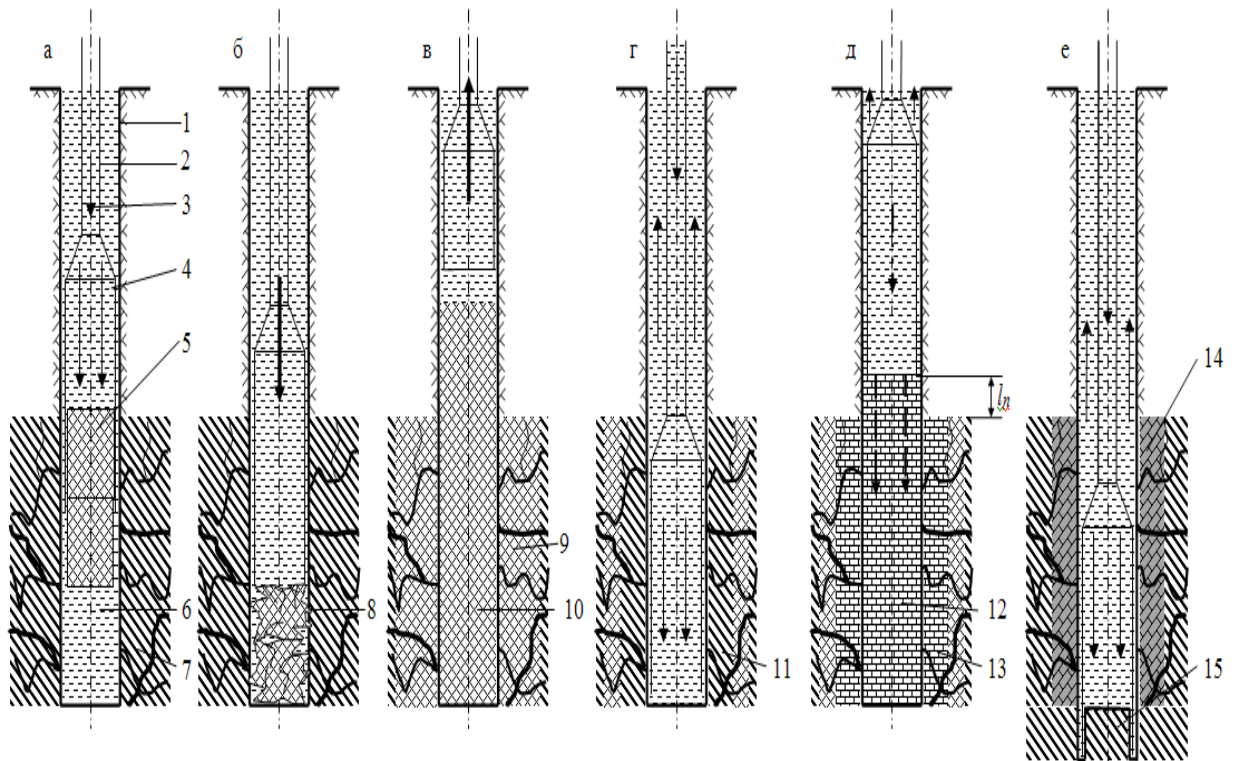
На кафедрі техніки розвідки родовищ корисних копалин НТУ «Дніпровська політехніка» (Дніпро, Україна) запропонована нова ефективна технологія [93], [94] ліквідації поглинання промивальної рідини. Технологія передбачає кріогенне (низькотемпературне) заморожування і тампонування гірської породи, що оточує свердловину (рис. 1.7).

Основною відмінністю запропонованої технології від відомих, є те, що процес ізоляції проникного горизонту тампонажними сумішами здійснюється під захистом кріогенного екрана, створеного в проникному горизонті за низькотемпературною технологією. Енергоємність та ефективність технологічного процесу багато в чому визначається теплофізичними процесами при формуванні кріогенного екрана [95].

Перевага запропонованої технології полягає в можливості створення малооб'ємної ізоляційної завіси за рахунок явища гідратації. До недоліків слід віднести підвищені вимоги техніки безпеки, пов'язані з застосуванням рідкого азоту. Із застосуванням даного способу ліквідації промивальної рідини ускладнюється технологія ізоляції. Це пов'язано з виконанням технологічних операцій з транспортування азоту, часткового розтеплення замерзлого горизонту, порці-



онної подачі тампонажного матеріалу. Контролювати процес заморожування і розтеплення при цій технології практично неможливо. Крім того, запропонована технологія невідпрацьована в свердловинних умовах – необхідно проведення науково – дослідних та опитно – конструкторських робіт.



а – доставка в свердловину контейнерів з холодоагентом; б – руйнування контейнерів; в – формування кріогенного екрана в зоні поглинання промивальної рідини; г – розбурювання льодово-піщаного композиту в свердловині з подальшим частковим розтепленням проникного горизонту; д – задавлювання тампонажної суміші; е – буріння свердловини;

1 – стінки свердловини; 2 – бурильна колона; 3 – промивальна рідина; 4 – колонкові труби; 5 – контейнери з холодоагентом; 6 – свердловина; 7 – поглинаючий горизонт; 8 – зруйновані контейнери; 9 – заморожений горизонт; 10 – заморожений стовбур свердловини; 11 – частково розтеплений горизонт; 12 – тампонажний розчин в стовбурі свердловини; 13 – тампонажний розчин в розтепленій зоні поглинаючого горизонту; 14 – тампонажний камінь; 15 – керн

Рисунок 1.7 – Технологія ізоляції поглинаючих горизонтів

Надзвичайно цікавими з теоретичної та практичної точки зору є спеціальні способи ізоляції, що базуються на плавленні вміщуючих порід. Сутність цих методів ізоляції полягає в тому, що шляхом теплової дії на породи, що складають стінки свердловини, здійснюють їх розплавлення пенетратором. У подальшому при охолодженні розплавленої маси утворюється монолітна ізоляційна оболонка високої міцності.

Процес буріння плавленням визначається в основному теплофізичними властивостями гірської породи. Відмінними рисами цієї технології є висока концентрація на вибої свердловини теплової енергії й ефективна передача її породам з метою: забезпечення заданої швидкості плавлення; витиснення розплаву із зони вибою; формування на стінках свердловини монолітного і міцного осклілого шару [6].

Буріння свердловин методом плавлення дозволяє вирішувати завдання підтримки стійкості та закріплення стінок свердловини безпосередньо в процесі буріння шляхом створення за рахунок застигаючого розплаву міцного водонепроникного склоподібного шару [42]. Одночасно цей метод дозволяє спростити конструкцію свердловини, різко знизити витрату обсадних труб і тампонажних матеріалів, витрати часу і коштів на трудомісткі та дорогі роботи з кріплення свердловини обсадними колонами. Відсутність у свердловинах колон обсадних труб дозволяє підвищити результативність методів каротажу і свердловинної геофізики.

До недоліків даної технології відноситься те, що для її здійснення необхідні додаткові витрати, тому що теплове джерело доставляється до вибою на колоні бурильних труб. Корпус робочої поверхні виконано з дорогого, дефіцитного матеріалу. Для досягнення ефекту плавлення гірської породи необхідні високі температури нагріву навколишнього середовища.

При відповідному доопрацюванні, можливе застосування цих способів для ізоляції зон ускладнень у свердловинах.

### 1.3 Аналіз теплофізичних процесів при бурінні й експлуатації свердловин

Одним з основних чинників, що впливає на продуктивність технологічного процесу буріння, освоєння й експлуатації свердловин, є температурний фактор. Нагрівання зони ускладнення або плавлення ТПМ можливе за рахунок теплової дії:

- електричними глибинними нагрівальними пристроями;
- породоруйнівним інструментом;
- горючих парів паливно–мастильних матеріалів;
- хімічної реакції матеріалів.

*Електричні глибинні нагрівальні пристрої.* Нагрівання привибійної зони свердловини широко використовується в нафтовій промисловості при термічній дії на пласти – колектори з метою збільшення їх нафтовіддачі, а також при підземній виплавці сірки [37], [96] – [99]. Для цього використовуються гирлові або глибинні нагрівальні пристрої. Гирлові нагрівальні пристрої слугують для нагріву теплоносіїв (вода, пара тощо) і одночасно для їх нагнітання на вибій свердловини по колоні труб. Під час руху теплоносія від гирла свердловини до вибою відбуваються значні втрати тепла (до 30 %) [100].

Застосування глибинних нагрівальних пристроїв дозволяє зосередити нагрів у привибійній зоні свердловини й уникнути втрат тепла в стовбурі свердловини.

Глибинний трубчастий електронагрівач являє собою сигароподібний металевий корпус на кабелі, що опускається в свердловину, всередині якого розташовано ТЕНи. Вони призначені для електротеплової обробки привибійної зони нафтових свердловин з метою підвищення нафтовіддачі продуктивних пластів.

При електротепловій обробці привибійної зони нафтових свердловин застосовують електронагрівачі потужністю 10 – 20 кВт [101].

До недоліків даних технологій відноситься те, що зі збільшенням глибини

свердловини виникають електричні втрати в кабелі, що обмежують корисну енергію, яка підводиться до нагрівача [102]. Тому певний інтерес становлять високочастотні нагрівачі з індукційним нагріванням.

*Тепловий вплив породоруйнівним інструментом на гірську породу.* Буріння породоруйнівним інструментом гірських порід супроводжується виділенням великої кількості тепла [103] – [107]. Чим вище твердість породи, що буриться, тим більше виділяється тепла.

Теплопровідність інструменту втричі вище, ніж теплопровідність гірських порід, ТПМ і промивальних рідин, внаслідок чого основна кількість теплоти, що генерується на вибої, поглинається інструментом і сприяє його значному нагріванню.

Створення високих температур буровим інструментом на вибої свердловини стало предметом досліджень численних робіт [108] – [113]. У роботах [98], [99] показано, що максимальна температура, яку можна створити на вибої свердловини без інтенсивного зносу породоруйнівного інструменту знаходиться в межах 500–750 °С. Експерименти Бугаєва А.А. і ін. [112], [114], [115] показали, що критична температура в залежності від режимних параметрів варіюється в межах 550–670 °С.

Таким чином, з огляду на термостійкість сучасного бурового інструменту, на вибої свердловини можна штучно створити температуру не більше 600–700 °С. Проведений аналіз теплового балансу на вибої при бурінні свердловин дозволяє стверджувати, що використання теплової енергії тертя є досить перспективним способом плавлення ТПМ.

*Горіння парів паливно–мастильних матеріалів.* Процес нагріву порід відбувається за допомогою спалювання парів палива (гас, спирт, бензин, мазут, солярове масло, природний газ) в середовищі окислювача (кисень, повітря, азотна кислота) у реактивному пальнику. При цьому на породу діє газовий струмінь, що виходить з сопла пальника з надзвуковою швидкістю (800–2500 м/с). Вогневий глибинний нагрівальний пристрій являє собою пальник, що опускається на вибій свердловини на подвійній колоні труб, в яку подається окремо

окислювач і паливо або готова горюча суміш.

Цей спосіб нагріву гірської породи знайшов застосування при закріпленні нестійких, обводнених глинистих гірських порід [116] і при бурінні вибухових свердловин на кар'єрах [117]. У СРСР в 70–х рр. проходили цим способом понад 300 тис. м на рік.

Недоліки цього способу нагрівання: висока матеріало– і енергоємність технологічного процесу.

*Нагрівання за рахунок хімічної реакції матеріалів* базується на екзотермічних реакціях, які відбуваються, наприклад, при взаємодії води і негашеного вапна, соляної кислоти з алюмінієм, магнієм, карбідом кальцію, їдким натром та ін. Найбільша кількість тепла виділяється при взаємодії соляної кислоти з алюмінієм [32].

До недоліків цих способів нагріву можна віднести невисоке і короткочасне підвищення температури, забруднення стовбура свердловини, підвищені вимоги техніки безпеки, обумовлені застосуванням кислот при транспортуванні до свердловини і в умовах бурової.

Виконаний аналіз можливих технологій плавлення ТПМ у зоні поглинання, дозволяє стверджувати, що використання теплової енергії тертя є досить перспективним способом. З огляду на термостійкість сучасного бурового інструменту, залежно від частоти обертання й осьового навантаження на вибої свердловини, можливо штучно підвищити температуру до 600–700 °С. І, як впливає з вищенаведеного аналізу, цієї температури вистачить для нагріву, плавлення і перегріву, необхідного для задавлювання всіх відомих ТПМ у канали поглинання.

#### **1.4 Висновки. Мета і завдання досліджень**

На основі проведеного аналізу існуючих технологій тампонування поглинаючих горизонтів і застосовуваних матеріалів можна відзначити наступне:

1. У даний час існує велике різноманіття технологій і матеріалів для ліквідації поглинання промивальної рідини. У більшості випадків ліквідація поглинань забезпечується тампонуванням каналів поглинання промивальної рідини твердіючими або нетвердіючими тампонажними сумішами шляхом створення водонепроникного екрану в породі навколо свердловини.

2. Для ліквідації поглинання промивальної рідини застосовують недостатньо ефективні тампонажні матеріали, які готують на водній основі з введенням до його складу мінералов'язких або синтетичних речовин.

3. Основними недоліками цих матеріалів є те, що вони мають велику чутливість до розведення водою. При тампонуванні розчини легко перемішуються з промивальною рідиною і пластовими водами, особливо за наявності міжпластового перетікання. Відбувається збіднювання, седиментація тампонажних розчинів, що призводить до підвищення часу захоплення, розтікання на значні відстані від свердловини і, як наслідок, до перевитрати тампонажних сумішей і необхідності повторення операцій з тампонування. На практиці, при ліквідації поглинання промивальної рідини, витрачаються тонни, десятки тонн цементу.

4. Мають певний інтерес тампонажні розчини на основі термопластичних, незбіднюваних пластовими водами матеріалів з низькою температурою плавлення, розплав яких може легко проникати в канали поглинання промивальної рідини і закріплюватись там.

5. Дотепер з термопластичних матеріалів застосовували тільки суміші на бітумній основі, основі сірки і синтетичних термопластів (поліетилен, поліпропілен). Фізико-механічні властивості нафтових бітумів, сірки і синтетичних термопластів досить добре відомі та детально висвітлені в літературних джерелах. З позитивних моментів, що сприяють їх застосуванню як тампонажного матеріалу, слід зазначити такі як нерозмиваність водою і нерозчинність у ній. Вони плавляться при порівняно невисокій температурі та не втрачають своїх властивостей після повторних циклів плавлення й охолодження. Ці матеріали є досить довговічним гідроізоляційним матеріалом, які володіють високою антикорозійною стійкістю в різних агресивних середовищах.

6. До основних недоліків бітуму, як тампонажного матеріалу, відноситься його здатність релаксувати в часі. При перепаді тиску 0,3–0,5 МПа він здатний текти навіть при температурі +15 °С. Розплав бітуму має щільність, близьку до щільності води і в середовищі промивальної рідини здатний розшаровуватися і спливати. Бітум погано розбурюється і здатний забруднювати буровий інструмент. Відомі дані про його канцерогенність та вплив на навколишнє середовище. Через ці та інші вади нафтові бітуми не знайшли широкого застосування як тампонажного матеріалу при ізоляції поглинаючих горизонтів у свердловині.

7. Недоліком сірки, як тампонажного матеріалу, і технології її застосування є: висока вартість сірки, що більше ніж у 6 разів перевершує вартість тонни цементу; відсутність надійних свердловинних засобів нагріву тампонажного матеріалу і задавлювання (транспортування) в поглинаючий горизонт розплаву ТПМ; відсутність можливості керування процесом тампонування; значні часові витрати при плавленні ТПМ у свердловинних умовах; використання як пластифікатора токсичного матеріалу – нафталіну.

8. Недоліками поліетилену і поліпропілену є: відсутність технічної інформації про розроблену технологію, значні часові витрати при плавленні ТПМ у свердловинних умовах, обумовлені великими тепловими втратами; запропоновані тампонажні матеріали багатокомпонентні, що обумовлює попередню підготовку сумішей і, як наслідок, їх подорожчання; відсутність можливості контролювати процес закріплення стінок свердловини.

9. Для кардинального вирішення проблеми ізоляції поглинаючих горизонтів необхідно використовувати останні досягнення фундаментальних наук, йти не тільки шляхом відомих, традиційних технологій, але і знаходити принципово нові рішення. Тому виключно важливе значення має проблема розробки технологій ізоляції поглинаючих горизонтів з використанням більш ефективних тампонажних матеріалів.

У зв'язку з цим, *ідея роботи* полягає у встановленні та використанні закономірностей зміни фізико-механічних властивостей й переваг ТПКМ для обґрунтування режимних параметрів та впровадження у виробництво ефективної

термомеханічної технології ізоляції поглинаючих горизонтів бурових свердловин.

**Мета і завдання дослідження.** Метою роботи є удосконалення термомеханічної технології ізоляції поглинаючих горизонтів бурових свердловин шляхом встановлених закономірностей зміни й обґрунтування її режимних параметрів від складу та фізико-механічних властивостей ТПКМ і, на цій основі, розробка технологічного регламенту, що містить рекомендації з виготовлення композиту й організації тампонажних робіт, проектування та ізоляції зон поглинання промивальної рідини в бурових свердловинах.

Поставлена в роботі мета досягається вирішенням таких завдань:

1. Вибрати й обґрунтувати склад, а також дослідити фізико-механічні властивості ТПКМ.
2. Розробити технологію виготовлення та технологію ізоляції поглинаючих горизонтів промивальної рідини ТПКМ.
3. Теоретично й експериментально дослідити режимні параметри технології виготовлення та технології ізоляції поглинаючих горизонтів промивальної рідини ТПКМ.
4. Розробити технологічний регламент ізоляції поглинаючих горизонтів бурових свердловин ТПКМ.
5. Виконати дослідно-промислову перевірку працездатності розробленої технології ізоляції поглинаючих горизонтів бурових свердловин ТПКМ.



## РОЗДІЛ 2

### РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ ТАМПОНАЖНОГО ТЕРМОПЛАСТИЧНОГО КОМПОЗИЦІЙНОГО МАТЕРІАЛУ

#### 2.1 Вибір і обґрунтування тампонажного термопластичного матеріалу

З метою усунення недоліків, властивих традиційним технологіям за основу тампонажного термопластичного матеріалу пропонується використання найчастіше зустрічаємого термопластичного побутового відходу – вторинного ПЕТ. Згідно статистичних даних його кількість у загальному обсязі відходів становить 20 – 25 % [118]. Основною перевагою термопластичних матеріалів є їх здатність багаторазово розм'якшуватися при нагріванні та тверднути при охолодженні, а також не розчинятися у водному середовищі [119].

##### 2.1.1 Передумови застосування поліетилентерефталату як тампонажного термопластичного матеріалу

На сьогоднішній день відома велика кількість різновидів термопластичних матеріалів. На наш, погляд найбільш перспективним тампонажним матеріалом є вторинний ПЕТ. Вперше ПЕТ був отриманий в 1941 року фахівцями «British Calico Printers» (Англія) у вигляді синтетичного волокна. До середини 60-х років ПЕТ використовували для створення текстильних волокон. Після стали використовувати для виготовлення пакувальної плівки. А на початку 70-х років у компанії «DuPont» на світ з'явилася перша ПЕТ-пляшка [118].

Вартість ПЕТ на світовому ринку знижується через збільшення річних обсягів його виробництва, і у низці випадків він коштує дешевше, ніж бітум і цемент. З ПЕТ в світі випускаються близько 65 млн тонн різної продукції. Сві-

товий ринок ПЕТ у даний час переживає етап стабільного зростання виробництва і переробки (рис. 2.1). В основному даний полімер випускається в двох товарних видах: поліефірні нитки і волокна та пляшковий (харчовий) поліетилен-терефталат [120].

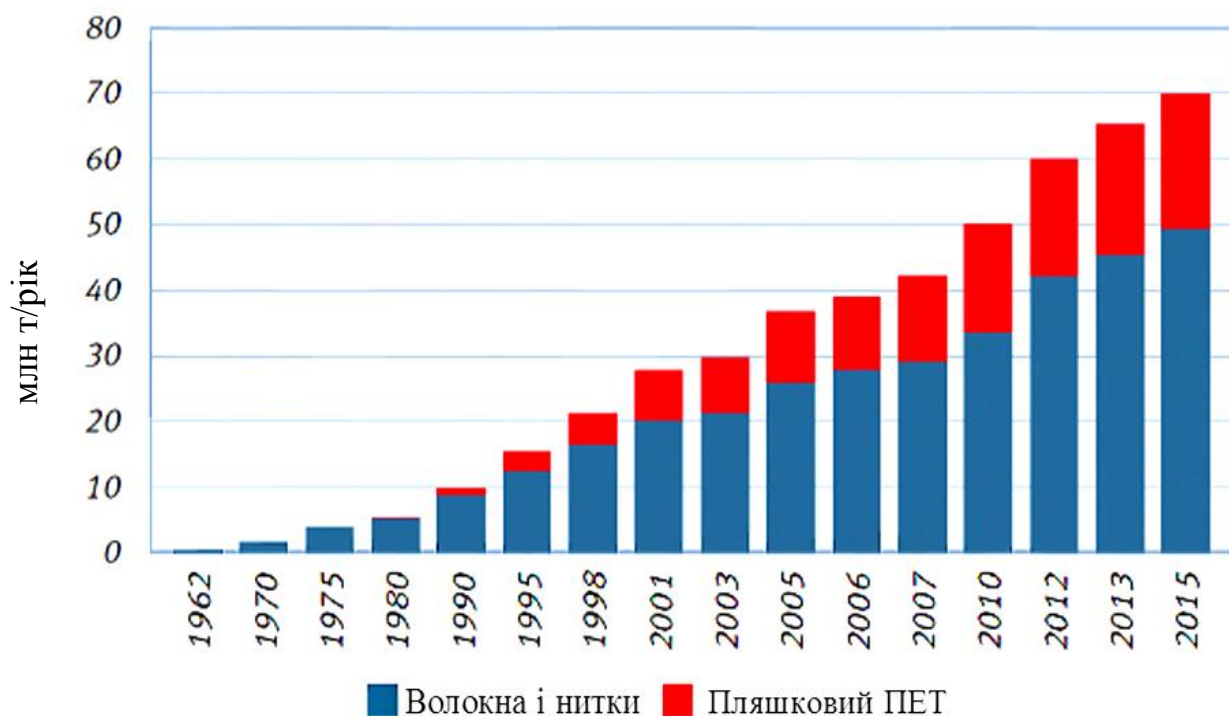


Рисунок 2.1 – Динаміка виробництва ПЕТ у світі в 1962–2015 рр.

Сумарний обсяг світового випуску у 2015 року склав 70 млн т (нитки і волокна – 49,3 млн т, харчові марки – 20,6 млн т). У 2016 року випуск ПЕТ для пляшок у світі досягнув 21,5 млн т (кількість пляшок перевищила 550 млрд шт.); виробництво поліефірних штапельних волокон – 16 млн т; ниток – 34 млн т [121] – [123].

Експерти відзначають середній зріст виробництва ПЕТ від 4 % до 7 % на рік (рис. 2.2). При цьому завантаження існуючих світових потужностей для випуску поліефірних волокон і ниток оцінюється на рівні 72–75 %, а для пляшкового ПЕТ становить близько 80 % [120], [121], [124–127].

Головним імпортером ПЕТ є Китай, частка якого в світовому виробництві поліефірних волокон і ниток становить близько 70 % [126], [127].

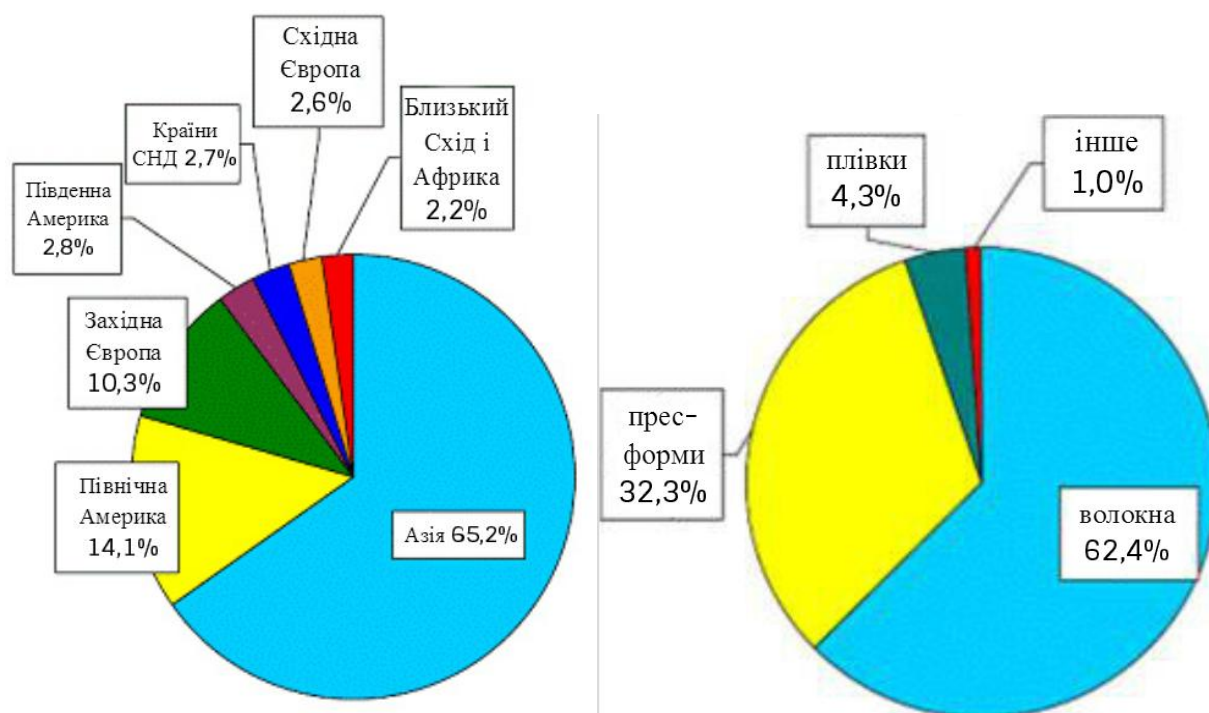


Рисунок 2.2 – Світова структура споживання ПЕТ

До 2019 року прогнозується динаміка світового споживання ПЕТ харчового призначення (в основному для виробництва пляшок) в районі 5 % на рік. А це означає, що сумарне споживання високомолекулярного харчового ПЕТ у 2019 році складе більше 25 млн т/рік.

Однією з важливих причин, які обумовлюють такий бурхливий розвиток виробництва ПЕТ, є те, що з усіх видів синтетичних полімерів його виробництво є екологічно чистим, тому що єдиним побічним продуктом процесу його отримання є реакційна вода. Чистота і безпека ПЕТ-тари підтверджена провідними дослідницькими центрами США, Німеччини, Італії, Росії, Казахстану, Франції та ін. [119].

Велика кількість виробництва ПЕТ в Америці, Європі, Китаї та Японії розташовані в межах великих промислових міст (Франкфурт-на-Майні, Купер-Рівер, Чарлзстоун, Роттердам, Шанхай, Барселона, Івакуні, Твер і т.д.), що свідчить про практично відсутній або мінімальний вплив на екологію навколишнього середовища [122].

Основні стадії процесу синтезу ПЕТ проводяться в вакуумі, в зв'язку з

чим емісія в навколишнє середовище практично відсутня. Стоки і відходи мінімальні.

З огляду на те, що для повного розкладання однієї пластикової пляшки потрібно близько 300 років, на сьогоднішній день не знищення та захоронення, а переробка відходів є головним завданням у вирішенні екологічних проблем [128].

В Європі вторинна переробка ПЕТ–пляшок поставлена на державну основу. Для країн СНД утилізація використаної ПЕТ–тари є екологічною проблемою. В Англії на сьогоднішній день переробляється 70 % ПЕТ–пляшок, у Німеччині – 80–85 %, у Швеції – 90–95 % [129].

Відходи ПЕТ відносяться до 5 класу токсичності (найбезпечніші). При їх спалюванні не виділяється діоксин, оскільки ПЕТ не містить хлору. А токсичність ПЕТ при спалюванні, за даними японських дослідників, ідентична спалюванню дров [130]. Упаковка з ПЕТ, якщо розглядати повний цикл її виробництва і використання, більш екологічна і безпечна, ніж скла й алюмінію. Її виробництво (табл. 2.1) менш енергоємне, дає меншу кількість відходів та істотне зменшення виділення парникових газів [131].

Таблиця 2.1 – Загальна кількість ресурсів, необхідних або отриманих в результаті переробки упаковки безалкогольних напоїв

Упаковка (з розрахунку на 2835 л)	Енергія для переробки, МДж	Тверді відходи		Парникові газы (еквівалент CO <sub>2</sub> ), кг
		вага, кг	об'єм, м <sup>3</sup>	
ПЕТ–пляшка	11610	137	0,512	0,510
Алюмінієва банка	16880	347,9	0,726	1,255
Скляна пляшка	28060	2022	1,636	2,199

Ціна на вторинний ПЕТ досягає в низці країн 70–80 % від вартості первинного полімеру. Останніми роками в світі переробляється вторинного ПЕТ більше ніж 9 млн т [132]–[136]. З вторинного ПЕТ на сьогоднішній день отри-

мують [118]: тару; штапельне волокно; будівельні панелі (легкі конструкції); геосинтетику; армовані скловолокном ливарні вироби; CD і DVD – диски; килимові вироби; обв'язувальну стрічку; аморфні листи; покрівельні матеріали; синтетичну черепицю і багато іншого. Особливе місце займає виготовлення будівельних матеріалів [137].

У Росії розроблена технологія отримання різних композиційних матеріалів на основі вторинного поліетилентерефталату з різними наповнювачами (деревна тирса, відсів гравійного виробництва, склобій, пилоподібна зола ТЕЦ). Експлуатаційні властивості таких композитів [138] дозволяють виготовляти з них такі вироби як покрівельну черепицю, тротуарну плитку, листові матеріали тощо.

### **2.1.2 Аналіз фізико-механічних властивостей поліетилентерефталату як основи тампонажного термопластичного матеріалу**

Поліетилентерефталат є синтетичним лінійним термопластичним полімером, що належить до класу поліефірів. ПЕТ є продуктом поліконденсації терефталевої кислоти  $(\text{OH})-(\text{CO})-\text{C}_6\text{H}_4-(\text{CO})-(\text{OH})$  і моноетиленгліколю  $(\text{OH})-\text{C}_2\text{H}_4-(\text{OH})$ . При швидкому охолодженні ПЕТ аморфний, при повільному – кристалічний. Аморфний поліетилентерефталат – твердий прозорий матеріал, кристалічний – твердий непрозорий, безбарвний. Ступінь кристалічності може бути відрегульована відпалом при деякій температурі між температурою склування і температурою плавлення. Товарний поліетилентерефталат випускається зазвичай у вигляді грануляту з розміром гранул 2–4 мм [139], [140].

Поліетилентерефталат має високу механічну міцність (табл. 2.2) і ударостійкість, стійкість до стирання і багаторазовим деформаціям при розтягуванні та вигині, зберігає свою високу ударостійкість та характеристики міцності в робочому діапазоні температур від  $-40\text{ }^\circ\text{C}$  до  $+60\text{ }^\circ\text{C}$  [141]–[143]. ПЕТ відрізняється низьким коефіцієнтом тертя і низькою гігроскопічністю. Загальний діапазон робочих температур виробів з поліетилентерефталату від  $-60\text{ }^\circ\text{C}$  до  $+170\text{ }^\circ\text{C}$ .

Таблиця 2.2 – Фізичні властивості поліетилентерефталату

Властивість	Одиниця виміру	Значення
Щільність поліетилентерефталату:		
аморфного	г/см <sup>3</sup>	1,33
кристалічного	г/см <sup>3</sup>	1,45
аморфно-кристалічного	г/см <sup>3</sup>	1,38–1,40
Руйнівна напруга при:		
розтягненні	МПа	172
вигині	МПа	50–70
стисненні	МПа	80–120
Модуль пружності при розтягуванні	МПа	1,41·10 <sup>4</sup>
Відносне подовження при розриві	%	12–55
Ударна в'язкість	кДж/м <sup>2</sup>	30
Твердість по Брінеллю	МПа	100–120
Водопоглинання за 24 год	%	0,3
Температура плавлення	°С	255–265
Температура розм'якшення	°С	245–248
Температура склування	°С	70–80
Температура розкладання	°С	350
Коефіцієнт теплового розширення		6,55·10 <sup>-4</sup>
Теплопровідність	Вт/(м·К)	0,14
Морозостійкість	°С	–50
Теплостійкість по Мартенсу	°С	135–145
Діелектрична проникність при 10 <sup>6</sup> Гц		3,1
Електрична міцність	МВ/м	140–180

ПЕТ – хороший діелектрик, електричні властивості поліетилентерефталату при температурах до 180 °С, навіть у присутності вологи, змінюються не суттєво. В умовах агресивних середовищ ПЕТ має високу хімічну стійкість до кислот, лугів, солей, спиртів, парафіну, мінеральних масел, бензину, жирів, ефіру. ПЕТ має підвищену стійкість до дії водяної пари [138], [141], [142], [144].

У ПЕТ високий ступінь кристалічності, про що свідчить яскраво виражений пік плавлення на рис. 2.3. Так, площа піку для чистого ПЕТ становить 2,76 кДж/°С, що відповідає ступеню кристалічності 40 % і вимагає певних витрат енергії. Площа піку плавлення ПЕТ тим більше, чим вище сама теплота плавлення.

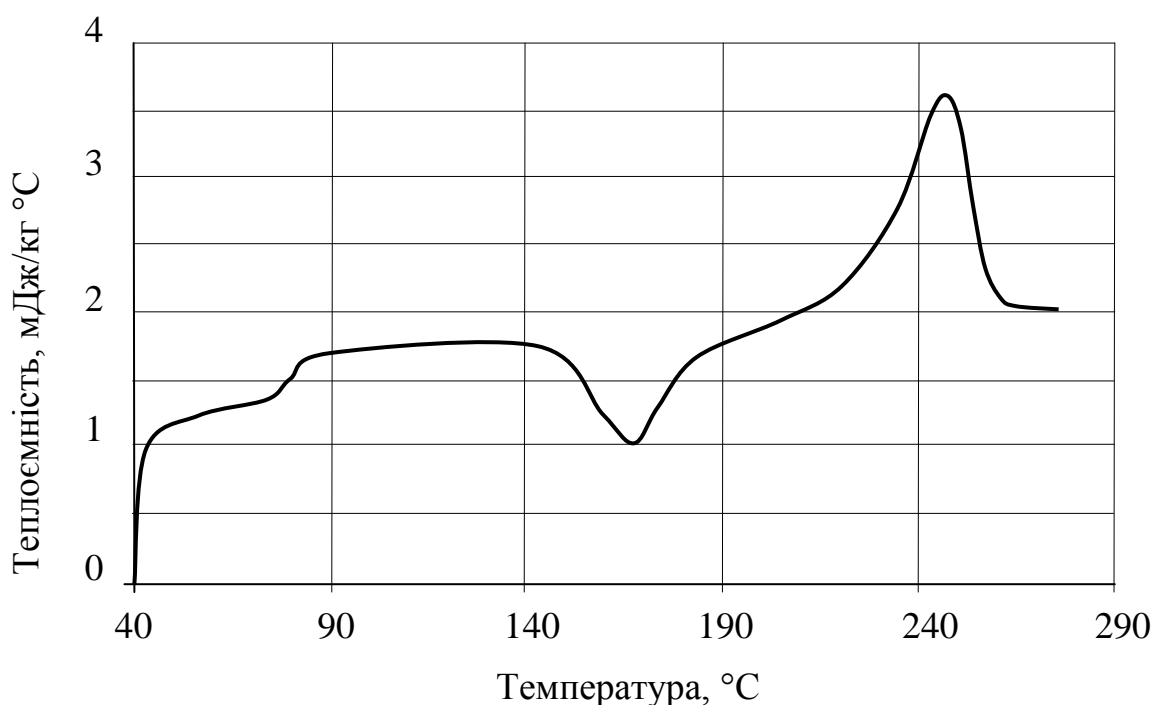


Рисунок 2.3 – Залежність теплоємності ПЕТ від температури [141]

Характер взаємодії окремих полімерів у сумішах оцінюється зміною їх щільності.

Щільність ПЕТ і його зміна залежно від температури наведені на рис. 2.4. Крім того, значення щільності сумішей полімерів дозволяють визначити технологічні та конструктивні параметри пластмасопереробного обладнання.

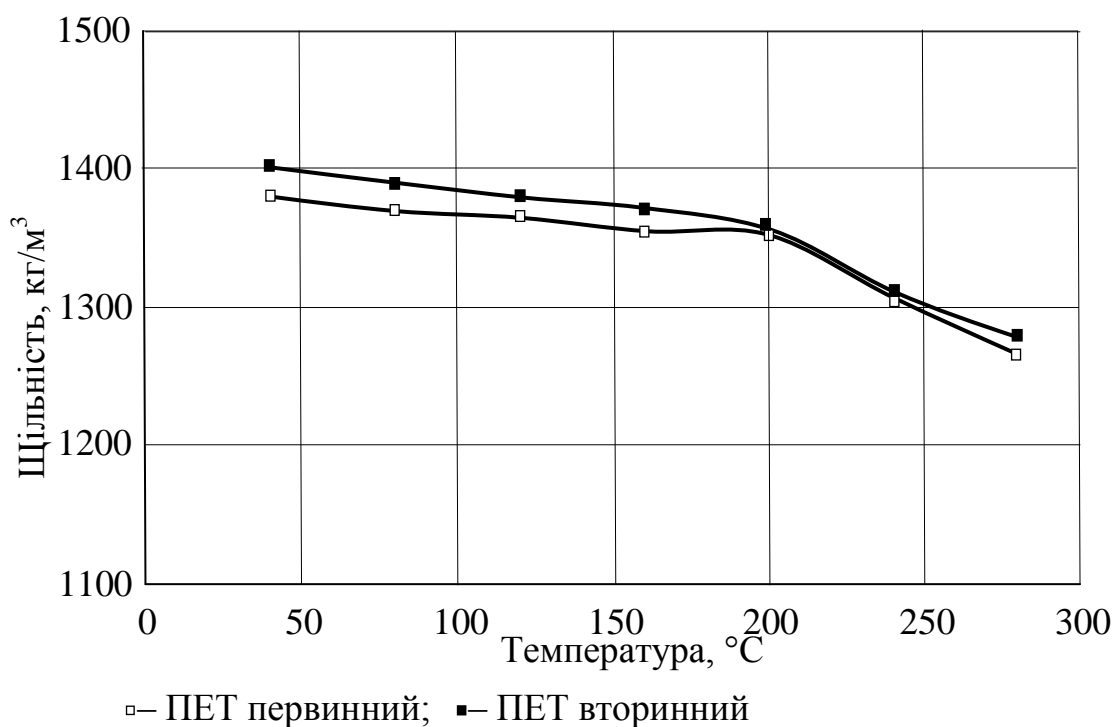


Рисунок 2.4 – Залежність щільності від температури ПЕТ [142]

Інтерес представляє зміна в'язкості розплаву залежно від температури його нагріву. На рис. 2.5 і 2.6 наведено дані зміни динамічної в'язкості.

З рис. 2.5 видно, що чим менше гріється полімер, тим менше він руйнується. Тому час плавлення має бути мінімальним. У роботі [143] відзначається, що при повторній переробці ПЕТ знижуються в'язкість (рис. 2.6) та інші фізико-механічні властивості. У тому числі зменшуються і коефіцієнти лінійного розширення.

Термодеструкція поліетилентерефталату відбувається в температурному діапазоні 290–310 °C. Деструкція відбувається статистично уздовж полімерного ланцюга. Основними леткими продуктами є терефталева кислота, оцтовий альдегід і монооксид вуглецю. При 900 °C генерується велика кількість різноманітних вуглеводнів. В основному леткі продукти складаються з діоксиду вуглецю, монооксиду вуглецю і метану [145], [146].

Для підвищення термо-, світло-, вогнестійкості, для зміни кольору, фрикційних та інших властивостей до поліетилентерефталату вводять різні домішки. Для отримання необхідних властивостей використовують також методи



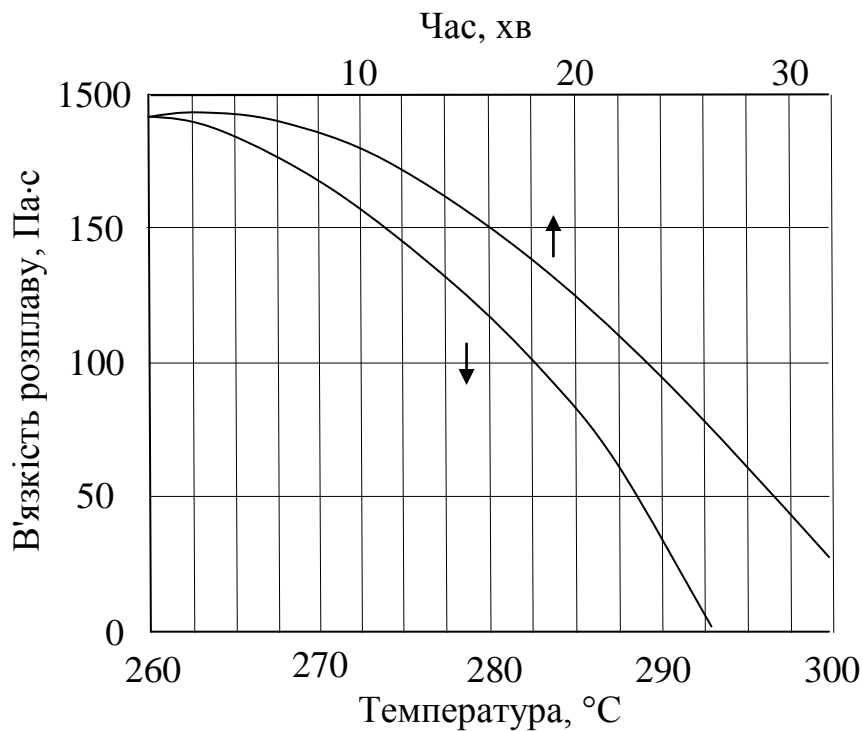
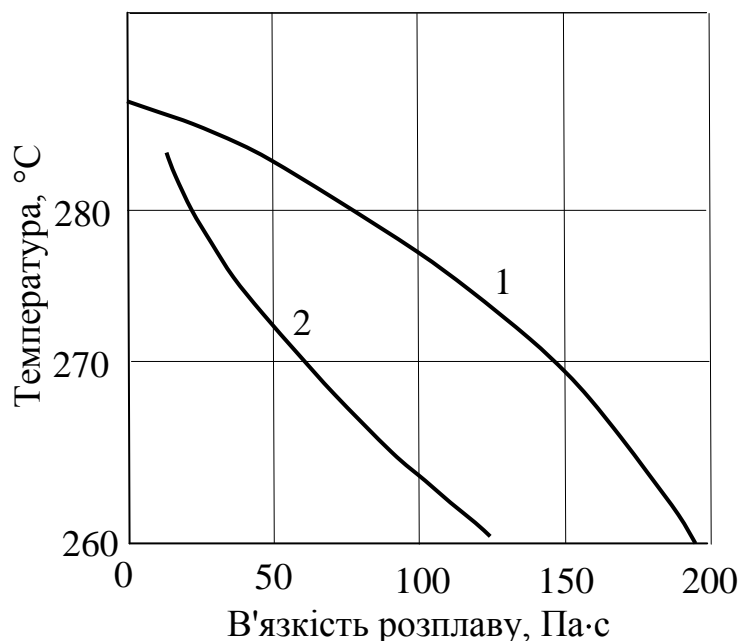


Рисунок 2.5 – Зміна в'язкості розплаву залежно від температури і часу його нагрівання [143]



1 – вихідний низькокристалічний ПЕТ; 2 – подрібнений вторинний ПЕТ

Рисунок 2.6 – Залежність в'язкості від температури розплаву [143]

хімічного модифікування різними дікарбонowymi кислотами і гліколями, які вводять при синтезі ПЕТ до реакційної суміші [146].

### 2.1.3 Обґрунтування необхідності введення до складу тампонажного термопластичного матеріалу наповнювача

При повному поглинанні промивальної рідини звичайні методи виявляються малоефективними або вимагають значних витрат коштів і часу. За даними [147], у виробничих об'єднаннях (ВО) «Татнефть», «Башнефть» і «Удмуртнефть», де широко використовують різні наповнювачі, витрати часу і коштів на ізоляцію однієї зони поглинання значно менше, ніж у ВО «Куйбишевнефть», «Оренбургнефть» і «Пермьнефть», де для ізоляційних робіт використовували в основному тампонажні розчини. Різде збільшення витрат наповнювачів дозволило істотно скоротити витрати часу на ізоляцію однієї зони поглинання і коштів на одну зону.

Таким чином, підвищення якості ізоляції поглинаючих горизонтів досягається введенням до тампонажного розчину наповнювачів, що підвищують закупорюючі властивості суміші. На сьогоднішній день знайшли застосування: азбест; асфальт; деревна кора; деревна стружка; сіно; м'яка стружка; гумова пульпа (крихта); бавовна; улюк; коробочки бавовни; горіхова шкаралупа; гранульована пластмаса; скловолокно; перліт; текстильне волокно; слюда; порізаний папір; льняне насіння; мох; пісок; гравій; вапняк; пластівці целюлози; пробка; виноградні кісточки; морські черепашки; подрібнені автопокришки; шлам гірських порід; шкіра «горох» і т.ін.

Основні вимоги до наповнювачів тампонажних розчинів вперше були сформульовані Івачевим Л.М.[23] й уточнені автором з урахуванням сучасних реалій. З огляду на це, наповнювачі, що застосовуються :

- повинні мати розміри і форму, що забезпечують надійне закупорювання поглинаючих каналів з різними величинами розкриття і напрямком простягання;

- не повинні змінювати своїх властивостей у транспортувальній рідині, утворювати кислі побічні продукти і токсичні речовини в поглинаючих каналах;

- не повинні руйнуватися під дією високих температур у поглинаючих каналах;
- для використання в розчинах різної щільності повинні мати щільність у межах 0,4–3,2 г/см<sup>3</sup>;
- повинні мати мінімальну абразивність;
- після заповнення каналів поглинання промивальною рідиною повинні протистояти знакозмінному тиску, не руйнуватись під дією максимальних динамічних навантажень при поглибленні свердловини і забезпечувати цементування колон без поглинань;
- не повинні змінювати своїх властивостей під впливом атмосферних умов.

З досвіду застосування вторинного ПЕТ у будівництві відомо про використання полімербетону, який є міцним і довговічним матеріалом. Фізико-механічні властивості якого наведено в табл. 2.3 [138]. Як в'язучий матеріалу полімербетону виступає вторинний ПЕТ, а наповнювачем – щебінь, характеристики якого не описуються.

Таблиця 2.3 – Фізико-механічні властивості будівельних матеріалів на основі ПЕТ залежно від матеріалу наповнювача [138]

Властивість	Значення і одиниця виміру
Модуль пружності (випробування на стиснення)	350 – 1000 МПа
Межа міцності на стиснення	50 – 75 МПа
Твердість (HRB)	60 – 80
Щільність	1,2 – 1,8 г/см <sup>3</sup>
Теплопровідність	0,13 – 0,21 Вт/К
Водопоглинання	не більше 0,6 %
Морозостійкість	більше 200 циклів

Таким чином, відповідно до запропонованих вимог до наповнювача, з урахуванням досвіду застосування ПЕТ у будівництві та специфіки ліквідації

поглинань бурового розчину в свердловинах, при проведенні подальших досліджень фізико–механічних властивостей термопластичного матеріалу як наповнювач рекомендується застосування гравію, мінеральної вати або їх суміші.

## **2.2 Лабораторні дослідження фізико–механічних властивостей тампонажного термопластичного композиційного матеріалу**

Метою лабораторних досліджень є обґрунтування складу і дослідження фізико–механічних властивостей розроблюваного тампонажного термопластичного композиційного матеріалу (ТПКМ) на основі поліетилентерефталату. Для досягнення поставленої мети вирішені такі завдання:

- визначено фізико–механічні властивості поліетилентерефталату і поліетилентерефталату з добавками наповнювачів, полівінілхлориду та поліетилену;
- надано оцінку впливу добавок на властивості ТПКМ на основі вторинного ПЕТ;
- обґрунтовано оптимальну рецептуру ТПКМ на основі вторинного ПЕТ.

### **2.2.1 Методика лабораторних досліджень фізико–механічних властивостей тампонажного термопластичного композиційного матеріалу**

Об'єктом лабораторних досліджень є ТПКМ на основі вторинного ПЕТ з добавками наповнювачів і пластифікаторів. Вихідні матеріали для проведення лабораторних досліджень:

- вторинний ПЕТ;
- вторинний полівінілхлорид;
- вторинний поліетилен;
- гравій;
- вторинна мінеральна вата.

Лабораторні дослідження проводилися в лабораторіях кафедр техніки розвідки РКК (ТРРКК) та будівництва, геотехніки і геомеханіки (БГГ) НТУ «Дніпровська політехніка».

Приготування ТПКМ полягає в нагріванні, плавленні та перемішуванні до отримання однорідної маси його компонентів. Після чого розплав формувався в ємності, призначені для проведення відповідних досліджень.

При дослідженнях визначалися такі показники фізико-механічних властивостей вторинного ПЕТ з добавками наповнювачів і пластифікаторів:

- межа міцності на одновісне стиснення, коефіцієнт абразивності, стирання, проникність тампонажного каменю;
- щільність;
- температура плавлення вторинного ПЕТ;
- розтікання розплаву ТПКМ.

При проведенні лабораторних робіт, для оптимізації кількості проб ТПКМ, які підлягають дослідженню, за критерій використана межа міцності на одновісне стиснення.

При дослідженні механічних властивостей як базу для порівняння використовували портландцемент марки М-400 виробництва криворізького цементного заводу, з введенням до складу цементного розчину наповнювача. Співвідношення В/Ц=0,4. Кількість наповнювача брали з розрахунку 1:3 по відношенню до маси цементу. Як наповнювач застосовувався відсів гравію кар'єру «Просяне» розміром менше 0,5 мм. У дослідженнях брали участь зразки віком понад 28 діб.

Межу міцності на одновісне стиснення вторинного ПЕТ і композиту на його основі визначали в лабораторії кафедри БГГ на напівавтоматичному гідравлічному пресі серії КД з електронним калібруванням і фіксацією результату, на зразках правильної форми згідно ГОСТ 21153.2-82. Для визначення межі міцності приймали не менше 5 зразків.

Властивості щільності ТПКМ визначено згідно ГОСТ 5180-82.

Стирання ТПКМ визначали на установці ЛКИ-3 на зразках правильної

форми згідно ГОСТ 13087–81.

Коефіцієнт абразивності ТПКМ визначали на приладі ПОАП–2М, згідно методики, розробленої в ЦНДГРІ Любімовим Н.І. і ін. [148]–[150].

Температуру плавлення і розплаву ТПКМ фіксували і контролювали за допомогою термопар типу К і професійного цифрового мультиметра – типу УТ-33-С.

Вимірювання температури плавлення і контроль температури розплаву ТПКМ визначали шляхом контакту термопари з розплавом. При цьому візуально фіксувався початок зміни фазового стану ТПКМ і його температура розплаву.

Розтікання розплаву ТПКМ визначали згідно [151] на модернізованому конусі АЗНДІ (рис. 2.7), що складається з тестера 1, лабораторного столика зі шкалою 2, джерела тепла 3, конуса 4 і термопари 5.

Матеріал лабораторного столика – лист чорного металу товщиною 3 мм.

Розтікання визначали для розплаву ТПКМ з температурою: 300 °С; 350 °С; 400 °С. При цьому лабораторний столик 2 у центральній його частині нагрівали відповідно до 300 °С, 350 °С, 400 °С. Після досягнення зазначених температур, перед проведенням досліджень, здійснювали контрольне визначення температури периферії лабораторного стола 2 у відмітках 12, 16 і 20 см.

Проникність тампонажного каменю визначали при фільтрації рідини через термостатований зразок, що знаходиться в умовах всебічного стиснення. Для цих досліджень було виготовлено стенд, схема якого наведена на рис. 2.8.

Для проведення досліджень фільтраційних властивостей тампонажного каменю зразок 7 поміщали у внутрішню порожнину манжети 6, розміщену у гідроциліндрі 4, який встановлено на лабораторному столі 1.

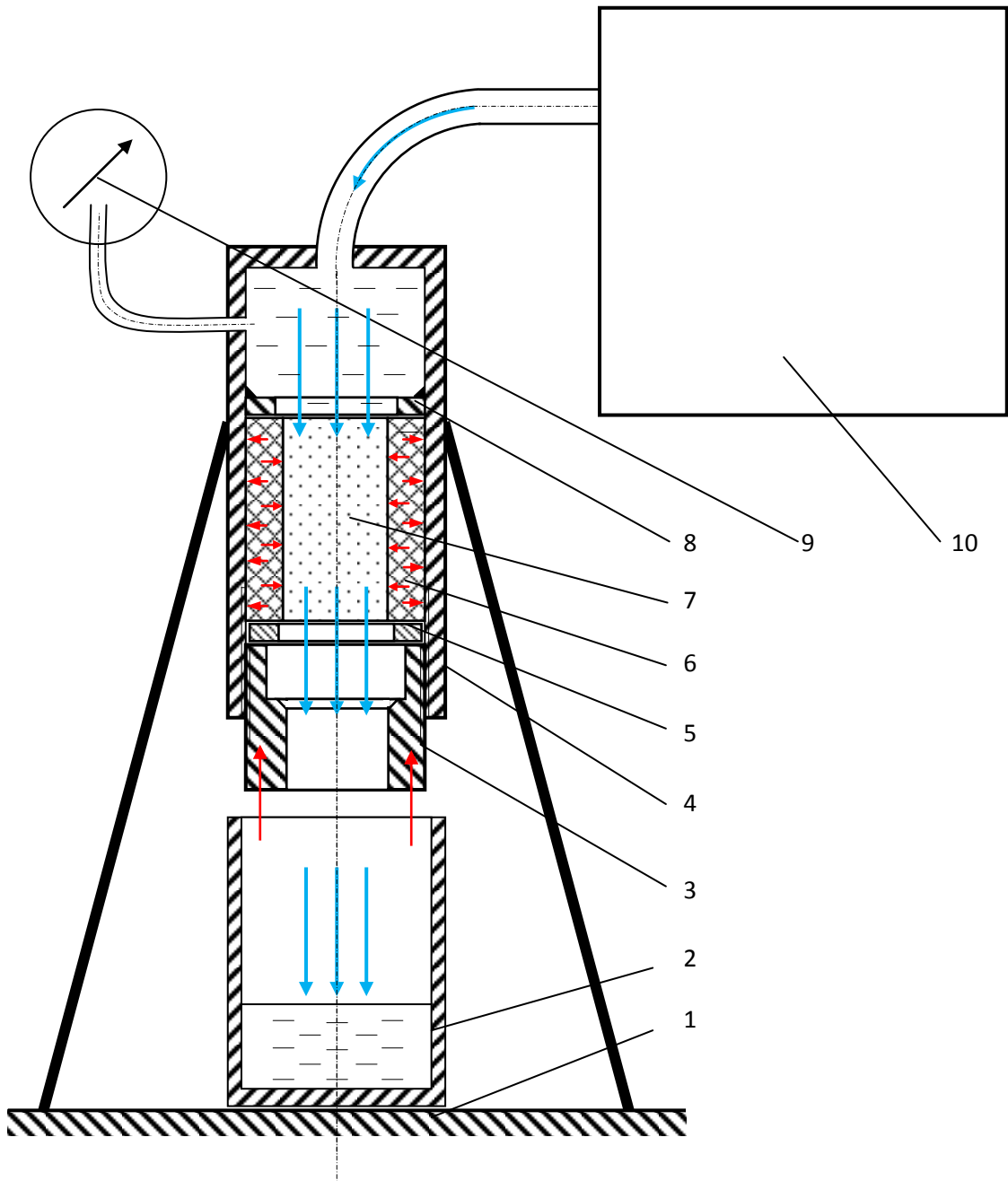
Манжета 6 своєю верхньою торцевою поверхнею впирається в стоп-кільце 8, а нижня притискається кільцем 5, на яку одночасно стискаючи впливає порожниста гайка 3.

Насос високого тиску 10 створює та підтримує постійним у верхній частині гідроциліндра 4 надлишковий тиск, що фіксується манометром 9.



а – вид збоку; б – вид зверху

Рисунок 2.7 – Визначення розтікання розплаву ТПКМ



1 – лабораторний стіл; 2 – мірна ємність; 3 – гайка; 4 – гідроциліндр;  
 5 – кільце; 6 – манжета; 7 – зразок тампонажного каменю; 8 – стоп-кільце;  
 9 – манометр; 10 – насос високого тиску

Рисунок 2.8 – Схема стенда для визначення фільтраційних властивостей гірських порід



Потік флюїду змочує поверхню зразка тампонажного каменю 7, просочується і фільтрується скрізь зразок. Фільтрат, під дією сил гравітації, при атмосферному тиску стікає в мірну ємність 2, встановлену під гідроциліндром 4.

Дослідження одного зразка тривали добу при перепаді тиску 20 МПа.

Дані спостережень фіксували в робочому журналі з подальшою статистичною обробкою (додаток Б) і побудовою залежностей:

- межі міцності на одновісне стиснення від рецептури ТПКМ;
- межі міцності на одновісне стиснення від часу твердіння і набуття міцності тампонажних матеріалів;
- межі міцності на одновісне стиснення від кінцевої температури нагрівання перед формуванням ТПКМ;
- межі міцності на одновісне стиснення від виду і гранулометричного складу наповнювача ТПКМ;
- розтікання розплаву ТПКМ від температури нагріву робочої поверхні;
- розтікання розплаву від температури нагріву ТПКМ.
- проникності зразків ТПКМ за 24 год при перепаді тиску 20 МПа.

За результатами досліджень оформлялися відповідні акти (додаток В).

### **2.2.2 Результати лабораторних досліджень фізико-механічних властивостей тампонажного термопластичного композиційного матеріалу**

Як в'яжуча речовина у технології, що розробляється, виступає вторинний ПЕТ. Тому необхідно підтвердження принципової можливості його застосування як тампонажного матеріалу. Одним з критеріїв оцінки можливості застосування є визначення межі міцності на одновісне стиснення.

**Межа міцності на одновісне стиснення.** Для визначення межі міцності на одновісне стиснення виготовляли зразки правильної кубічної форми. З цією метою в розігріту на електроплиті ємність містився очищений від поліетиленових наліпок і полівінілхлоридних кришок вторинний ПЕТ. Після плавлення необхідної кількості ПЕТ його розплав розливали по формах (рис. 2.9). Кристалі-

зація й охолодження до кімнатної температури здійснювалася в повітряному середовищі.

При охолодженні зразків, що знаходилися в формах, на їх поверхні утворювалися радіальні глибокі тріщини. Після спроби їх вилучення з форм – зразки руйнувалися (рис. 2.9) [152]. У зламі зразків структура високопориста. Всім зразкам притаманне явище усадки, її розмір не перевищив 25 %.

На цій підставі були зроблені висновки про неможливість його застосування як тампонажного матеріалу тому з чистим вторинним ПЕТ роботи було припинено.



Рисунок 2.9 – Зовнішній вигляд зразка ПЕТ після кристалізації

З практики застосування вторинного ПЕТ у будівництві відомо, що він є основою полімерпіщаних композитів. З причини відсутності в літературних джерелах відомостей про дослідження і рецептуру композитів на його основі, з урахуванням специфіки збору і переробки побутових відходів, а також накопиченого досвіду застосування технологій ліквідації геологічних ускладнень у бурових свердловинах автором прийнято:

- з метою здешевлення переробки вторинний ПЕТ не піддавати попередній підготовці, тобто не сортувати, не мити, не видаляти етикетки, кришок, розпорошення і т.ін .;

- для зниження ймовірності утворення порового простору, а також підвищення механічних характеристик ПЕТ використовувати тільки як в'язуче для наповнювача;

- як наповнювач застосовувати доступні та недорогі складові: гранульовані – гравій; волокнисті – скловата; комбінації на їх основі;

- гранульований наповнювач має крупність: менше 0,5 мм; 0,5–1,0 мм; 1,0–3,0, мм; 3,0–5,0 мм;

- масова частка гранульованого наповнювача, який вводиться до розплаву вторинного ПЕТ становить: 1:1; 1:2; 1:3; 1:4, а масова частка волокнистого – 1:0,5; 1:1; 1:2.

Дослідження механічних властивостей ТПКМ умовно можна поділити на три етапи. На першому етапі досліджувався ТПКМ з гранульованим наповнювачем, на другому – з волокнистим, а на третьому – їх комбінація.

У першу чергу цікавили зміни механічних характеристик залежно від співвідношення гранульованого наповнювача. Узагальнені результати досліджень межі міцності на одновісне стиснення і результати їх статистичних досліджень наведено в додатку Б.

На рис. 2.10 зображено середні значення межі міцності зразків на одновісне стиснення, розплав яких не нагрівався вище 300 °С.

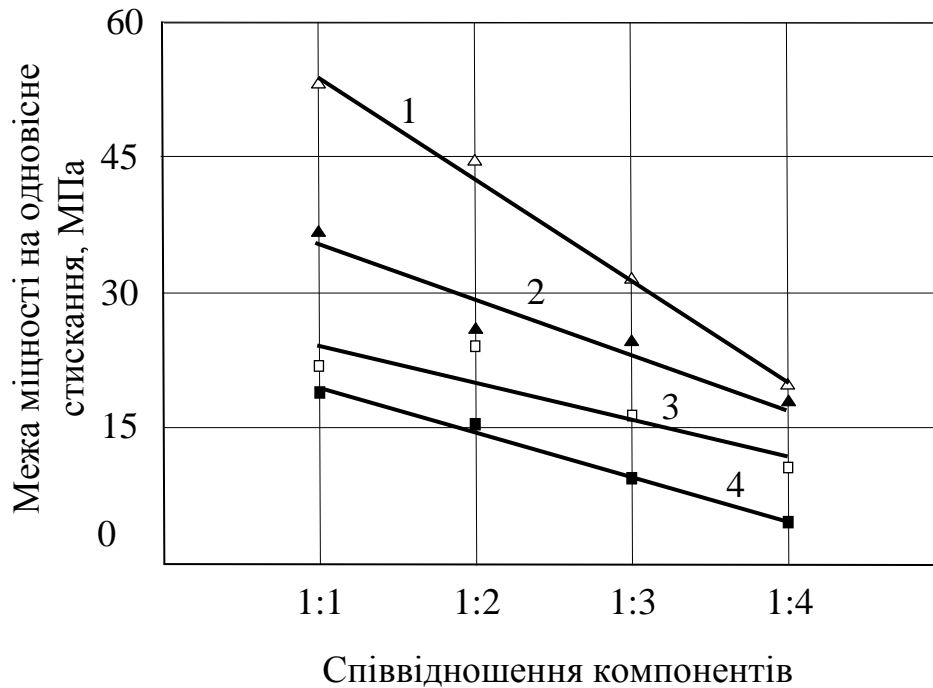
З рис. 2.10. видно, що найкращі механічні (міцносні) властивості має ТПКМ з гравієм, крупність якого не перевищує 0,5 мм. Так, у порівнянні ТПКМ з гравієм, крупністю:

- 0,5–1,0 мм перевищує на 32 % при співвідношенні компонентів 1:1 і на 8 % при 1:4;

- 1–3 мм перевищує на 61 % при співвідношенні компонентів 1:1 і на 56 % при 1:4;

- 3–5 мм перевищує на 64 % при співвідношенні компонентів 1:1 і на 77 % при 1:2.

Цей факт можна пояснити більш компактною упаковкою гранул композиту, фотографії яких наведено на рис. 2.11.



△ – <0,5 мм; ▲ – 0,5–1,0 мм; ◻ – 1,0–3,0 мм; ■ – 3,0–5,0 мм

Рисунок 2.10 – Залежність середньої межі міцності на одновісне стиснення від вмісту та співвідношення компонентів

На рис. 2.11 показано зовнішній вигляд зразків ТПКМ із співвідношенням компонентів 1:3, але з різною крупністю. У першому випадку (рис. 2.11,а) крупність менше 0,5 мм, у другому (рис. 2.11,б) – 1,0–1,5 мм.

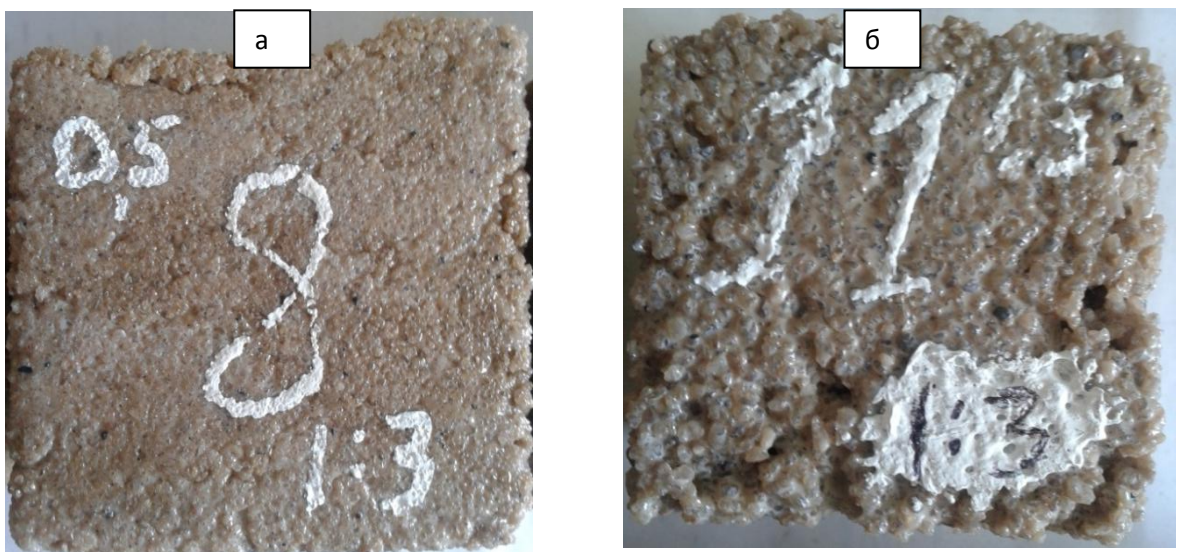
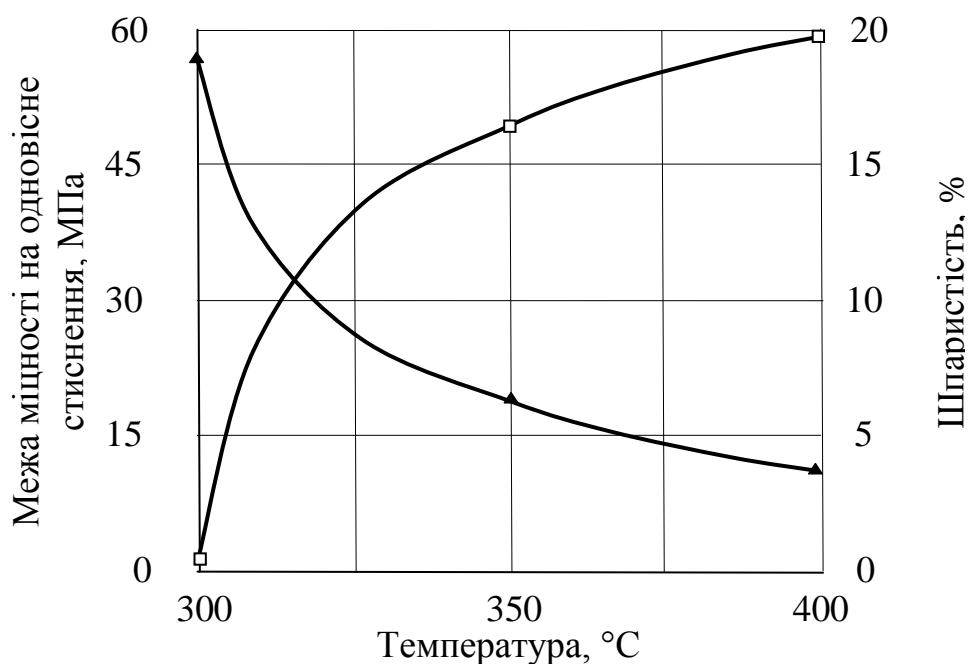


Рисунок 2.11 – Щільність упаковки гранул ТПКМ при співвідношенні компонентів 1:3 і крупності менше 0,5 мм (а) і 1,0–1,5 мм (б)

З урахуванням наведених результатів на рис. 2.10, автором прийнято рішення, з метою оптимізації досліджень механічних властивостей, надалі досліджувати фізико-механічні властивості ТПКМ тільки з крупністю гравію менше 0,5 мм.

З літературних джерел відомо, що при підвищенні температури вище 300 °С відбувається часткове розкладання ПЕТ з вигоранням (виділенням) легких речовин. Тому певний інтерес становить вплив температури нагріву розплаву ТПКМ перед формуванням на його механічні властивості (рис. 2.12).



▲ – міцність зразка; □ – шпаристість зразка

Рисунок 2.12 – Залежність середньої межі міцності на одновісне стиснення від температури нагріву ТПКМ у співвідношенні компонентів 1:1 і крупністю гравію менше 0,5 мм

У ході дослідження впливу температури нагріву розплаву (рис. 2.12) встановлено, що підвищення температури до 350 °С призводить до зниження міцності на 63 %, а при 400 °С – до 80 %, а також відбувається збільшення усадки від 2 % при 300 °С і до 20 % при 400 °С. Крім того, тампонажний камінь при збільшенні температури розплаву змінює колір, з бірюзового при температурі розплаву до 300 °С на світло-коричневий і коричневий – при підвищенні

температури до 400 °С. Тому в подальших дослідженнях використовували зразки, які виготовляли в діапазоні температур від 250 °С до 300 °С.

Застосування термопластичних матеріалів передбачає їх багаторазове, повторне плавлення, наприклад для переробки. Тому автором виконано дослідження впливу кількості повторюваних плавок на характеристики міцності ТПКМ. Результати досліджень наведено на рис 2.13.

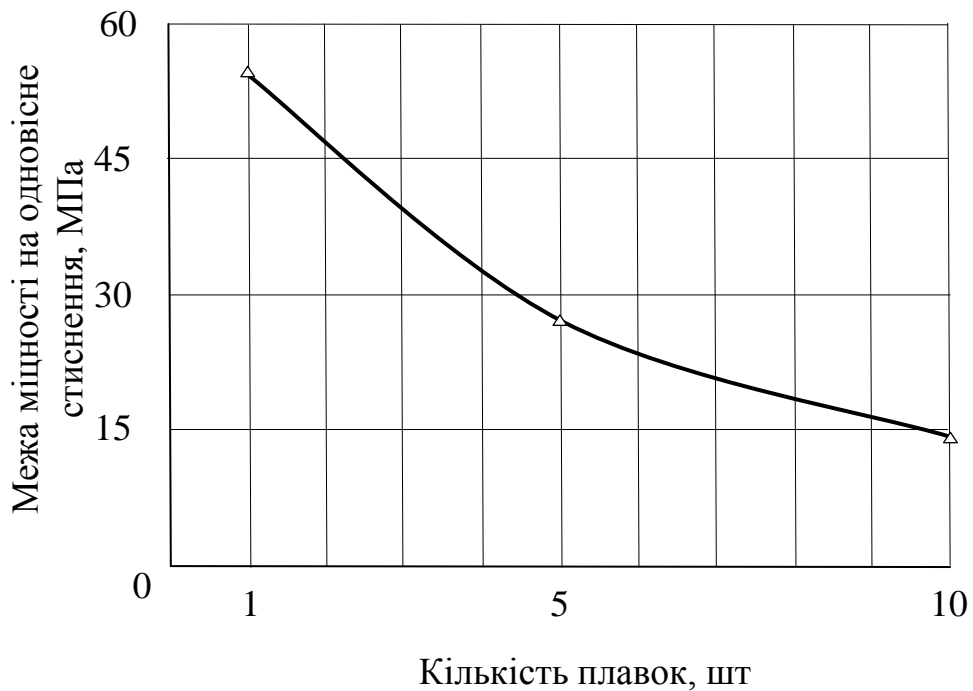


Рисунок 2.13 – Залежність середньої межі міцності на одновісне стиснення від кількості плавок ТПКМ при співвідношенні гранульованого наповнювача 1:1 і фракції менше 0,5 мм

З рис. 2.13 видно, що зі збільшенням кількості плавок міцність ТПКМ знижується на 49 % після п'яти плавок і на 73 % після 10. Після проведення другої та третьої плавок зниження міцності менш критично і становить відповідно 11 % і 24 %.

Певний інтерес викликає динаміка набору міцнісних властивостей ТПКМ. Для проведення даного виду досліджень вибрано композит з масовим співвідношенням компонентів 1:3. За базу порівняння прийнято цементний розчин (тампоажний камінь), отриманий з портландцементу марки М-400 виробництва криворізького цементного заводу, з введенням до його складу напов-

нювача з масовим співвідношенням компонентів 1:3.

Результати досліджень зображено на рис. 2.14. Дослідження тампонажного складу (тампонажного каменю) і ТПКМ проводили протягом 7 діб (168 год).

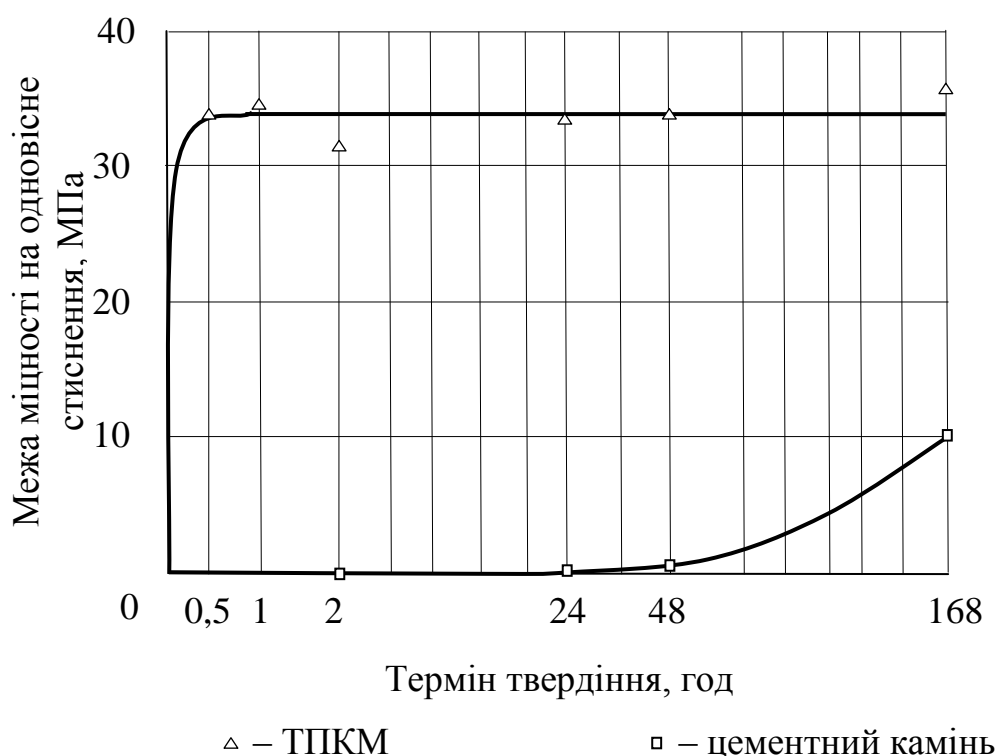


Рисунок 2.14 – Залежність середньої межі міцності на одновісне стиснення від часу твердіння ТПКМ і цементного розчину при вмісті гранульованого наповнювача в співвідношенні 1:3 крупністю гравію менше 0,5 мм

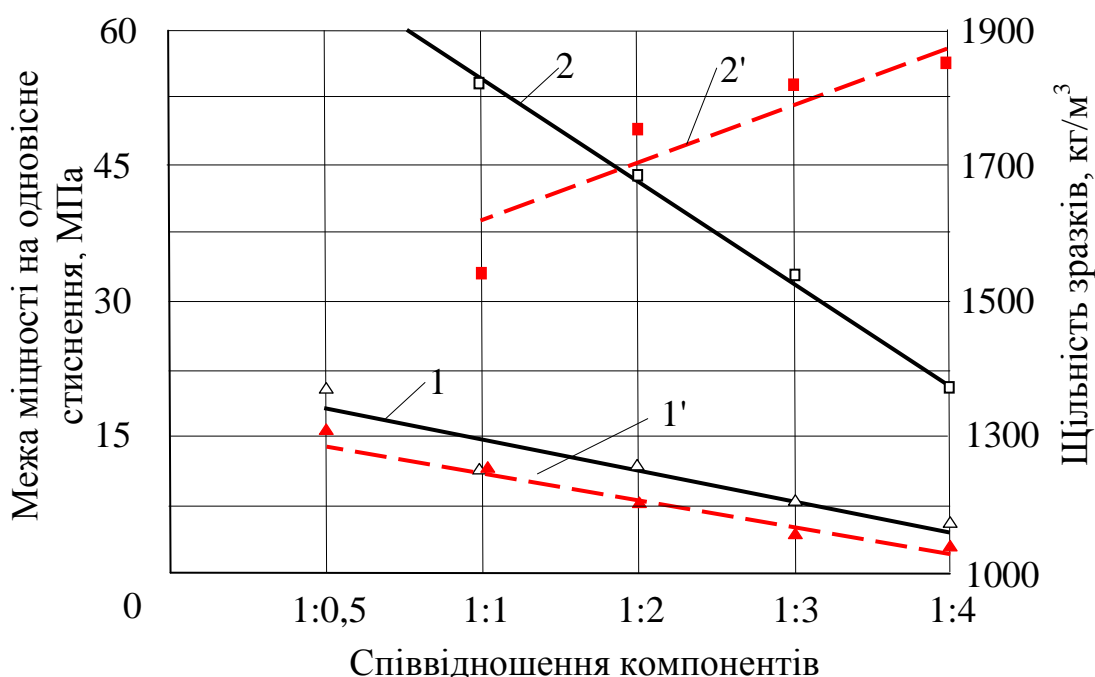
Виходячи з отриманих результатів досліджень, можна стверджувати, що:

– набір міцності тампонажного каменю на основі цементу марки М – 400 відбувається тривалий час. У перші кілька діб міцнісні характеристики відсутні. До кінця третьої доби межа міцності на одновісне стиснення склала приблизно 1 МПа, а до закінчення сьомої доби – склала 10 МПа;

– набір міцності ТПКМ відбувається стрімко. Після початку процесу формування периферійна область (в силу різниці температур по відношенню до форми) остигаючи, кристалізується і набирає міцнісні властивості. Зразки віком 10–15 хв мають практично кінцеву міцність. Але в силу високої температури поверхні (більш ніж 130 °С) і, виходячи з міркувань техніки безпеки, межа міц-

ності на одновісне стиснення ТПКМ проводилася для зразків, які досягли віку 0,5 год. ТПКМ віком 0,5 год має максимальну і незмінну в часі межу міцності на одновісне стиснення, яка дорівнює 33 МПа.

Крім гранульованих наповнювачів можуть бути застосовані волокнисті. Як волокнистий наповнювач була вибрана вторинна мінеральна вата. Результати досліджень механічних властивостей ТПКМ наведено на рис. 2.15.



1, 1' – волокнистий наповнювач; 2, 2' – гранульований наповнювач;

— — міцність зразка; - - - - щільність зразка

Рисунок 2.15 – Залежність середньої межі міцності на одновісне стиснення і щільності ТПКМ від вмісту наповнювача

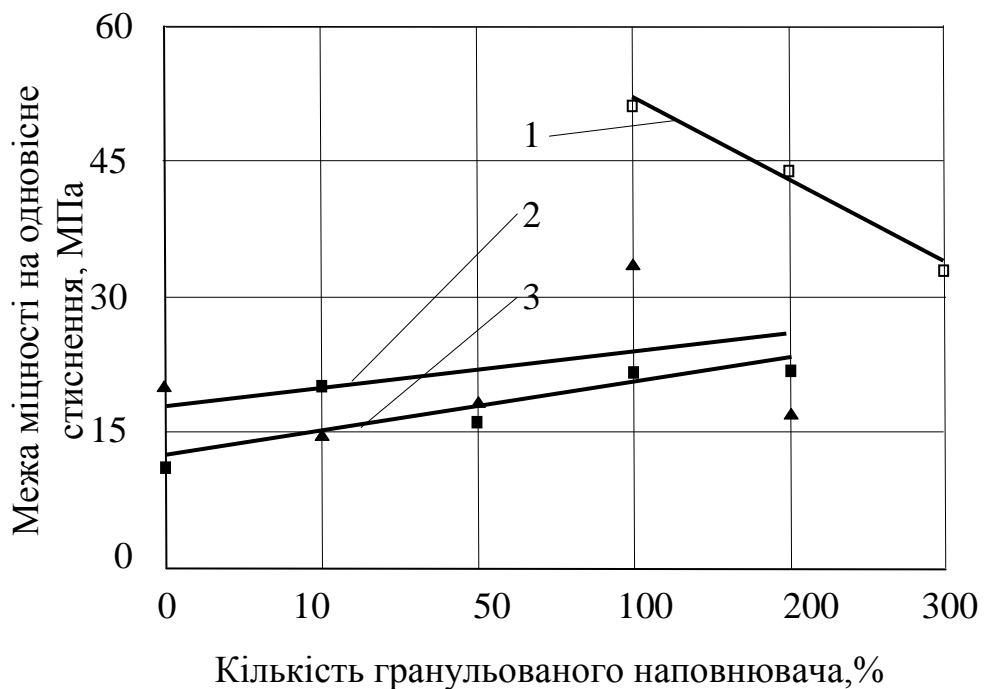
На рис 2.15 суцільною лінією показано результати визначення межі міцності на одновісне стиснення зразків ТПКМ і пунктирною лінією їх щільність при відповідному співвідношенні наповнювача. За базу порівняння вибрано ТПКМ з гранульованим наповнювачем крупністю менше 0,5 мм. Виходячи з наведених результатів, можна зробити висновки, що:

- зі збільшенням співвідношення волокнистого наповнювача властивості міцності ТПКМ знижуються з 19,7 МПа при співвідношенні компонентів 1:0,5 до 6,5 МПа при співвідношенні 1:2. Разом з цим і щільнісні властивості знижуються з 1310 кг/м<sup>3</sup> при співвідношенні 1:0,5 до 1150 кг/м<sup>3</sup> при 1:4;



- при застосуванні гранульованого наповнювача міцнісні властивості ТПКМ у 3,5 рази вище, ніж у волокнистого. Так, при співвідношенні компонентів 1:1 у першому випадку межа міцності складала 52,6 МПа, а в другому – 15 МПа. При збільшенні співвідношення наповнювача, як і в попередньому випадку, властивості міцності теж знижуються, але при співвідношенні 1:4 у 3,2 рази вище, ніж у волокнистого і склали 20,6 МПа.

З бурової практики відомо, що найкращими закупорюючими властивостями володіють тампонажні композиційні матеріали з комбінованими наповнювачами. Тому автором були проведені дослідження ТПКМ на основі ПЕТ з введенням до його складу волокнистого наповнювача в співвідношенні до в'язучого 1:0,5 і 1:1. При цьому співвідношення ПЕТ до гранульованому наповнювача змінювалося від 1:0,1 до 1:2 (рис. 2.16).



1 – ТПКМ з гранульованим наповнювачем; 2 – ТПКМ з волокнистим наповнювачем при співвідношенні 1:0,5; 3 – ТПКМ з волокнистим наповнювачем при співвідношенні 1:1

Рисунок 2.16 – Залежність середньої межі міцності на одновісне стиснення полімер–волокнисто–піщаного композиту від співвідношення наповнювача

Для порівняння, як і на з рис. 2.15, вибрано ТПКМ з гранульованим наповнювачем розміром менше 0,5 мм.

Як видно з рис. 2.16, міцнісні властивості полімер-волокнисто-піщаного композиту нижче міцності бази порівняння в 1,5–2,6 разів.

З метою оптимізації (обґрунтування) рецептури ТПКМ автором узагальнено результати досліджень міцності ТПКМ (табл. 2.4) [153].

Таблиця 2.4 – Порівняння міцнісних властивостей ТПКМ

Зразок	$\sigma$ , МПа	$\Delta\sigma_{сж}$ , МПа	$\pm\Delta\sigma_{сж}$ , %
1	2	3	4
Тампонажний камінь на цементній основі з гравієм, співвідношення 1: 3, віком 7 діб.	10	1	0
ПЕТ + гравій, співвідношення 1:1; $d < 0,5$ мм	<b>52,60</b>	<b>5,26</b>	<b>+426,00</b>
ПЕТ + гравій, співвідношення 1:2; $d < 0,5$ мм	<b>44,10</b>	<b>4,41</b>	<b>+341,00</b>
ПЕТ + гравій, співвідношення 1:3; $d < 0,5$ мм	<b>33,00</b>	<b>3,30</b>	<b>+230,00</b>
ПЕТ + гравій, співвідношення 1:4; $d < 0,5$ мм	<b>20,60</b>	<b>2,06</b>	<b>+106,00</b>
ПЕТ + гравій, співвідношення 1:1; $d = 0,5-1,0$ мм	<b>36,00</b>	<b>3,60</b>	<b>+260,00</b>
ПЕТ + гравій, співвідношення 1:2; $d = 0,5-1,0$ мм	<b>25,80</b>	<b>2,58</b>	<b>+158,00</b>
ПЕТ + гравій, співвідношення 1:3; $d = 0,5-1,0$ мм	<b>25,10</b>	<b>2,51</b>	<b>+151,00</b>
ПЕТ + гравій, співвідношення 1:4; $d = 0,5-1,0$ мм	<b>18,90</b>	<b>1,89</b>	<b>+89,00</b>
ПЕТ + гравій, співвідношення 1:1; $d = 1,0-3,0$ мм	<b>20,70</b>	<b>2,07</b>	<b>+107,00</b>
ПЕТ + гравій, співвідношення 1:2; $d = 1,0-3,0$ мм	<b>24,00</b>	<b>2,40</b>	<b>+140,00</b>
ПЕТ + гравій, співвідношення 1:3; $d = 1,0-3,0$ мм	<b>17,70</b>	<b>1,77</b>	<b>+77,00</b>
ПЕТ + гравій, співвідношення 1:4; $d = 1,0-3,0$ мм	9,20	0,92	-8,00
ПЕТ + гравій, співвідношення 1:1; $d = 3,0-5,0$ мм	<b>18,90</b>	<b>1,89</b>	<b>+89,00</b>
ПЕТ + гравій, співвідношення 1:2; $d = 3,0-5,0$ мм	<b>15,30</b>	<b>1,53</b>	<b>+53,00</b>
ПЕТ + гравій, співвідношення 1:3; $d = 3,0-5,0$ мм	9,40	0,94	-6,00
ПЕТ + гравій, співвідношення 1:4; $d = 3,0-5,0$ мм	4,70	0,47	-53,00
ПЕТ + мінвата, співвідношення 10:0,5	<b>19,70</b>	<b>1,97</b>	<b>+197,00</b>
ПЕТ + мінвата, співвідношення 10:1	<b>11,60</b>	<b>1,16</b>	<b>+16,00</b>

Продовження табл. 2.4

1	2	3	4
ПЕТ + мінвата, співвідношення 10:2	<b>12,10</b>	<b>1,21</b>	<b>+21,00</b>
ПЕТ + мінвата+гравій, співвідношення 10:0,5:1; $d < 0,5$ мм	<b>14,80</b>	<b>1,48</b>	<b>+48,00</b>
ПЕТ + мінвата+гравій, співвідношення 10:0,5:5; $d < 0,5$ мм	<b>18,00</b>	<b>1,80</b>	<b>+80,00</b>
ПЕТ + мінвата+гравій, співвідношення 10:0,5:10; $d < 0,5$ мм	<b>34,90</b>	<b>3,49</b>	<b>+249,00</b>
ПЕТ + мінвата+гравій, співвідношення 10:0,5:20; $d < 0,5$ мм	<b>17,90</b>	<b>1,79</b>	<b>+79,00</b>
ПЕТ + мінвата+гравій, співвідношення 10:1:1; $d < 0,5$ мм	<b>19,20</b>	<b>1,92</b>	<b>+92,00</b>
ПЕТ + мінвата+гравій, співвідношення 10:1:5; $d < 0,5$ мм	<b>16,40</b>	<b>1,64</b>	<b>+64,00</b>
ПЕТ + мінвата+гравій, співвідношення 10:1:10; $d < 0,5$ мм	<b>20,20</b>	<b>2,02</b>	<b>+102,00</b>
ПЕТ + мінвата+гравій, співвідношення 10:1:20; $d < 0,5$ мм	<b>20,30</b>	<b>2,03</b>	<b>+103,00</b>

З технологічних міркувань, надалі автори відмовилися від використання волокнистих і комбінованих наповнювачів. Дослідження були продовжені з розміром гравію менше 0,5 мм.

**Розтікання розплаву ТПКМ.** З метою визначення реологічних характеристик розплаву ТПКМ були проведені дослідження його розтікання залежно від температури нагріву поверхні лабораторного столика. Результати визначення температури нагріву лабораторного столика наведено в табл. 2.5.

Таблиця 2.5 – Температура нагріву лабораторного столика

Точка виміру	Температура нагріву, °С		
	У центральній частині	300	350
На відстані 12 см від центра	270	290	320
На відстані 16 см від центра	245	270	290
На відстані 20 см від центра	220	225	240

Як впливає з табл. 2.5, чим далі від центра теплового джерела, тим більше відбувається зниження температури нагріву поверхні. При температурі в центрі 300 °С температура фазового переходу ТПКМ знаходиться на відстані 16 см. Відповідно при 350 °С – 18 см і 400 °С – приблизно на відстані 20 см.

Результати дослідження розтікання розплаву ТПКМ наведено в табл. 2.6. З якої випливає, що під дією сил гравітації, незалежно від співвідношення наповнювача і в'язучого, розплав ТПКМ, до досягнення температури деструкції, може віддалитися від стінки свердловини на відстань від 8 см до 16 см. При підвищенні температури нагріву до 350 °С і 400 °С ця відстань може збільшитися в 1,2–1,4 рази при співвідношенні гравію до ПЕТ 1:1 і в 1,5–1,75 рази – при співвідношенні 1:2.

Таблиця 2.6 – Усереднене розтікання розплаву ТПКМ, см

Зразок	Температура нагріву розплаву, °С		
	300	350	400
ПЕТ + гравій, співвідношення 1:1; $d < 0,5$ мм	16,0	19,0	22,0
ПЕТ + гравій, співвідношення 1:2; $d < 0,5$ мм	11,2	19,0	22,0
ПЕТ + гравій, співвідношення 1:3; $d < 0,5$ мм	10,0	14,0	16,0
ПЕТ + гравій, співвідношення 1:4; $d < 0,5$ мм	8,0	12,0	14,0

Цікавим є відповідність відстані температури фазового переходу ТПКМ від відстані розтікання його розплаву. З табл. 2.5 випливає, що температура фазового переходу ТПКМ при нагріванні центральної частини лабораторного столика до 300 °С знаходиться на відстані 16 см, до 350 °С – на відстані 18 см; до 400 °С – 20 см. Як випливає з табл. 2.6, ТПКМ із співвідношенням гравію 1:1 і 1:2 до ПЕТ мають реологічні властивості достатні, щоб розтектися на відстань, рівну і більш віддалену відповідно до фазового переходу ТПКМ. При збільшенні співвідношення гравію до ПЕТ розплав ТПКМ, під дією сил гравітації, віддаляється від центра лабораторного столика на відстань 50–80 %, що відповідає віддаленню від центру лабораторного столу до точки, в якій температура дорівнює температурі фазового переходу ПЕТ.

Таким чином, виходячи з результатів досліджень розтікання ТПКМ, наведених в табл. 2.5, можна стверджувати, що температура нагрівання контактної поверхні не є фактором, що обмежує розтікання під дією сил гравітації ро-

зплаву ТПКМ. Так само можна стверджувати, що на реологічні властивості розплаву ТПКМ істотно впливає співвідношення його компонентів.

**Проникність тампонажного каменю** – одна з основних його характеристик. Для досліджень застосовували зразки циліндричної форми, діаметром 40 мм і довжиною 70 мм. Попереднє насичення промивальної рідини не проводили. Як промивальна рідина застосовувалася технічна вода. Зразки витримували під тиском 20 МПа 24 год. Результати досліджень наведено в табл. 2.7.

Таблиця 2.7 – Проникність зразків ТПКМ за 24 год при перепаді тиску 20 МПа

Зразок	Маса зразка при насиченні, г		Проникність зразка, см <sup>3</sup>
	до	після	
ПЕТ + гравій, співвідношення 1:1; $d < 0,5$ мм	147,79	148,10	Відсутня
ПЕТ + гравій, співвідношення 1:2; $d < 0,5$ мм	154,83	154,94	Відсутня
ПЕТ + гравій, співвідношення 1:3; $d < 0,5$ мм	160,10	160,43	Відсутня
ПЕТ + гравій, співвідношення 1:4; $d < 0,5$ мм	162,75	162,91	Відсутня

Дослідження зразків ТПКМ показали, що їх проникність при температурі навколишнього середовища +22°C і тиску 20 МПа відсутня.

**Абразивність** ТПКМ визначали в лабораторії кафедри техніки розвідки РКК. Як абразивний матеріал застосовувався подрібнений ТПКМ крупністю 1,0–1,5 мм. Коефіцієнт абразивності  $K_{абр}$  встановлювався по втраті маси свинцевого дробу №5. Результати досліджень наведено в табл. 2.8.

З табл. 2.8 випливає, що ТПКМ, згідно класифікації гірських порід по абразивності, відноситься до досить абразивних і дуже абразивних матеріалів [154].

Таблиця 2.8 – Результати дослідження абразивності ТПКМ

Зразок	Маса дробу, г		$K_{абр}$
	до	після	
ПЕТ + гравій, співвідношення 1:1; $d < 0,5$ мм	16	15,81	1,99
ПЕТ + гравій, співвідношення 1:2; $d < 0,5$ мм		15,63	2,37
ПЕТ + гравій, співвідношення 1:3; $d < 0,5$ мм		15,44	2,56
ПЕТ + гравій, співвідношення 1:4; $d < 0,5$ мм		15,40	2,60

**Стирання тампонажного каменю** (рис. 2.17) ТПКМ, як і в попередньому випадку, визначали для композиту, що складається з ПЕТ і гравію, крупністю менше 0,5 мм, з співвідношенням: 1:1; 1:2; 1:3; 1:4.



Рисунок 2.17 – Стирання експериментальних зразків на ЛКИ–3

Як прототип використовували тампонажний камінь віком понад 28 діб, виготовлений на основі цементу марки М–400 з введенням як наповнювача гравію крупністю менше 0,5 мм, у співвідношенні до сухого цементу: 1:1; 1:2; 1:3;

1:4. Водоцементне відношення склало 0,4.

Стирання здійснювали у вологому (обводненому) середовищі. Як абразивний матеріал використовували кварцовий пісок, крупністю 0,25–0,50 мм.

При цьому відбувалося одночасно стирання (в однакових умовах) зразків базового і пропонованого зразків, які мали однаковий вміст наповнювача. Результати дослідження стирання матеріалів наведено в табл. 2.9 і на рис. 2.18.

Таблиця 2.9 – Усереднені результати вимірів стирання зразків

Зразок	Висота до дослідження, мм	Висота після дослідження, мм	Вага зразків до дослідження, г	Вага зразків після 1000 оборотів, г	Знос зразка після 1000 оборотів %	Міцність при стиранні, г/см <sup>2</sup>	Коефіцієнт стирання
ПЕТ + гравій, співвідношення 1:1, $d < 0,5$ мм	<b>50,0</b>	49,50	201,0	197,0	<b>2,0</b>	0,16	18,67
Цемент+гравій, співвідношення 1:1, В/Ц=0,4	50,0	–	264,1	34,6	<b>86,9</b>	9,18	–
ПЕТ + гравій, співвідношення 1:2, $d < 0,5$ мм	50,0	49,50	239,2	235,0	<b>1,8</b>	0,17	18,56
Цемент+гравій, співвідношення 1:2, В/Ц=0,4	50,0	–	266,5	56,2	<b>78,9</b>	8,40	–
ПЕТ + гравій, співвідношення 1:3, $d < 0,5$ мм	50,0	49,67	256,3	255,7	<b>0,2</b>	0,00	20,00
Цемент+гравій, співвідношення 1:3, В/Ц=0,4	50,0	–	272,4	21,3	<b>92,2</b>	10,00	–
ПЕТ + гравій, співвідношення 1:4, $d < 0,5$ мм	50,0	49,50	262,0	258,7	<b>1,3</b>	0,13	19,22
Цемент+гравій, співвідношення 1:4, В/Ц=0,4	50,0	–	278,0	31,8	<b>88,6</b>	9,80	–

Збільшення маси і зниження міцнісних властивостей зразків – прототипів пояснюється збільшенням вмісту наповнювача при зниженні кількості в'язучої речовини в тампонажному камені.

Важливою обставиною є той факт, що після закінчення 1000 оборотів диска знос тампонажного каменю на цементній основі склав понад 80 %, тоді як знос тампонажного каменю з ТПКМ не перевищив 2 %. При цьому зі збільшенням співвідношення наповнювача зносостійкість ТПКМ збільшується.



Рисунок 2.18 – Зразки тампонажного каменю після їх стирання на стенді



З табл. 2.9 і рис. 2.18 випливає, що отриманий на основі ПЕТ тампонажний камінь відповідає найвищій категорії за стиранням поверхні ( $0,7 \text{ г/см}^2$  контактної поверхні) [150], і на порядок перевершує тампонажний камінь на цементній основі.

Таблиця 2.10 – Узагальнені фізико–механічні властивості ТПКМ

Склад	Щільність, $\text{кг/м}^3$	Межа міцності на одновісне стиснення, МПа	Температура плавлення, $^{\circ}\text{C}$	Розтікання мм	Коефіцієнт стирання	Коефіцієнт абразивності	Проникність зразка, $\text{см}^3$
ПЕТ + гравій, спів–ння 1:1, $d < 0,5 \text{ мм}$	1620	52,6	246	16–18	19,8	2,0	відсутнє

Таким чином, для ліквідації поглинання промивальної рідини рекомендується застосування ТПКМ на основі поліетилентерефталату з гранульованим наповнювачем крупністю менше 0,5 мм. Узагальнені фізико–механічні властивості пропонованого ТПКМ наведено в табл. 2.10.

### 2.3 Переваги застосування тампонажного термопластичного композиційного матеріалу на основі поліетилентерефталату

Тампонажні матеріали і камінь повинні відповідати вимогам технічного, технологічного й економічного характеру. Їх дотримання багато в чому обумовлює техніко-економічну ефективність проведення робіт. Результати відповідності тампонажних матеріалів цим вимогам наведено в табл. 2.11 [155].

Вартість матеріалів прийнята виходячи з даних компаній ТОВ «Есбудес», ТОВ «Сумихітрейд» і ТОВ «Хімфармінвест» [156]–[158].

Таблиця 2.11 – Відповідність тампонажних матеріалів вимогам технічного і технологічного характеру

Вимога	Цемент	Бітум	Сірка	ТПКМ
1	2	3	4	5
<b>До розчину (розплаву)</b>				
Хороша текучість	+	+	+	+
Високі щільнісні властивості	+	–	+	+
Здатність проникати в тріщини	+	+	+	+
Седиментаційна стійкість	–	–	+	+
Інертність до навколишнього середовища	–	+	+	+
Здатність протистояти розчиненню пластовими водами	–	+	+	+
Можливість регулювання реологічних властивостей	+	+	+	+
<b>До тампонажного каменю</b>				
Хороша зчіплюваність з гірськими породами	–	–	–	–
Стійкість до дії агресивного середовища	–	+	+	+
Стійкість до розмивальної дії пластовими водами	+	+	+	+
Хороша розбурюваність	+	–	+	+
Відсутність хімічного забруднення бурового розчину при розбурюванні	–	+	+	+
Здатність до релаксації	+	–	+	+
Відсутність забруднення технологічного інструменту та середовища	+	–	+	+
Водопроникність	–	+	+	+
Високі фізико-механічні властивості	+	–	–	+
Низький коефіцієнт тертя	–	–	–	–

Продовження табл. 2.11

1	2	3	4	5
<b>До вихідної сировини</b>				
Бути недефіцитним	+	+	+	+
Вартість за тону, тис. грн.	<b>2,0</b>	<b>8,0</b>	<b>12,5</b>	<b>3,0</b>
Відсутність погіршення своїх властивостей при зберіганні	–	+	+	+
Відсутність шкідливого впливу на навколишнє середовище	+	–	–	+

Порівняння відповідності відомих тампонажних матеріалів і ТПКМ цим вимогам (табл. 2.11) дозволяє зробити висновок про те, що ТПКМ на основі вторинного ПЕТ цілком може бути рекомендований до застосування для ізоляції поглинаючих горизонтів. Їх рецептури захищені патентами на винахід України [159]–[161].

#### **2.4 Технологія виготовлення тампонажного термопластичного композиційного матеріалу**

Технологія виготовлення ТПКМ на основі ПЕТ складається з етапів:

1. Підготовки компонентів ТПКМ на основі поліетилентерефталату. Для цього готують ПЕТ необхідної маси і наповнювач.
2. Виготовлення ТПКМ. ПЕТ необхідної маси і наповнювач нагрівають і при досягненні температури фазового переходу з'єднують.
3. Формування ТПКМ на основі поліетилентерефталату. Для цього розплав ТПКМ заливають у форми необхідних розмірів і конфігурації.

## 2.5 Аналітичне дослідження технології виготовлення тампонажного термопластичного композиційного матеріалу

Нагрівання компонентів і їх плавлення відбувається при порівняно невисокій температурі, і вони практично не втрачають своїх властивостей після повторних циклів плавлення і твердіння. Однак застосування цих матеріалів на практиці обмежене і їх використання як тампонажного матеріалу в свердловинах вимагає обґрунтування теплоенергетичних параметрів технологічного процесу.

Технологія виготовлення ТПКМ складається з декількох етапів, кожен з яких характеризується протіканням теплових процесів плавлення і твердіння після його формування. У загальному випадку для вирішення завдання плавлення і твердіння необхідно рішити задачу Стефана, яка являє собою складну математичну проблему і вимагає залучення чисельних методів.

Для оцінки теплоенергетичних параметрів процесу виготовлення ТПКМ (потужності та часу нагрівання) й обґрунтування технологічних режимів пропонується використовувати теорію плавлення і твердіння матеріалів [162].

На першому етапі виготовлення ТПКМ припускаємо, що сировина являє собою порожнисті циліндри. В роботі [162] на основі рівнянь теплового балансу отримано, що при плавленні тіл процес руху фронту фазового переходу описується рівнянням [163]

$$X^2 - \frac{Ko}{4}k(1-X)^2 + \frac{k}{4}(Ko + \frac{1}{8} - Fo) = 0, \quad (2.1)$$

де  $X = \frac{x}{S}$  – безрозмірна координата фронту фазового переходу;  $x$  – розмірна координата фронту фазового переходу;  $b_{cm}$  – товщина стінки матеріалу;

$k = \frac{8(1-W^2)}{(1-W^4 + 4W \ln W)}$  – коефіцієнт інерції шару розплаву;  $W = 1 - X$  – частка

твердого залишку;  $Ko = \frac{L}{cq b_{cm} / 2\lambda}$  – критерій Косовича характеризує необхідне тепло для розплавлення матеріалу;  $L$  – прихована теплота плавлення;  $c$  – питома теплоємність матеріалу;  $q$  – потужність підведеного тепла;  $\lambda$  – коефіцієнт теплопровідності матеріалу;  $Fo = \frac{a}{b_{cm}^2} \tau$  – безрозмірний час, критерій Фур'є,  $a$  – коефіцієнт температуропровідності матеріалу;  $\tau$  – час.

Тоді повний час плавлення отримуємо з (2.1) при  $X = 1$

$$Fo_{nl} = \left( \frac{1}{8} + \frac{Ko}{4} \right) + \frac{1}{8}. \quad (2.2)$$

Перший доданок у (2.2) характеризує час плавлення прогрітого тіла, а другий – час запізнювання.

Вважаючи, що об'єм однієї заготовки сировинного матеріалу приблизно описується формулою

$$V = \pi b_{cm} \bar{R} (4H + \bar{R}),$$

де  $\bar{R}$  – середній радіус заготовки;  $H$  – довжина заготовки.

Тоді загальний об'єм сировини, відповідно

$$V_o = N \cdot V,$$

де  $N$  – загальна кількість заготовок

Критерій Косовича представимо у вигляді

$$Ko = \frac{8\pi LHR\lambda}{cqNV}. \quad (2.3)$$

Вирази (2.2) і (2.3) дозволяють визначити теплоенергетичні параметри процесу приготування ТПКМ (час розплавлення або необхідне теплове навантаження) на першому етапі. На наступному етапі відбувається змішування отриманого розплаву ПЕТ з наповнювачем. Як наповнювач застосовується гравій крупністю менше 0,5 мм. Отриману суміш розливають по формах, в яких вона, застигаючи, твердне. Для оцінки часу охолодження можна використовувати відповідний безрозмірний вираз

$$Fo_{кр} = \frac{1}{4} + \frac{Ko}{2}. \quad (2.4)$$

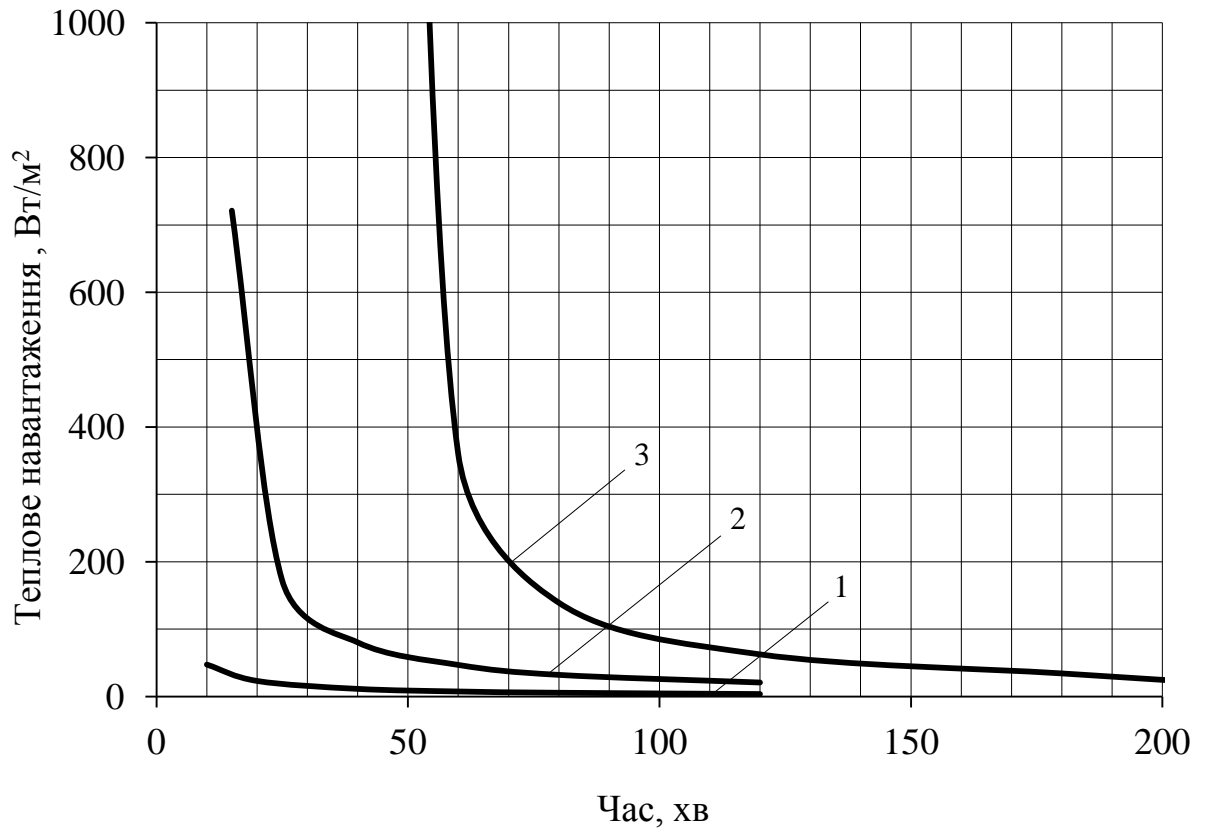
У цьому випадку критерій Косовича визначається

$$Ko = \frac{L_k}{c(T_f - T_n)},$$

де  $L_k$  – прихована теплота кристалізації суміші;  $T_f$  – температура фазового переходу;  $T_n$  – температура на поверхні зразка, за яку в першому наближенні, можна прийняти температуру навколишнього середовища.

Запропонована методика була використана для визначення теплоенергетичних параметрів процесу виготовлення тампонажного матеріалу з ПЕТ. Результати розрахунку показали (рис. 2.19), що тривалість процесу плавлення 1 кг сировини становить від 40 хв до 48 хв при зміні питомої потужності теплового потоку від 10 кВт/м<sup>2</sup> до 1 кВт/м<sup>2</sup>. Таким чином, використання більш потужних теплових потоків не дає істотного виграшу в часі виготовлення матеріалу.

Вираз (2.4) дозволяє визначити час витримки матеріалу у формах перед використанням. Відповідно до (2.4) час твердіння суміші розплаву ПЕТ з піском, при товщині шару розплаву 5 см, складає 23 хв. Отримані розрахункові дані узгоджуються зі значеннями, отриманими в ході експериментів.



1 – 1 кг; 2 – 5 кг; 3 – 10 кг

Рисунок 2.19 – Залежність розрахункового питомого теплового навантаження і часу плавлення від маси ПКТ

Таким чином, розглянуто підходи до моделювання теплофізичних процесів плавлення й охолодження при формуванні, що є необхідним для визначення раціональних теплоенергетичних параметрів технології виготовлення тампонажних термопластичних композиційних матеріалів. Розрахунки дозволили визначити тривалість технологічних операцій з виготовлення тампонажного матеріалу, а також необхідні енергетичні витрати.

Запропонована методика може бути використана для розрахунку необхідних енергетичних витрат на етапі виготовлення тампонажного матеріалу.

## Висновки до розділу 2

1. На сьогоднішній день ПЕТ є одним з найбільш поширених побутових відходів. За статистичними даними його обсяг становить до 20 – 25 % із загальної маси відходів. Повне розкладання ПЕТ близько 300 років. Тому наразі не знищення та захоронення, а переробка відходів є головним завданням у вирішенні екологічних проблем Землі.

2. У результаті аналізу відомих фізико-механічних властивостей поліетилентерефталату встановлена можливість застосування його як в'язучого тампонажного термопластичного матеріалу для ізоляції поглинаючих горизонтів бурових свердловин. Вторинний ПЕТ:

- не розмивається водою і може застосовуватися в свердловині при різній швидкості руху підземних вод;

- хімічно інертний, на нього руйнівню не діють агресивні води;

- термін і середовище зберігання не впливає на його фізико-механічні властивості;

- його вартість можна порівняти з вартістю цементу, яка набагато нижча вартості таких тампонажних матеріалів як сірка, бітум, синтетичні смоли.

3. Зроблено вибір, обґрунтовано і досліджено склад тампонажного термопластичного композиційного матеріалу. Виконані лабораторні дослідження дозволили розробити оптимальну рецептуру ТПКМ, захищену патентами на винахід України №№ 106505, 108791, 110442.

4. У ході лабораторних досліджень фізико-механічних властивостей тампонажного термопластичного композиційного матеріалу:

- обґрунтовано необхідність введення його до складу наповнювача;

- визначено вид і оптимальне співвідношення наповнювача. Як наповнювач рекомендується застосовувати гравій крупністю менше 0,5 мм у співвідношенні 1:1 до ПЕТ;

- показано, що ТПКМ з крупністю наповнювача менше 0,5 мм у співвідношенні 1:1:



- має найбільшу міцність і віком 15 хв становить 52,6 МПа, що в 5,26 разів вище міцності прототипу – тампонажного каменю на цементній основі віком 7 діб;

- у діапазоні температур 250–300 °С має розтікання, яке можна порівняти з розтіканням нормального тампонажного цементного розчину;

- проникність тампонажного каменю з ТПКМ за 24 год при перепаді тиску 20 МПа відсутня;

- є «досить абразивним» матеріалом, незважаючи на найвищий ступінь зносостійкості.

5. Розроблена технологія виготовлення ТПКМ на основі ПЕТ, яка складається з підготовчого етапу, етапу виготовлення і формування.

6. У ході теоретичних досліджень обґрунтовано раціональні технологічні режими виготовлення ТПКМ на основі ПЕТ.

## РОЗДІЛ 3

### РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ ІЗОЛЯЦІЇ ПОГЛИНАЮЧИХ ГОРИЗОНТІВ БУРОВИХ СВЕРДЛОВИН ТАМПОНАЖНИМ ТЕРМОПЛАСТИЧНИМ КОМПОЗИЦІЙНИМ МАТЕРІАЛОМ

#### 3.1 Обґрунтування технології ізоляції поглинаючих горизонтів тампонажним термопластичним композиційним матеріалом

З метою усунення недоліків, властивих технологіям застосування термопластичних матеріалів на основі бітуму і сірки пропонується нова технологія ізоляції поглинаючих горизонтів ТПКМ, яка ґрунтується на застосуванні поліетилентерефталату. Як випливає з результатів дослідження фізико–механічних властивостей (див. розділ 2), запропонована технологія основана на більш досконалому й екологічно чистому матеріалі. На наш погляд, розроблювана технологія найбільш перспективна. Крім того, для її реалізації не потрібно нагрів зони ускладнення.

При реалізації запропонованої технології [164] необхідно виконати наступні технологічні операції: транспортування ТПКМ у поглинаючого горизонту бурової свердловини, плавлення ТПКМ в буровій свердловині і задавлювання ТПКМ у канали поглинання. Можливі варіанти здійснення розроблюваної технології наведено в табл. 3.1.

Для обґрунтування технологічної схеми ізоляції поглинаючих горизонтів із застосуванням ТПКМ необхідно виконати аналіз можливих способів здійснення технологічних операцій. Спосіб ізоляції поглинаючих горизонтів із застосуванням ТПКМ на основі поліетилентерефталату захищено патентами України [165], [166].

### 3.1.1 Транспортування тампонажного термопластичного композиційного матеріалу до поглинаючого горизонту бурової свердловини

Для обґрунтування технології тампонування необхідно проаналізувати вже існуючі способи доставки тампонажного матеріалу до поглинаючого горизонту [167].

Спосіб доставки ТПКМ *на колоні бурильних труб* може бути застосований для: свердловин великого діаметра, незалежно від глибини залягання поглинаючого горизонту; ТПКМ виготовлено у вигляді порожнього циліндра.

Таблиця 3.1 – Технологія ізоляції поглинаючих горизонтів ТПКМ [168] – [170]

Технологічна операція	Можливий спосіб здійснення операцій
Транспортування ТПКМ до поглинаючого горизонту	На колоні бурильних труб
	По колоні бурильних труб
	У контейнері
	По стовбуру свердловини
Плавлення ТПКМ у буровій свердловині	Вибійним електронагрівачем
	Вогневий
	Хімічний
Задавлювання ТПКМ у канали поглинання	Термомеханічний
	Вибійним електронагрівачем
	Підвищенням гідростатичного тиску в свердловині
	Термомеханічним інструментом

Переваги технологічної схеми транспортування:

- можливість доставки необмеженої кількості ТПКМ;
- відсутність зависання ТПКМ у стовбурі свердловини.

Недоліки технологічної схеми транспортування:

- необхідність додаткової операції з приєднання до свічок циліндрично-порожніх ТПКМ;
- є необхідність установаження в нижній частині першої свічки кріплення, що утримує циліндрично-порожнисті ТПКМ на бурильній колоні. При цьому повинна забезпечуватися можливість подальшого вивільнення ТПКМ і вилучення зі свердловини або розбурювання кріплення;
- необхідні великі витрати часу, пов'язані зі спуском і підйомом колони труб, які залежать від глибини залягання поглинаючого горизонту;
- при транспортуванні по стовбуру свердловини, внаслідок підвищення гідростатичного тиску під торцем бурильної колони, яке викликане незначним зазором між стінками свердловини і зовнішньої поверхні ТПКМ, можливе порушення цілісності стінок свердловини (гідророзрив);
- для недопущення гідророзриву порід необхідно обмежувати швидкість транспортування ТПКМ, що призведе до збільшення часу транспортування і в кінцевому рахунку до збільшення вартості ізоляційних робіт.

Спосіб доставки ТПКМ *по колоні бурильних труб* може бути застосований для: свердловин будь-якого діаметра, не залежно від глибини залягання поглинаючого горизонту; ТПКМ виготовлено у вигляді гранул.

Переваги технологічної схеми транспортування:

- даний вид транспортування виключає забруднення й утворення пробок у стовбурі свердловини.

Недоліки технологічної схеми транспортування:

- необхідність наявності на буровій додаткового поверхневого обладнання, що дозволяє введення гранул у нагнітальну лінію насос – свердловина;
- необхідність сортування гранул ТПКМ за розмірами;
- необхідність дозування гранул ТПКМ при їх засипці;
- необхідні великі витрати часу, пов'язані зі спуском і підйомом колони труб, які залежать від глибини залягання поглинаючого горизонту.

Спосіб доставки ТПКМ *в контейнері* можна застосувати для: свердловин

будь-якого діаметра, незалежно від глибини залягання поглинаючого горизонту; ТПКМ може бути виготовлено у вигляді гранул, циліндрів або циліндрично-порожнистих труб.

Переваги технологічної схеми транспортування:

- даний вид транспортування виключає забруднення і утворення пробок в стовбурі свердловини;
- доставка контейнера можлива на тросі або кабелі, що істотно зменшить час транспортування ТПКМ.

Недоліки технологічної схеми транспортування:

- при спуску контейнера на колоні бурильних труб потрібні значні витрати часу.
- при спуску контейнера на тросі або кабелі необхідно мати автономний пристрій для звільнення контейнера від гранул на вибої свердловини.
- обмеження обсягу доставленого на вибій ТПКМ.

Спосіб доставки ТПКМ *по стовбуру свердловини* можливо застосувати для: свердловин будь-якого діаметра, незалежно від глибини залягання поглинаючого горизонту; ТПКМ може бути виготовлено у вигляді гранул, циліндрів або циліндрично-порожнистих труб.

Переваги технологічної схеми транспортування:

- простота технології;
- відсутність необхідності транспортувати труби або контейнер по стовбуру свердловини;
- можливість доставки необмеженої кількості ТПКМ;
- відсутність додаткового гирлового або свердловинного обладнання;
- незначні витрати часу [37].

Недоліки технологічної схеми транспортування:

- забруднення стовбура свердловини через часткову втрату гранул при їх осіданні на стінках;
- можливе утворення пробок у свердловині значної потужності.

Виходячи з вищевикладеного, спосіб доставки гранульованого ТПКМ у

зону ускладнення по стовбуру свердловини є не бажаним.

Цих недоліків немає у технологічній схемі транспортування ТПКМ по стовбуру свердловини у вигляді циліндрів або циліндрично-порожнистих елементів. При цьому доставлена маса ТПКМ у поглинаючий горизонт більша, ніж при доставці в гранульованому вигляді. З цих же міркувань для ліквідації поглинання промивальної рідини пропонується ТПКМ використовувати у вигляді циліндра.

Транспортування монолітного ТПКМ по стовбуру свердловини здійснюється скиданням його в відкритий стовбур з подальшим його осіданням під дією сил гравітації на вибій.

Переваги технологічної схеми транспортування:

- істотне скорочення часу доставки тампонажного матеріалу до поглинаючого горизонту;
- можливість однопорційної доставки по стовбуру свердловини необхідної кількості тампонажного матеріалу.

Недоліки технологічної схеми транспортування:

- можливість заклинювання (зависання) ТПКМ у стовбурі свердловини вище поглинаючого горизонту.

Усунути цей недолік можливо динамічним впливом бурильною колоною, спущеною в свердловину бурильної колони.

На наш погляд технологія доставки ТПКМ у вигляді циліндра по стовбуру свердловини найбільш перспективна.

### **3.1.2 Плавлення тампонажного термопластичного композиційного матеріалу в буровій свердловині**

У першому розділі було розглянуто способи нагріву привибійної зони свердловини, застосування яких для контактного плавлення ТПКМ принципово можливо. Кожна зі згаданих технологій має свої переваги і недоліки. Більшість технологій реалізують об'ємний нагрів свердловинного і присвердловинного

простору. Недоліком застосування таких технологій є відсутність можливості керування процесом плавлення і задавлювання розплаву ТПКМ, відсутність можливості концентрації теплової енергії в стовбурі (на вибої) свердловини, а також значні теплові втрати, які обумовлені розсіюванням теплової енергії у прилеглі гірські породи.

На наш погляд, найбільш перспективними напрямками розробки технології плавлення ТПКМ у зоні поглинання промивальної рідини є контактні способи.

Технології контактного плавлення ТПКМ із застосуванням ТЕН мають ті ж недоліки, що і технології об'ємного плавлення. Також можливе пошкодження кабелю, тому що до поглинаючого горизонту ТЕН доставляються на кабель-тросах або на колоні бурильних труб, до зовнішньої поверхні яких кабель кріпиться хомутами.

Цих недоліків немає в технології термомеханічного контактного плавлення ТПКМ у зоні поглинання промивальної рідини. За даною технологією нагрівання ТПКМ здійснюється стандартним породоруйнівним інструментом, який доставляється в зону поглинання на колоні бурильних труб.

До переваг технології можна віднести:

- можливість ліквідації ускладнення (заклинювання) ТПКМ при транспортуванні по стовбуру свердловини;
- можливість керування технологічним процесом плавлення ТПКМ;
- можливість задавлювання розплаву в тріщинуваті горизонти з формуванням непроникної поверхні стінки свердловин і малооб'ємної ізоляційної завіси в горизонті;
- відсутність операції з вилучення з стовбура свердловини технологічного інструменту і за рахунок цього скорочення часових витрат.

До недоліків технології можна віднести знос породоруйнівного інструменту.

Виходячи з вищевикладеного, в подальшому роботи були присвячені обґрунтуванню і розробці термомеханічної технології плавлення ТПКМ.

### **3.1.3 Задавлювання розплаву тампонажного термопластичного композиційного матеріалу в канали поглинання**

При ліквідації поглинання промивальної рідини в стовбурі бурової свердловини із застосуванням термомеханічної технології плавлення ТПКМ задавлювання розплаву здійснюється під дією сил гравітації та поршневого ефекту, який створюється переміщенням породоруйнівного інструменту у напрямку до вибою свердловини. При цьому рух розплаву ТПКМ до тріщинуватого горизонту буде здійснюватися по зазору між стінками свердловини і поверхнею ТПКМ.

Виходячи з цього, можна припустити, що контакт ТПКМ зі свердловинною рідиною буде мінімальним і на цій підставі її впливом на процес тампонування поглинаючого горизонту можна знехтувати.

### **3.1.4 Омонолічування розплаву тампонажного термопластичного композиційного матеріалу в каналах поглинання**

Оскільки розплав ТПКМ при своєму русі від стовбура свердловини по тріщинах віддає тепло прилеглий породі, то його температура знижується і в'язкість збільшується. Швидкість руху розплаву при цьому також зменшується. У найбільш віддаленій зоні розплаву ТПКМ ці швидкості будуть прагнути до нуля, в результаті чого почнеться кристалізація розплаву. Останнє і визначить радіус поширення ТПКМ від свердловини по даній тріщині.

Таким чином, рух розплаву в поровому просторі присвердловинної зони відбуватиметься до тих пір, доки його температура не знизиться до температури фазового переходу матеріалу. Виходячи з результатів досліджень розтікання розплаву ТПКМ від температури, наведених в п.п. 2.2, можна припустити, що він не пошириться по горизонту більше ніж на 0,2 м. Перевірку цього припущення можливо здійснити в стендових умовах.



## **3.2 Стендові дослідження термомеханічної технології ізоляції поглинаючих горизонтів бурових свердловин тампонажними термопластичними композиційними матеріалами**

### **3.2.1 Програма та методика стендових досліджень термомеханічної технології ізоляції поглинаючих горизонтів бурових свердловин тампонажними термопластичними композиційними матеріалами**

**Мета і завдання стендових досліджень.** Технологічні режими процесу термомеханічного плавлення тампонажного матеріалу при тампонуванні поглинаючого горизонту із застосуванням ТПКМ на основі ПЕТ можливо визначити методами фізичного моделювання.

У зв'язку з цим, об'єктом стендових досліджень є процес (технологія) ізоляції поглинаючого горизонту із застосуванням ТПКМ на основі ПЕТ.

Предмет досліджень – технологічні параметри термомеханічного процесу плавлення ТПКМ на основі ПЕТ і формування ізоляційної оболонки в моделі поглинаючого горизонту.

Виходячи з цього, метою досліджень є вивчення закономірностей процесу ізоляції поглинаючого горизонту при застосуванні ТПКМ на основі ПЕТ.

У зв'язку з цим, вирішено такі завдання:

1. Розроблено і виготовлено модель поглинаючого горизонту.
2. Розроблено та виготовлено термомеханічний інструмент.
3. Встановлено залежність зміни температури в процесі термомеханічного плавлення в ТПКМ.
4. Здійснено тампонування каналу поглинання на моделі поглинаючого горизонту.
5. Визначено залежність розтікання ТПКМ від розкриття тріщин.

### 3.2.1.1 Умови проведення стендових досліджень

Дослідження проводилися: в стендовій залі кафедри техніки розвідки РКК НТУ «Дніпровська політехніка»; у повітряному середовищі; при температурі навколишнього середовища 25 °С; на буровому стенді, що включає буровий верстат ЗІФ-650М з плавно регульованим приводом, модель поглинаючого горизонту і вимірювально-обчислювальний комплекс. Зовнішній вигляд стенда наведено на рис. 3.1.

Модель поглинаючого горизонту виготовлена з дерева і являє собою монолітний блок з горизонтальними тріщинами. Характеристика моделі поглинаючого горизонту наведена в табл. 3.1



1 – вимірювально-обчислювальний комплекс; 2 – модель поглинаючого горизонту з розпірками; 3 – колона бурильних труб; 4 – основа бурового верстата

Рисунок 3.1 – Зовнішній вигляд стенда

Таблиця 3.1 – Технічна характеристика моделі горизонту

Показник	Величина
Потужність горизонту, м	0,25
Розкриття тріщин, м	0,01–0,03
Довжина тріщин, м	0,5
Матеріал пласта	деревина
Свердловинна рідина	відсутня
Діаметр свердловини, м	0,059
Глибина свердловини, м	0,31

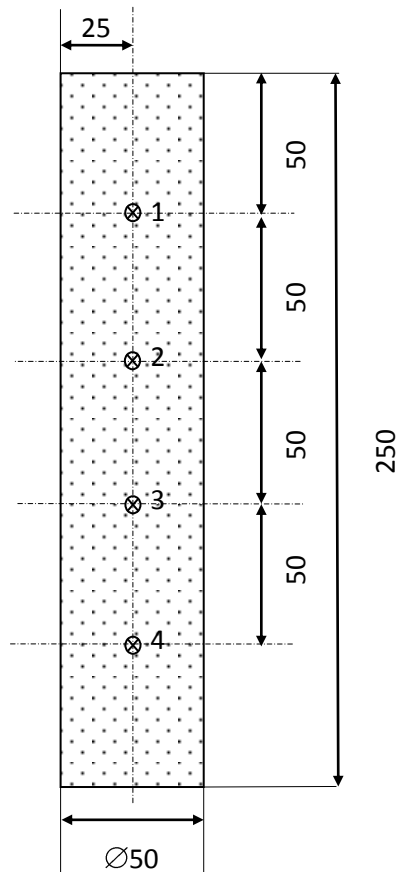


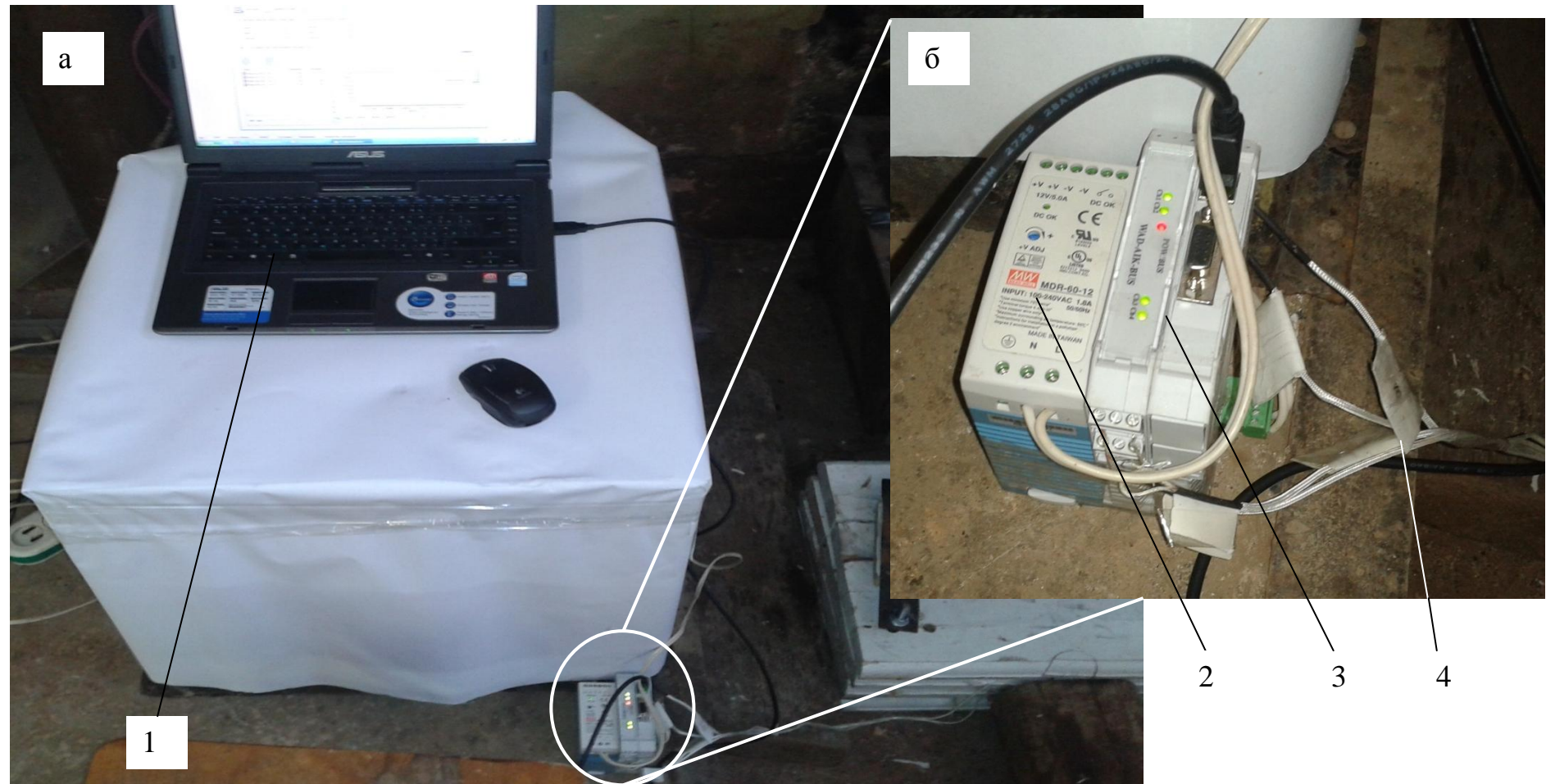
Рисунок 3.2 – Схема установки термопар у циліндричному зразку ТПКМ

Для реєстрації параметрів процесу плавлення і контролю режиму плавлення термомеханічним інструментом застосовувалися такі контрольні-вимірювальні прилади:

- осьове навантаження – дрілломметр бурового верстата;
- частота обертання – тахометр;
- углубка – лінійка;
- час буріння – секундомір;
- визначення температурних полів у ТПКМ – термопар типу К, встановлених в тілі ТПКМ після його виготовлення (рис. 3.2). Відстань між термопарами становила 50 мм;
- реєстрація температурних полів у ТПКМ – вимірювально-обчислювальним комплексом (рис. 3.3), що складається з модуля WAD-AIK-BUS (USB) (рис. 3.3, б) виробництва компанії «Акон» (Україна).

Цей комплекс призначений для вимірювання електричних величин, обробки інформації та передачі її в

головний обчислювач



а – зовнішній вигляд; б – модуль WAD-AIK-BUS (USB) з підключеними термопарами;  
 1 – комп'ютер; 2 – аналогово-цифровий перетворювач WAD-AIK-BUS (USB); 3 – блок живлення модулів WAD-AIK-BUS (USB); 4 – термопари типу К з бирками

Рисунок 3.3 – Вимірювально-обчислювальний комплекс





1 – робочий орган; 2 – матриця; 3 – короночне кільце

Рисунок 3.4 – Термомеханічний породоруйнівний інструмент

мережі (комп'ютер) по лініях послідовного двопроводного інтерфейсу RS – 485 або USB. При проведенні досліджень як термомеханічний інструмент використовувалася модифікована серійна алмазна коронка діаметром 59 мм – 01A3-59, виготовлена Кабардино-Балкарським заводом алмазного інструменту. Зовнішній вигляд термомеханічного інструменту до проведення досліджень наведено на рис. 3.4. Конструкція інструменту захищена патентом України [161].

### 3.3.1.2 Визначувані показники

**Методика вибору величин параметрів з урахуванням допустимої похибки і мінімальної кількості дослідів.** Величини параметрів режиму термомеханічного плавлення ТПКМ (осьове навантаження, частота обертання) визначаємо з умови отримання допустимої похибки за формулою [171]–[174]

$$T_t = \frac{lt_{зад}}{\left[ -P_{зад} r \right]} \quad (3.1)$$

де  $T_t$  – величина параметра;  $l$  – задана величина параметра;  $t_{зад}$  – задане значення показника надійності;  $P(t_{зад})$  – показник ймовірності безвідмовної роботи термомеханічного інструменту;  $r$  – коефіцієнт, що залежить від заданої (прийнятої) довірчої ймовірності  $P^*$ .

Відповідно до рекомендацій нормативних документів і допустимих значень параметрів режиму буріння [171], [174] прийнято такі величини показників надійності:

- ймовірність безвідмовної роботи інструменту в умовах стендових досліджень  $P(t_{зад}) = 0,98$ ;
- довірна ймовірність  $P^* = 0,95$ ;
- абсолютне значення величин параметрів режиму термомеханічного плавлення (приймаємо з умови отримання високої надійності показників і мінімального обсягу досліджень).

Величини технологічних параметрів з умови допустимої похибки і мінімального числа досліджень визначаємо за формулою

$$T_u = \frac{\Gamma \kappa_{вар}}{1 - m}, \quad (3.2)$$

де  $\Gamma$  – задана величина показника в абсолютних значеннях;  $\kappa_{вар}$  – коефіцієнт варіації для визначуваної величини;  $m$  – значення допустимої похибки при прове-

денні досліджень для вибраної величини параметра.

Величина коефіцієнта варіації для осевого навантаження і частоти обертання прийнята з досвіду проведення подібних досліджень на буровому стенді є  $\kappa_{вар} = 0,9 \dots 0,97$ .

Допустима похибка при дослідженні впливу параметрів режиму термомеханічного плавлення ТПКМ в умовах стенда прийнята  $m = 0,05 - 0,1$ .

**Величини, вимірювані при проведенні досліджень.** При проведенні стендових досліджень термомеханічного плавлення ТПКМ задавали такі режимні параметри:

- осьове навантаження на інструмент, кН 3; 5; 7;
- частота обертання бурового снаряду,  $\text{хв}^{-1}$  300; 500; 700.

У процесі дослідного термомеханічного плавлення ТПКМ визначалися показники:

- час плавлення;
- температурний режим плавлення;
- якість розплаву;
- знос робочого органа термомеханічного інструменту.

За результатами досліджень розраховано швидкість термомеханічного плавлення ТПКМ (термомеханічна швидкість буріння).

За результатами досліджень побудовано залежності зміни:

- часу плавлення від величини режимних параметрів термомеханічного плавлення ТПКМ;
- робочої температури під торцем інструмента від величини режимних параметрів термомеханічного плавлення ТПКМ.

Відносна похибка при вимірюванні заданих і визначуваних величин не перевищувала таких значень:

- осьове навантаження  $\pm 0,05$ ;
- частота обертання  $\pm 0,10$ ;
- час  $\pm 0,05$ ;
- лінійні розміри  $\pm 0,05$ .

### 3.2.1.3 Розрахунок обсягу досліджень

Кількість дослідів при дослідженні технології термомеханічного плавлення ТПКМ визначається як добуток від кількості осьових навантажень, частоти обертання інструменту і кількості повторень, необхідних для досягнення достовірності спостережень. Кількість осьових навантажень прийнята рівною 3, число частоти обертань –3 і кількість повторень повинна бути не менше 3, отже необхідна мінімальна кількість дослідів повинна бути  $N_o = 3 \cdot 3 \cdot 3 = 27$  дослідів.

### 3.2.1.4 Тарування вимірювальної апаратури

Прилади, що входять до комплекту бурового верстата і допоміжних пристроїв, таровано з використанням зразкових контрольних приладів, з визначенням шкали і ціни поділу кожного приладу. Для тарування приладів у лабораторії вимірювальних засобів кафедри техніки розвідки РКК НТУ «Дніпровська політехніка» є всі необхідні прилади і пристосування.

### 3.3.1.5 Організація робіт при проведенні досліджень

Стендові дослідження проводили в два етапи.

На *першому етапі* відпрацьовували оптимальні співвідношення режимних параметрів процесу плавлення ТПКМ. Для цього виготовлялися блоки ТПКМ розмірами 170 мм × 170 мм і товщиною від 70 мм до 80 мм (рис. 3.5). Як і у п.п. 2.2.2 склад ТПКМ складався з ПЕТ і гравію крупністю менше 0,5 мм, з концентрацією: 1:1; 1:2; 1:3; 1:4. Фізико-механічні властивості наведено в розділі 2.





Рисунок 3.5 – Зовнішній вигляд блоків ТПКМ

Критерієм вибору оптимальних режимних параметрів слугували досягнення робочої температури і зовнішній вигляд (монолітність) розплаву.

Виходячи з результатів досліджень, представлених в розділі 2, оптимальною (робочою) температурою вважаємо діапазон позитивних температур від 260 °С до 300 °С.

При проведенні досліджень проходка за дослід була прийнята рівною 50 мм. При цьому: кожному значенню осьового навантаження відповідало три значення частоти обертання; у кожному досліді фіксувався час буріння 10 мм ТПКМ; у кожному досліді фіксувався сумарний час буріння свердловини; фіксувався зовнішній вигляд розплаву, його монолітність і колір. У блоці бурилось чотири свердловини.

На *другому етапі*, при термомеханічному плавленні ТПКМ в умовах моделі поглинаючого горизонту, визначалася:

- температура плавлення розплаву ТПКМ;
- проникаюча здатність і розтікання розплаву по каналах поглинання промивальної рідини залежно від розкриття тріщин.



Рисунок 3.6 – Експериментальний зразок ТПКМ з вмістом ПЕТ 1:2

З урахуванням результатів першого етапу досліджень, виготовляли циліндричні зразки ТПКМ. Відповідність діаметрів зразків ТПКМ діаметрам свердловин наведена в розділі 4. Для свердловини діаметром 59 мм у виготовленому макеті поглинаючого горизонту розбурювали брикет ТПКМ діаметром 50 мм (рис. 3.6).

При проведенні стендових досліджень макет поглинаючого горизонту встановлювали безпосередньо під обертачем верстата. Термомеханічний інструмент розташовували на бурильній колоні, верхня частина якого приєднувалася до ведучої труби бурового верстата.

На кожному режимі буріння проводили від 3 до 5 дослідів. Під час термомеханічного плавлення зміна температури в циліндричних зразках ТПКМ фіксувалася, записувалася і візуалізувалася вимірювально-обчислювальним комплексом (див. рис. 3.4).

Результати досліджень заносили в журнал спостережень.

За результатами досліджень оформлялися відповідні акти (додаток Г). Акт містить висновки за результатами досліджень і рекомендації щодо подальшого проведення робіт, доробки конструкції технічних засобів і можливості проведення дослідного буріння свердловин у виробничих умовах.

### **3.2.2 Результати стендових досліджень термомеханічної технології ізоляції поглинаючих горизонтів бурових свердловин тампонажними термопластичними композиційними матеріалами**

У результаті першого етапу стендових досліджень визначено, для рекомендованих рецептур ТПКМ (п.п. 2.2), оптимальні співвідношення режимних параметрів технології термомеханічного плавлення ТПКМ, що забезпечують контактний нагрів і плавлення тампонажного матеріалу з мінімальними витратами часу та високі термомеханічні швидкості. Результати досліджень наведено в табл. 3.2.

Із результатів досліджень, наведених в табл. 3.2, випливає, що:

- термомеханічна швидкість буріння (плавлення) незалежно від співвідношення в'язучого до наповнювача та рецептури ТПКМ до режимних параметрів має один порядок величин:

- при співвідношенні ПЕТ до гравію 1:1 термомеханічна швидкість буріння (плавлення) змінюється в межах від 0,4 м/год до 0,9 м/год;

- при співвідношенні 1:2 термомеханічна швидкість буріння (плавлення) змінюється в межах від 0,4 м/год до 0,7 м/год;

- при співвідношенні 1:3 термомеханічна швидкість буріння (плавлення) змінюється в межах від 0,8 м/год до 1,7 м/год;

- при співвідношенні 1:4 термомеханічна швидкість буріння (плавлення) змінюється в межах від 0,3 м/год до 0,7 м/год. При підвищенні осьового навантаження до 700 даН і частоти обертання до  $700 \text{ хв}^{-1}$  термомеханічна швидкість буріння збільшується (рис. 3.7);

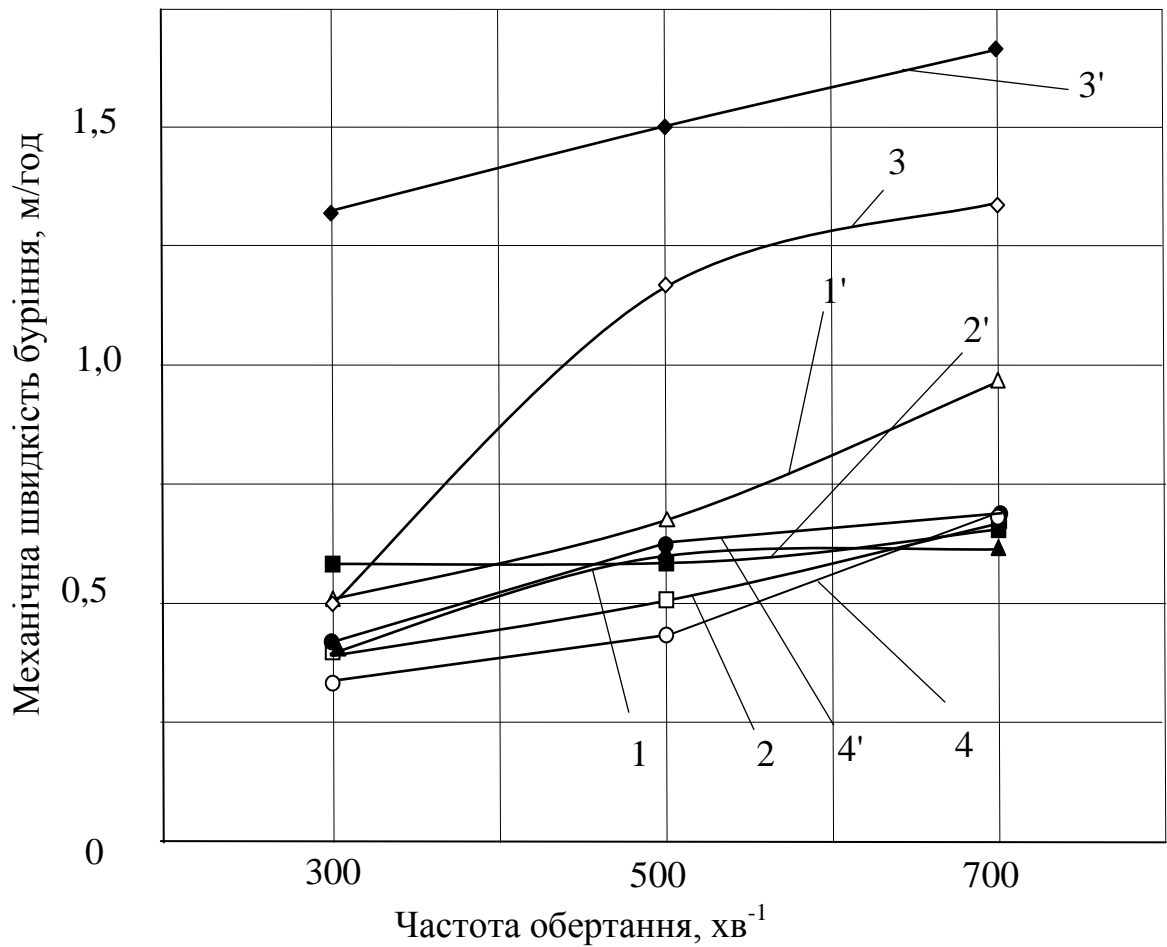
Таблиця 3.2 – Результати визначення технологічних параметрів термомеханічного плавлення ТПКМ

Склад	$n, \text{хв}^{-1}$	$P, \text{даН}$	Начало плавлення, с	Глибина буріння, мм	Час буріння, с	Середній час буріння, с	Термомеханічна швидкість буріння, м/год	Відхилення від середнього значення, с	Середнє квадратичне відхилення, с	Стандартне відхилення, с	Коефіцієнт варіації $V, \%$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
ПЕТ + гравій, співвідношення 1:1; $d < 0,5 \text{ мм}$	300	500	90	50	467	461,0	0,4	-6,0	36,00	14,00	3,00
			91		445			16,0	256,00		
			88		471			-10,0	100,00		
		700	50	50	361	358,7	0,5	-2,3	5,40	5,90	1,60
				50	352			6,7	44,40		
				52	363			-4,3	18,80		
	500	500	40	50	326	323,0	0,6	-3,00	9,00	3,00	0,93
			40		320			3,00	9,00		
			41		323			0	0,00		
		700	50	25	269	269,7	0,7	0,67	0,44	0,58	0,21
				23	270			-0,33	0,11		
				25	270			-0,33	0,11		
	700	500	27	50	320	327,0	0,6	7,00	49,00	8,19	2,50
			27		336			-9,00	81,00		
			27		325			2,00	4,00		
		700	50	11	204	203,3	0,9	-0,67	0,44	3,06	1,50
				10	200			3,33	11,11		
				11	206			-2,67	7,11		
ПЕТ + гравій, співвідношення 1:2; $d < 0,5 \text{ мм}$	300	500	15	50	417	418,7	0,4	1,67	2,78	1,53	0,36
			14		420			-1,33	1,78		
			15		419			-0,33	0,11		
		700	50	11	310	307,7	0,6	-2,33	5,44	2,52	0,82
				10	305			2,67	7,11		
				10	308			-0,33	0,11		
	500	500	18	50	357	355,0	0,5	-2,00	4,00	4,36	1,23
			18		350			5,00	25,00		
			17		358			-3,00	9,00		
		700	50	12	309	311,3	0,6	2,33	5,44	3,21	1,03
				13	315			-3,67	13,44		
				12	310			1,33	1,78		
	700	500	10	50	260	258,7	0,7	-1,33	1,78	3,21	1,24
			9		261			-2,33	5,44		
			9		255			3,67	13,44		
		700	50	5	248	246,3	0,7	-1,67	2,78	4,73	1,92
				5	250			-3,67	13,44		
				5	241			5,33	28,44		

Продовження табл. 3.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
ПЕТ + гравій, співвідношення 1:3; $d < 0,5$ мм	300	500	8	50	357	355,7	0,5	-1,33	1,78	1,15	0,32
			8		355			0,67	0,44		
			8		355			0,67	0,44		
		700	8	50	142	143,7	1,3	1,67	2,78	4,73	3,29
			8		140			3,67	13,44		
			8		149			-5,33	28,44		
	500	500	6	50	155	154,3	1,2	-0,67	0,44	2,08	1,35
			5		152			2,33	5,44		
			6		156			-1,67	2,78		
		700	5	50	119	117,7	1,5	-1,33	1,78	4,16	3,54
			6		121			-3,33	11,11		
			6		113			4,67	21,78		
	700	500	5	50	142	142,3	1,3	0,33	0,11	1,53	1,07
			5		144			-1,67	2,78		
			5		141			1,33	1,78		
		700	5	50	101	104,0	1,7	3,00	9,00	2,65	2,54
			5		106			-2,00	4,00		
			5		105			-1,00	1,00		
ПЕТ + гравій, співвідношення 1:4; $d < 0,5$ мм	300	500	10	50	555	553,7	0,3	-1,33	1,78	3,21	0,58
			10		550			3,67	13,44		
			9		556			-2,33	5,44		
		700	8	50	492	490,7	0,4	-1,33	1,78	1,15	0,24
			8		490			0,67	0,44		
			8		490			0,67	0,44		
	500	500	7	50	408	410,7	0,4	2,67	7,11	9,29	2,26
			6		403			7,67	58,78		
			6		421			-	106,78		
		700	5	50	314	317,3	0,6	3,33	11,11	3,06	0,96
			5		320			-2,67	7,11		
			5		318			-0,67	0,44		
	700	500	5	50	250	259,7	0,7	9,67	93,44	8,50	3,28
			5		266			-6,33	40,11		
			5		263			-3,33	11,11		
		700	5	50	251	250,7	0,7	-0,33	0,11	0,58	0,23
			5		250			0,67	0,44		
			5		251			-0,33	0,11		

- термомеханічна швидкість буріння (плавлення), залежно від співвідношення в'язучого до наповнювача, при однаковому гранулометричному складі має екстремум при співвідношенні ПЕТ до гравію, рівним 1:3 і степенево квадратичну залежність (рис. 3.8);



- 1 – ТПКМ, співвідношення 1:1,  $P = 500$  даН;  
 1' – ТПКМ, співвідношення 1:1,  $P = 700$  даН;  
 2 – ТПКМ, співвідношення 1:2,  $P = 500$  даН;  
 2' – ТПКМ, співвідношення 1:2,  $P = 700$  даН;  
 3 – ТПКМ, співвідношення 1:3,  $P = 500$  даН;  
 3' – ТПКМ, співвідношення 1:3,  $P = 700$  даН;  
 4 – ТПКМ, співвідношення 1:4,  $P = 500$  даН;  
 4' – ТПКМ, співвідношення 1:4,  $P = 700$  даН

Рисунок 3.7 – Залежність термомеханічної швидкості буріння (плавлення) від частоти обертання термомеханічного інструменту

- час нагрівання ТПКМ до температури його плавлення залежить від рецептури ТПКМ. Це пояснюється абразивними властивостями ТПКМ (п.п.2.2) і рівнем вибівної потужності, яка збільшується з підвищенням вмісту гравію в композиті. На рис. 3.9 наведено розрахункові залежності вибівної потужності  $N$ , визначеної за [175]

$$N = 2 \cdot 10^7 P \cdot n \cdot d, \text{ кВт}, \quad (3.3)$$

де  $d$  – діаметр коронки, мм.

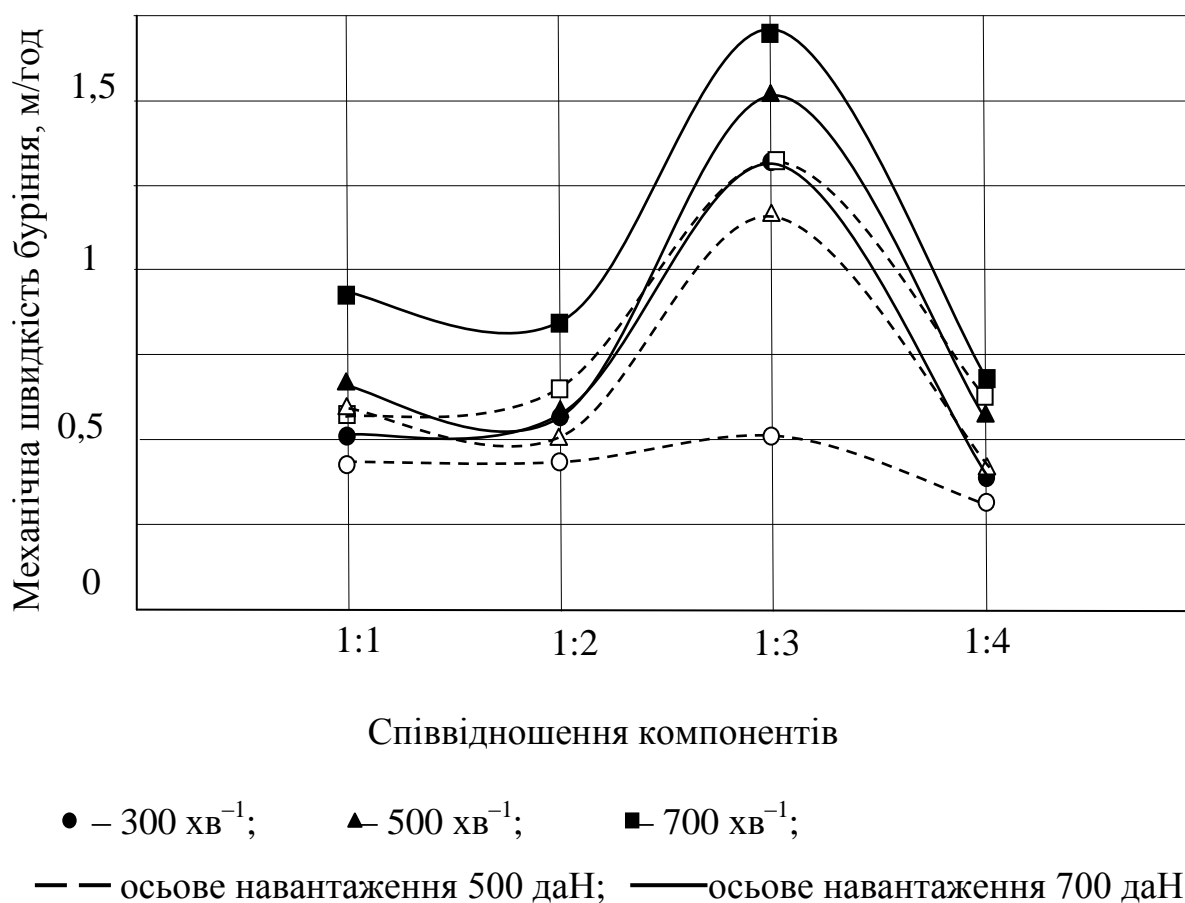


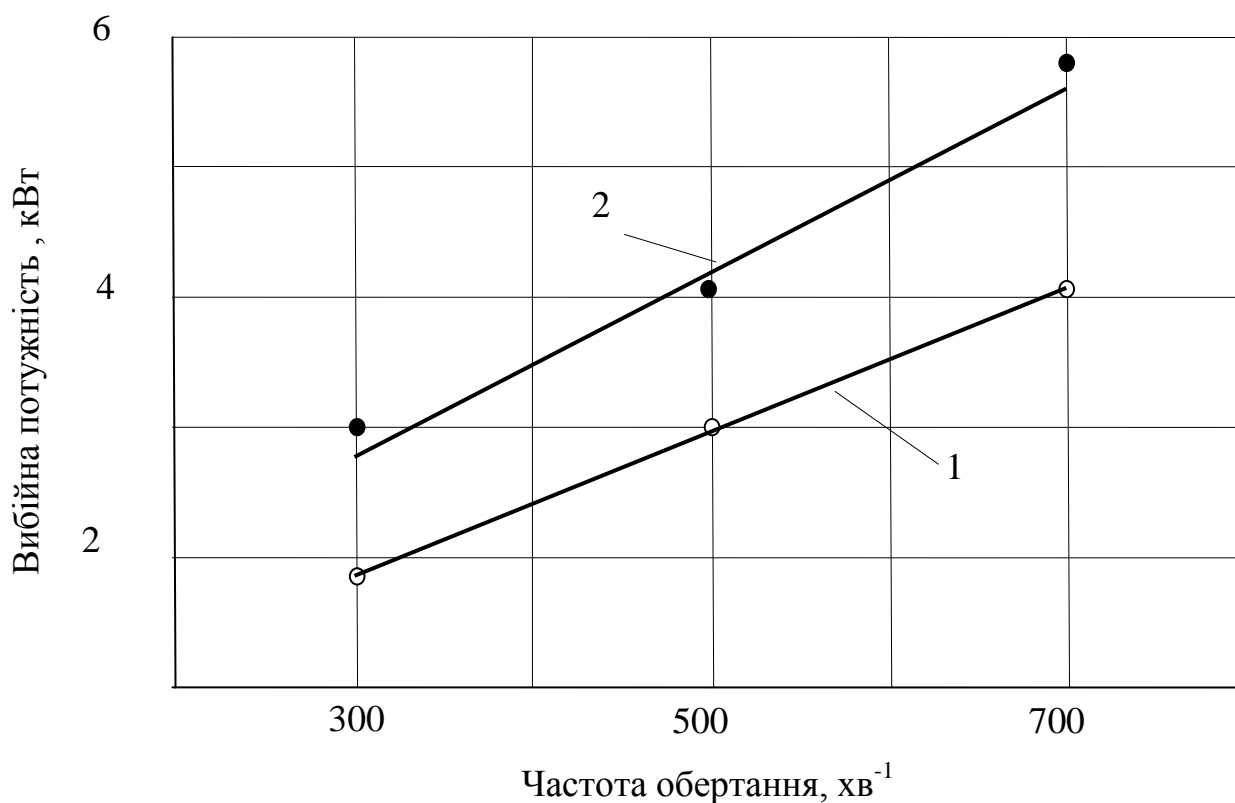
Рисунок 3.8 – Залежність значення технологічних параметрів процесу плавлення ТПКМ від співвідношення компонентів

Порівняння даних табл. 3.2 і рис. 3.9 свідчить про те, що збільшення частоти обертання від 300 хв<sup>-1</sup> до 700 хв<sup>-1</sup> залежно від осьового навантаження призводить до збільшення рівня вибівної потужності в 3,2 рази і зростання термо-механічної швидкості плавлення в 3,7–4,7 разів.

При цьому найвища вибійна потужність спостерігається при поєднанні осевого навантаження 700 даН і частоти обертання  $700 \text{ хв}^{-1}$ . Так само відбувається збільшення термомеханічної швидкості буріння (плавлення) в 2 рази, з 0,9 м/год при співвідношенні компонентів 1:1 до 1,7 м/год при співвідношенні 1:3.

Подальше збільшення вмісту гравію призвело до зниження термомеханічної швидкості буріння (плавлення).

Важливим чинником вибору технологічних режимів є зовнішній вигляд розплаву та його монолітність. На рис. 3.10 наведено приклад розплаву, отриманого з ТПКМ з співвідношенням 1:1 при частоті обертання інструменту  $300 \text{ хв}^{-1}$ .



1 – осьове навантаження 500 даН; 2 – осьове навантаження 700 даН

Рисунок 3.9 – Залежність вибійної потужності від технологічних режимів термомеханічного плавлення ТПКМ





Рисунок 3.10 – Зовнішній вигляд неякісного тампонажного каменю

Через низьку частоту обертання відбувався місцевий нагрів ТПКМ під торцем інструменту. За рахунок низької контактної температури ТПКМ не прогрівався вглиб, і розплав невеликими порціями видавлювався з під робочого органу інструментом.

Підвищення частоти обертання до  $500 \text{ хв}^{-1}$  у поєднанні з осьовим навантаженням  $700 \text{ даН}$  дозволило отримувати монолітний тампонажний камінь, зовнішній вигляд якого наведено на рис. 3.11.

У процесі плавлення ТПКМ вибійним термомеханічним інструментом, опосередковано, за кольором розплаву (каменю), можна судити про температуру плавлення. Блакитний відтінок характерно для розплаву або каменю, температурний режим якого не був порушений, тобто не перевищив температуру деградації ПЕТ.



Рисунок 3.11 – Зовнішній вигляд розплаву (тампонажного каменю), отриманого при частоті обертання  $500 \text{ хв}^{-1}$  і осьового навантаження  $700 \text{ даН}$ , для ТПКМ із співвідношенням компонентів 1: 1

Виходячи з цього, можна зробити висновок, що для ТПКМ даний температурний режим плавлення, а отже і співвідношення режимних параметрів, є мінімально допустимим. Підвищення частоти обертання зі збереженням величини осьового навантаження змін структури і кольору не викликало.

На рис. 3.12 – 3.14 наведено результати термомеханічного плавлення ТПКМ із співвідношенням компонентів 1:2 – 1:4.

З урахуванням результатів дослідження фізико-механічних властивостей ТПКМ (п.п. 2.2), а також результатів виконання робіт першого етапу стендових досліджень, наведених на рис. 3.7–3.13 і в табл. 3.2, отриманих при термомеханічному бурінні (плавленні) встановлено, що:





Рисунок 3.12 – Зовнішній вигляд розплаву (тампонажного каменю), отриманого при частоті обертання  $500 \text{ хв}^{-1}$  і осьового навантаження  $700 \text{ даН}$ , для ТПКМ із співвідношенням компонентів 1:2



Рисунок 3.13 – Зовнішній вигляд розплаву (тампонажного каменю), отриманого при частоті обертання  $500 \text{ хв}^{-1}$  і осьового навантаження  $700 \text{ даН}$ , для ТПКМ із співвідношенням компонентів 1:3



Рисунок 3.13 – Зовнішній вигляд розплаву (тампонажного каменю), отриманого при частоті обертання  $500 \text{ хв}^{-1}$  і осьового навантаження 700 даН, для ТПКМ із співвідношенням компонентів 1:4

- температурний режим ТПКМ із співвідношенням компонентів 1:1 порушено не було, термомеханічна швидкість буріння при максимальних режимах (частоті обертання  $700 \text{ хв}^{-1}$  і осьового навантаження 700 даН) становить 0,9 м/год;

- температурний режим ТПКМ із співвідношенням компонентів 1:2 порушений не був, але середня термомеханічна швидкість буріння поступається зразкам із співвідношенням компонентів 1:1 у 1,3 рази при максимальних режимах. Отже, подальші дослідження даного зразка недоцільні;

- ТПКМ із співвідношенням компонентів 1:3. Через плавлення матеріалу (згідно п.п. 2.2), якому притаманні властивості міцності в 1,6 рази нижче аналогічної, але з співвідношенням компонентів 1:1, «дуже абразивного» – порушено



температурний режим. Стався перегрів ТПКМ, що призвело до його деструкції з випаровуванням токсичних летких компонентів. Розплав (камінь) монолітний. Незважаючи на найвищу термомеханічну швидкість буріння, що в 1,9 раз вище ніж у ТПКМ з співвідношенням компонентів 1:1, ТПКМ з співвідношенням компонентів 1:3 у подальших дослідження не брав участі;

- температурний режим ТПКМ із співвідношенням компонентів 1:4 порушений не був. Термомеханічна швидкість буріння поступається зразкам із співвідношенням компонентів 1:1 в 1,3 рази при частоті обертання  $700 \text{ хв}^{-1}$  і осьового навантаження 700 даН. На думку автора, через незначну: термомеханічну швидкість буріння; розтікання розплаву; межі міцності на одновісне стиснення і найвищих значеннях: вмісту гравію; абразивності; часу буріння в подальших дослідженнях дані зразки не брали участь.

Таким чином, з урахуванням результатів досліджень фізико-механічних властивостей ТПКМ, представлених в п.п. 2.2, а також отриманих результатів стендових досліджень термомеханічної швидкості буріння (плавлення) ТПКМ, для застосування (дослідження) в стендових, свердловинних умовах, рекомендується ТПКМ із співвідношенням компонентів 1:1, у поєднанні з осьовим навантаженням, 700 даН при частоті обертання інструменту  $700 \text{ хв}^{-1}$ .

Для реалізації *другого етапу* стендових досліджень термомеханічного плавлення ТПКМ до моделі поглинаючого горизонту (див. рис. 3.3) вводили ТПКМ з співвідношенням компонентів 1:1, зовнішній вигляд, якого представлений на рис. 3.6. З завчасно встановленими термопарами (рис. 3.4), приєднаними до вимірювально-обчислювального комплексу.

Модель поглинаючого горизонту встановлювали в «кошик» співвісно з ведучою трубою обертача верстата. Для зниження вібрації бурильної колони її нижня частина фіксувалася обмежувачами поперечного руху.

На початку буріння, протягом декількох хвилин, проводили процес приробки інструменту до ТПКМ. Після чого процес зупиняли й інструмент витягували зі свердловини. Дана операція слугувала для охолодження інструменту і ТПКМ. Зовнішній вигляд приробленої поверхні ТПКМ наведено на рис. 3.14.



Рисунок 3.14 – Зовнішній вигляд приробленої поверхні ТПКМ

Час і температура приробки, поглиблення не враховувалися.

Після охолодження до кімнатної температури (рис. 3.15) почався процес термомеханічного буріння (плавлення). Осцилографування виконувалося протягом усього часу проведення експерименту. Час буріння додатково фіксувався секундоміром через кожні 10 мм, відлік яких проводився по мітках, нанесених на обертач верстата.

Результати дослідження температури плавлення ТПКМ при частоті обертання  $700 \text{ хв}^{-1}$  і осьовому навантаженні 700 даН наведено на рис. 3.15 – 3.20.

З рис. 3.15 слідує, що температура навколишнього середовища на момент проведення досліджень становила  $26,7 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Виходячи зі значень температури нагріву (плавлення), отриманих в умовах реального часу, результати яких наведено на рис. 3.16–3.19, можна стверджувати, що:



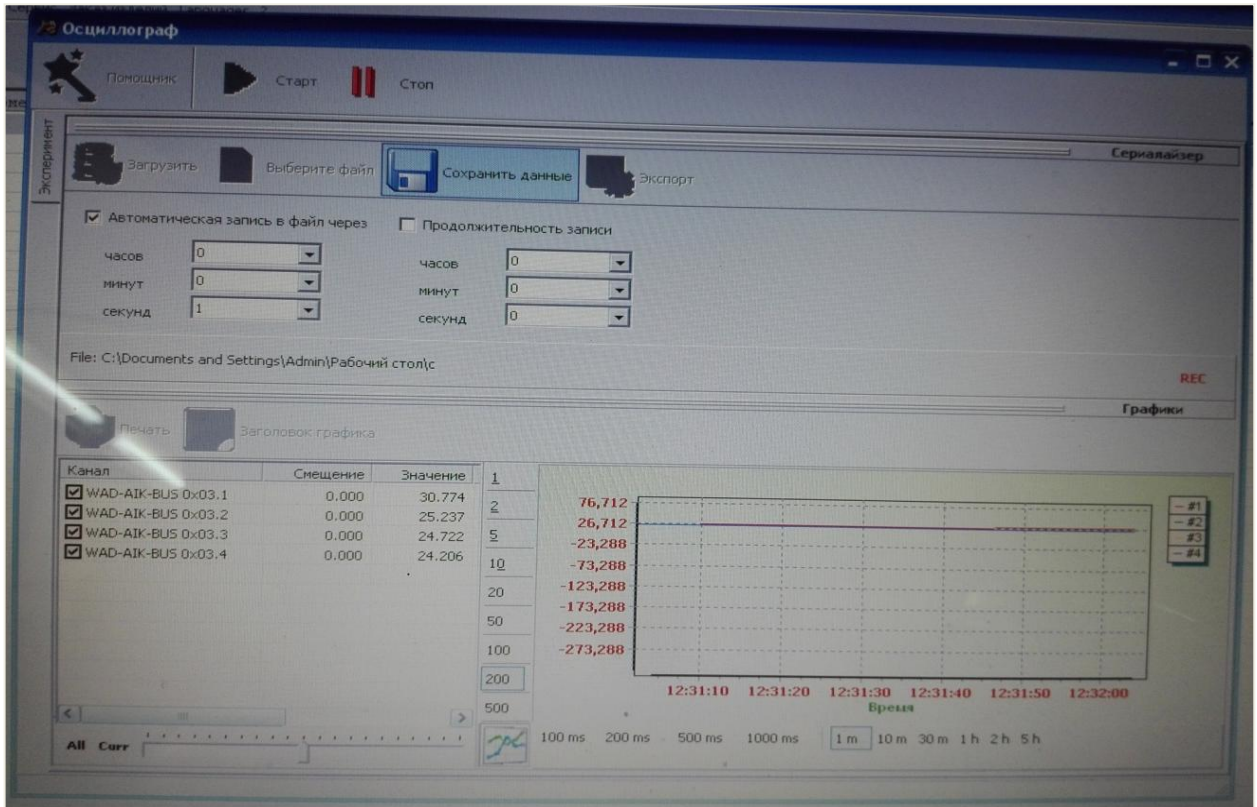


Рисунок 3.15 – Зовнішній вигляд інтерфейсу осцилографа в початковий момент плавлення ТПКМ

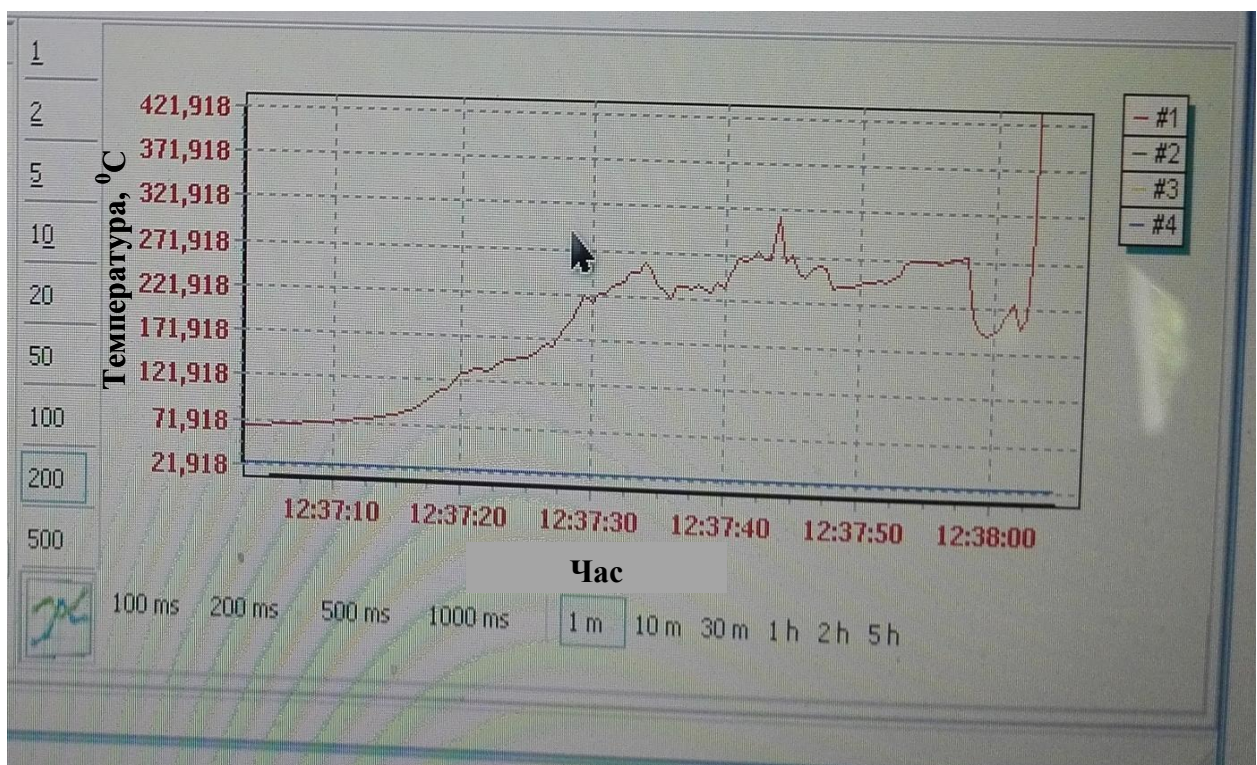


Рисунок 3.16 – Температура і час нагрівання ТПКМ навпроти першої тріщини з розкриттям 10 мм



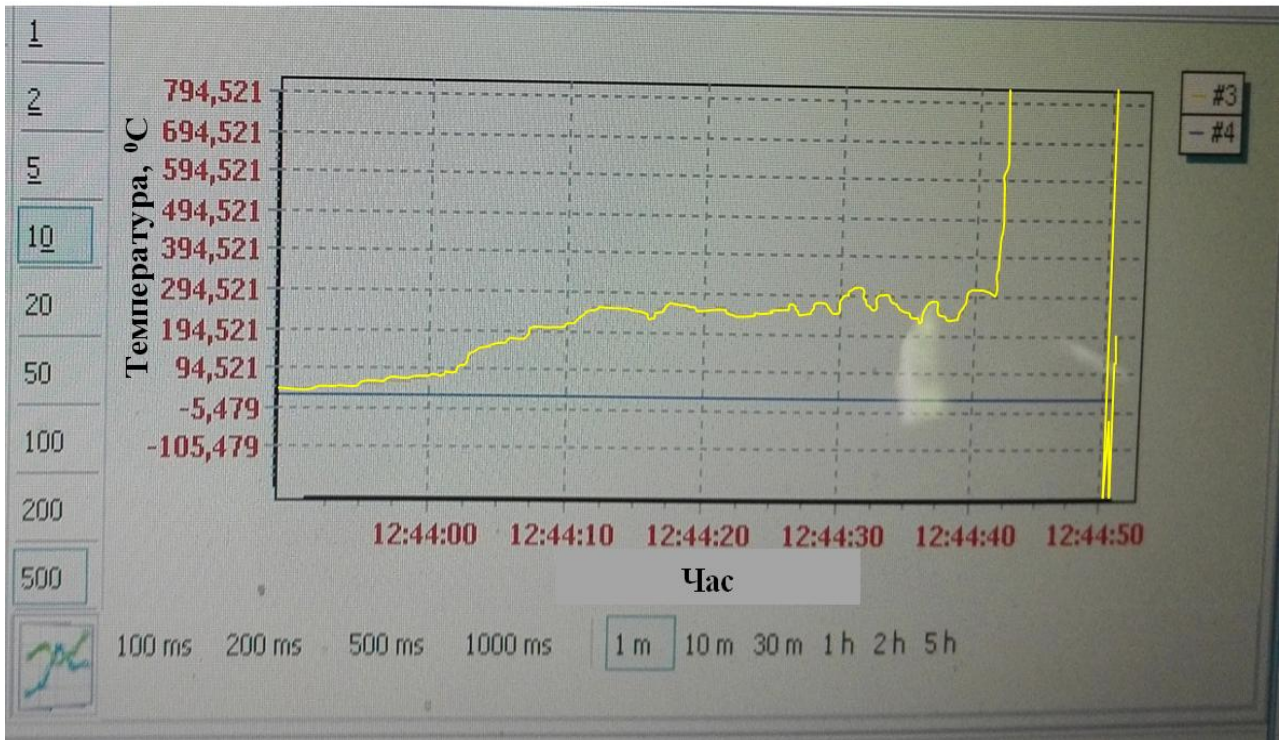


Рисунок 3.17 – Температура і час нагрівання ТПКМ навпроти другої тріщини з розкриттям 20 мм

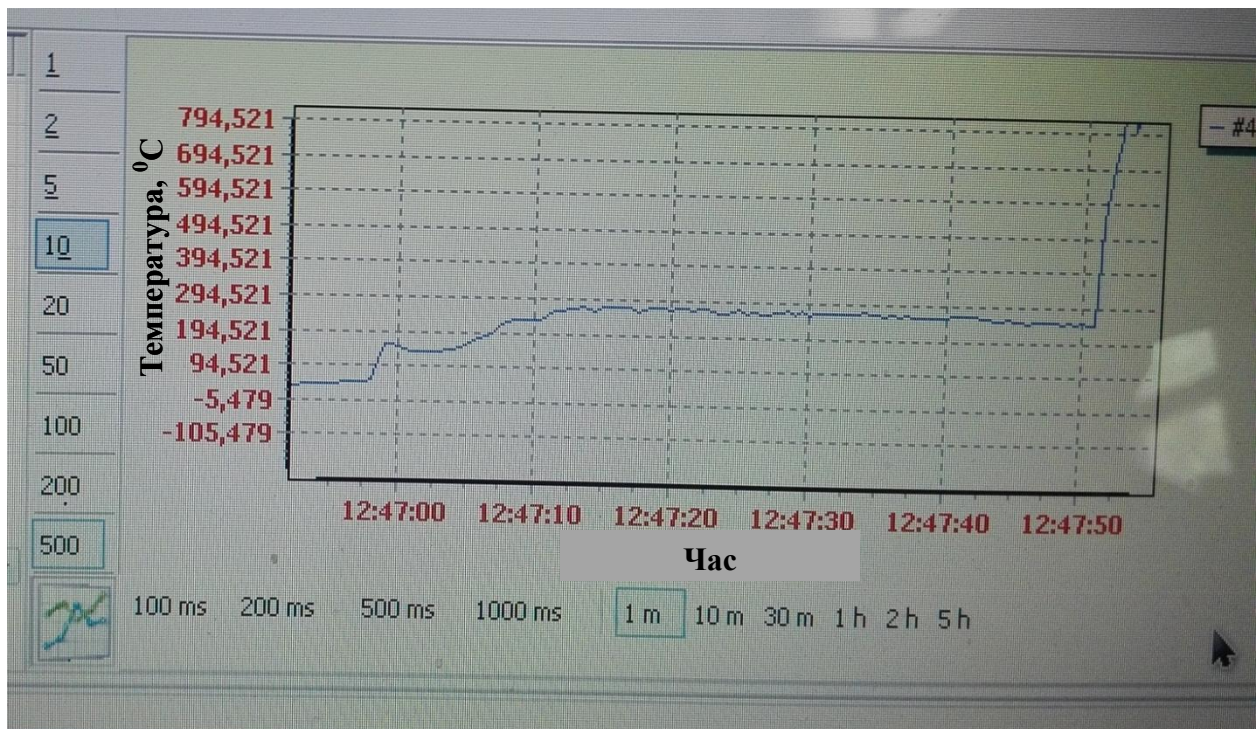


Рисунок 3.19 – Температура і час нагрівання ТПКМ навпроти третьої тріщини з розкриттям 30 мм



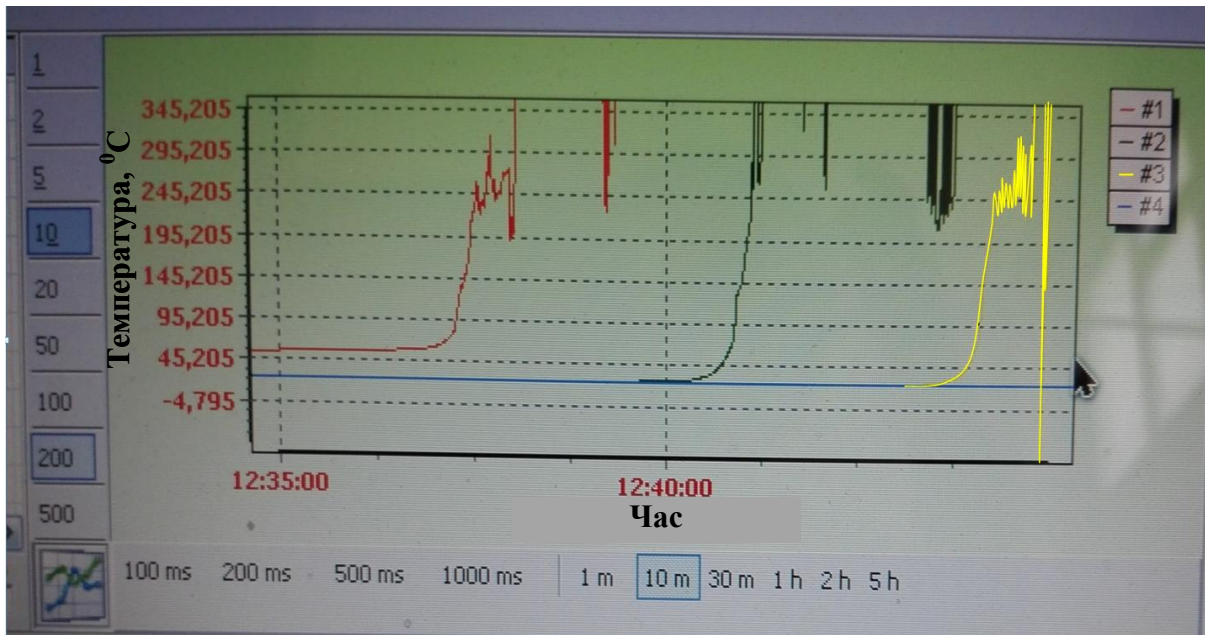


Рисунок 3.19 – Температура і час нагрівання в 1, 2 і 3 точках

- при плавленні ТПКМ температура його нагрівання не перевищила критичного значення ( $300\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), при якому відбувається деструкція в'язучого;

- підвищення температури зразка ТПКМ до температури плавлення відбувається в зоні контакту робочого органа інструменту. При цьому вона випереджає торцеву поверхню інструменту на 7–8 мм. Підтвердженням цього висновку може слугувати накладення результатів термомеханічного буріння, наведених в табл. 3.3 (представлених в графічному вигляді), на результати осцилографування, які наведено на рис. 3.19. При цьому місце установлення термопар №1–№3 при їх перебурюванні характеризується різким збільшенням температури (понад  $1000\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). Це різке збільшення температури пояснюється замиканням дротів термопари [176];

- сумарний час буріння зразка довжиною 0,22 м склав 13 хв 36 с, що відповідає раніше отриманим результатам (див. табл. 3.2).

Ще одним завданням проведення стендових досліджень було встановлення залежності розтікання розплаву ТПКМ по каналах поглинання промивальної рідини від їх розкриття.

Таблиця 3.3 – Залежність зміни термомеханічної швидкості від режимних параметрів плавлення брикету ТПКМ

Склад	Режимні параметри	Глибина буріння, мм	Час термомеханічного буріння, с	Відстань до термопари, мм	Термомеханічна швидкість буріння, м/год
ПЕТ + графит, співвідношення 1:1; $d < 0,5$ мм	Осьове навантаження 700 даН Частота обертання 700 хв <sup>-1</sup>	10	48	50	0,87
		20	46		
		30	46		
		40	29		
		50	38		
		60	37	50	0,99
		70	36		
		80	45		
		90	31		
		100	35		
		110	36	50	1,0
		120	37		
		130	40		
		140	32		
		150	35		
		160	34	50	1,0
		170	34		
		180	30		
		190	41		
		200	41		
		210	30	–	–
		220	36	–	–
<b>Сумарна</b>		<b>220</b>	<b>816</b>	–	–
<b>Середнє значення за 10 мм</b>			<b>37,14</b>	–	–
<b>Середнє значення по циклу</b>			<b>187,75</b>	–	<b>0,97</b>

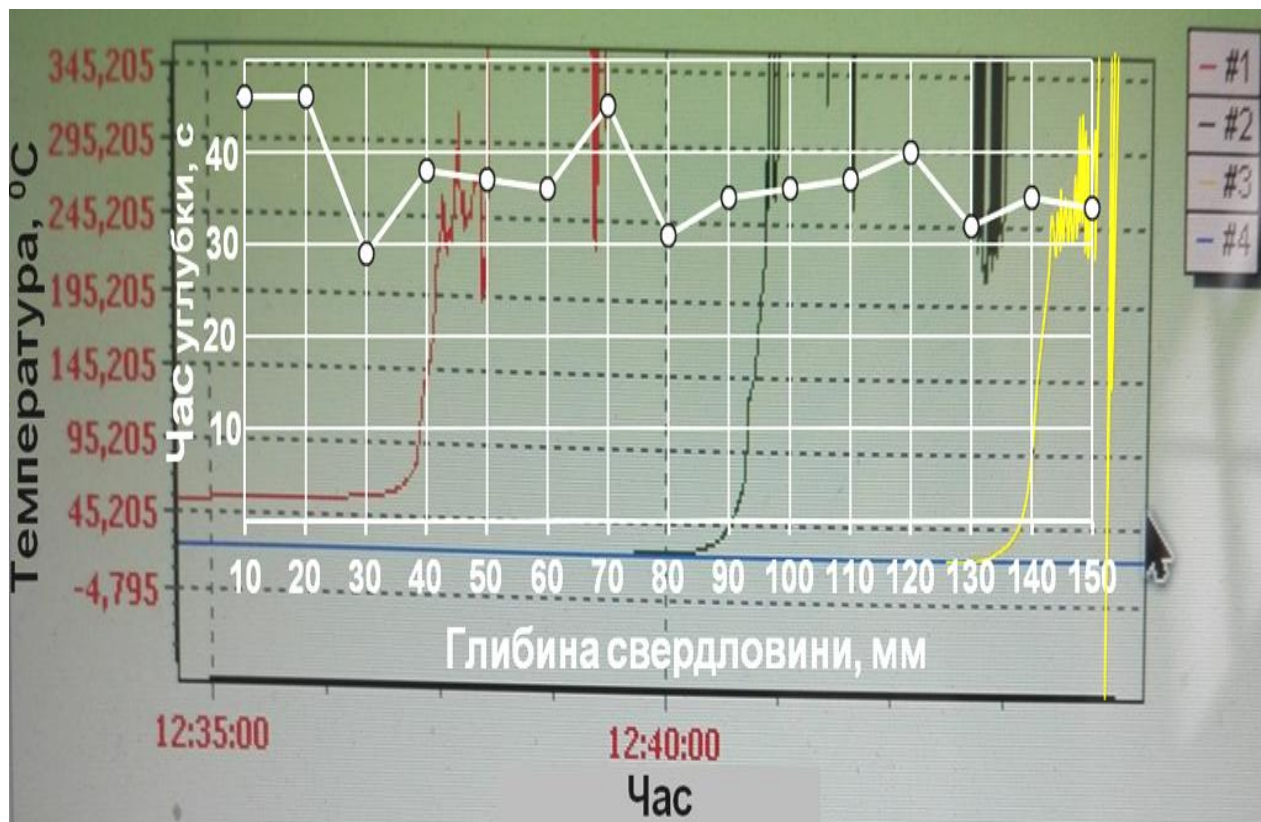


Рисунок 3.20 – Характер зміни температури в ТПКМ з глибиною

Для цього, після визначення температурного режиму плавлення, модель поглинаючого горизонту попластово була розібрана із здійсненням відповідних замірів. На рис. 3.21 – 3.23 наведено результати розтікання ТПКМ після термо-механічного буріння (плавлення), отриманих в стендових умовах.

Аналізуючи отримані результати, можна стверджувати, що розплав ТПКМ розтікається від стовбура свердловини:

- при розкритті тріщини 10 мм на 20–30 мм;
- при розкритті тріщини 20 мм на 80–90 мм;
- при розкритті тріщини 30 мм на 70–80 мм,

утворюючи малооб'ємну непроникну ізоляційну оболонку навколо стовбура свердловини. Судячи по характерному відбитку у верхній частині розплаву, він перекрив тріщину по всій її висоті.





а – тампонажний камінь у моделі горизонту; б – вигляд зверху

Рисунок 3.21 – Радіус поширення ТПКМ у тріщині з розкриттям 10 мм





а – тампонажний камінь у моделі горизонту; б – вигляд зверху

Рисунок 3.22 – Радіус поширення ТПКМ у тріщині з розкриттям 20 мм





а – тампонажний камінь у моделі горизонту; б – вигляд зверху

Рисунок 3.23 – Радіус поширення ТПКМ у тріщині з розкриттям 30 мм

### **3.3 Аналітичні дослідження термомеханічної технології ізоляції поглинаючих горизонтів бурових свердловин тампонажними термопластичними композиційними матеріалами**

Дослідження термомеханічної технології ізоляції поглинаючих горизонтів бурових свердловин тампонажними термопластичними композиційними матеріалами проведено згідно з технологією, розглянутою в п.п. 3.1.

Для досліджень приймемо низку припущень, оснований на теоретичних і експериментальних дослідженнях, у тому числі виконаних автором:

1. ТПКМ є циліндричне непроникне, ізотропне, однорідне тіло, яке складається з гравію і кристалічного вторинного ПЕТ.

2. Плавлення ТПКМ відбувається в зоні контакту термомеханічного інструменту з ТПКМ. Схема наведена на рис. 3.24.

3. Внаслідок тривалості процесу термомеханічного плавлення, мінімальних зазорів між брикетами ТПКМ і стінками свердловини, а також наявністю розплаву ТПКМ у свердловинному просторі, впливом свердловинної та пластової рідини на процес плавлення нехтуємо.

4. Плавлення ТПКМ відбувається при сталих і незмінних у часі технологічних режимних параметрах і гірничо-геологічної обстановки;

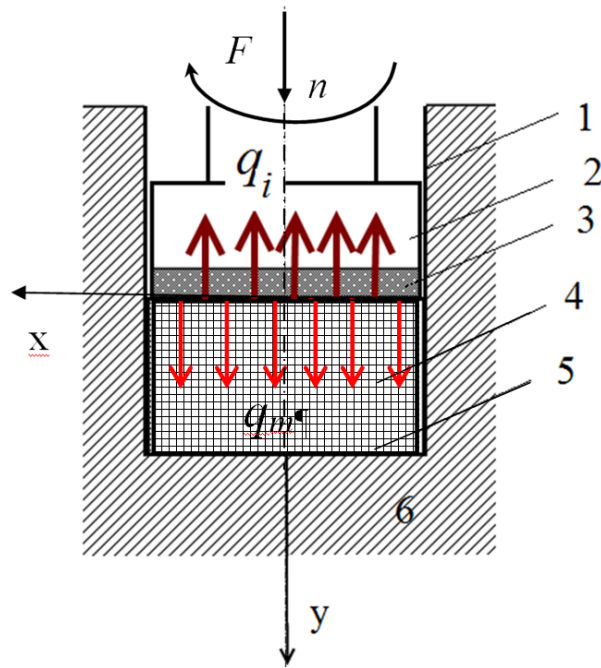
5. Початкова температура ТПКМ однорідна і дорівнює температурі середовища.

6. Температура середовищ і коефіцієнти теплообміну при плавленні ТПКМ є постійними протягом усього процесу.

7. Генерована в площині контакту теплота тертя розподіляється між інструментом і ТПКМ залежно від їх теплофізичних властивостей.

8. Розплав ТПКМ миттєво видавлюється із зони плавлення.

Розглянемо процес нагріву і плавлення брикету ТПКМ під дією генерованого тепла тертям.



1 – стінки свердловини; 2 – термомеханічний породоруйнівний інструмент; 3 – термофрикційна накладка; 4 – брикет ТПКМ; 5 – поверхня вибою; 6 – гірська порода

Рисунок 3.24 – Схема до розрахунку термомеханічного плавлення тертям

Тепловий потік генерується на лінії контакту термофрикційної накладки 3 і поверхні брикету ТПКМ при роботі термомеханічного породоруйнівного інструменту 2. Генерований тепловий потік поширюється в тіло брикету ТПКМ шляхом теплопровідності. Під дією теплової енергії ТПКМ нагрівається, а після досягнення температури поверхні значення фазового переходу (температури плавлення) плавиться. Розплавлена частина матеріалу задавлюється в пористі стінки свердловини 1 внаслідок тиску інструменту.

Для визначення параметрів процесу нагрівання ТПКМ розглянемо рівняння теплопровідності у вигляді

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = a \frac{\partial^2 t}{\partial y^2}, \quad \tau > 0, \quad 0 \leq y \leq \infty, \quad (3.4)$$



$$\text{з початковими умовами } t = t_0, \text{ при, } \tau = 0 \quad (3.5)$$

$$\text{і граничними умовами } -\lambda \frac{\partial t}{\partial y} = q_m, \quad \text{при } y = 0, \quad (3.6)$$

$$t = t_0, \quad \text{при } y \rightarrow \infty, \quad (3.7)$$

де  $t$  – температура;  $\tau$  – час;  $a$  – коефіцієнт теплопроводності;  $y$  – просторова координата;  $t = t_0$  – початкова температура;  $\lambda$  – коефіцієнт теплопроводності ТПКМ;  $q_m$  – поверхневий тепловий потік, що йде на нагрів матеріалу.

Початок системи координат знаходиться на лінії контакту, де відбувається генерування теплового потоку. Тепловий потік визначається з формули

$$q_m = \frac{\mu k_m \pi F D n}{S}, \quad (3.8)$$

де  $\mu$  – коефіцієнт тертя;  $k_m$  – коефіцієнт, що враховує частку теплоти тертя яка йде на нагрівання і плавлення ТПКМ;  $F$  – осьове навантаження;  $D$  – діаметр поверхні тертя;  $S$  – площа поверхні тертя;  $n$  – частота обертання інструменту.

Коефіцієнт  $k_m$  визначимо згідно методики [177]

$$k_m = \frac{\frac{\lambda_i}{\lambda} \sqrt{\frac{a}{a_i}}}{1 + \frac{\lambda_i}{\lambda} \sqrt{\frac{a}{a_i}}},$$

де  $\lambda_i$ ,  $a_i$  – коефіцієнти тепло – та теплопроводності термомеханічного інструменту.

У випадку, коли температура поверхні змінюється за степеневим законом

$$t_s = \beta_n \tau^n + \beta_{n-1} \tau^{n-1} + \dots + \beta_1 \tau + \beta_0, \quad (3.9)$$

де  $\beta_i$  – деякі коефіцієнти, то рішення задачі (3.3) – (3.7) для поверхні нагрівання було отримано Василевським К.К. [178]. Відповідно до [179], для розрахунку теплового потоку може використовуватися формула

$$q_m = \frac{2\lambda}{\sqrt{\pi a \tau}} \sum_{i=1}^n \beta_i \tau^i \sum_{m=0}^i \frac{(-1)^{m+1} m C_i^m}{2m-1}, \quad (3.10)$$

де  $C_i^m = \frac{i(i-1)\dots(i-m+1)}{m!}$  – константи.

Припустимо, що в силу того, що нагрівання поверхні до температури плавлення  $t_f$  відбувається досить швидко, зміну температури можна описати лінійним співвідношенням

$$t_s = \beta_0 + \beta_1 \tau = t_0 + \frac{t_f - t_0}{\tau_f} \tau, \quad (3.11)$$

де  $\tau_f$  – час нагрівання поверхні до температури плавлення.

Тоді формула (3.10) з урахуванням (3.11) набуде вигляду

$$q_m = \frac{2\lambda}{\sqrt{\pi a \tau}} \frac{t_f - t_0}{\tau_f} \tau.$$

При  $\tau = \tau_f$  отримуємо

$$q_m = \frac{2\lambda}{\sqrt{\pi a \tau_f}} (t_f - t_0). \quad (3.12)$$

Зіставляючи формули (3.8) і (3.12), і враховуючи, що  $S = \frac{\pi D^2}{4}$ , отримаємо вираз, що зв'язує режимні параметри технологічного процесу і параметри

теплофізичних процесів при роботі інструменту

$$Fn = \frac{\lambda D}{2\mu k_m \sqrt{\pi a \tau_f}} (t_f - t_0) \quad (3.13)$$

Співвідношення (3.13) дозволяє визначити режимні параметри (осьове зусилля і/або частоту обертання), необхідні для початку плавлення брикету ТПКМ.

Знаючи необхідний тепловий потік, можна визначити швидкість плавлення матеріалу і час, необхідний для повного розплавлення брикету. Рівняння теплового балансу на поверхні запишеться

$$q_m = q_{melt} + q_\lambda, \quad (3.14)$$

де  $q_{melt}$  – теплота яка йде на розплавлення поверхневого шару матеріалу товщиною  $d\xi$  за елементарний час  $d\tau$ ;  $q_\lambda$  – тепловий потік, який йде на прогрів внутрішніх шарів матеріалу. Тепловий потік  $q_\lambda$  визначається законом Фур'є

$$q_\lambda = -\lambda \frac{\partial t}{\partial y}, \quad (3.15)$$

тепловий потік  $q_{melt}$  визначається виразом

$$q_{melt} = \rho L \frac{d\xi}{d\tau}, \quad (3.16)$$

де  $L$  – прихована теплота плавлення ТПКМ.

Оскільки після початку і протягом усього процесу плавлення температура на поверхні підтримується постійною і рівною  $t_f$ , то температурне поле в зраз-

ку буде описуватися виразом [180]

$$t = t_f + (t_{0f} - t_f) \operatorname{erf}\left(\frac{y}{2\sqrt{a\tau}}\right),$$

де  $t_{0f}$  – температурне поле, яке сформувалося в зразку на момент початку процесу плавлення.

Тоді, з (3.15) можемо визначити значення  $q_\lambda$

$$q_\lambda = -\lambda \frac{\partial t}{\partial y} \Big|_{y=0} = -\lambda(t_{0f} - t_f) \frac{e^{-\frac{y^2}{4a\tau}}}{\sqrt{\pi a \tau}} = -\frac{\lambda(t_{0f} - t_f)}{\sqrt{\pi a \tau}}. \quad (3.17)$$

Таким чином, з рівняння (3.14) з урахуванням (3.12), (3.17) отримаємо

$$q_{melt} = \frac{2\lambda(t_f - t_0)}{\sqrt{\pi a \tau_f}} - \frac{\lambda(t_{0f} - t_f)}{\sqrt{\pi a \tau}} = \frac{\lambda}{\sqrt{\pi a}} \left( \frac{2(t_f - t_0)}{\sqrt{\tau_f}} + \frac{t_f - t_{f0}}{\sqrt{\tau}} \right), \quad (3.18)$$

Якщо визначити швидкість термомеханічного буріння як  $V = \frac{d\xi}{d\tau}$ , то з рівняння (3.14) з урахуванням (3.16), (3.18) отримаємо

$$V = \frac{\lambda}{\rho L \sqrt{\pi a}} \left( \frac{2(t_f - t_0)}{\sqrt{\tau_f}} + \frac{t_f - t_{f0}}{\sqrt{\tau}} \right). \quad (3.19)$$

Для практичного використання (3.19) необхідно знати температуру  $t_{0f}$ , яка є функцією координати  $y$  і визначається рішенням задач (3.5) – (3.8) на момент часу  $\tau_f$ . Припустимо, що в основному об'єму термопластичного матеріалу в момент початку процесу плавлення температура незначно відрізняється

від початкової температури  $t_{of} \approx t_0$ . Дане припущення ґрунтується на тому, що час нагрівання  $\tau_f$ , як правило, на порядок менше часу термомеханічного буріння, а коефіцієнт теплопровідності ТПКМ є невеликою величиною. В цьому випадку формулу (3.19) можна записати у вигляді

$$V = \frac{\lambda(t_f - t_0)}{\rho L \sqrt{\pi a}} \left( \frac{2}{\sqrt{\tau_f}} + \frac{1}{\sqrt{\tau}} \right).$$

Визначаючи  $\tau_f$  через режимні параметри буріння за допомогою (3.13), отримаємо

$$V = \frac{1}{\rho L} \left( \frac{4\mu k_m F n}{D} + \frac{\lambda(t_f - t_0)}{\sqrt{\pi a \tau}} \right). \quad (3.20)$$

Аналізуючи (3.20) при  $\tau \rightarrow \infty$ , отримаємо формулу для граничної швидкості термомеханічного буріння

$$V_{lim} = \frac{1}{\rho L} \left( \frac{4\mu k_m F n}{D} \right). \quad (3.21)$$

Середня швидкість термомеханічного буріння за час  $T$  визначимо як

$$V_{av} = \frac{1}{T} \int_0^T V(\tau) d\tau, \quad (3.22)$$

де  $T$  – час буріння;  $V(\tau)$  – визначається виразом (3.20).

Використовуємо визначення термомеханічної швидкості буріння

$$V = \frac{d\xi}{d\tau} = \frac{1}{\rho L} \left( \frac{4\mu k_m F n}{D} + \frac{\lambda(t_f - t_0)}{\sqrt{\pi a \tau}} \right) \quad (3.23)$$

інтегруємо (3.23) за часом у межах від 0 до  $T$  з урахуванням умови  $\xi = 0$  при  $\tau = 0$  отримуємо вираз для глибини буріння за період  $T$

$$h = \frac{1}{\rho L} \left( \frac{4\mu k_m F n}{D} T + \frac{2\lambda(t_f - t_0)}{\sqrt{\pi a}} \sqrt{T} \right). \quad (3.24)$$

Результати дослідження термомеханічної технології ізоляції поглинаючих горизонтів бурових свердловин тампонажними термопластичними композиційними матеріалами (3.3) – (3.7) з вищеописаним алгоритмом, наведено у табл. 3.4. і на рис. 3.25–3.29.

Розрахунки виконані виходячи для таких значень: осьове навантаження  $F = 7000 - 15000$  Н; частота обертання інструменту  $n = 5,0 - 11,7$  об/с; діаметр поверхні тертя  $D = 0,046 - 0,269$  м; температура плавлення ТПКМ  $t_f = 246$  °С; початкова температура нагріву ТПКМ –  $t_0 = 25$  °С ;

- для ПЕТ усіх концентрацій: прихована теплота плавлення  $L = 6,3 \cdot 10^4$  Дж/кг; коефіцієнт тертя  $\mu = 0,3$ ; коефіцієнт теплопровідності  $a = 1,1 \cdot 10^{-7}$  м<sup>2</sup>/с;

- для концентрації 1:1 щільність  $\rho = 1620$  кг/м<sup>3</sup>, коефіцієнт теплопровідності  $\lambda = 0,14$  Вт/м·К;

- для концентрації 1:2 щільність  $\rho = 1700$  кг/м<sup>3</sup>, коефіцієнт теплопровідності  $\lambda = 0,15$  Вт/м·К;

- для концентрації 1:3 щільність  $\rho = 1820$  кг/м<sup>3</sup>, коефіцієнт теплопровідності  $\lambda = 0,178$  Вт/м·К;

- для концентрації 1:4 щільність  $\rho = 1850$  кг/м<sup>3</sup>, коефіцієнт теплопровідності  $\lambda = 0,19$  Вт/м·К;

- для інструменту коефіцієнт теплопровідності  $\lambda = 45$  Вт/м·К, коефіцієнт теплопровідності  $a = 1,2 \cdot 10^{-7}$  м<sup>2</sup>/с.

Таблиця 3.4 – Результати дослідження термомеханічного плавлення

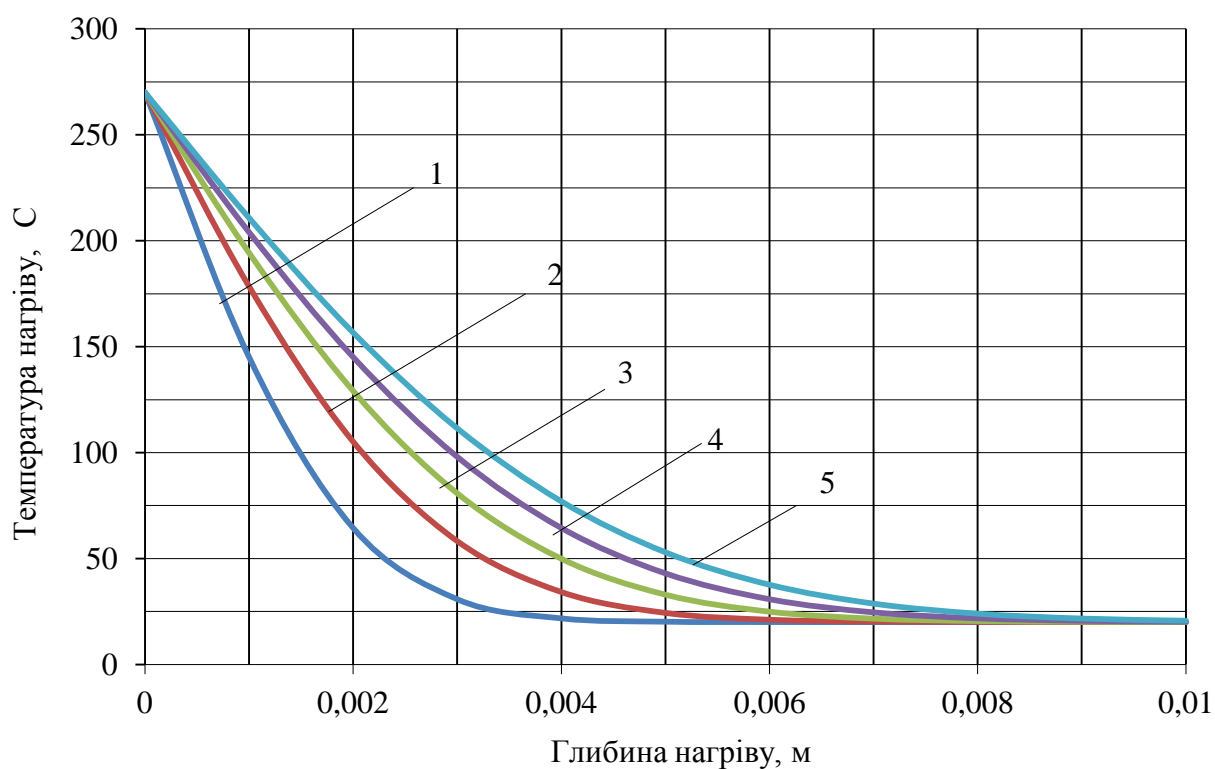
ТПКМ

Склад	$n, \text{хв}^{-1}$	$P, \text{даН}$	Глибина буріння, мм	Середній час буріння за результатами експерименту, с	Середня термомеханічна швидкість плавлення по (3.23), м/год	Середня термомеханічна швидкість плавлення за результатами експеримента, м/год	$\pm \Delta V_{\text{тм}}, \text{м/год}$	$\pm \Delta V_{\text{тм}}, \%$
ПЕТ + гравій, співвідношення 1:1	300	500	50	461,0	<b>0,37</b>	<b>0,4</b>	0,03	<b>3</b>
		700	50	358,7	<b>0,47</b>	<b>0,5</b>	0,03	<b>3</b>
	500	500	50	323,0	<b>0,53</b>	<b>0,6</b>	0,07	<b>7</b>
		700	50	269,7	<b>0,68</b>	<b>0,7</b>	0,02	<b>2</b>
	700	500	50	327,0	<b>0,65</b>	<b>0,6</b>	-0,05	<b>5</b>
		700	50	203,3	<b>0,89</b>	<b>0,9</b>	0,01	<b>1</b>
ПЕТ + гравій, співвідношення 1:2;	300	500	50	418,7	<b>0,37</b>	<b>0,4</b>	0,03	<b>3</b>
		700	50	307,7	<b>0,48</b>	<b>0,6</b>	0,12	<b>12</b>
	500	500	50	355,0	<b>0,50</b>	<b>0,5</b>	0	<b>0</b>
		700	50	311,3	<b>0,64</b>	<b>0,6</b>	-0,04	<b>4</b>
	700	500	50	258,7	<b>0,67</b>	<b>0,7</b>	0,03	<b>3</b>
		700	50	246,3	<b>0,84</b>	<b>0,7</b>	-0,14	<b>14</b>
ПЕТ + гравій, співвідношення 1:3	300	500	50	355,7	<b>0,47</b>	<b>0,5</b>	0,03	<b>3</b>
		700	50	143,7	<b>0,67</b>	<b>1,3</b>	0,63	<b>63</b>
	500	500	50	154,3	<b>0,71</b>	<b>1,2</b>	0,49	<b>49</b>
		700	50	117,7	<b>0,91</b>	<b>1,5</b>	0,59	<b>59</b>
	700	500	50	142,3	<b>0,88</b>	<b>1,3</b>	0,42	<b>42</b>
		700	50	104,0	<b>1,13</b>	<b>1,7</b>	0,57	<b>57</b>
ПЕТ + гравій, співвідношення 1:4	300	500	50	553,7	<b>0,37</b>	<b>0,3</b>	-0,07	<b>7</b>
		700	50	490,7	<b>0,46</b>	<b>0,4</b>	-0,06	<b>6</b>
	500	500	50	410,7	<b>0,53</b>	<b>0,4</b>	-0,13	<b>13</b>
		700	50	317,3	<b>0,69</b>	<b>0,6</b>	-0,09	<b>9</b>
	700	500	50	259,7	<b>0,72</b>	<b>0,7</b>	-0,02	<b>2</b>
		700	50	250,7	<b>0,9</b>	<b>0,7</b>	-0,20	<b>2</b>

На рис. 3.25 показано розрахунковий розподіл температури по осі свердловини вглиб брикетів ТПКМ при термомеханічному плавленні. При цьому технологічні параметри процесу термомеханічного плавлення осьове навантаження 700 даН і частота обертання  $700 \text{ хв}^{-1}$ . У результаті виконаного розрахунку показана зміна температурного режиму в брикетах ТПКМ під дією термомеханічного інструменту. Як і в результаті стендових досліджень зміна температури в брикеті відбувається на відстані 7–8 мм від термофрикційної накладки інструменту. Так само показано, що в свердловинних умовах:

- нагрівання поверхні брикету ТПКМ від початкової температури до температури плавлення відбувається за 10 с;

- потужність розплаву під торцем термомеханічного інструменту, незалежно від часу плавлення, не перевищує 0,001.



1 – через 10 с; 2 – 20 с; 3 – 30 с; 4 – 40 с; 5 – 50 с

Рисунок 3.25 – Розрахунковий розподіл температури вглиб брикетів ТПКМ при термомеханічному плавленні при осьовому навантаженні 700 даН і частоті обертання  $700 \text{ хв}^{-1}$



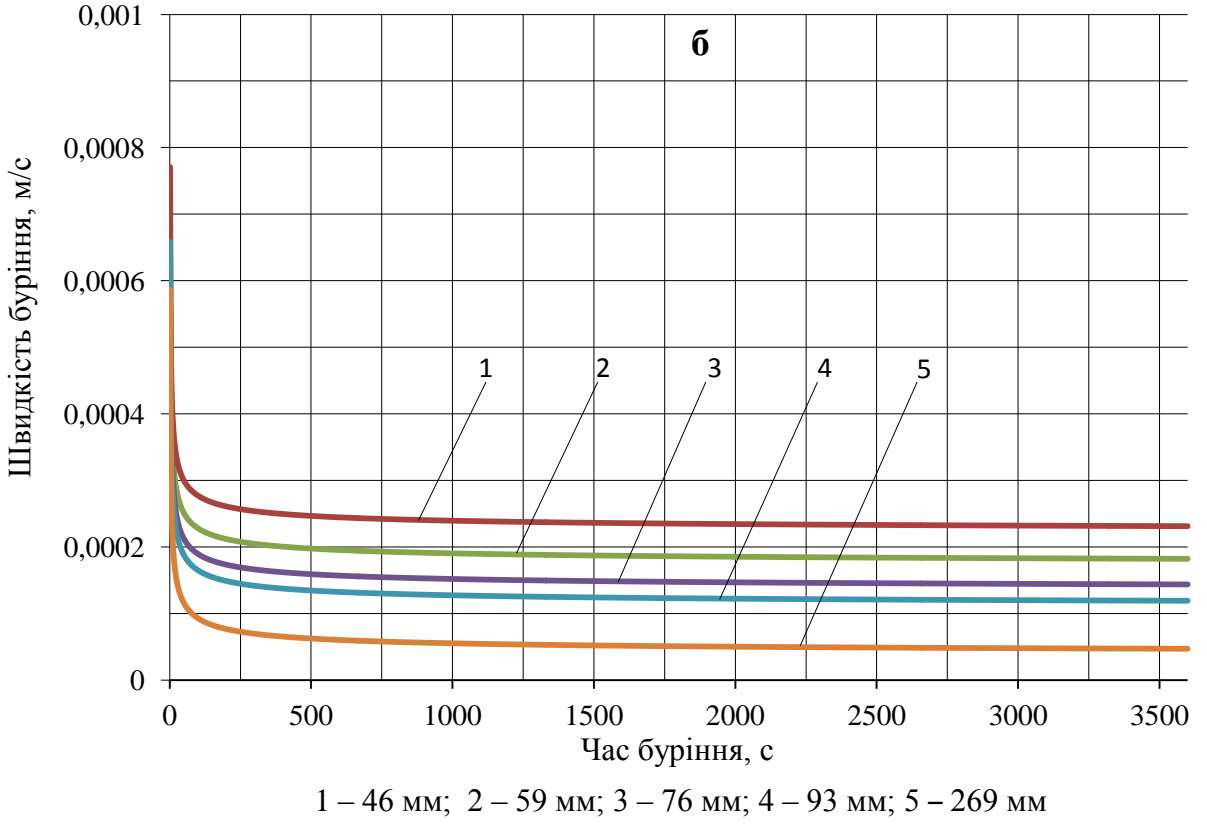
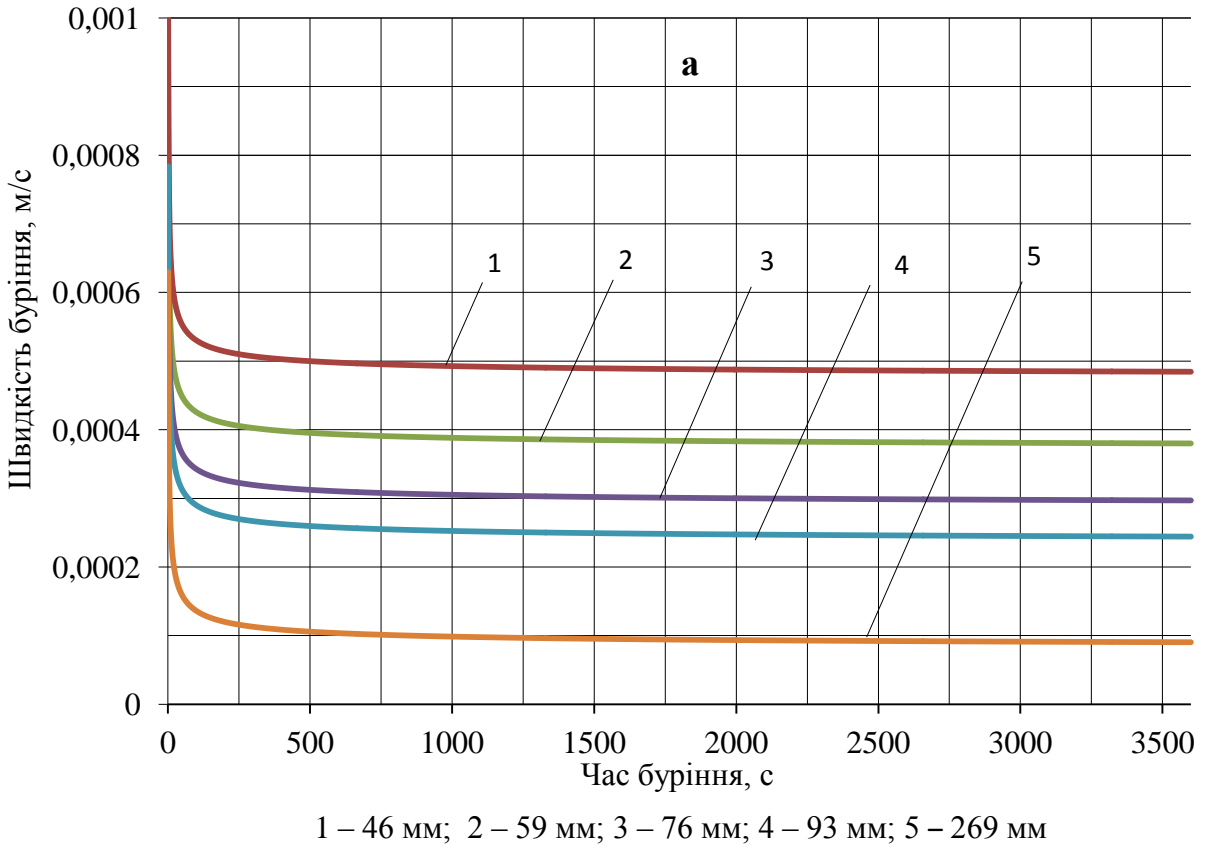
У результаті виконаного теоретичного дослідження термомеханічного плавлення ТПКМ і зіставлення його з результатами стендових досліджень (див. табл. 3.4) можна стверджувати, що:

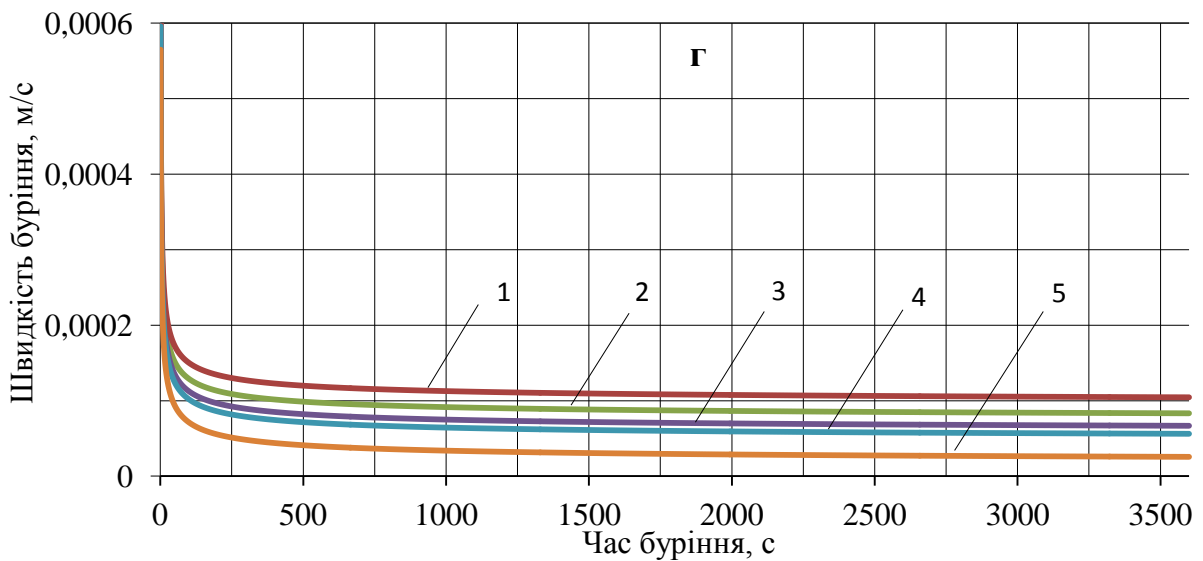
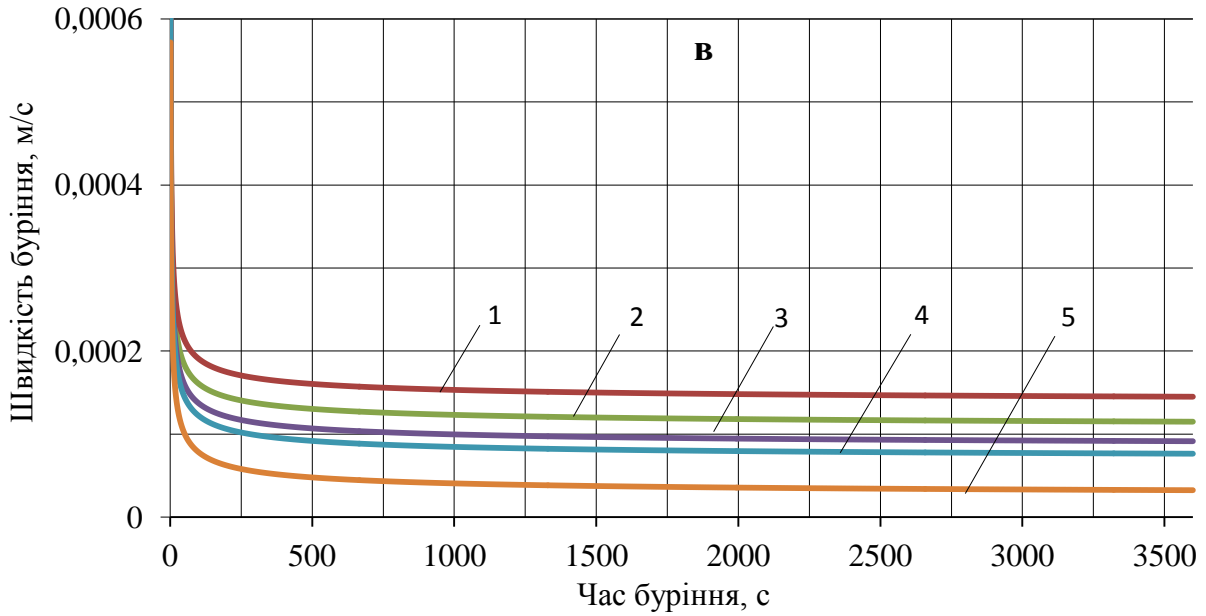
- розроблена модель дозволяє теоретично описати процес плавлення ТПКМ. При цьому розрахункова середня термомеханічна швидкість плавлення порівняна з отриманою в результаті стендових досліджень і не перевищує в більшості випадків 10–15 %. Виняток становить ТПКМ із співвідношенням компонентів 1:3. Цей факт потребує проведення більш детальних досліджень. Але тому що в результаті лабораторних і стендових досліджень рекомендовано до застосування – ТПКМ з співвідношенням компонентів 1:1, то в завдання роботи не входило дослідження й обґрунтування цього факту;

- при сталому режимі термомеханічного плавлення ТПКМ стаціонарна термомеханічна швидкість, розрахована за (3.21), на 30–50 % нижче початкової. Це можна пояснити прогрівом ТПКМ згодом слабким впливом початкових умов зменшенням градієнта температури і, як наслідок, теплового потоку.

На рис 3.26 наведено розрахункові залежності зміни термомеханічної швидкості плавлення від розмірів інструменту. На підставі цього можна зробити висновок, що зміна термомеханічної швидкості плавлення відбувається за лінійним законом розподілу величин. Так, з приростом осьового навантаження (рис. 3.26, а, б) від 700 даН до 1500 даН збільшення сталої термомеханічної швидкості для інструменту діаметром 59 мм становить 46,2%, і для інструменту діаметром 269 мм теж становить 46,2 %. Аналогічна ситуація відбувається при зниженні частоти обертання (рис. 3.26, в, г). Крім того, встановлена термомеханічна швидкість, незалежно від діаметра інструменту, залишається практично незмінною.

Підтвердженням сказаного вище можуть слугувати розрахункові значення термомеханічної швидкості та характеру їх зміни для різних діаметрів інструменту, які зображено на рис. 3.27.





а – осьове навантаження 1500 даН, частота обертання  $700 \text{ хв}^{-1}$ ;

б – осьове навантаження 700 даН, частота обертання  $700 \text{ хв}^{-1}$ ;

в – осьове навантаження 1000 даН, частота обертання  $300 \text{ хв}^{-1}$ ;

г – осьове навантаження 700 даН, частота обертання  $300 \text{ хв}^{-1}$

Рисунок 3.26 – Розрахункова залежність зміни термомеханічної швидкості плавлення ТПКМ у часі залежно від розмірів інструменту і режимних параметрів процесу

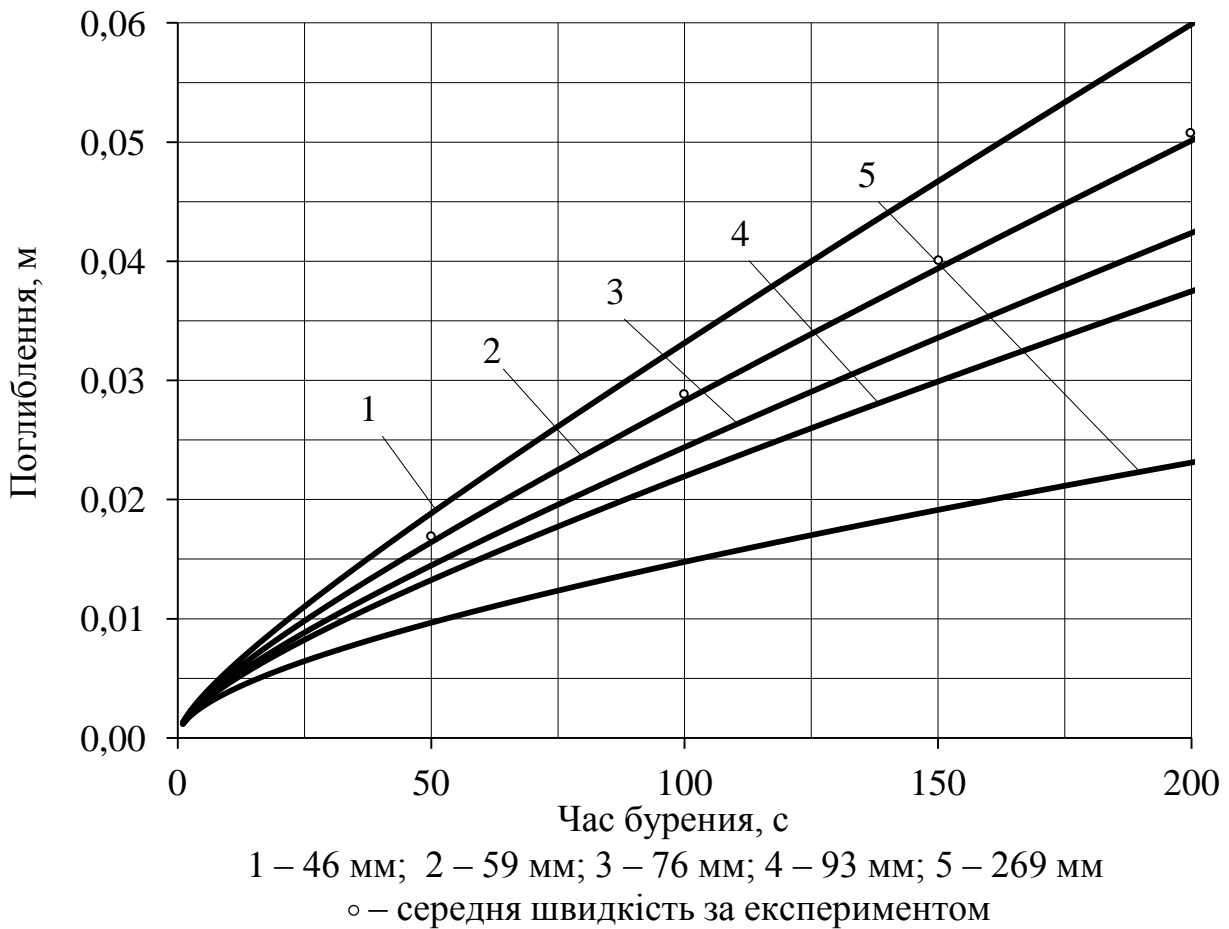


Рисунок 3.27 – Розрахункова залежність зміни глибини термомеханічного плавлення свердловини в часі від розмірів інструменту, при осьовому навантаженні 700 даН і частоті обертання  $700 \text{ хв}^{-1}$

Так, при осьовому навантаженні 700 даН і частоті обертання  $700 \text{ хв}^{-1}$  розрахункова термомеханічна швидкість плавлення інструментом з діаметром: 46 мм складе 1,2 м/год; 59 мм – 1,0 м/год; 76 мм – 0,84 м/год; 93 мм – 0,74 м/год; 269 мм – 0,46 м/год.

У результаті виконаного аналізу алгоритму розрахунку, а також розрахункових залежностей зміни глибини і швидкості термомеханічного плавлення свердловини в часі стала можливою побудова номограми залежності режимних параметрів від швидкості термомеханічного плавлення ТПКМ на вибої свердловини. Результати, наведені на рис. 3.28, справедливі для термомеханічного інструменту діаметром 59 мм.

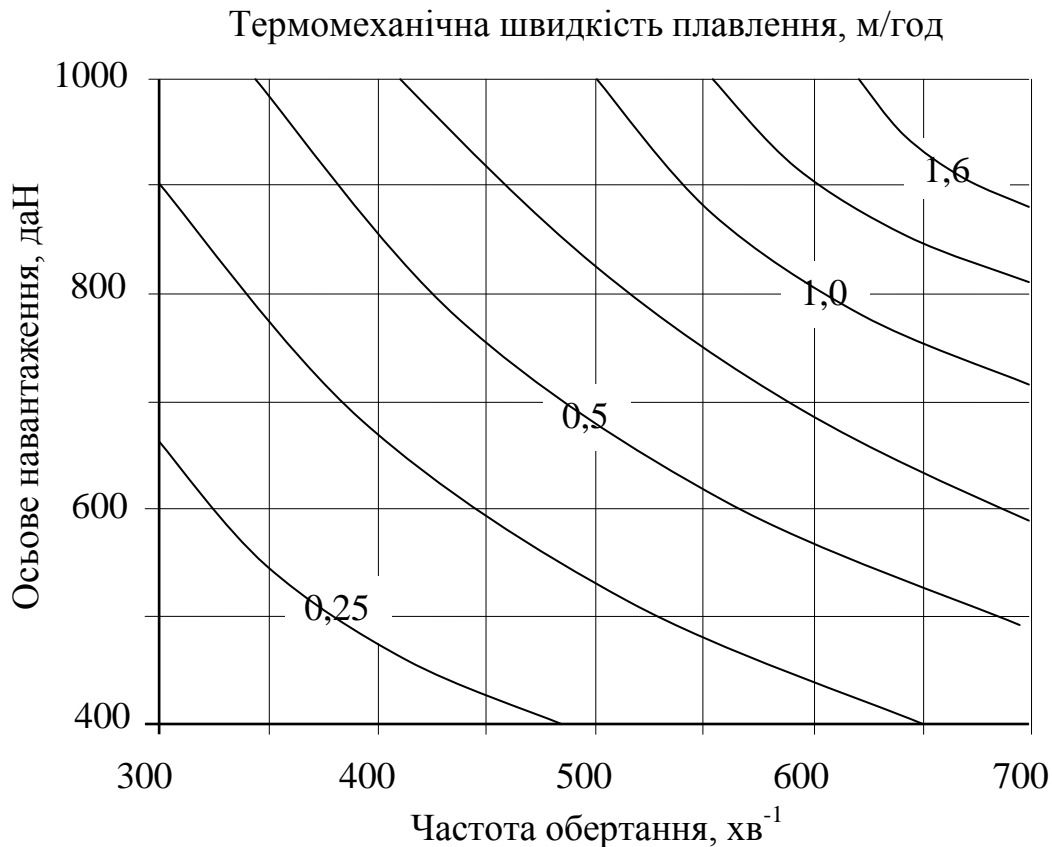


Рисунок 3.28 – Розрахункова залежність стаціонарної термомеханічної швидкості плавлення ТПКМ від величини режимних параметрів

Таким чином, на підставі вищенаведеного можна зробити висновок, що в результаті виконання аналітичних досліджень термомеханічної технології ізоляції поглинаючих горизонтів бурових свердловин тампонажними термопластичними композиційними матеріалами:

- розроблено математичну модель, яка адекватно описує теплофізичні процеси, що відбуваються в свердловині при плавленні ТПКМ. При цьому розбіжність між результатами аналітичних і стендових досліджень не перевищила 10%;

- з урахуванням теплофізичних характеристик ТПКМ і інструменту визначено термомеханічну швидкість плавлення ТПКМ і закономірність поширення температури в ТПКМ, а також режимні параметри термомеханічної технології ліквідації поглинання промивальної рідини.

### Висновки до розділу 3

1. Розроблено й обґрунтовано спосіб ізоляції поглинаючих горизонтів із застосуванням ТПКМ на основі поліетилентерефталату, для реалізації якого необхідно виконати такі технологічні операції: транспортування ТПКМ до поглинаючого горизонту бурової свердловини, плавлення ТПКМ у буровій свердловині та задавлювання ТПКМ у канали поглинання. Спосіб ізоляції поглинаючих горизонтів із застосуванням ТПКМ на основі поліетилентерефталату захищений патентами України №№110471, 110472.

2. Запропоновано конструкцію термомеханічного інструменту, що реалізує технологію термомеханічного плавлення ТПКМ. Конструкція інструменту захищена патентом України № 110442.

3. Розроблено та виготовлено, з урахуванням критеріїв подібності, експериментальний стенд, який дозволяє моделювати процеси, що протікають в поглинаючому горизонті з різним розкриттям плоских радіальних тріщин; макет лабораторного термомеханічного інструменту, який дозволив при термомеханічному плавленні на вибої свердловини створити потужність від 1,7 кВт до 5,8 кВт. Встановлено залежність зміни температури в ТПКМ від величини режимних параметрів. Порівняння експериментальних даних, отриманих у стендових умовах, температури плавлення ТПКМ при термомеханічному бурінні з обчисленими показує, що їх розбіжність складає до 10 %.

4. Доведено можливість термомеханічного плавлення монолітного ТПКМ на вибої свердловини.

5. Встановлено, що: термомеханічна швидкість буріння (плавлення) незалежно від співвідношення в'язучого до наповнювача, а також рецептури ТПКМ до режимних параметрів має один порядок величин, що збільшується при підвищенні осьового навантаження і частоти обертання; час нагрівання ТПКМ до температури його плавлення залежить від рецептури ТПКМ; залежно від розкриття тріщини розплав ТПКМ розтікається від стовбура свердловини від 20–30 мм до 80–90 мм, утворюючи малооб'ємну непроникну ізоляційну оболонку.

нку навколо стовбура свердловини.

6. Доведено, що: при термомеханічному плавленні ТПКМ температура його нагрівання не перевищує критичного значення, при якому відбувається деградація в'язучого; підвищення температури в зразку ТПКМ до температури плавлення відбувається в зоні контакту робочого органа інструменту, при цьому вона випереджає торцеву поверхню інструменту на 7–8 мм;

7. З урахуванням результатів досліджень фізико–механічних властивостей ТПКМ, представлених в розділі 2, а також результатів стендових досліджень термомеханічної швидкості буріння (плавлення) ТПКМ для застосування (дослідження) в свердловинних умовах рекомендується ТПКМ із співвідношенням компонентів 1:1 у поєднанні з осьовим навантаженням не менше 700 даН при частоті обертання інструменту  $700 \text{ хв}^{-1}$ .

## РОЗДІЛ 4

### РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЧНОГО РЕГЛАМЕНТУ ТЕХНОЛОГІЇ ІЗОЛЯЦІЇ ПОГЛИНАЮЧИХ ГОРИЗОНТІВ БУРОВИХ СВЕРДЛОВИН ТАМПОНАЖНИМИ ТЕРМОПЛАСТИЧНИМИ КОМПОЗИЦІЙНИМИ МАТЕРІАЛАМИ

#### 4.1 Технологічна схема ізоляції поглинаючих горизонтів тампонажними термопластичними композиційними матеріалами

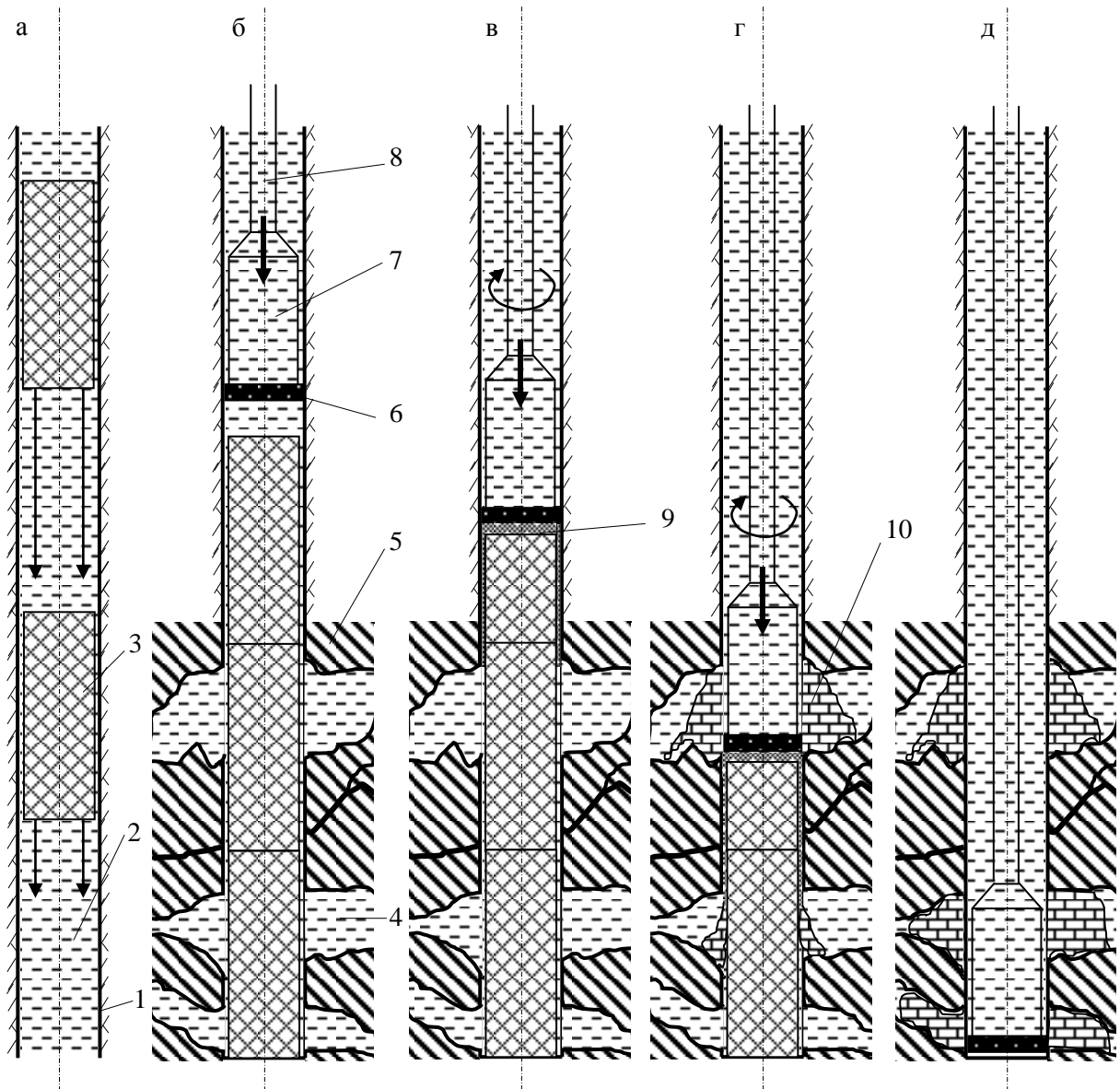
Відмінною особливістю розроблюваної технології [181] є те, що ТПКМ, основою якого є побутові відходи (розділ 2), доставляється в зону ускладнення в брикетованому, твердому вигляді та плавиться під дією позитивних температур тертя, які створюються термомеханічним породоруйнівним інструментом (розділ 3) з одночасним витисненням розплаву композиту в поглинаючий горизонт, охолодженням і формуванням непроникної, малооб'ємної ізоляційної оболонки. При цьому є можливість, після зношення термофрикційної накладки, подальшого продовження процесу буріння тим же інструментом, без виконання СПО. На підставі викладеного вище, для реалізації технології ізоляції поглинаючих горизонтів тампонажним ТПКМ (рис. 4.1) необхідно:

- 1) визначити характеристики поглинаючого горизонту;
- 2) доставити на бурову відповідного діаметра і довжини ТПКМ;
- 3) транспортувати ТПКМ до поглинаючого горизонту (рис. 4.1,а);
- 4) доставити в зону ускладнення термомеханічний інструмент (рис. 4.1,б);
- 5) здійснити плавлення ТПКМ з одночасним витисненням розплаву в канали поглинання промивальної рідини (рис. 4.1, в, г).

При ізоляції поглинання:

- технологічні операції, що здійснюються в свердловинних умовах, виконуються без доливання промивальної рідини;





а – транспортування термопластичного матеріалу по стовбуру свердловини; б – транспортування інструменту по стовбуру свердловини; в – початок ліквідації ускладнення; г – плавлення термопластичного матеріалу з витисненням розплаву в канали поглинання промивальної рідини; д – закінчення операції – досягнення вибою.

1 – стінки свердловини; 2 – свердловинна рідина; 3 – ТПКМ; 4 – канали поглинання промивальної рідини; 5 – тріщинуватий горизонт; 6 – термомеханічний інструмент; 7 – колонкова труба; 8 – колона бурільних труб; 9 – розплав ТПКМ; 10 – тампонажний камінь

Рисунок 4.1 – Термомеханічний спосіб тампонування свердловин [181]

- попередження порушення цілісності стовбура свердловини в зоні ускладнення забезпечується перебуванням в інтервалі ТПКМ;
- ТПКМ циліндричної форми має зовнішній діаметр, близький до діаметра буріння поглинаючого горизонту [166], і дорівнює

$$D_{ТПМ} = d_{н.и.} - (1 \div 15) \text{ мм}, \quad (4.1)$$

де  $d_{н.и.}$  – діаметр породоруйнівного інструменту;

- термомеханічне плавлення ТПКМ виконується до тих пір, поки не буде розплавлений весь композит під торцем термомеханічного інструменту (рис. 4.1, д);

- термомеханічне плавлення ТПКМ забезпечується тертям з одночасним зношуванням термомеханічної насадки об абразивний композит;

- подальше буріння здійснюється після повного абразивного зносу термомеханічної насадки без заміни породоруйнівного інструменту.

Контроль результатів ізоляції поглинаючого горизонту проводиться із застосуванням гідродинамічних методів. У разі позитивного результату (визначається спостереженням за рівнем промивальної рідини) триває буріння свердловини. При негативному результаті операції з тампонування поглинаючого горизонту повторюють.

## 4.2 Проектування ізоляції поглинаючого горизонту

У комплексі робіт з проектування ізоляції поглинаючого горизонту термомпластичним матеріалом із застосуванням термомеханічного інструмента можна виділити такі етапи [182], [182]:

- збір і обробка геологічної інформації про характер тріщинуватості, пластивий тиск, місце розташування, інтенсивність поглинання поглинаючих пластів;

- розрахунок необхідних розмірів ізоляційної оболонки й об'єму розплаву термопластичного матеріалу;
- вибір типу термопластичного матеріалу і можливих добавок до нього;
- розрахунок режиму термомеханічного буріння (плавлення).

#### 4.2.1 Обґрунтування геометричних розмірів ізоляційної оболонки

Після завершення робіт з ізоляції поглинаючого горизонту навколо свердловини в зоні ускладнення повинна утворитися непроникна оболонка діаметром  $D$  (рис. 4.2). При цьому заповнення поглинаючого горизонту розплавом та мпонажного матеріалу процес багатофакторний.

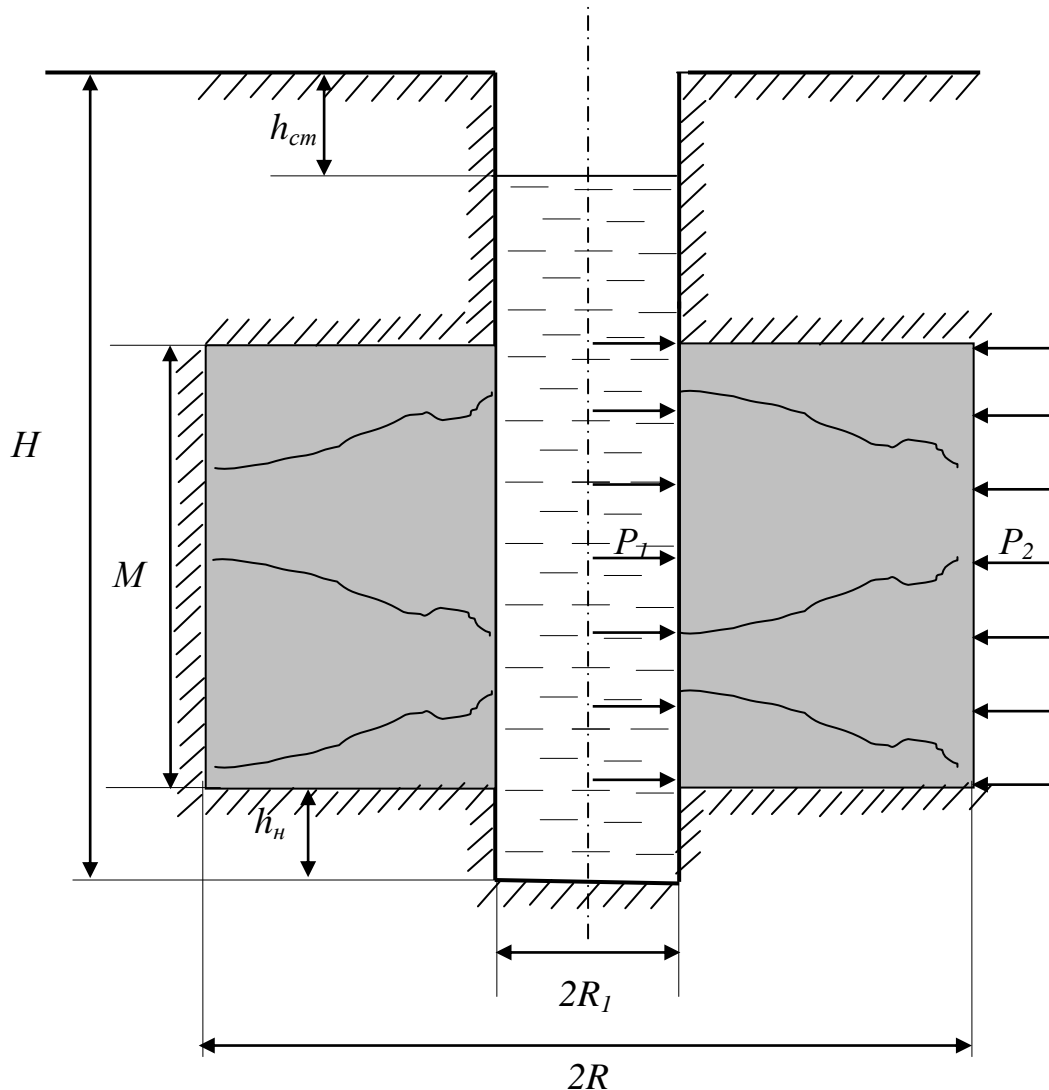


Рисунок 4.2 – Схема до розрахунку геометричних розмірів ізоляційної оболонки

У роботах, які виконані раніше [184], і в тому числі і на кафедрі техніки розвідки РКК Дніпропетровського гірничого інституту [40], а пізніше Державної гірничої академії України [37], зазначалося, що на величину ізоляційної оболонки впливає: свердловинний і пластовий тиск, глибина залягання поглинаючого горизонту і, як наслідок, величина геотермічного градієнта, температура розплаву і пов'язана з нею його в'язкість і швидкість течії розплаву в каналах поглинання.

Але на відміну від робіт, виконаних попередниками (об'ємне плавлення), при застосуванні технології, що розробляється, реалізується контактне термо-механічне плавлення. Тому з перерахованих вище чинників тільки останній може впливати на характер і розміри ізоляційної оболонки. Крім того, суттєвим чинником, що характеризує поглинаючу здатність бурового розчину, є характеристики порід проникного горизонту: потужність, пористість (тріщинуватість), текстура, структура. При цьому кут залягання пласта на розтікання розплаву від стовбура свердловини не впливає .

Спроби здійснити теоретичний облік наведених вище чинників, від яких залежить радіус поширення розплаву, до теперішнього часу не давали позитивних результатів. І були пов'язані з рішенням окремих задач.

Для визначення мінімально допустимої товщини ізоляційною оболонки, одержуваної в процесі тампонування поглинаючого горизонту твердіючими сумішами, Крилов В.І. [185] уявив ізоляційну оболонку як довгу циліндричну трубу, що знаходиться під дією постійних знакозмінних перепадів тисків. Ці перепади діють як з середини, так і зовні, тим самим зводячи вирішення даного питання до відомої задачі Ляме для товстостінних труб, усередині яких має місце плоска пружна деформація, симетрична щодо осі свердловини або центру його кругового перетину

$$\sigma = \frac{2R^2(P_1 - P_2)}{R^2 - R_1^2} \leq \sigma_{\text{доп}}, \quad (4.2)$$

де  $\sigma$  і  $\sigma_{\text{доп}}$  – відповідно, розрахункова і допустима напруга, МПа;  $P_1$  і  $P_2$  – відпо-

відно гідростатичний тиск стовпа промивальної рідини в свердловині та пластовий тиск, МПа;  $R_1$  і  $R$  – радіус свердловини і зовнішній радіус ізоляційної оболонки, м.

При цьому можливі два випадки:

$$\text{а) } P_1 > P_2 \quad R = R_1 \frac{I}{\sqrt{I \frac{2(P_1 - P_2)}{[\sigma]_p}}}, \quad (4.3)$$

$$\text{б) } P_2 > P_1 \quad R = R_1 \frac{I}{\sqrt{I \frac{2(P_2 - P_1)}{[\sigma]_{сж}}}}, \quad (4.4)$$

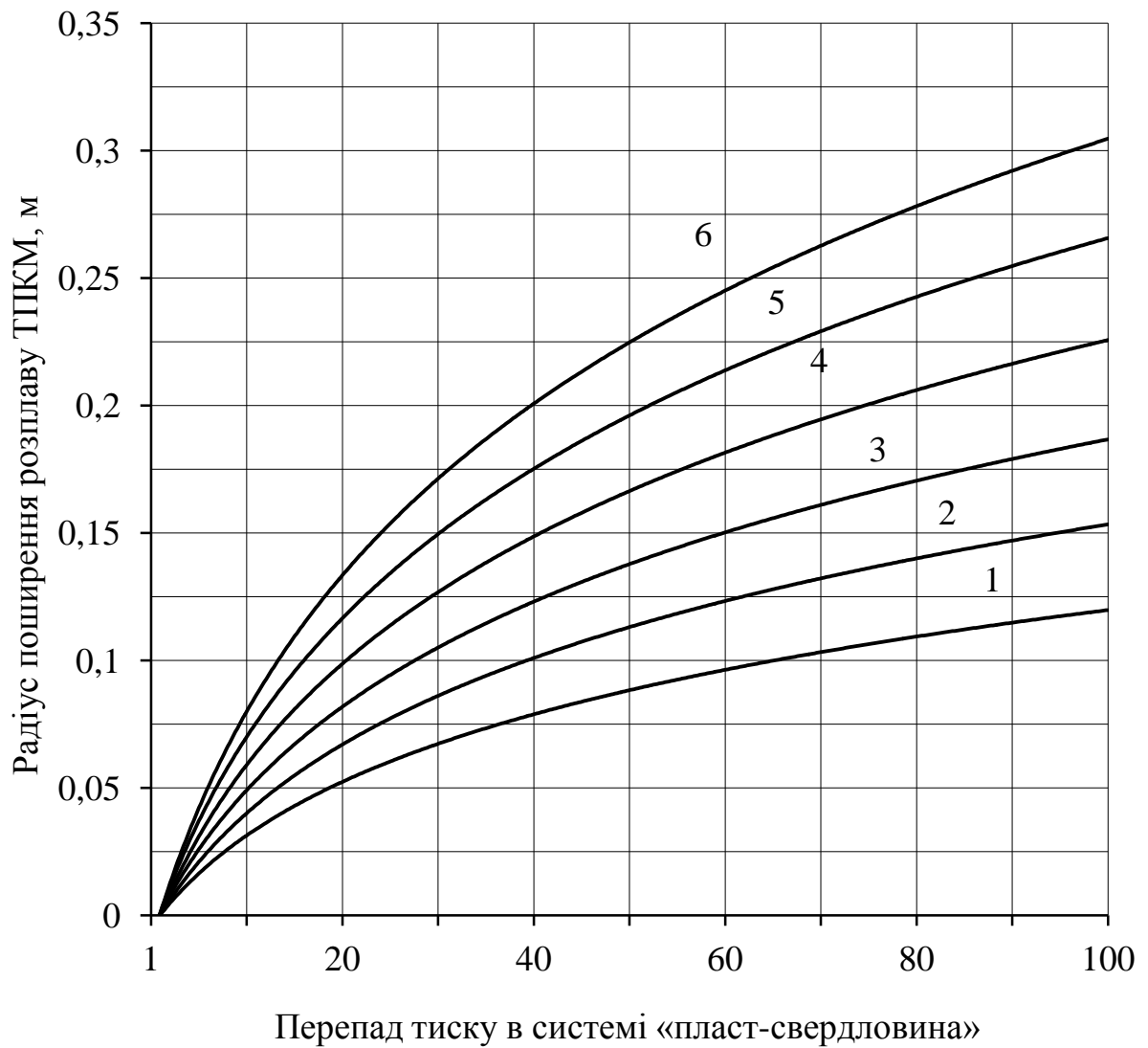
де  $[\sigma]_p$  – допустима напруга тампонажного каменю на розтягнення, МПа;  $[\sigma]_{сж}$  – допустима напруга на стиснення, МПа.

Враховуючи умови міцності (4.3) та (4.4), для створення надійного гідроізоляційного екрана в розвідувальній свердловині, що протистоїть знакозмінним перепадам тиску, необхідно створити ізоляційну оболонку з мінімально допустимим радіусом, рівним 0,03 м (рис. 4.3). При цьому радіус поширення тампонажного матеріалу залежить від діаметра свердловин і перепаду тиску. Так, при діаметрі свердловини 59 мм і перепаді тиску в 1 МПа товщина ізоляційної завіси складе 0,03 м. При підвищенні перепаду тиску до 100 МПа товщина ізоляційної завіси дорівнюватиме 0,12 м. Аналогічна ситуація виникає при збільшенні діаметра свердловини. При цьому залежності носять логарифмічний характер.

Виходячи з результатів стендових досліджень (п.п. 3.2), радіальний розмір ізоляційної оболонки можна визначити за емпіричною залежністю, що зображена на рис. 4.4 пунктирною лінією, отриманою на підставі математичної обробки результатів стендових досліджень процесу ізоляції поглинаючого горизонту із застосуванням ТПКМ на основі ПЕТ

$$R_o = 77,1 \times \ln(\delta) - 15,1, \quad (4.5)$$

де  $\delta$  – середнє розкриття тріщин, мм.



1 – 59 мм; 2 – 76 мм; 3 – 93 мм; 4 – 112 мм; 5 – 132 мм; 6 – 151 мм

Рисунок 4.3 - Розрахункова залежність радіусу поширення розплаву ТПКМ від перепаду тиску в системі «свердловина-пласт»

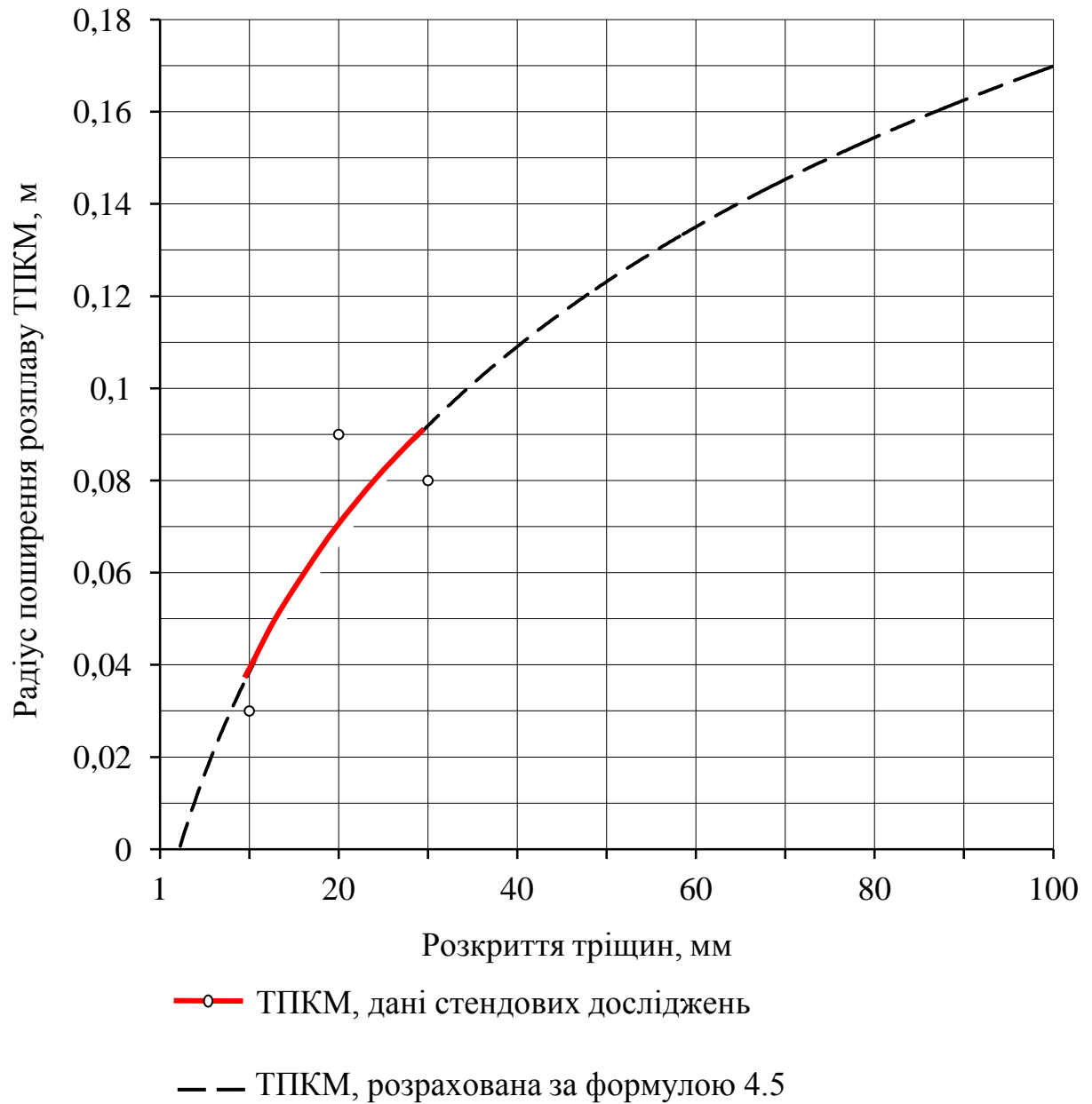


Рисунок 4.4 - Залежність радіусу поширення розплаву ТПКМ від розкриття тріщин, для свердловини діаметром 59 мм

Результати математичної обробки, а також розрахунку по (4.5) стосуються циліндрично-порожнистої ізоляційної завіси, створеної в «ідеальній» тріщині, схема якої наведена на рис. 4.2. У реальних умовах прогнозувати кут падіння, нерівність, шорсткість, пористість її поверхні, а також профіль тріщини неможливо. При цьому на рис. 4.4 наведено результати стендових досліджень, які виділені суцільною лінією.

Виходячи з отриманої залежності, можна стверджувати, що при ліквідації поглинання промивальної рідини в свердловинах діаметром 59 мм створена ізоляційна оболонка із застосуванням термомеханічної технології дозволяє протистояти перепаду тиску в системі «свердловина-пласт» величиною понад 100 МПа. А якщо враховувати, що максимальний перепад тиску в свердловині, який виникає при СПО, становить 36 МПа (згідно з результатами аналізу наведеного в п.п.1.1), то запас міцності ізоляційної завіси перевищить у 2,8 разів необхідні розміри.

Середнє розкриття тріщин поглинаючого горизонту визначається за формулою, запропонованої Вахромеєвим І.І. [186]

$$\delta = 4,83 \sqrt{\frac{K_m}{m^{2,1}}}, \quad (4.6)$$

де  $K_m$  – коефіцієнт поглинання;  $m$  – шпаруватість поглинаючого горизонту, %.

У загальному випадку коефіцієнт поглинання горизонту визначається виходячи з виразу, запропонованого Івачевим Л.М. [187]

$$K_m = \frac{Q}{\sqrt{h_{ст} - h_{дин}}}, \quad (4.7)$$

де  $Q$  – витрата рідини при дослідженнях або в процесі буріння свердловини, м<sup>3</sup>/год;  $h_{ст}$  і  $h_{дин}$  – відповідно, статичний і динамічний рівні рідини в свердловині, м.



Але з упевненістю можна стверджувати, що (для умов, результати яких наведено на рис. 4.4) зі збільшенням розкриття одиначної тріщини розтікання розплаву ТПКМ носить обмежений характер, що пояснюється його теплофізичними властивостями, а також теплофізичними властивостями доквілля. Крім того, як видно з наведених вище залежностей, він істотно залежить від характеристики поглинаючого горизонту. Тому в кожному конкретному випадку необхідний індивідуальний підхід до визначення радіальних розмірів ізоляційної оболонки, основою якого є збір і обробка геологічної інформації про характер тріщинуватості, пластовий тиск, місце розташування й інтенсивність поглинаючого горизонту.

#### **4.2.2 Обґрунтування необхідного об'єму тампонажного термопластичного композиційного матеріалу**

Мінімально необхідний об'єм ТПКМ  $V_{n.з}$ , виходячи з припущень і з урахуванням п.п. 4.2.1, визначиться з умови

$$V_{n.з} = \pi (R^2 - R_1^2) M m K_k, \quad (4.8)$$

де  $M$  – потужність поглинаючого горизонту, м;  $K_k$  – коефіцієнт, що враховує наявність каверн у свердловині ( $K_k=1,2-1,3$ ).

Результати розрахунку для товщини ізоляційної оболонки 50 мм, різних діаметрів розвідувальних свердловин, з урахуванням можливої шпаруватості  $m$  на 1 метр поглинаючого горизонту наведено в табл. 4.1

З урахуванням результатів, що наведені в пп. 2.2 і табл. 4.1, визначиться необхідна кількість ТПКМ. Маса погонного метра ТПКМ

(4.9)

де  $R_2$  – радіус ТПКМ вибирається виходячи з рекомендацій (табл. 4.2);  $h_l$  – висота контейнерів у свердловині.

Таблиця 4.1 – Розрахункове значення об'єму ( $V_{nz}$ , м<sup>3</sup>) ТПКМ, що припадає на 1 метр поглинаючого горизонту

$m, \%$	Діаметр свердловини, мм					
	59	76	93	112	132	151
1	0,00032	0,00038	0,00044	0,00052	0,00059	0,00066
5	0,0016	0,00190	0,00222	0,00258	0,00296	0,00332
10	0,0032	0,00381	0,00445	0,00516	0,00592	0,00663
20	0,0064	0,00761	0,00889	0,01032	0,01183	0,01326
30	0,0095	0,01142	0,01334	0,01549	0,01775	0,01990
40	0,0130	0,01522	0,01778	0,02065	0,02366	0,02653
50	0,0160	0,01903	0,02223	0,02581	0,02958	0,03316

Таблиця 4.2 – Розрахункова маса погонного метра транспортованого по стовбуру свердловини ТПКМ

Діаметр свердловини, мм	Діаметр ТПКМ, мм	Щільність ТПКМ, кг/м <sup>3</sup>	Маса ТПКМ, кг
59	50	1620	3,2
76	65		5,4
93	80		8,2
112	100		12,7
132	120		18,4
151	140		25,0

Розрахункове значення маси і відповідна їй кількість циліндричних брикетів ТПКМ, що припадають на 1 метр поглинаючого горизонту, наведено в табл. 4.3

Таблиця 4.3 – Розрахункове значення маси/кількості брикетів ТПКМ, що припадають на 1 метр поглинаючого горизонту

<i>m, %</i>	Діаметр свердловини, мм					
	<b>59</b>	<b>76</b>	<b>93</b>	<b>112</b>	<b>132</b>	<b>151</b>
<b>1</b>	0,51/1	0,62/1	0,72/1	0,84/1	0,96/1	1,07/1
<b>5</b>	2,57/1	3,08/1	3,60/1	4,18/1	4,79/1	5,37/1
<b>10</b>	5,13/2	6,17/1	7,20/1	8,36/1	9,58/1	10,74/1
<b>20</b>	10,30/4	12,33/3	14,41/2	16,73/1	19,17/1	21,49/1
<b>30</b>	15,40/5	18,50/4	21,61/3	25,09/3	28,75/2	32,23/2
<b>40</b>	20,53/7	24,66/5	28,81/4	33,45/3	38,33/3	42,97/2
<b>50</b>	25,70/8	30,83/6	36,01/5	41,81/5	47,92/3	53,72/3

Виходячи з умов плавлення і задавлювання розплаву ТПКМ, а також з урахуванням його теплофізичних характеристик, при однопорційній доставці, рекомендується перевищення маси ТПКМ понад необхідне на 20–30 %. З урахуванням цього, в табл. 4.3 виділена область відповідності кількості брикетів від розрахункової необхідної маси матеріалу. При цьому товщина ізоляційної оболонки прийнята рівною 0,05 м.

#### **4.2.3 Розрахунок часу транспортування тампонажного термопластичного композиційного матеріалу по стовбуру свердловини**

Певний інтерес представляє швидкість транспортування ТПКМ по стовбуру свердловини. Для цього виконано аналіз існуючих методик розрахунку швидкості транспортування твердих об'єктів по стовбуру свердловини. В ре-

зультаті можна зробити висновок, що у більшості методик:

- визначення швидкості транспортування частинок у буровому розчині, що застосовуються в бурінні, є наближеними;
- виведено залежності для умов осідання частинок у нерухомому розчині;
- не враховано обмежені умови руху частинок.

Доставка ТПКМ здійснюється у вигляді монолітних циліндрів по стовбуру свердловини під дією сил гравітації (рис. 4.1,а), на швидкість осідання яких впливає низка чинників, а саме:

- різниця щільності брикету і розчину;
- розмір і форма брикету;
- в'язкість свердловинної рідини, ефект турбулізації рідини в безпосередній близькості до брикету.

При транспортуванні брикету ТПКМ вважаємо, що стовбур свердловини має один типорозмір, заповнений промивальною рідиною до гирла свердловини. За промивальну рідину приймаємо технічну воду. У стовбурі свердловини відсутні розробка і каверни. На ТПКМ діють сили (рис. 4.5) лобового опору  $F_{zn}$ , гідравлічного опору в кільцевому просторі  $F_{kn}$ , на вході  $F_e$  і виході  $F_{ex}$  з кільцевого простору.

Через те що ТПКМ має циліндричну форму, то для визначення швидкості його спуску можна скористатися рішенням задачі про вільне падіння циліндричного тіла в ньютонівській рідині, що знаходиться в іншому циліндрі [37]

$$V_{ТПКМ} = gR_1^2 \frac{\rho_2 - \rho_1}{2\eta} \left[ \ln \frac{R_2}{R_1} - \frac{R_2^2 - R_1^2}{R_2^2 + R_1^2} \right], \quad (4.10)$$

де  $g$  – прискорення вільного падіння, м/с<sup>2</sup>;  $R_1$  і  $R_2$  – радіуси відповідно свердловини і брикету ТПКМ, м;  $\eta$  – динамічна в'язкість свердловинної рідини, МПа с [188];  $\rho_1$ ,  $\rho_2$  – щільність свердловинної рідини і ТПКМ, кг/м<sup>3</sup>.

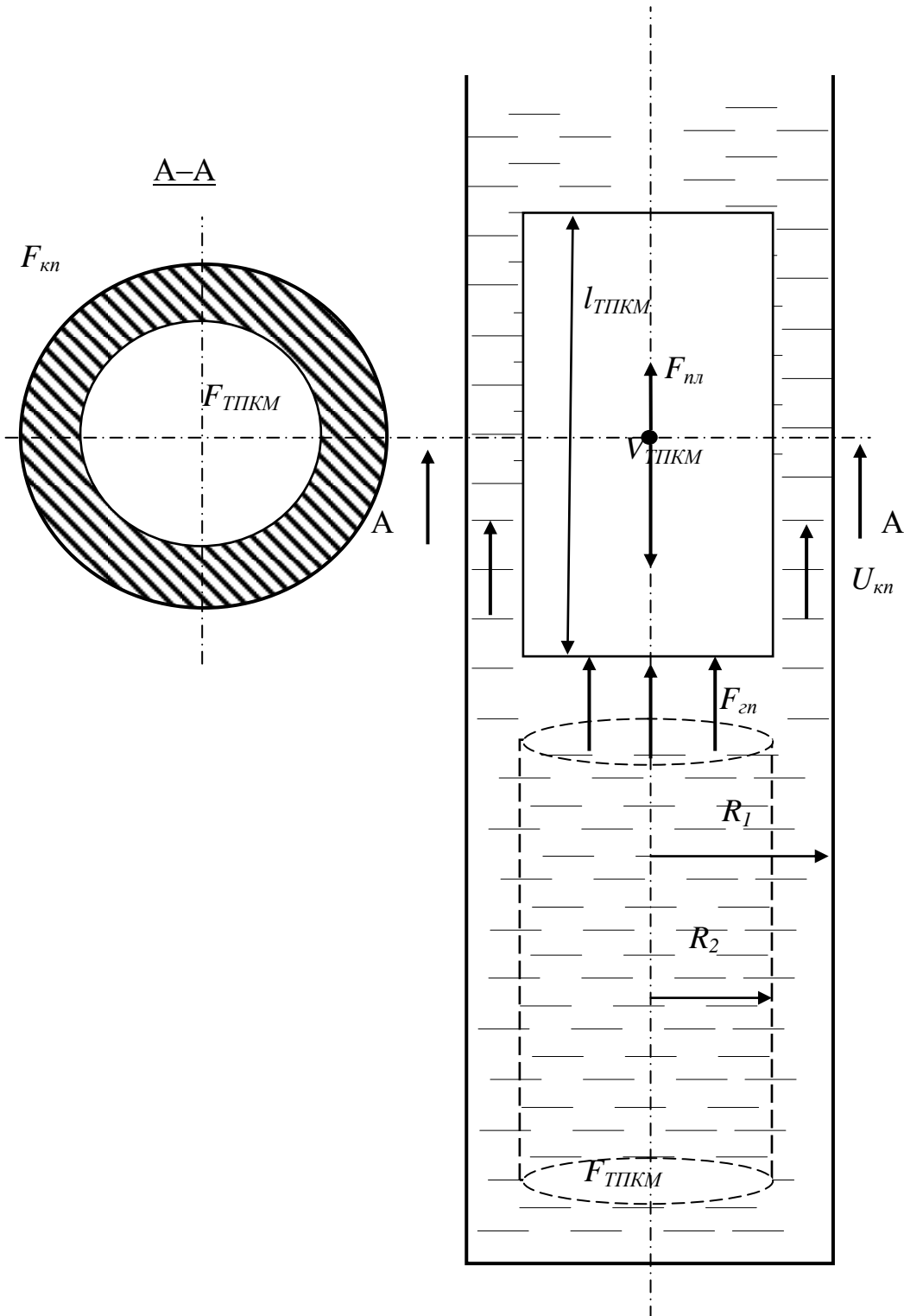


Рисунок 4.5 – До розрахунку швидкості транспортування брикетів ТПКМ по стовбуру свердловини

Зі збільшенням глибини свердловини відбувається збільшення температури свердловинної рідини, що знаходиться в спокої. При цьому відбувається збільшення швидкості транспортування брикетів ТПКМ по стовбуру свердловини (рис. 4.6). Так, у верхніх інтервалах свердловин (до 1000 – 2000 м), незалежно від їх діаметра, швидкість транспортування не перевищує 1 м/с. На глибинах понад 6000 м швидкість варіюється в широкому діапазоні – 0,8 м/с до 2,5 м/с. Враховуючи, що умови транспортування залишалися незмінними для всіх діаметрів, приріст швидкості можна пояснити збільшенням маси брикету ТПКМ (див. табл. 4.2).

Крім того, в реальних умовах, конструкції свердловин багатоступенева. У цьому випадку розрахунок швидкості, а отже і часу транспортування, повинен вестися для умов ускладнених горизонтів. Розрахунки часу транспортування ТПКМ наведено на рис. 4.7.

Таким чином, час транспортування (рис. 4.7) брикетів ТПКМ по стовбуру свердловини на глибину 1000 м складе приблизно 0,25–0,75 години, відповідно, на глибину 8000 м приблизно 2 години, при умові, що їх діаметр складе більш 100 мм.

#### **4.2.4 Обґрунтування параметрів термомеханічної технології ліквідації поглинання промивальної рідини**

Параметрами термомеханічної технології ліквідації поглинання промивальної рідини є:

- режимні параметри – частота обертання інструменту й осьове навантаження. Обґрунтовано в результаті виконання стендових і аналітичних досліджень і викладено у п.п. 3.2 і 3.3 рукопису;
- речовий склад і концентрація компонентів. Обґрунтовано в результаті проведення фізико-механічних властивостей ТПКМ і викладено в п.п. 2.2;

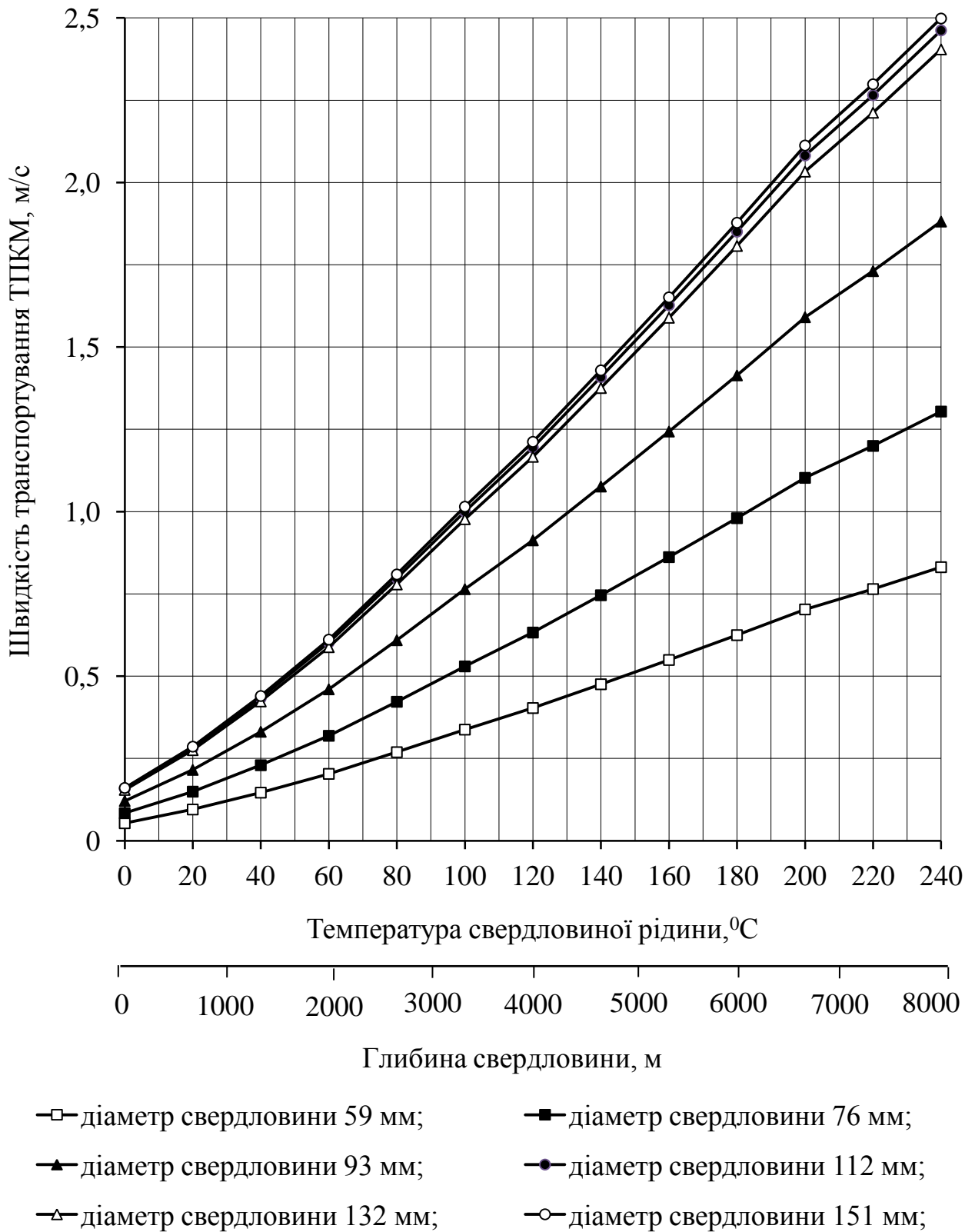


Рисунок 4.6 – Розрахункова залежність швидкості транспортування брикетів ТПКМ від температури свердловинної рідини

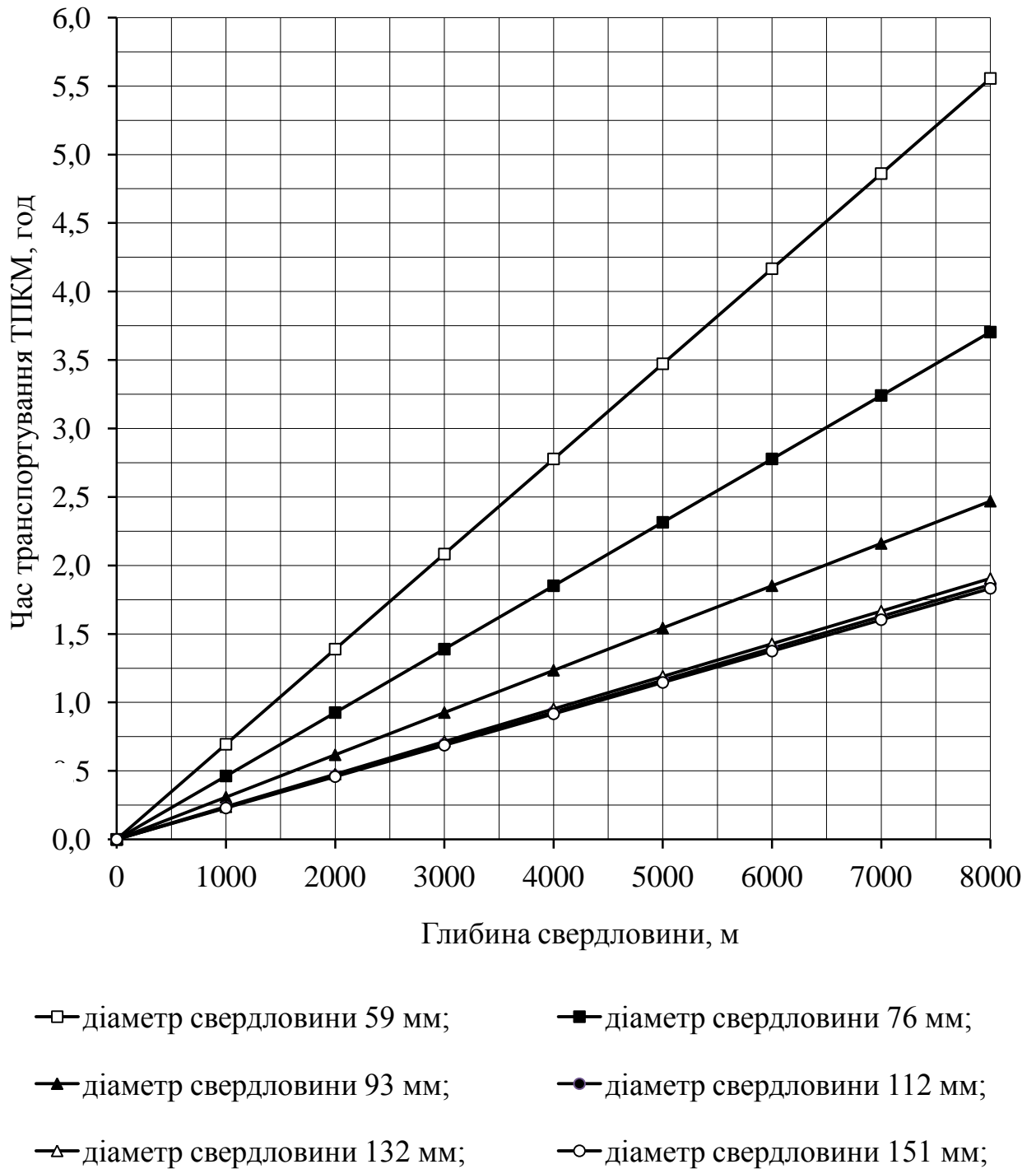


Рисунок 4.7 – Розрахункова залежність часу транспортування брикетів ТПКМ по стовбуру від глибини свердловини



- термомеханічний інструмент. Запропонована принципова конструкція (рис. 3.4), захищена патентом України № 110442 [161].

При реалізації технології ізоляції поглинаючих горизонтів із застосуванням ТПКМ особливі вимоги до бурового обладнання не висуваються.

### **4.3 Організація тампонажних робіт**

Роботи щодо ізоляції зони поглинання термопластичними матеріалами проводять силами бурової бригади.

Весь процес ізоляції поділяють на три періоди: підготовчий, основний і заключний.

У підготовчий період проводять: дослідження поглинаючого горизонту, визначення його характеристик; визначення необхідного об'єму тампонажного матеріалу; визначення основних параметрів плавлення. Перед початком робіт вибій свердловини очищають від шламу і визначають ступінь кавернозності стовбура свердловини в зоні ускладнення. На бурову доставляють термопластичний матеріал. У разі необхідності встановлюють мости в свердловині. Готують термомеханічний інструмент.

В основний період проводять:

- транспортування по стовбуру брикетів ТПКМ. При виникненні ускладнення (зависанні) ТПКМ вище ускладненого горизонту його ліквідація здійснюється спущеним у свердловину термомеханічним інструментом;

- спуск термомеханічного інструменту в свердловину на колоні бурильних труб;

- термомеханічне плавлення ТПКМ;

- задавлювання розплаву в канали поглинання;

- контроль якості ізоляції поглинаючого горизонту. Після ізоляції поглинаючого горизонту на повну висоту проводять спостереження за рівнем рідини в свердловині. Якщо циркуляція рідини в свердловині не відновилася, операцію

з ізоляції поглинаючого горизонту повторюють.

У заключний період спільно з буровим персоналом складають акт про проведення робіт з ізоляції поглинаючого горизонту.

#### **4.4 Область застосування термомеханічної технології ліквідації поглинання промивальної рідини з використанням тампонажного термопластичного композиційного матеріалу на основі поліетилентерефталату**

Відповідно до викладеного вище, сферою застосування технології, що розробляється, є ліквідація поглинань у свердловинах різного цільового призначення, стінки яких складено стійкими гірськими породами і в яких спостерігається інтенсивне або катастрофічне поглинання промивальної рідини.

У загальному випадку максимальна глибина запропонованих технологій залежить від величини геотермічного градієнта в свердловині і дорівнює глибині при якій температура гірських порід поглинаючого горизонту стане рівною температурі плавлення термопластичного матеріалу. Якщо як в'язучу речовину ТПКМ використовувати ПЕТ, то, згідно з даними огляду представлених у розділі 1, результатів досліджень, наведених в розділах 2 і 3, максимальна глибина застосування пропонованої технології складе понад 8000 м.

#### **Висновки до розділу 4**

1. Обґрунтовано область застосування розробленої технології. Технологію призначено для ліквідації поглинань промивної рідини у бурових свердловинах стінки яких складені стійкими кристалічними гірськими породами, в яких спостерігається інтенсивне або катастрофічне поглинання промивальної рідини, глибина залягання яких не перевищує 8000 м.

2. Розроблено технологічну схему ліквідації поглинань промивальної рідини, для реалізації якої необхідно: визначити характеристики поглинаючого

горизонту; доставити на бурову відповідного діаметра і довжини ТПКМ; транспортувати ТПКМ до поглинаючого горизонту; доставити в зону ускладнення термомеханічний інструмент; здійснити плавлення ТПКМ з одночасним задавленням розплаву в канали поглинання промивальної рідини.

3. Обґрунтовано технологічні режими транспортування ТПКМ по стовбуру свердловини. Показано, що при збільшенні глибини свердловини і відповідно температури відбувається зростання швидкості транспортування брикетів ТПКМ. Час транспортування брикетів ТПКМ по стовбуру свердловини на глибину 1000 м складе 0,25–0,75 год, відповідно, на глибину 8000 м – 2 год при умові, що діаметр брикетів складе 100 мм і більше.

4. Обґрунтовано потужність ізоляційної завіси. Показано, що при ліквідації поглинання промивальної рідини в свердловинах діаметром 59 мм створювана ізоляційна оболонка із застосуванням термомеханічної технології дозволяє протистояти перепаду тиску в системі «свердловина-пласт» величиною понад 100 МПа, при цьому запас міцності ізоляційної завіси перевищить у 2,8 разів необхідні розміри.

5. Обґрунтовано технологічні параметри і кількість брикетів ТПКМ залежно від діаметра свердловини в зоні поглинання.

6. Розроблено «Технологічний регламент ізоляції поглинаючих горизонтів термопластичними тампонажними композиційними матеріалами на основі поліетилентерефталату», що діє як нормативний документ у виробничих організаціях Державної служби геології та надр України.

## РОЗДІЛ 5

### **ДОСЛІДНО-ПРОМИСЛОВЕ ВПРОВАДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ІЗОЛЯЦІЇ ПОГЛИНАЮЧИХ ГОРИЗОНТІВ БУРОВИХ СВЕРДЛОВИН ТАМПОНАЖНИМИ ТЕРМОПЛАСТИЧНИМИ КОМПОЗИЦІЙНИМИ МАТЕРІАЛАМИ**

Виробничі випробування технології ліквідації поглинання промивальної рідини в непродуктивних горизонтах експлуатаційних гідрогеологічних свердловин тампонажними термопластичними композиційними матеріалами проведено в період з 10 березня по 22 березня 2018 року, за участі персоналу і стандартного бурового обладнання комерційного підприємства ТОВ «Промислово-геологічної групи «Дніпрогідробуд»», в населених пунктах Гаврилівка і Романки Покровського району Дніпропетровської області.

#### **5.1 Методика виробничих випробувань термомеханічної технології ізоляції поглинаючих горизонтів бурових свердловин тампонажними композиційними термопластичними матеріалами**

##### **5.1.1 Мета і завдання виробничих випробувань**

Метою виробничих випробувань є визначення працездатності технології ліквідації поглинання промивальної рідини тампонажними термопластичними композиційними матеріалами у виробничих умовах і економічної ефективності виконання робіт за пропонованою технологією.

При проведенні випробувань вирішувалися такі завдання:

- визначення витрат на виготовлення ТПКМ;
- визначення витрат на ліквідацію поглинання промивальної рідини із застосуванням ТПКМ;
- визначення економічної ефективності ліквідації поглинання промивальної рідини із застосуванням ТПКМ.

### **5.1.2 Геолого-технічні умови проведення виробничих випробувань**

**Геолого-гідрогеологічні умови.** Територія району розташована у межах Українського басейну тріщинних вод і характеризується складними гідрогеологічними і гідрохімічними умовами, розвитком прісних і слабкосолонуватих вод в алювіальних четвертинних і буцацьких відкладах у долині р. Вовчі і, в основному, солоних вод з мінералізацією вище  $1,5 \text{ г/дм}^3$  у кристалічних породах докембрію. Лише на локальних ділянках на площі розповсюдження кристалічних порід зустрічаються водоносні зони із задовільною якістю води. В основному водоносний горизонт у кристалічних породах докембрію має спорадичний характер, маловодозбагачений.

Ділянки с. Гаврилівки та с. Романки розташовані у межах поширення підземних вод у кристалічних породах докембрію. В геологічній будові приймають участь кристалічні породи докембрію та їх кора вивітрювання, відклади четвертинної та неогенової систем.

Район кожної ділянки характеризується складними гідрогеологічними і гідрохімічними умовами. Перший від поверхні водоносний горизонт формується в лесовидних суглинках. Водозбагаченість його низька, якість вод, як правило, не відповідає ДСТУ. Для організації водопостачання не придатний. Водоносний горизонт у тріщинуватих кристалічних породах докембрію є основним горизонтом, можливим для організації автономного водопостачання. Характеристика горизонту приводиться по свердловинах у районі кожної ділянки.

*Ділянка с. Гаврилівка.* Горизонт безнапірний чи слабконапірний. Глибина залягання рівня залежно від рельєфу місцевості 8–27 м. Дебіт свердловин змінюється від безводних до 2,0 л/с при зниженні відповідно 18–68 м. Мінералізація води 0,8–2,1 г/дм<sup>3</sup>, жорсткість 7–19 моль/дм<sup>3</sup>. Горизонт захищений від проникнення забрудень.

*Ділянка с. Романки.* Горизонт напірний. Глибина залягання рівня залежно від рельєфу місцевості 2,6–27 м. Дебіт свердловин змінюється від безводних до 6,0 л/с при зниженні відповідно 13–16 м. Мінералізація води 1,2–3,0 г/дм<sup>3</sup>, жорсткість 14–22 моль/дм<sup>3</sup>. Горизонт захищений від проникнення забрудень.

**Технічні умови.** *Ділянка с. Гаврилівка.* При бурінні експлуатаційної гідрогеологічної свердловини виявлено поглинаючий горизонт в інтервалі 15–22 м. Статичний рівень – відсутній. Порода поглинаючого горизонту – кам'яниста жорства.

Конструкція свердловини одноступенева. Інтервал 0,0 – 22,0 м пробурений долотом 269 мм, без виходу промивальної рідини зі свердловини. Вид поглинання – катастрофічний.

Буріння здійснювалося установкою УРБ–2А2.

Промивальна рідина – нормальний глинистий розчин.

*Ділянка с. Романки.* При бурінні експлуатаційної гідрогеологічної свердловини виявлено поглинаючий горизонт в інтервалі 20–23 м. Статичний рівень – 6 м. Порода поглинаючого горизонту – кам'яниста жорства.

Конструкція свердловини одноступенева. Інтервал 0,0 – 23,0 м пробурений долотом 269 мм, без виходу промивальної рідини з свердловини. Вид поглинання – катастрофічний.

Буріння здійснювалося установкою УРБ–2А2.

Промивальна рідина – нормальний глинистий розчин.

### **5.1.3 Тампонажний матеріал**

Як тампонажний матеріал застосовується тампонажний термопластичний композиційний матеріал на основі поліетилентерефталату. Співвідношення в'язучого до наповнювача 1:1. ТПКМ (п.п. 3.2) має щільність – 1620 кг/м<sup>3</sup>. З причин подібності технічних умов буріння свердловин на ділянках проведення промислових досліджень прийнято, що брикет повинен мати зовнішній діаметр, рівний 260 мм. Виходячи з правил техніки безпеки, відповідно, маса брикету склала 43 кг і довжина брикету – 0,5 м.

### **5.1.4 Показники, що визначаються**

При проведенні виробничих досліджень визначали:

- статичний рівень до і після ліквідації поглинання;
- тимчасові витрати на ліквідацію поглинання промивальної рідини;
- витрата матеріалів, енергоносіїв і т.ін.

## **5.2 Виробничі випробування термомеханічної технології ізоляції поглинаючих горизонтів бурових свердловин тампонажними композиційними термопластичними матеріалами**

### **5.2.1 Порядок проведення виробничих випробувань**

Порядок проведення виробничих випробувань наведено в п.п. 4.1.

Технологічні параметри термомеханічного плавлення ТПКМ вибрані виходячи з п.п. 3.3.

### 5.2.2 Результати виробничих випробувань

З причини схожості геолого–технічних умов ізоляції поглинаючих горизонтів буримих експлуатаційних свердловин методика проведення робіт і технологічна схема ліквідації ускладнення була однаковою на обох ділянках.

Згідно методики, наведеної в п.п. 4.2.2 та за даними свердловинних досліджень були розраховані параметри ізоляційної оболонки та необхідна кількість тампонажного матеріалу. Результати розрахунку наведено в табл. 5.1

Таблиця 5.1 – Результати розрахунку ізоляційної оболонки та необхідної кількості тампонажного матеріалу

Розрахунковий показник	Ділянка	
	с. Гаврилівка	с. Романки
Радіус ізоляційної завіси, м	0,28	0,28
Максимальний перепад тиску, МПа	1	1
Потужність поглинаючого горизонту, м	7	3
<b>Кількість тампонажної суміші, кг</b>	<b>602</b>	<b>258</b>

Для ліквідації ускладнень на ділянках ведення робіт у зону поглинання промивальної рідини по стовбуру свердловини доставлена розрахункова кількість брикетів тампонажного термопластичного композиційного матеріалу, а потім на колоні труб доставлено термомеханічний інструмент.

В обох випадках термомеханічне плавлення здійснювалося при частоті обертання  $300 \text{ хв}^{-1}$  і осьовому навантаженні 1000 даН. При ліквідації поглинання промивальної рідини проводився хронометраж часу виконання технологічних операцій. У результаті встановлена механічна швидкість буріння і час, витрачений на транспортування матеріалу, бурового інструменту і власне плавлення тампонажного матеріалу. Результати хронометражу наведено в табл. 5.2.

При цьому середня механічна швидкість склала приблизно 0,5 м/год.



Таблиця 5.2 – Часові витрати на ліквідацію поглинання промивальної рідини із застосуванням ТПКМ

Витрати часу, год	Ділянка	
	с. Гаврилівка	с. Романки
На транспортування ТПКМ по стовбуру свердловини	0,50	0,34
На спуск термомеханічного інструменту	0,50	0,50
На плавлення ТПКМ	14,0	6,00
<b>Сумарні</b>	<b>15,0</b>	<b>6,84</b>

Після досягнення вибою свердловини здійснено пробний запуск насоса, а також проведено комплекс гідродинамічних досліджень, у ході яких встановлено, що поглинання ліквідовано. Вихід промивальної рідини відновлено в повному обсязі.

Свердловини пробурені до проектної глибини, поглинання промивальної рідини в ізольованих горизонтах не відбувалося.

### **5.3 Економічна ефективність технології ізоляції поглинаючих горизонтів бурових свердловин тампонажними термопластичними композиційними матеріалами**

Метою проведення даних досліджень є визначення техніко-економічних показників застосування тампонажних термопластичних матеріалів для тампонування поглинаючих горизонтів.

Техніко-економічні показники значною мірою визначаються витратами часу і коштів, які витрачаються на ізоляцію поглинаючих горизонтів. При застосуванні нетрадиційних технологій, якою є технологія ізоляції поглинаючих горизонтів тампонажними термопластичними композиційними матеріалами з застосуванням термомеханічного плавлення, також необхідні і нетрадиційні підходи до визначення техніко-економічних показників тампонування свердло-

вин. Ці розрахунки повинні враховувати особливості розробленої технології. Повинні містити стандартні методики визначення ефективності шляхом порівняння собівартості базового і запропонованого способів.

Витрати на створення ізоляційної оболонки за розробленою технологією (п.п. 4.1) включають витрати на тампонування поглинаючого горизонту з урахуванням часу термомеханічного плавлення, витрати ПММ і вартості термопластичного матеріалу.

При оцінці економічної ефективності часові витрати на приготування та транспортування тампонажних сумішей не враховувалися.

З огляду на вищевикладене, для виконання поставленого завдання щодо визначення економічної ефективності застосування ТПКМ як тампонажного матеріалу взята за основу методика визначення технологічних параметрів, яка наведена в розділі 4.

При вартості вторинного ПЕТ  $C_{net}$  за тону 3,0 тис. грн, гравію  $C_2$  – 1,2 тис. грн і з урахуванням витрат на паливно-мастильні матеріали,  $C_{ПММ}$ , які витрачені на термомеханічне плавлення ТПКМ, а також власне час плавлення  $C_{уз}$  і результатів, наведених у табл. 5.1 і 5.2, виконано розрахунок матеріальних витрат, витрачених на ліквідацію поглинання промивальної рідини за розробленою технологією. Ціна ПММ прийнята станом на березень 2018 р. Вартість ст.зм. прийнята рівною 10,0 тис. грн. Час зміни 10 год. Результати наведено в табл. 5.3. При цьому собівартість ізоляції поглинаючих горизонтів за розробленою технологією  $C_n$  визначиться за формулою

$$C_n = C_{net} + C_2 + C_{ПММ} + C_{уз}^I \quad (5.1)$$

За базу порівняння прийнята традиційна технологія. По якій, для умов ділянок населених пунктів Гаврилівка і Романки, застосовується найпростіший і дешевший тампонажний розчин, що складається з цементу і води. Водоцементне співвідношення - 0,5. Для розрахунку кількості тампонажної суміші, потрібної для ліквідації поглинання промивальної рідини, необхідно знати фактичний

Таблиця 5.3 – Матеріальні витрати на ізоляцію поглинаючих горизонтів в умовах

Витрати часу	Ділянка			
	с. Гаврилівка		с. Романки	
	Цементний розчин	ТПКМ	Цементний розчин	ТПКМ
Об'єм тампонажної суміші, м <sup>3</sup>	3,8	0,37	2,5	0,16
Кількість тампонажної суміші (цементу), т	5,3	0,6	3,5	0,26
Кількість вторинного ПЕТ, т	-	0,3	-	0,13
Кількість гравію, т	-	0,3	-	0,13
Вартість вторинного ПЕТ, тис. грн	-	0,9	-	0,39
Вартість наповнювача, тис. грн.	-	0,3	-	0,16
<b>Вартість тампонажного матеріала</b>	<b>10,7</b>	<b>1,2</b>	<b>7,0</b>	<b>0,6</b>
Витрати часу на ізоляцію, год	10	15,0	5	6,8
Вартість ст.зм., тис. грн	10,0	10,0	10,0	10,0
Вартість ОЗЦ, тис. грн	20	-	20	-
<b>Вартість часу ізоляції, тис. грн.</b>	<b>30,0</b>	<b>20,0</b>	<b>30,0</b>	<b>10,0</b>
Витрачена кількість ПММ, л	100,0	100,0	50,0	50,0
<b>Вартість ПММ, <math>C_{ПММ}</math>, тис. грн</b>	<b>3,0</b>	<b>3,0</b>	<b>1,5</b>	<b>1,5</b>
<b>Сумарні витрати, тис. грн</b>	<b>40,7</b>	<b>24,2</b>	<b>38,5</b>	<b>12,1</b>
<b>Економічний ефект, тис. грн</b>	<b>16,5</b>		<b>26,4</b>	

об'єм свердловини  $V_{ск}$  в інтервалі зони поглинання, який рекомендується [189] визначати по наступній формулі:

$$V_{ск} = K_{к} (\pi D_{\phi}^2 / 4)(M+h), \quad (5.2)$$

де  $K_{к}$  - коефіцієнт, що враховує наявність каверн;  $D_{\phi}$  - фактичний діаметр свердловини, м;  $h$  - величина, що враховує необхідність залишення тампонуєчої суміші нижче і вище за зону поглинання.

Об'єм тампонажної суміші  $V_{т.с.}$  визначиться

$$V_{т.с.} = K_{з} K_{м} V_{ск}. \quad (5.3)$$

де  $K_{м}$  - коефіцієнт, залежний від потужності і кута падіння тріщин;  $K_{з}$  - коефіцієнт запасу.

У розрахунку прийнято: вартість тонни цементу 2 тис. грн.; фактичний діаметр свердловини, дорівнює діаметру інструменту;  $K_{к} = 2$ ;  $h = 5$  м;  $K_{м} = 2,5$ ;  $K_{з} = 1,1$ . Результати розрахунку тампонування за базовою технологією наведено в табл. 5.3.

Виходячи з результатів розрахунку (табл. 5.3) вартість проведення технологічних операцій, пов'язаних з тампонуванням поглинаючих горизонтів, в порівнянні з цементуванням може бути понижена на 16,5...26,4 тис. грн. на одну операцію.

Економічний ефект  $E$  від впровадження нової технології розраховується за формулою:

$$E = (C_{\bar{o}} + C_n) A, \quad (5.4)$$

де  $A$  – річний обсяг операцій з тампонування, умовно приймемо  $A = 100$  операцій.

$$E_1 = (40,7 - 24,2) 100 = 1,65 \text{ млн. грн.}$$

$$E_2 = (38,5 - 12,1) 100 = 2,64 \text{ млн. грн.}$$

Таким чином, загальний економічний ефект від впровадження нового способу тампонування поглинаючих горизонтів тампонажними термопластичними композиційними матеріалами з застосуванням термомеханічної технології його плавлення становить 1,65-2,64 млн. грн при обсязі проведення тампонажних робіт у 100 свердловин або 100 операцій.

## Висновки до розділу 5

У результаті дослідно-промислового впровадження технології ліквідації поглинання промивальної рідини із застосуванням ТПКМ встановлено, що:

1. Розроблена технологія виготовлення ТПКМ дозволяє її застосовувати в умовах бурової.

2. Технологія ліквідації поглинання промивальної рідини ТПКМ із застосуванням стандартного бурового устаткування й інструменту не ускладнює процес ізоляції поглинаючого горизонту від стовбура свердловини, а спрощує його.

3. Технологія ліквідації поглинання промивальної рідини ТПКМ, за рахунок створення малооб'ємної ізоляційної оболонки навколо стовбура бурової свердловини, дозволяє істотно зменшити витрату тампонажних матеріалів у порівнянні з застосуванням традиційних сумішей на цементній основі в десятки разів. Для ліквідації поглинання в умовах ділянки с. Гаврилівка при катастрофічному поглинанні промивної рідини у свердловині діаметром 269 мм, у горизонті потужністю 7 м, витрачено 14 брикетів ТПКМ загальною масою 600 кг. А в аналогічних умовах ділянки с. Романки при потужності поглинаючого пласта 3 м – 260 кг композиту.

4. Розроблена термомеханічна технологія ліквідації поглинання промивальної рідини з застосуванням ТПКМ дозволила скоротити непродуктивні витрати часу на ділянці с. Гаврилівка до 15 год, що в 9,2 рази або на 20 ст.зм. менш, ніж у порівнянні з середньостатистичними показниками традиційних технологій. На ділянці с. Романки – до 8 год, що відповідно дорівнює 18,4 рази та 21 ст.зм. З урахуванням вартості матеріалів, енергоносіїв та часу тампонування сумарні витрати відповідно на першій ділянці склали 24,2 тис. грн, на другій – 12,05 тис. грн (у цінах березня 2018 р).

5. Свердловини пробурені до проектної глибини, поглинання промивальної рідини в ізольованих горизонтах не відбувалося.

6. Розроблена технологія дозволяє якісно, з найменшими витратами часу і коштів ізолювати поглинаючий горизонт від свердловинного простору.

7. Економічний ефект від впровадження розробленого способу тампонування поглинаючих горизонтів із застосуванням ТПКМ складає 1,65...2,64 млн. грн у рік при обсязі проведення тампонажних робіт у 100 свердловинах.

## ВИСНОВКИ

Дисертація є завершеною науково-дослідною роботою, в якій вирішена актуальна наукова задача зі встановлення впливу складу та фізико-механічних властивостей ТПКМ на технологічні параметри вдосконаленої термомеханічної технології ізоляції поглинаючих горизонтів промивальної рідини бурових свердловин, а саме: встановлено оптимальний склад ТПКМ, що забезпечує найвищі фізико-механічні властивості, які лінійно зменшуються зі збільшенням гранулометричного складу та кількості гранульованого наповнювача і втричі зменшуються за експоненціальним законом при перегріванні розплаву понад температуру деструкції та при збільшенні кількості плавок; обґрунтовано раціональні режимні параметри термомеханічного плавлення композиційного матеріалу, радіус поширення розплаву якого залежить від розкриття тріщин і носить логарифмічний характер, забезпечуючи товщину ізоляційної оболонки до 100 мм та запас міцності у 2,8 рази при перепаді тиску в системі «свердловина-пласт» у 100 МПа, що дозволило розробити технологічний регламент, який діє як нормативний документ у виробничих організаціях Державної служби геології та надр України, та довести у виробничих умовах працездатність, розробленої на рівні винаходу, удосконаленої технології ізоляції поглинаючих горизонтів, обґрунтувати її параметри і рекомендувати до широкого промислового впровадження.

Основні наукові та практичні результати, висновки та рекомендації виконаних досліджень:

1. Отримала подальший розвиток теорія, що при бурінні в умовах тріщинуватих гірських порід застосування тампонажних сумішей на водній основі з використанням різних мінералов'язучих і синтетичних речовин досягло своєї межі досконалості. В останні десятиліття роботи з поліпшення властивостей тампонажних матеріалів зводилися до вирішення місцевих завдань, а не усунення головного недоліку – чутливості до розведення водою. В результаті розведення свердловинною рідиною та флюїдом тампонажних сумішей на водній

основі відбувається їх седиментація, значні втрати тампонажних матеріалів і часу на усунення поглинання промивальної рідини і, в цілому, здорожчання вартості свердловин більш ніж на 20%. Скоротити ці втрати можливо, якщо для створення ізоляційної оболонки канали поглинання заповнювати розплавом термопластичного матеріалу, який не розчиняється пластовими водами.

2. Обґрунтовано, що застосовувані на сьогоднішній день термопластичні матеріали через недосконалість технологій не знайшли широкого використання як тампонажні матеріали при ізоляції поглинаючих горизонтів бурових свердловин.

3. Розроблено й обґрунтовано рецептуру і підтверджено можливість застосування ТПКМ, базою якого виступають інертні термопластичні побутові відходи на основі вторинного ПЕТ з гранульованим наповнювачем крупністю менше 0,5 мм, у співвідношенні 1:1, що забезпечують: віком 15 хв міцнісні властивості в 5,26 разів вищі за міцність тампонажного каменю на цементній основі віком 7 діб; у діапазоні температур 250 – 300°C розтікання порівняне з розтіканням нормального тампонажного цементного розчину; відсутність проникності тампонажного каменю при перепаді тиску 20 МПа; найвищу міру зносостійкості, та є «дуже абразивним» матеріалом.

4. Теоретично й експериментально показано можливість виготовлення брикетованого ТПКМ. Розроблено технологію виготовлення ТПКМ на основі ПЕТ, яка складається з підготовчого етапу, етапу виготовлення і формування. Обґрунтовано раціональні технологічні режими виготовлення ТПКМ.

5. Розроблено й обґрунтовано технологію ізоляції поглинаючих горизонтів із застосуванням ТПКМ на основі ПЕТ, для реалізації якої необхідно виконати такі технологічні операції: транспортування циліндричних брикетів ТПКМ на 1–15 мм менше діаметра породоруйнуючого інструменту до поглинаючого горизонту бурової свердловини, термомеханічне плавлення ТПКМ при температурі 246°C у зоні поглинання бурової свердловини і задавлювання перегрітого ТПКМ з температурою розплаву 280 – 300°C у канали поглинання. Спосіб



ізоляції поглинаючих горизонтів із застосуванням ТПКМ на основі ПЕТ захищено патентами України №№110471, 110472.

6. На підставі експериментальних і теоретичних досліджень обґрунтовано раціональну сферу застосування розробленої технології, а також умови ізоляції поглинаючих горизонтів.

7. У ході експериментальних і теоретичних досліджень обґрунтовано раціональні технологічні режими свердловинного термомеханічного плавлення ТПКМ на основі ПЕТ. Розроблений ТПКМ рекомендується застосовувати у свердловинних умовах у поєднанні з осьовим навантаженням не менше 700 даН при частоті обертання інструменту  $700 \text{ хв}^{-1}$ .

8. На підставі аналітичних досліджень складено математичну модель температурного поля, що описує процес теплопередачі при термомеханічному плавленні ТПКМ у зоні ускладнення бурової свердловини.

9. Виконано оцінку і доведено економічну ефективність застосування технології ізоляції поглинаючих горизонтів ТПКМ на основі ПЕТ. Вартість проведення технологічних операцій, пов'язаних з тампонуванням поглинаючих горизонтів, у порівнянні з цементуванням може бути знижено на 16,5...26,4 тис. грн на одну операцію.

10. Встановлено необхідні технологічні параметри тампонування та радіальні розміри ізоляційної оболонки, що дало можливість обґрунтувати і розробити «Технологічний регламент ізоляції поглинаючих горизонтів ТПКМ на основі ПЕТ», що діє як нормативний документ у виробничих організаціях Державної служби геології та надр України.

11. Результати виконаного в дисертаційній роботі комплексу теоретичних і експериментальних досліджень знайшли практичне застосування при дослідно-промисловому впровадженні технології ліквідації поглинання промивальної рідини ТПКМ в умовах комерційного підприємства ТОВ «Промислово-геологічної групи «Дніпрогідробуд».

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Фокин В. В. Совершенствование методов борьбы с поглощениями в интрузиях долеритов глубоких разведочных скважин Сибирской платформы: дис. канд. техн. наук: 25.00.15. М., 2009. 164 с.
2. Белкин О. К., Евецкий В. А. Изоляция зон поглощения. *Разведка и охрана недр*. 1982. №2. С. 33–36.
3. Липатов А. В., Ибятуллин И. М. Анализ фактически пробуренных скважин и подбор оптимального бурового раствора для вскрытия нестабильных обложений. *Межотраслевой институт «Наука и образование»*. 2014. Вып. 6. С. 104–107.
4. Рафиенко И. И. Эффективные методы ликвидации поглощений промышленной жидкости при бурении. М.: Недра, 1967. 158 с.
5. Титков Н. И., Дон Н. С. Технология цементирования нефтяных скважин. М.: Гостоптехиздат, 1960. 230 с.
6. Мехтиев Э.Х. Бурение скважин с очисткой забоя азрированными жидкостями. М.: Недра, 1980. 77 с.
7. Колосов Д. С. Методические подходы и решения по совершенствованию методов борьбы с поглощениями при строительстве нефтяных и газовых скважин: дис. канд. техн. наук: 25.00.15. К., 2006. 146 с.
8. Басарыгин Ю. М., Булатов А. И., Дадыка В. И. Материалы и реагенты для ремонтно–изоляционных работ в нефтяных и газовых скважинах. М.: ООО «Недра–Бизнесцентр», 2004. 350 с.
9. Иванов А. И. Обоснование и разработка технологии и техники ликвидации катастрофических поглощений при бурении разведочных скважин: дис. канд. техн. наук: 25.00.15. К., 2009. 126 с.
10. Мойса Н. Ю., Белобородое В. Н., Сухенко Н. И. Промысловый опыт ликвидации поглощений в солевых отложениях и пластах, осложненных АВПД. *«Нефтяное хозяйство»*. 2005. №4. С. 40–41.

11. Басарыгин Ю. М., Булатов А. И., Проселков Ю. М. Осложнения и аварии при бурении нефтяных и газовых скважин. М.: Недра, 2000. 680 с.
12. Зверев Ю. В., Камбулов Е. Ю., Шилин К. П., Мойса Н. Ю. Полимерные тампонажные составы для борьбы с поглощениями в осложненных условиях. *Сб. науч. тр. ООО «Интерконтакт Наука»*. 2002. С. 34–41.
13. Маковой Н. Гидравлика бурения. М.: Недра, 1986. 536 с.
14. Поляков В. В., Мнацаканов В. А., Аверьянов А. П., Фокин В. В. Причины низкой эффективности методов борьбы с поглощениями в бурении. *НТЖ Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море*. 2009. № 3. С. 14–17.
15. Вадецкий Ю. В. Бурение нефтяных и газовых скважин. М.: «Академия», 2003. 352 с.
16. Schramm G. Measuring blood viscosity with a rotational viscometer in line with the recommendation of international committee for the standartization in haematology. HAAKE Germany publication, 1992.
17. Басарыгин Ю. М., Булатов А. И. Бурение нефтяных и газовых скважин: учеб. пособие для вузов. М.: ООО «Недра–Бизнес центр», 2002. 632с.
18. Andrew I. Plugging–back technology of lost drilling flush fluid circulation zone in the course of drilling for oil and gas. *Materialy XLIII Sesji Pionu Gorniczego*. 2007.
19. Николаев Н. И., Нифонтов Ю. А., Никишин В. В., Тойб Р. Р. Тампониование скважин: учеб. пособие. СПб.: СПГГИ (ТУ), 2004. 150 с.
20. Шарафутдинов З. З., Чегодаев Ф. А., Шарафутдинова Р. З. Буровые и тампонажные растворы. Санкт–Петербург: Профессионал, 2006. 415 с.
21. Шарафутдинов З. З., Шарафутдинова Р. З. Буровые растворы на водной основе и управление их реологическими параметрами. *Нефтегазовое дело*. 2004. № 1. С. 3–21.
22. Ивачев Л. М. Промывка и тампониование геологоразведочных скважин. М.: Недра, 1989. 247 с.

23. Ивачев Л. М. Промывочные жидкости и тампонажные смеси. М.: Недра, 1987. 242 с.
24. Доценко Ю. Г., Белицкий Я. Л., Мороз В. Н. Быстрохватывающаяся цементно–смоляная смесь для ликвидации поглощений промывочной жидкости. *Разведка и охрана недр*. 1972. № 7. С. 53–54.
25. Руденко А. П. Тампонирование и крепление скважин при алмазном бурении. Ленинград: Недра, 1978. 177 с.
26. Крылов В. И., Блинов Г. С., Сидоров И. А., Сухенко Н. И. Осложнения при бурении скважин. М.: Недра, 1965. 379 с.
27. Кудряшов Б. Б. Бурение скважин в осложненных условиях. М.: Недра, 1987. 268 с.
28. Гасумов Р. А. Особенности заканчивания скважин в условиях аномально низких пластовых давлений. *Успехи современного естествознания*. 2008. № 6. С. 76–78.
29. Николаев Н. И., Николаева Т. Н., Иванов А. И. Полимерглинистые растворы для повышения эколого–технологической безопасности вскрытия водонасыщенных горных пород. *Экология и развитие общества*. 2007. № 2. С. 84–89.
30. Басарыгин Ю. М., Булатов А. И., Просежов Ю. М. Заканчивание скважин. М.: Недра, 2000. 425 с.
31. Волков А. С., Тевзадзе Р. М. Тампонирование геологоразведочных скважин. М.: Недра, 1986. 168 с.
32. Кулиев С. М., Есьман Б. И., Габузов Г. Г. Температурный режим бурящихся скважин. М.: Недра, 1968. 186 с.
33. Дергунов И. Д. Современные представления о термическом режиме земной коры. Проблемы геотермии и практического использования тепла Земли. *Изд–во АН СССР*. 1959. Т. 1. С. 130–137.
34. Любимова Е. А. Температурный градиент в верхних слоях Земли и возможности объяснения слоя пониженных скоростей. *Изд–во АН СССР*. 1959. № 12. С. 1861–1863.

35. Курбанов Я. М., Хахаев Б. Н., Алиев Р. М., Данюшевский В. С. Тампонажные растворы для глубоких нефтегазовых скважин. М.: Недра, 1996. 234 с.

36. Басарыгин Ю. М., Булатов А. И., Проселков Ю. М. Осложнения и аварии при бурении нефтяных и газовых скважин. М: Недра, 2000. 680 с.

37. Судаков А. К. Технология изоляции зон поглощения буровых скважин с применением термопластичных материалов: дис. канд. техн. наук: 05.15.10. Д., 2000. 204 с.

38. Brazenienko A., Dudla N., Sudakow A., Zieba A. Nowa technologia izolacji horyzontow chlonnych. Praca zoztala zrealizowana w ramach badan statutowych. *Zakladzie Wiertnictwa AGH*. 1997. №1.

39. Пащенко А. В. Разработка рациональной технологии тампонирувания разведочных скважин в условиях Донбасса: автореф. дис. канд. техн. наук: 05.15. Д., 1986. 17 с.

40. Мартыненко И. И. Исследования, разработка и внедрение технологии ликвидации геологических осложнений тампонирующими смесями на битумной основе: автореф. дис. канд. техн. наук: 05.15.14. Д., 1990. 16 с.

41. Судаков А. К. Технология изоляции поглощающих горизонтов термопластичными материалами. *Труды научно-технической конференции «Эпштейновские чтения»*. 1998. № 2. С. 52–54.

42. Колесникова Т. И., Агеев Ю. Н. Буровые растворы и крепление скважин. М.: Недра, 1975. 264 с.

43. Ясов В. Г. Ликвидация поглощений промывочной жидкости при бурении разведочных скважин. М.: Недра, 1964. 100 с.

44. Ясов В. Г., Мыслюк М. А. Осложнения в бурении: справочное пособие. М.: Недра, 1991. 334 с.

45. Кулинин Т. М. Підвищення герметичності різьбових з'єднань обсадних колон: дис. канд. техн. наук: 05.15.10. Івано-Франківськ, 2004. 183 с.

46. Ивачев Л. М., Кипко Э. Я., Саломатов М. А. Опыт изоляции поглощающих горизонтов связанных с пересечением горных выработок. К.: УкрНИИ-ИНТИ, 1968. 168 с.

47. Ахапкин Д. А. Обоснование показателей оценки и выбора технологических параметров эффективности алмазного бурения: автореф. дис. канд. техн. наук: 25.00.14. М., 2010. 20 с.

48. Антипова К. А. Обоснование метода вскрытия продуктивных пластов в сложных условиях регулированием режимных параметров бурения, состава и свойств бурового раствора: автореф. дис. канд. техн. наук: 25.00.15. Санкт-Петербург, 2013. 22 с.

49. Ву В. Д. Обоснование и разработка технологии алмазного бурения на основе изменения промывочной системы породоразрушающего инструмента: автореф. дис. канд. техн. наук: 25.00.14. Санкт-Петербург, 2013. 22 с.

50. Хуббатов А. А. Обоснование и разработка буровых растворов на спиртовой и углеводородной основе для бурения скважин в условиях повышенных температур и в неустойчивых глинистых отложениях: автореф. дис. канд. техн. наук: 25.00.15. Санкт-Петербург, 2013. 20 с.

51. Кузьмин М. И. Повышение эффективности эксплуатации нефтяных скважин в условиях намагниченности подземного оборудования: автореф. дис. канд. техн. наук: 25.00.17. Санкт-Петербург, 2013. 20 с.

52. Леушева Е. Л. Обоснование и разработка составов полимерных растворов с добавками реагентов-детергентов для повышения эффективности бурения твердых: автореф. дис. канд. техн. наук: 25.00.15. Санкт-Петербург, 2013. 22 с.

53. Лю Т. Обоснование и разработка промывочных и тампонажных составов для бурения скважин в условиях льдо- и гидратообразования (на примере разведки газогидратов в провинции цинхай – КНР): автореф. дис. канд. техн. наук: 25.00.14. Санкт-Петербург, 2013. 20 с.

54. Тананыхин Д. С. Обоснование технологии крепления слабосцементированных песчаников в призабойной зоне нефтяных и газовых скважин хими-

ческим способом: автореф. дис. канд. техн. наук: 25.00.17. Санкт–Петербург, 2013. 20 с.

55. Турицына М. В. Гидродинамическое обоснование применения газожидкостных смесей для вскрытия пластов с аномально низкими давлениями: автореф. дис. канд. техн. наук: 25.00.15. Санкт–Петербург, 2013. 20 с.

56. Вафин Р. М. Разработка составов утяжеленных буровых растворов на основе шлаковых отходов для бурения и заканчивания скважин с аномально высокими пластовыми давлениями: автореф. дис. канд. техн. наук: 25.00.15. Санкт–Петербург, 2012. 20 с.

57. Закиров А. Я. Разработка составов промывочных жидкостей с высокой смазывающей способностью для бурения наклонно направленных и горизонтальных скважин: автореф. дис. канд. техн. наук: 25.00.15. Санкт–Петербург, 2012. 20 с.

58. Барышников А. В. Обоснование технологии разработки многопластовых объектов с применением оборудования для одновременно–раздельной закачки воды: автореф. дис. канд. техн. наук: 25.00.17. Санкт–Петербург, 2011. 20 с.

59. Бучковский Е. В. Повышение эффективности бурения глубоких разведочных скважин снарядами со съёмными керноприёмниками на основе применения модернизированных алмазных коронок: автореф. дис. канд. техн. наук: 25.00.14. М., 2012. 23 с.

60. Доровских И. В. Обоснование и получение коррозионностойких тампонажных материалов со смешанной конденсированной фазой для строительства скважин: автореф. дис. канд. техн. наук: 25.00.15. Санкт–Петербург, 2011. 20 с.

61. Феллер В. В. Разработка гидродинамических методов для повышения эффективности технологии бурения горизонтально–направленных скважин: автореф. дис. канд. техн. наук: 25.00.15. Санкт–Петербург, 2007. 20 с.

62. Иванов А.И. Обоснование и разработка технологии и техники ликвидации катастрофических поглощений при бурении разведочных скважин: автореф. дис. канд. техн. наук: 25.00.15. Санкт–Петербург, 2009. 20 с.

63. Капитонов В. А. Повышение эффективности первичного вскрытия и освоения продуктивных пластов на основе применения биополимерных растворов: автореф. дис. канд. техн. наук: 25.00.15. Санкт–Петербург, 2007. 20 с.

64. Ленченков Н. С. Ограничение водопритока в горизонтальные скважины с применением неорганических гелеобразующих составов: автореф. дис. канд. техн. наук: 25.00.17. Санкт–Петербург, 2009. 21 с.

65. Мардашов Д. В. Обоснование технологий регулирования фильтрационных характеристик призабойной зоны скважин при подземном ремонте: автореф. дис. канд. техн. наук: 25.00.17. Санкт–Петербург, 2008. 20 с.

66. Мавлиев А. Р. Обоснование и разработка многофункциональных технологических жидкостей для подземного ремонта скважин: автореф. дис. канд. техн. наук: 25.00.17. Санкт–Петербург, 2011. 20 с.

67. Мелехин А. А. Обоснование и разработка тампонажных смесей для цементирования обсадных колонн в высокопроницаемых горных породах: автореф. дис. канд. техн. наук: 25.00.15. Санкт–Петербург, 2011. 20 с.

68. Мочуловский А. М. Совершенствование механизма искусственного искривления скважин скользящими отклонителями непрерывного действия: автореф. дис. канд. техн. наук: 25.00.14. Санкт–Петербург, 2007. 20 с.

69. Нечаева О. А. Обоснование и разработка растворов с синтезируемой гелевой фазой для бурения в неустойчивых и флюидонасыщенных породах: автореф. дис. канд. техн. наук: 25.00.15. Санкт–Петербург, 2012. 20 с.

70. Оливетский И. Н. Снижение энергозатрат и повышение качества переходных процессов в колонне бурильных труб при геологоразведочном бурении: автореф. дис. канд. техн. наук: 25.00.14. М., 2010. 22 с.

71. Панков А. А. Комплексная оценка информативности способов опробования инженерно–геологических скважин в условиях Московского региона: автореф. дис. канд. техн. наук: 25.00.14. М., 2010. 22 с.



72. Павлов И. В. Обоснование технологии ограничения притока воды в горизонтальные скважины составами направленного действия: автореф. дис. канд. техн. наук: 25.00.17. Санкт–Петербург, 2009. 20 с.

73. Суетина Е. В. Обоснование предельных допусков пространственных отклонений скважин при наклонно–направленном бурении: автореф. дис. канд. техн. наук: 25.00.15. Санкт–Петербург, 2006. 20 с.

74. Усманов Р. А. Обоснование составов полимерцементных смесей и технологии цементирования обсадных колонн в интервалах проведения перфорационных работ: автореф. дис. канд. техн. наук: 25.00.15. Санкт–Петербург, 2006. 20 с.

75. Сторчак А. В. Обоснование и разработка тампонажных составов пониженной плотности для цементирования скважин в условиях аномально низких пластовых давлений: автореф. дис. канд. техн. наук: 25.00.15. Санкт–Петербург, 2012. 20 с.

76. Третьяк А. А. Разработка современных конструкций коронок, армированных алмазно–твердосплавными пластинами, и технологии их использования: автореф. дис. канд. техн. наук: 25.00.14. Новочеркасск, 2012. 22 с.

77. Васильев А. Н. Проектирование наклонно направленных скважин для разведки метана в угольных пластах: автореф. дис. канд. техн. наук: 25.00.14. М., 2013. 22 с.

78. Зарипов Р. Р. Обоснование и разработка технологии бурения дополнительных стволов многозабойных скважин: автореф. дис. канд. техн. наук: 25.00.15. Санкт–Петербург, 2012. 20 с.

79. Жаров А. С. Методы комплексной оценки эффективности и качества технологии бурения глубоких разведочных скважин: автореф. дис. канд. техн. наук: 25.00.14. М., 2010. 23 с.

80. Ставичний Є. М. Розроблення тампонажних систем для цементування хемогенних відкладів у свердловинах родовищ дніпровсько–донецької западини: автореф. дис. канд. техн. наук: 05.15.10. Івано–Франківськ, 2016. 26 с.

81. Гриманюк В. І. Розроблення армованого тампонажного матеріалу для цементування свердловин (на прикладі родовищ північно–західного шельфу Чорного моря): дис. канд. техн. наук: 05.15.10. Івано–Франківськ, 2014. 22 с.

82. Ставичний Є. М. Розроблення тампонажних систем для цементування хемогенних відкладів у свердловинах родовищ Дніпровсько–Донецької западини: дис. канд. техн. наук: 05.15.10. Івано–Франківськ, 2015. 198 с.

83. Пудовкин М. А., Чугунов В. А., Саламатин А. Н. Задачи теплообмена в приложении к теории бурения скважин. Казань: Из–во Казан. ун–та, 1977. 182 с.

84. Разработка и внедрение методов исследований и изоляции зон поглощений промысловых жидкостей в условиях Боржинковского участка. Отчет о НИР ДГИ. № ГР 81042562. Д., 1983. 128 с.

85. Рафиенко И. И. Синтетические смолы в разведочном бурении. М.: Недра, 1975. 128 с.

86. Максимов А.П., Евтушенко В. В. Тампонаж горных пород. М.: Недра, 1978. 180 с.

87. Нефедов В. П., Измайлова В. А., Крылов Г. А. и др. Применение вспененных тампонирующих растворов при креплении скважин. М.:ВИЭМС, 1984. 130 с.

88. Инструкция приготовление тампонирующей смеси НС–1 и изоляция поглощающих горизонтов: РД 41 УССР 29–86: Утв. Мин. Гео. УССР 07.05.86: Срок введения с 01.08.86. М–во геологии УССР. К., 1986. 13 с.

89. Судакова Д. А. Результаты анализа технологий тампонирувания поглощающих горизонтов буровых скважин. *XI Міжнародна науково–практична конференція «Школа підземної розробки»* (Бердянськ, вересень 2017 р.). Бердянськ, 2017. С 101– 102.

90. Литвиненко В. С., Кудряшов Б. Б., Чистяков В. К. Бурение скважин в условиях изменения агрегатного состояния горных пород. М.: Недра, 1991. 284 с.

91. Sudakov A., Khomenko O., Isakova M., Sudakova D. Concept of numerical experiment of isolation of absorptive horizons by thermoplastic materials. *Scientific Bulletin of NMU*. 2016. Volume 5 (155). pp. 12–16.

92. Судаков А. К., Дреус А. Ю., Хоменко О. Е., Судакова Д. А. Теоретические основы технологии изоляции поглощающих горизонтов термопластичными материалами. *Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения*. К., 2017. Вып. 20. С. 52–58.

93. Пат. 106990 Україна. Спосіб тампонування свердловин: №u201512670; заявл. 21.12.2015; опубл. 10.05.2016, Бюл. №9.

94. Sudakov A., Dreus A., Khomenko O., Sudakova D. Analitic study of heat transfer in absorbing horizon of boreholes in the formation of protection cryogenic plugging material. *Scientific Bulletin of NMU*. 2017. no. 3(159). p. 38–42.

95. Судаков А. К., Кузин Ю. Л., Судакова Д. А. Криогенная технология изоляции поглощающих горизонтов. *Вісті Донецького гірничого інституту*. 2016. Вип. 1(24). С. 3–6.

96. Аренс В. Ж. Разработка месторождений самородной серы методом подземной выплавки. Москва: Недра, 1983. 260 с.

97. Аренс В. Ж., и др. Подземная выплавка серы в Прикарпатье. Львов: «Вища школа», 1981. 112 с.

98. Лыков А. В. Теория теплопроводности. М.: Высшая школа, 1967. 599 с.

99. Чистяков В. К., Чугунов В. А. Исследование процесса бурения методом плавления горных пород. *Физические процессы горного производства*. 1977. № 2. С. 97–103.

100. Аренс В. Ж. Сквжинная добыча полезных ископаемы (геотехнология). М.: Недра, 1986. 279 с.

101. Шейман А. Б., Сергеев А. И., Малофеев Г. Б. Электротепловая обработка призабойной зоны нефтяных сквжин. М.: Гостоптехиздат, 1962. 98 с.

102. Лимитовский А. М. Электрооборудование и электроснабжение геологоразведочных работ. М.: Недра, 1986. 272 с.
103. Кудряшов Б. Б., Яковлев А. М. Бурение скважин в мерзлых породах. М.: Недра, 1983. 298 с.
104. Бродов Г. С. Основы термомеханического колонкового бурения. СПб.: ВИТР, 2001. 55 с.
105. Яфаров А. У. Об удельной энергоемкости разрушения горных пород резанием. *Нефт. хоз-во*. 1970. № 6. С.5–8.
106. Танинский П. Ю. Выбор легкоплавких связующих материалов для экологически чистого беструбного крепления скважин: автореф. дис. канд. техн. наук: 05.15.14. Санкт–Петербург, 2000. 20 с.
107. Эпштейн Е. Ф, Вареник А. В. Разрушение горных пород при твердосплавном и алмазном бурении разведочных скважин. *Технология и техника геологоразведочных работ*. 1980. № 1. С.5–24.
108. Курочкин П. Н., Исаев М. И. Исследование температурного режима коронки на забое скважины. *Методика и техника разведки*. 1967. № 58. С.71–76.
109. Prakash V. Temperature distribution in synthetic diamond cutters during orthogonal rock cutting. *SPE Drilling Engng*. 1989.
110. Glowka D. Implications of Thermal Wear Phenomena for PDC Bit Design and Operation. *Society of Petroleum Engineers*. 1985.
111. Горшков Л. К., Сенькин Г. А. Некоторые причины зашлифования буровых алмазов. *Изв. ВУЗов Горный журнал*. 1972. № 3. С. 76–78.
112. Бугаев А. А., Бакуль В. Н., Лившиц И. В. и др. Синтетические алмазы в геологоразведочном бурении. К.: Наук. думка, 1978. 232 с.
113. Горшков Л. К., Яковлев А. А. Аномальный износ алмазных коронок. *Записки горного института*. 2012. Вып. 197. С. 25–28.
114. Исонкин А. М., Богданов Р. К. Некоторые особенности механизма износа синтетических алмазов в импрегнированных буровых коронах. *Наукові*

праці Донецького національного технічного університету. 2005. Вип. 96. С. 68–74.

115. Бондаренко Н. А., Жуковский А. Н., Мечник В.А. Основы создания алмазосодержащих композиционных материалов для породоразрушающих инструментов. Киев: Ин-т сверхтвердых материалов им. В. Н. Бакуля НАН Украины, 2008. 455 с.

116. Ребрик Б. М. Бурение скважин при инженерно–геологических изысканиях. М: Недра, 1973. 200 с.

117. Моисеев В. А. Бурение скважин специального назначения: учебное пособие. Иркутск, 2010. 77 с.

118. Ассоциация производителей и переработчиков полиэтилентерефталата <http://arpet.ru>.

119. Термопластичные полимеры <http://www.bibliotekar.ru/spravochnik-104-stroymaterialy/80.htm>.

120. Керницкий В. И., Жир Н. А., Микитаев А. К. ПЭТ: приказано выжить. *Издание "Пластик"*. 2015. № 12/11. С. 32–38.

121. Керницкий В. И., Жир Н. А., Микитаев В. А. Вопросы по бутылочному ПЭТ. Крайности и реальности. *Вестник химической промышленности*. 2016. № 4(91). С. 36–40.

122. Керницкий В. И., Микитаев А. К. Производство и переработка полиэтилентерефталата. М.: Изд. РХТУ им. Д. И. Менделеева, 2015. 282 с.

123. Полиэтилентерефталат 2016: Замки на песке <https://plastinfo.ru/information/articles/557>.

124. Masardi N. G.S.I. PET market Overview. CREON, 2015.

125. Айзенштейн Э. М. Производство волокон на основе полиэтилентерефталата в мире и в России. *«Полиэтилентерефталат–2014» Альянс–Аналитика*. 2014. № 5. С. 34–39.

126. Angel B. Polyester Fibres. *The 23RD PCI Consulting Group European Polyester Industry Conference*. 2015.

127. Swift D. PET Resin. *The 23RD PCI Consulting Group European Polyester Industry Conference*. 2015.
128. Исследования ПЭТ-упаковки на опасные вещества <http://arpet.ru/material/468>.
129. ПЭТ бутылки: история, свойства, технология производства <http://ref.unipack.ru/119>.
130. Katami T., Yasuhara A., Shibamoto T. Formation of PCDDs, PCDFs, and Coplanar PCBs from Polyvinyl Chloride during Combustion in an Incinerator. *Environ. Sci. Technol.* 2002.
131. New Study Gives "Green" Light to PET Bottles over Glass or Aluminum [http://petresin.org/news\\_GreenLighttoPETBottles.asp](http://petresin.org/news_GreenLighttoPETBottles.asp).
132. Керницкий В. И., Жир Н. А. Переработка отходов полиэтилентерефталата (ПЭТ). *Полимерные материалы*. 2014. №8. С. 12–21.
133. Керницкий В. И., Микитаев А. К. Краткие основы производства и переработки полиэтилентерефталата (ПЭТ). М.: Изд-во РХТУ им. Д. И. Менделеева, 2012. 208 с.
134. Беданокоев А. Ю., Бештоев Б. З., Микитаев М. А., Микитаев А. К., Сазонов В. В. Полиэтилентерефталат: новые направления рециклинга. *Пластические массы*. 2009. № 6. С. 18–21.
135. Вторичные полимеры: реалии и перспективы [http://newchemistry.ru/letter.php?n\\_id=983](http://newchemistry.ru/letter.php?n_id=983).
136. Экология <http://espacking.by/ecology>.
137. Судакова Д. А. О возможности применения бытовых отходов в качестве тампонажного термопластичного материала. *Молодь: наука та інновації – 2017: П'ята всеукраїнська науково-технічна конференція студентів, аспірантів і молодих учених (Дніпро, 28 – 29 листопада 2017 р.)* Дніпро: 2017. С. 34–35.
138. Технология производства композиционных материалов на основе ПЭТ, переработка отходов <https://ecoteco.ru/id140>.
139. Полиэтилентерефталат (Лавсан, полиэстер) – ПЭТ [http://vensnab.ru/articles/view\\_articles/53](http://vensnab.ru/articles/view_articles/53).

140. Isakova M. Sudakova D. Thermoplastic materials on the basis of polyethyleneterephthalate. *The 11th International Forum for Students and Young Researchers*, (Dnipropetrovsk, april 2016). Dnipropetrovsk: НГУ, 2016. – p. 62.

141. Huang Z. H., Wang Li Hui. Infrared studies of transesterification in poly(ethylene terephthalate)/polycarbonate blends. *Makromol. Chem. Rapid Commun.* 1986. №7. P. 255 –259.

142. Xue M. L., Yu Y. L., Sheng J., Chuah H. H. Crystallization and spherulitic growth kinetics of poly(trimethylene terephthalate)/polycarbonate blends. *J. Macro Sci, Part B.* 2005. №44. P. 530–531.

143. Что надо знать про ПЭТ <http://nevapet.ru/articles/2013-01-16>.

144. Извлечение сурьмы в процессе производства полиэфирных смол <https://uchil.net/?cm=71393>.

145. Каталог <http://www.m-business.com.ua/index1.php?page=page378&det>.

146. Химическая энциклопедия <http://www.cnsnb.ru/AKDiL/0048/base/RP/490010.shtm>.

147. Серенко И. А., Сидоров Н. А., Кошелев А. Т. Повторное цементирование при строительстве и эксплуатации скважин. М.: Недра, 1988. 263 с.

148. Любимов Н. И. Классификация горных пород и рациональное применение буровой техники. М.: Недра, 1977. 239 с.

149. Любимов Н. И. Объективный метод определения категорий горных пород в геологоразведочных организациях. М.: ОНТИ ВИЭМС, 1969. 17 с.

150. Ржевский В. В., Новик Г. Я. Основы физики горных пород. М.: Недра, 1978. 390 с.

151. Булатов А. И., Шаманов С. А. Методы испытания тампонажных материалов. К: 000"Просвещение-Юг", 2002. 340 с.

152. Кузин Ю. Л., Судакова Д. А., Лукьяненко М. В. Результаты исследований механических свойств тампонажного термопластичного композиционного материала на основе полиэтилентерефталата. *Форум горняков – 2017: материал международной научно-технической конференции (Днепр, октябрь 2017 г.)* Днепр: НГУ, 2017. С. 242-247.

153. Судакова Д. А. Механические свойства тампонажного термопластичного материала на основе полиэтилентерефталата. *Вісті Донецького гірничого інституту*. 2017. №2. С. 107–116.
154. Абразивность горных пород <http://www.drillings.ru/abrazivnost>.
155. Кузин Ю. Л., Судакова Д. А. О возможности применения бытовых отходов для изоляции поглощающих горизонтов буровых скважин. *Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения*. 2016. Вып. 19. С. 92–96.
156. Цемент <https://kiev.flagma.ua/prodam-cement-proizvodstva-respubliki-o4126751.html>.
157. Битум строительный <https://sumy.flagma.ua/bitum-stroitelny-90-10-m-5-ukraina-o2770675.html>.
158. Сера гранулированная <https://kiev.flagma.ua/sera-granulirovannaya-o2124676.html>.
159. Пат. 106505 Україна. Тампонажна суміш: №u201511128; заявл. 12.11.2015; опубл. 25.04.2016, Бюл. №8.
160. Пат. 108791 Україна. Тампонажно-будівельний матеріал: №u201601991; заявл. 29.02.2016; опубл. 25.07.2016, Бюл. №14.
161. Пат. 110442 Україна. Тампонажно-будівельний матеріал: №u201603520; заявл. 04.04.2016; опубл. 10.10.2016, Бюл. №19.
162. Румянцев В. Д., Ольшанский В. М. Теплотехника. Д.: Пороги, 2002. 325 с.
163. Дреус А. Ю., Судакова Д. А. Моделирование тепловых процессов в технологии приготовления тампонажного термопластичного композиционного материала. *Теплотехника, энергетика и экология в металлургии: XVIII Международная конференция (Днепр, октябрь 2017 г.)*. Днепр: 2017. С. 213-216.
164. Кузін Ю. Л., Судакова Д. А. Термомеханічний спосіб тампонування проникних горизонтів бурових свердловин. *Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и при-*



менения: XVIII Международная конференция (Трускавец, сентябрь 2017 г.) Трускавец: ИНМ, 2017. С. 98 – 102.

165. Пат. 110471 Україна. Спосіб тампонування свердловин: №u201603802; заявл. 08.04.2016; опубл. 10.10.2016, Бюл. №19.

166. Пат. 110472 Україна. Спосіб транспортування тампонажного матеріалу: №u201603803; заявл. 08.04.2016; опубл. 10.10.2016, Бюл. №19.

167. Кузин Ю. Л. Судакова Д. А. Инновационное развитие технологий ликвидации поглощения промысловых жидкостей при бурении скважин. *Інновації та трансфер технологій: VII науково-практична конференція (Дніпропетровськ, травень 2016 р.)* Дніпропетровськ: НГУ, 2016. С 84-86.

168. Kuzin J., Mostinets O., Sudakova D., Isakova M. Isolation technology for swallowing zones by thermoplastic materials on the basis of polyethyleneterephthalate. *Наукowyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*. 2017. no.1(157). p. 34–39.

169. Судакова Д. А. Нетрадиционная технология борьбы с поглощением буровых растворов в скважинах. *Вісті Донецького гірничого інституту*. 2017. №1. С. 227– 233.

170. Судакова Д. А. Нетрадиционная технология борьбы с поглощением буровых растворов в скважинах. *Технології и процеси в гірництві та будівництві: 5-а Міжнародна науково-практична конференція (Покровськ, травень 2017 р.)* Покровськ: 2017. С. 227 – 233.

171. РД 50–639–87 Методические указания. Надежность в технике. Расчет показателей надежности. Общие положения. М.: Издательство стандартов, 1988. 52 с.

172. СТП 2.070745–12–84 Стандарт предприятия. Комплексная система управления качеством и эффективностью научно–исследовательской деятельностью вуза. Метрологическое обеспечение. Основные положения. Днепропетровский горный институт, 1985. 32 с.

173. РТМ 41–2–71 Типовая программа и методика испытаний опытных образцов приборов для геологоразведочного бурения. Мингео СССР, 1971. 30 с.

174. Лебедев Е. А. Исследование природы поглощения глинистого раствора и преодоление их в условиях повышенных забойных температур: автореф. дис. канд. техн. наук: 05.15.14. Д., 1965. 21 с.

175. Шамшев Ф. А., Тараканов С. Н., Кудряшов Б. Б., и др. Технология и техника разведочного бурения. М.: Недра, 1973. 496 с.

176. Судакова Д. А. Результаты стендовых исследований термомеханической технологии изоляции поглощающих горизонтов тампонажными термопластичными композиционными материалами. *Збірник наукових праць НГУ*. 2018. Вип. 54. С. 285 – 298.

177. Кожевников А. А., Гошовский С. В., Дреус А. Ю., Мартыненко И. И. Тепловое поле алмазной коронки при бурении с нестационарным режимом промывки скважины. *Доповіді Національної академії наук України*. 2007. № 2. С. 62–67.

178. Василевский К. К., Полежаев Ю. В., Федоров О. Г. Применение обобщенных соотношений между тепловым потоком и температурой поверхности для исследования эффективности работы калориметра. *Тепло– и массоперенос*. 1972. Т. 7. С. 317–321.

179. Полежаев Ю. В., Юревич Ф. Б. Тепловая защита. М.: Энергия, 1976. 392 с.

180. Исаев С. И., Кожин И. А., Кофанов В. И., и др. Теория тепломасообмена. М.: Высшая школа, 1979. 495 с.

181. Пат. 118391 Україна. Термомеханічний спосіб тампонування проникних горизонтів бурових свердловин: №u201700565; заявл. 20.01.2017; опубл. 10.08.2017, Бюл. №15.

182. Кипко Э. Я., Полозов Ю. А., Лушникова О. Ю., и др. Комплексный метод тампонажа при строительстве шахт. М.: Недра, 1984. 280 с.

183. Судаков А. К. методика проектирования ликвидации поглощений очистного агента зон буровых скважин. *Науковий вісник НГА України*. 1999. №3. С. 44–46.

184. Шрейбер Б. П. Битумизация в подземном строительстве. М.: Недра, 1964. 364 с.
185. Крылов В. И. Изоляция поглощающих пластов в глубоких скважинах. М.: Недра, 1980. 304 с.
186. Вахрамеев И. И. Новый метод к расчету цементации и глинизации горных пород. *Горный журнал*. 1960. №4. С. 25–30.
187. Ивачев Л. М. Борьба с поглощениями промывочной жидкости при бурении геологоразведочных скважин. М.: Недра, 1982. 293 с.
188. Михеев М. А., Михеева И. М. Основы теплопередачи. М.: «Энергия», 1977. 344 с.
189. Ганджумян Р. А. Практические расчеты в разведочном бурении. М.: Недра, 1986. 253 с.

## **ДОДАТКИ**

## Додаток А

Список публікацій здобувача за темою дисертації та відомості про апробацію результатів дисертації

### ***Статті, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації.***

1. Kuzin J., Mostinets O., Sudakova D., Isakova M. Isolation technology for swallowing zones by thermoplastic materials on the basis of polyethyleneterephthalate. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*. 2017. no. 1(157). p. 34–39. (Фахове видання, включене до наукометричної база Scopus).
2. Sudakov A., Dreus A., Khomenko O., Sudakova D. Analitic study of heat transfer in absorbing horizon of boreholes in the formation of protection cryogenic plugging material. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*. 2017. no. 3(159). p. 38–42. (Фахове видання, включене до наукометричної база Scopus).
3. Кузин Ю. Л., Судакова Д. А. О возможности применения бытовых отходов для изоляции поглощающих горизонтов буровых скважин. *Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения*. 2016. Вып. 19. С. 92–96.
4. Судакова Д. А. Нетрадиционная технология борьбы с поглощением буровых растворов в скважинах. *Вісті Донецького гірничого інституту*. 2017. №1. С. 227–233.
5. Судакова Д. А. Механические свойства тампонажного термопластичного материала на основе полиэтилентерефталата. *Вісті Донецького гірничого інституту*. 2017. №2. С. 107–116.
6. Судакова Д. А. Результаты стендовых исследований термомеханической технологии изоляции поглощающих горизонтов тампонажными термопластичными композиционными материалами. *Збірник наукових праць НГУ*. 2018. Вип. 54. С. 285 – 298.

**Тези наукових конференцій.**

7. Isakova M. Sudakova D. Thermoplastic materials on the basis of polyethyleneterephthalate. *The 11th International Forum for Students and Young Researchers*, (Dnipropetrovsk, april 2016). Dnipropetrovsk: НГУ, 2016. – p. 62.
8. Кузин Ю. Л. Судакова Д. А. Инновационное развитие технологий ликвидации поглощения промывочных жидкостей при бурении скважин. *Інновації та трансфер технологій: VII науково-практична конференція* (Дніпропетровськ, травень 2016 р.) Дніпропетровськ: НГУ, 2016. – С 84-86.
9. Судакова Д. А. Нетрадиционная технология борьбы с поглощением буровых растворов в скважинах. *Технології и процеси в гірництві та будівництві: 5-а Міжнародна науково-практична конференція* (Покровськ, травень 2017 р.) Покровськ: 2017. С. 227 – 233.
10. Судакова Д. А. Результаты анализа технологий тампонирования поглощающих горизонтов буровых скважин. *Школа підземної розробки: XI Міжнародна науково-практична конференція* (Бердянськ, вересень 2017 р.) Бердянськ: НГУ, 2017. С. 101– 102.
11. Кузин Ю. Л., Судакова Д. А. Термомеханічний спосіб тампонування проникних горизонтів бурових свердловин. *Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения: XVIII Международная конференция* (Трускавец, сентябрь 2017 г.) Трускавец: ИМ, 2017. С. 98 – 102.
12. Кузин Ю. Л., Судакова Д. А., Лукьяненко М. В. Результаты исследований механических свойств тампонажного термопластичного композиционного материала на основе полиэтилентерефталата. *Форум горняков – 2017: материал международной научно-технической конференции* (Днепр, октябрь 2017 г.) Днепр: НГУ, 2017. С. 242-247.
13. Дреус А. Ю., Судакова Д. А. Моделирование тепловых процессов в технологии приготовления тампонажного термопластичного композиционного материала. *Теплотехника, энергетика и экология в металлургии: XVIII*

Международная конференция (Днепр, октябрь 2017 г.) Днепр: 2017. – С. 213-216.

14. Судакова Д. А. О возможности применения бытовых отходов в качестве тампонажного термопластичного материала. *Молодь: наука та інновації – 2017: П'ята всеукраїнська науково-технічна конференція студентів, аспірантів і молодих учених (Дніпро, 28 – 29 листопада 2017 р.)* Дніпро: 2017. С. 34–35.

15. Судакова Д. А. Результаты внедрения технологии изоляции поглощающих горизонтов тампонажными термопластичными композиционными материалами. *Нафтогазова галузь: перспективи нарощування ресурсної бази: Міжнародна науково-технічна конференція (Івано-Франківськ, травень 2018 р.)* Івано-Франківськ, 2018. С. 217-220.

#### ***Патенти та корисні моделі.***

16. Пат. 106505 Україна, МПК Е 21 В 33/10. Тампонажна суміш. Судаков А. К., Кузін Ю. Л., Судакова Д. А. №u201511128; заявл. 12.11.2015; опубл. 25.04.2016; Бюл. №8.

17. Пат. 106990 Україна, МПК Е 21 В 33/10. Спосіб тампонування свердловин. Судаков А. К., Кузін Ю. Л., Судакова Д. А. №u201512670; заявл. 21.12.2015; опубл. 10.05.2016; Бюл. №9.

18. Пат. 108791 Україна, МПК Е 21 В 33/10; С 09 К 8/50. Тампонажно-будівельний матеріал. Судаков А. К., Кузін Ю. Л., Мостинець О. Н., Судакова Д. А. №u201601991; заявл. 29.02.2016; опубл. 25.07.2016; Бюл. №14.

19. Пат. 110442 Україна, МПК Е 21 В 33/10; С 09 К 8/50. Тампонажно-будівельний матеріал. Судаков А. К., Кузін Ю. Л., Мостинець О. Н., Судакова Д. А. №u201603520; заявл. 04.04.2016; опубл. 10.10.2016; Бюл. №19

20. Пат. 110471 Україна, МПК Е 21 В 33/10. Спосіб тампонування свердловин. Судаков А. К., Кузін Ю. Л., Дреус А. Ю., Судакова Д. А. №u201603802; заявл. 08.04.2016; опубл. 10.10.2016; Бюл. №19.

21. Пат. 110472 Україна, МПК Е 21 В 33/10. Спосіб транспортування тампонажного матеріалу / Судаков А. К., Кузін Ю. Л., Судакова Д. А. №u201603803; заявл. 08.04.2016; опубл. 10.10.2016; Бюл. №19.

22. Пат. 118391 Україна, МПК Е 21 В 33/10. Термомеханічний спосіб тампонування проникних горизонтів бурових свердловин. Судаков А. К., Кузін Ю. Л., Дреус А. Ю., Судакова Д. А. №u201700565; заявл. 20.01.2017; опубл. 10.08.2017; Бюл. №15.

Основні положення, наукові і практичні результати дисертаційної роботи розглядалися на: XI міжнародному форумі студентів и молодих учених «Розширюючи обрії» (м. Дніпро, 2016 р.); VII науково-практичній конференції «Інновації та трансфер технологій» (м. Дніпро, 2016 р.); V Міжнародній науково-практичній конференції «Технології и процеси в гірництві та будівництві» (Покровськ, 2017 р.); XI Міжнародній науково-практичній конференції «Школа підземної розробки» (Бердянськ, 2017 р.); XVIII Міжнародній конференції «Породоруйнівний і металообробний інструмент - техніка, технологія його виготовлення і застосування» (м. Трускавець, 2017 р.); щорічній Міжнародній науково-практичній конференції "Форум гірників" (Дніпро, 2017 р.); XVIII Міжнародній конференції «Теплотехніка, енергетика та екологія в металургії», (Дніпро, 2017 р.); V Всеукраїнській науково-технічній конференції студентів, аспірантів и молодих вчених "Молодь: наука та інновації - 2017", (м. Дніпро, 2017 р.); Міжнародній науково-технічній конференції "Нафтогазова галузь: перспективи нарощування ресурсної бази" (Івано-Франківськ, 2018 р).



### Додаток Б

Узагальнені результати досліджень межі міцності на однісіне стискування тампонажного термопластичного композиційного матеріала і результати їх статистичних досліджень

№ п/п	Склад ТПКМ	Температура плавлення зразків, °С	Кількість плавок	Маса зразка, гр.	Щільність зразка, гр/см <sup>2</sup>	Середня щільність зразка, гр/см <sup>2</sup>	Межа міцності на стискування $\sigma_{сж}$ , МПа		Коефіцієнт міцності, <i>f</i>	Відхилення від середнього значення, МПа	Середнє квадратичне відхилення, МПа <sup>2</sup>	Стандартне відхилення, МПа	Коефіцієнт варіації <i>V</i> , %
							$\sigma_{сж. i}$	$\sigma_{сж. ср.}$					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1,1	ПЭТ + Гравій: співвідношення 1:1; <i>d</i> =0,5...1,0 мм	300	1	194	1,49	1,54	31,0	36,0	3,6	5,0	25,4	7,6	20,9
1,2				188	1,56		31,9			4,1	17,1		
1,3				188	1,53		43,9			-7,9	61,8		
1,4				188	1,53		38,8			-2,8	7,6		
1,5				200	1,60		34,6			1,4	2,1		
2,1	ПЭТ+ Гравій: співвідношення 1:2; <i>d</i> =0,5...1,0 мм	300	1	212	1,76	1,75	23,4	25,8	2,6	2,4	6,0	4,6	17,9
2,2				224	1,75		30,1			-4,3	18,1		
2,3				216	1,76		23,0			2,8	8,1		
2,4				224	1,75		28,6			-2,8	7,6		
2,5				227	1,74		24,1			1,7	3,0		
3,1	ПЭТ+Гравій: співвідношення 1:3; <i>d</i> =0,5...1,0 мм	300	1	228	1,86	1,84	31,6	25,1	2,5	-6,5	41,7	6,7	26,8
3,2				222	1,84		25,9			-0,8	0,6		
3,3				234	1,83		18,9			6,2	38,9		
3,4				224	1,82		22,5			2,6	7,0		
3,5				216	1,83		26,8			-1,7	2,8		
4,1	ПЭТ+Гравій: співвідношення 1:4; <i>d</i> =0,5...1,0 мм	300	1	206	1,82	1,81	16,4	18,9	1,9	2,5	6,3	6,9	36,3
4,2				234	1,91		27,4			-8,5	72,3		
4,3				222	1,77		17,4			1,5	2,3		
4,4				218	1,77		15,4			3,5	12,3		
4,5				218	1,77		17,9			1,0	1,0		

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
5,1	ПЭТ+ Гравій: співвідношення 1:1; $d < 0,5$ мм	300	—	198	1,58	1,59	55,3	52,6	5,3	-2,7	7,5	2,9	5,4
5,2				196	1,60		51,9			0,7	0,4		
5,3				192	1,56		54,0			-1,4	2,1		
5,4				188	1,59		50,6			2,0	3,8		
5,5				196	1,62		51,0			1,6	2,4		
6,1	ПЭТ Гравій: співвідношення 1:2; $d < 0,5$ мм	300	—	216	1,76	1,75	42,2	44,1	4,4	1,9	3,8	6,1	13,9
6,2				224	1,75		44,2			-0,1	0,0		
6,3				222	1,77		48,9			-4,8	22,7		
6,4				216	1,72		38,0			6,1	37,7		
6,5				218	1,77		47,4			-3,3	10,6		
7,1	ПЭТ + Гравій: співвідношення 1:3; $d < 0,5$ мм	300	—	220	1,82	1,81	28,4	33,0	3,3	4,6	21,5	4,7	14,3
7,2				224	1,82		37,8			-4,8	22,7		
7,3				222	1,81		33,4			-0,4	0,1		
7,4				224	1,79		32,8			0,2	0,1		
7,5				218	1,81		32,8			0,2	0,1		
8,1	ПЭТ + Гравій: співвідношення 1:4; $d < 0,5$ мм	300	—	232	1,89	1,85	23,4	20,6	2,1	-2,8	8,0	4,9	24,0
8,2				222	1,80		23,4			-2,8	8,0		
8,3				224	1,85		15,9			4,7	21,9		
8,4				230	1,87		22,4			-1,8	3,3		
8,5				224	1,86		17,8			2,8	7,7		
9,1	ПЭТ+ Гравій: співвідношення 1:1; $d = 1,0 \dots 3,0$ мм	300	—	196	1,60	1,57	21,4	20,7	2,1	-0,7	0,5	2,4	11,5
9,2				182	1,51		20,2			0,5	0,2		
9,3				200	1,60		18,8			1,9	3,5		
9,4				188	1,56		19,8			0,9	0,8		
9,5				178	1,58		23,2			-2,5	6,4		
10,1	ПЭТ + Гравій: співвідношення 1:2; $d = 1,0 \dots 3,0$ мм	300	—	214	1,74	1,75	21,9	24,0	2,4	2,1	4,6	5,4	22,5
10,2				208	1,73		27,6			-3,6	12,7		
10,3				210	1,71		27,6			-3,6	12,7		
10,4				208	1,72		24,4			-0,4	0,1		
10,5				202	1,84		18,7			5,3	28,5		

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
11,1	ПЭТ + Гравій: співвідношення 1:3; $d=1,0...3,0$ мм	300	—	218	1,89	1,78	18,2	17,7	1,8	-0,5	0,3	3,5	20,0
11,2				196	1,70		15,2			2,5	6,2		
11,3				210	1,78		20,6			-2,9	8,5		
11,4				212	1,87		15,0			2,7	7,2		
11,5				196	1,66		19,4			-1,7	3,0		
12,1	ПЭТ + Гравій: співвідношення 1:4; $d=1,0...3,0$ мм	300	—	198	1,65	1,63	10,3	9,2	0,9	-1,1	1,3	0,9	10,0
12,2				194	1,68		8,8			0,4	0,1		
12,3				208	1,64		9,0			0,2	0,0		
12,4				194	1,64		8,7			0,5	0,2		
12,5				192	1,56		9,0			0,2	0,0		
13,1	ПЭТ + Гравій: співвідношення 1:1; $d=3,0...5,0$ мм	300	—	202	1,61	1,59	16,2	18,9	1,9	2,7	7,2	2,9	15,2
13,2				196	1,60		21,4			-2,5	6,4		
13,3				204	1,63		18,5			0,4	0,1		
13,4				200	1,56		20,3			-1,4	2,0		
13,5				188	1,56		18,0			0,9	0,8		
14,1	ПЭТ + Гравій: співвідношення 1:1; $d=3,0...5,0$ мм	300	—	222	1,77	1,74	15,7	15,3	1,5	-0,4	0,1	2,3	15,1
14,2				220	1,76		15,1			0,2	0,1		
14,3				224	1,75		15,3			0,0	0,0		
14,4				216	1,72		13,0			2,3	5,5		
14,5				216	1,72		17,6			-2,3	5,1		
15,1	ПЭТ+ Гравій: співвідношення 1:1; $d=3,0...5,0$ мм	300	—	210	1,68	1,66	11,5	9,4	0,9	-2,1	4,3	2,8	29,7
15,2				200	1,63		8,9			0,5	0,3		
15,3				198	1,64		8,3			1,1	1,3		
15,4				208	1,72		11,4			-2,0	3,9		
15,5				198	1,61		7,0			2,4	5,9		
16,1	ПЭТ + Гравій: співвідношення 1:1; $d=3,0...5,0$ мм	300	—	182	1,54	1,55	5,3	4,7	0,5	-0,6	0,3	1,8	37,9
16,2				188	1,59		4,7			0,0	0,0		
16,3				188	1,53		6,4			-1,7	2,8		
16,4				186	1,55		3,0			1,7	3,0		
16,5				192	1,53		4,2			0,5	0,3		

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
17,1	ПЭТ + Мінвата: співвідношення 10:1	300	—	146	1,29	1,26	15,0	11,6	1,2	-3,4	11,7	5,5	47,2
17,2				144	1,30		16,4			-4,8	23,2		
17,3				142	1,23		8,4			3,2	10,1		
17,4				146	1,24		8,1			3,5	12,1		
17,5				142	1,25		10,0			1,6	2,5		
18,1	ПЭТ+ Мінвата: співвідношення 10:2	300	—	140	1,14	1,20	13,5	12,1	1,2	-1,4	2,0	2,1	17,1
18,2				146	1,40		13,8			-1,7	3,0		
18,3				158	1,14		11,0			1,1	1,2		
18,4				146	1,15		10,7			1,4	1,9		
18,5				156	1,15		11,4			0,7	0,5		
19,1	ПЭТ + Мінвата: співвідношення 10:0,5	300	—	144	1,35	1,31	19,3	19,7	2,0	0,4	0,2	7,0	35,7
19,2				142	1,33		14,0			5,7	32,7		
19,3				148	1,30		24,9			-5,2	26,8		
19,4				140	1,26		24,6			-4,9	23,8		
19,5				138	1,32		15,8			3,9	15,4		
20,1	ПЭТ+Мінвата+Гравій: співвідношення 10:0,5:5; $d < 0,5$ мм	300	—	168	1,40	1,40	20,3	18,0	1,8	-2,3	5,5	4,1	22,6
20,2				168	1,40		17,4			0,6	0,3		
20,3				176	1,43		20,5			-2,5	6,5		
20,4				180	1,41		13,4			4,6	20,8		
20,5				170	1,36		18,2			-0,2	0,1		
21,1	ПЭТ+Мінвата+Гравій: співвідношення 10:1:5; $d < 0,5$ мм	300	—	168	1,39	1,39	15,0	16,4	1,6	1,4	1,8	2,2	13,5
21,2				170	1,41		15,7			0,7	0,4		
21,3				174	1,39		18,8			-2,4	6,0		
21,4				168	1,37		15,3			1,1	1,1		
21,5				168	1,37		17,0			-0,6	0,4		
22,1	ПЭТ+Мінвата+Гравій: співвідношення 10:2:5; $d < 0,5$ мм	300	—	156	1,27	1,31	13,0	14,5	1,5	1,5	2,3	1,9	13,4
22,2				168	1,29		13,1			1,4	2,0		
22,3				162	1,32		15,8			-1,3	1,6		
22,4				166	1,30		15,7			-1,2	1,4		
22,5				176	1,35		15,0			-0,5	0,2		

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
23,1	ПЭТ+Мінвата+Гравій: співвідношення 10:0,5:1; $d < 0,5$ мм	300	I	160	1,28	1,27	16,6	14,8	1,5	-1,8	3,3	5,1	34,3
23,2				156	1,24		11,8			3,0	8,9		
23,3				156	1,27		16,0			-1,2	1,5		
23,4				154	1,28		19,1			-4,3	18,7		
23,5				152	1,26		10,4			4,4	19,2		
24,1	ПЭТ+Мінвата+Гравій: співвідношення 10:0,5:10; $d < 0,5$ мм	300	I	194	1,49	1,47	33,0	34,9	3,5	1,9	3,8	7,2	20,7
24,2				200	1,48		43,5			-8,6	73,3		
24,3				190	1,49		30,0			4,9	24,4		
24,4				190	1,43		33,2			1,7	3,0		
24,5				182	1,48		35,0			-0,1	0,0		
25,1	ПЭТ+Мінвата+Гравій: співвідношення 10:0,5:20; $d < 0,5$ мм	300	I	216	1,69	1,67	15,1	17,9	1,8	2,8	8,0	6,4	35,8
25,2				2	1,70		21,7			-3,8	14,3		
25,3				240	1,71		11,4			6,5	42,5		
25,4				246	1,66		21,7			-3,8	14,3		
25,5				226	1,61		19,7			-1,8	3,2		
26,1	ПЭТ+Мінвата+Гравій: співвідношення 10:1,0:1; $d < 0,5$ мм	300	I	142	1,23	1,20	17,4	19,2	1,9	1,8	3,2	6,8	35,2
26,2				156	1,20		24,7			-5,5	30,3		
26,3				148	1,23		20,7			-1,5	2,3		
26,4				140	1,21		12,0			7,2	51,8		
26,5				156	1,13		21,2			-2,0	4,0		
27,1	ПЭТ+Мінвата+Гравій: співвідношення 10:1,0:10; $d < 0,5$ мм	300	I	202	1,49	1,50	15,6	20,2	2,0	4,6	21,3	5,7	28,3
27,2				208	1,48		26,4			-6,2	38,2		
27,3				206	1,53		21,4			-1,2	1,4		
27,4				200	1,51		19,4			0,8	0,7		
27,5				200	1,51		18,3			1,9	3,7		
28,1	ПЭТ+Мінвата+Гравій: співвідношення 10:1,0:20; $d < 0,5$ мм	300	I	208	1,66	1,65	24,3	20,3	2,0	-4,0	16,3	4,3	21,2
28,2				210	1,65		17,8			2,5	6,1		
28,3				217	1,70		20,6			-0,3	0,1		
28,4				224	1,66		21,8			-1,5	2,4		
28,5				198	1,58		16,8			3,5	12,0		

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
29,1	ПЭТ + Гравій: співвідношення 1:1; $d < 0,5$ мм	400	1				13,0	10,3	1,0	-2,7	7,4	2,7	26,2
29,2							11,3			-1,0	1,0		
29,3							8,5			1,8	3,2		
29,4							8,6			1,7	2,8		
29,5							10,0			0,3	0,1		
30,1	ПЭТ + Гравій: співвідношення 1:1; $d < 0,5$ мм	350	1				18,0	19,7	2,0	1,7	3,0	3,4	17,4
30,2							18,6			1,1	1,3		
30,3							22,7			-3,0	8,8		
30,4							17,4			2,3	5,5		
30,5							22,0			-2,3	5,1		

**Додаток В**

ЗАТВЕРДЖУЮ:  
Проректор з наукової роботи  
НТУ «Дніпровська політехніка»,  
проф. О.С. Бешта

" \_\_\_\_\_ " 2018 р.

**ПРОТОКОЛ**

лабораторних досліджень термопластичного тампонажного композиційного матеріалу на основі поліетилентерефталату

Комісія у складі:

Голова

О.М. Давиденко, докт. техн. наук, проф.  
завідувач кафедри техніки  
розвідки РКК

і членів комісії:

Ю.Л. Кузін, канд. техн. наук,  
доц. кафедри техніки розвідки РКК,

О.Ф. Камишацький, канд. техн. наук,  
доц. кафедри техніки розвідки РКК,

Д.А. Судакова, аспірант кафедри техніки  
розвідки РКК.



Комісія вивчила матеріали лабораторних досліджень виконаних за темою "Технологія ізоляції поглинаючих горизонтів свердловин термопластичними матеріалами на основі поліетилентерефталату", етап II "Розробка технології виготовлення тампонажного термопластичного композиційного матеріалу" в період з 1.01.17р. по 31.05.17р.

В результаті комісія встановила наступне:

1. Лабораторні дослідження проведені відповідно з розробленою програмою і методикою досліджень фізико-механічних властивостей тампонажного термопластичного композиційного матеріалу.

2. В процесі лабораторних досліджень визначено: межа міцності на одновісне стискання, коефіцієнт абразивності, зносостійкість; проникність і щільність тампонажного каменю; температура плавлення та розтікання розплаву поліетилентерефталату без домішок і поліетилентерефталату з добавками наповнювачів.

3. В ході лабораторних досліджень фізико-механічних властивостей тампонажного термопластичного композиційного матеріалу:

- обґрунтовано необхідність введення до складу тампонажного термопластичного композиційного матеріалу наповнювача;

- визначено вид і оптимальна концентрація наповнювача. В якості наповнювача рекомендується застосовувати гравій крупністю менше 0,5 мм в співвідношенні 1:1 до ПЕТ;

- показано, що тампонажний термопластичний композиційний матеріал з крупністю наповнювача менше 0,5 мм, в співвідношенні 1:1:

- має найбільші міцнісні характеристики, і в віці 0,25 годин становить 52,6 МПа, що в 5,3 разів вище міцності прототипу - тампонажного каменю на цементній основі в віці 7 діб;

- в діапазоні температур 250-300<sup>0</sup>С має розтікання, яке можна порівняти з розтіканням нормального тампонажного цементного розчину;


- проникність тампонажного каменю з ТПКМ за 24 години при перепаді тиску 20 МПа відсутня;

- є «вельми абразивним» матеріалом, незважаючи на найвищу ступінь зносостійкості.

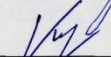
4. На підставі проведених досліджень розроблено технологію виготовлення тампонажного термопластичного композиційного матеріалу на основі поліетилентерефталату, яка складається з підготовчого етапу, етапів виготовлення та формування композиту.

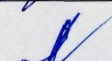
Виходячи з вище викладеного, комісія вважає, що "Програма лабораторних досліджень термопластичного тампонажного композиційного матеріалу на основі поліетилентерефталату" виконана повністю.

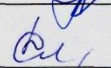
Голова

 О.М. Давиденко

і члени комісії:

 Ю.Л. Кузін

 О.Ф. Камишацький

 Д.А. Судакова



## Додаток Г



ЗАТВЕРДЖУЮ:

Проректор з наукової роботи  
НТУ «Дніпровська політехніка»,  
проф., О.С. Бешта

" " 2018 р.

**ПРОТОКОЛ**  
СТЕНДОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ТЕХНОЛОГІЇ  
ІЗОЛЯЦІЇ ПОГЛИНАЮЧИХ ГОРИЗОНТІВ  
ТАМПОНАЖНИМИ ТЕРМОПЛАСТИЧНИМИ КОМПОЗИЦІЙНИМИ  
МАТЕРІАЛАМИ

Комісія у складі:

Голова

О.М. Давиденко, докт. техн. наук, проф.  
завідувач кафедри техніки  
розвідки РКК

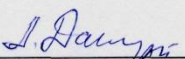
і членів комісії:

Ю.Л. Кузін, канд. техн. наук,  
доц. кафедри техніки розвідки РКК,О.Ф. Камишацький, канд. техн. наук,  
доц. кафедри техніки розвідки РКК,Д.А. Судакова, аспірант кафедри техніки  
розвідки РКК.

Комісія встановила, що:

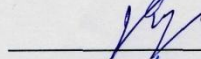
1. Стендові дослідження процесу ізоляції поглинаючого горизонту проведені, відповідно до «Програми і методики стендових досліджень процесу ізоляції поглинаючого горизонту», в період з 1 червня по 30 липня 2017 року.
  2. Запропоновано конструкцію термомеханічного інструменту, що реалізує технологію термомеханічного плавлення тампонажного термопластичного композиційного матеріалу.
  3. Розроблено та виготовлено: з урахуванням критеріїв подібності експериментальний стенд, який дозволяє моделювати процеси, що протікають в поглинаючому горизонті з різним розкриттям плоских радіальних тріщин; макет лабораторного термомеханічного інструменту, який дозволяє при термомеханічному плавленні на забої свердловини створити потужність від 1,7 до 5,8 кВт. Встановлена залежність зміни температури в тампонажному термопластичному композиційному матеріалі від величини режимних параметрів.
  4. Доведена можливість термомеханічного плавлення монолітного тампонажного термопластичного композиційного матеріалу на забої свердловини.
  5. Встановлено, що: термомеханічна швидкість буріння (плавлення) не залежно від співвідношення в'язучого до наповнювача, а також рецептури тампонажного термопластичного композиційного матеріалу до режимних параметрів має один порядок величин, що збільшується при підвищенні осьового навантаження і частоти обертання; час нагрівання тампонажного термопластичного композиційного матеріалу до температури його плавлення залежить від рецептури; в залежності від розкриття тріщини, розплав тампонажного термопластичного композиційного матеріалу розтікається від стовбура свердловини від 20-30 мм до 80-90 мм, утворюючи малооб'ємну непроникну ізоляційну оболонку навколо стовбура свердловини.
  6. Доведено, що: при термомеханічному плавленні тампонажного термопластичного композиційного матеріалу температура його нагрівання не перевищує критичного значення, при якому відбувається діструкція в'язучого; підвищення температури в зразку тампонажного термопластичного композиційного матеріалу до температури плавлення відбувається в зоні контакту робочого органу інструмента, яка випереджає торцеву поверхню інструменту на 7-8 мм.
- Виходячи з вище викладеного, комісія вважає, що "Програма стендових досліджень процесу ізоляції поглинаючого горизонту" виконана повністю.

Голова

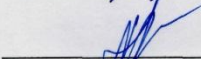


О.М. Давиденко

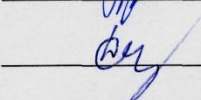
і члени комісії:



Ю.Л. Кузін



О.Ф. Камишацький



Д.А. Судакова



## Додаток Д



ЗАТВЕРДЖУЮ:

Директор

ТОВ Промислово-геологічна  
група «Дніпрогідробуд»

О.Н. Мостинець  
«20» березня 2018 р.

### А К Т

виробничих випробувань технології ліквідації  
поглинання промивної рідини тампонажними термопластичними  
композиційними матеріалами

20.03.2018 р.

сmt. Покровське

Комісія в складі: головного інженера Ткаченка К.С. - голова; інженера-гідрогеолога Лазаренка О.Е.; завідувача кафедри техніки розвідки родовищ корисних копалин НТУ «Дніпровська політехніка» проф. Давиденка О.М.; аспіранта кафедри техніки розвідки родовищ корисних копалин НТУ «Дніпровська політехніка» Судакової Д.А.; бурового майстра Топольника В.Я. склала цей акт про те, що в період з 12 березня по 17 березня 2018 року були проведені виробничі випробування технології ліквідації поглинання промивної рідини тампонажними термопластичними композиційними матеріалами на ділянці с. Гаврилівка Покровського району Дніпропетровської області.

#### Мета виробничих випробувань

Метою виробничих випробувань є визначення працездатності технології ліквідації поглинання промивної рідини тампонажними термопластичними композиційними матеріалами в виробничих умовах і отримання техніко-економічних показників проведення тампонажних робіт за пропонованою технологією.

#### Об'єкт виробничих випробувань

Об'єктом виробничих випробувань є процеси: виготовлення тампонажного термопластичного композиційного матеріалу; ліквідації поглинання промивної рідини тампонажними термопластичними композиційними матеріалами, що виникло при бурінні експлуатаційної гідрогеологічної свердловини.



### Геолого-технічні умови тампонування поглинаючого горизонту

При бурінні експлуатаційної гідрогеологічної свердловини на ділянці с. Гаврилівка Покровського району Дніпропетровської області виявлено поглинаючий горизонт в інтервалі 15-22 м.

Статичний рівень – відсутній.

Порода поглинаючого горизонту – кам'яниста жорстка.

Конструкція свердловини одноступенева. Інтервал 0,0 - 22,0 м пробурений долотом 269 мм, без виходу промивної рідини з свердловини. Вид поглинання - катастрофічний.

Буріння здійснювалося установкою УРБ-2А2.

Промивна рідина - нормальний глинистий розчин.

Тампонажний матеріал – тампонажний термопластичний композиційний матеріал на основі поліетилентерефталату з:

- щільністю – 1620 кг/м<sup>3</sup>;
- діаметром брикету – 260 мм;
- масою брикету – 43 кг;
- довжиною брикету – 0,5 м.

### Результати виробничих випробувань

За даними досліджень, були розраховані параметри ізоляційної оболонки:

- радіус ізоляційної оболонки – 0,28 м;
- розрахунковий перепад тиску - 1 МПа;
- кількість тампонажної суміші для ізоляції поглинаючого горизонту промивної рідини потужністю 7 м склала 602 кг.

Для ліквідації ускладнення в зону поглинання промивної рідини: по стовбуру свердловини доставлено розрахункова кількість брикетів тампонажного термопластичного композиційного матеріалу; на колоні бурильних труб термомеханічний інструмент.

Термомеханічне плавлення тампонажного матеріалу здійснювалося при: частоті обертання 300 хв<sup>-1</sup> і осьовому навантаженні 1000 даН. Середня механічна швидкість склала 0,5 м/год.

Якість тампонування оцінено пробним пуском бурового насоса. Поглинання ліквідовано. Вихід промивної рідини відновлений в повному обсязі.

Витрати на тампонування поглинаючого горизонту з урахуванням години термомеханічного плавлення, витрат паливно-мастильні матеріали і вартості термопластичного матеріалу склала 24,2 тис. грн.



### Висновки і пропозиції

Комісією встановлено, що:

1. Виробничі випробування технології ліквідації поглинання промивної рідини тампонажними термопластичними композиційними матеріалами встановили працездатність і ефективність досліджуваної технології і довели, що:

- розроблена технологія виготовлення тампонажного термопластичного композиційного матеріалу дозволяє її застосовувати в умовах бурової;

- технологія ліквідації поглинання промивної рідини тампонажними термопластичними композиційними матеріалами з застосуванням стандартного устаткування і інструменту не ускладнює процес ізоляції поглинаючого горизонту від стовбура свердловини, а спрощує його.

2. Технологія виготовлення тампонажного термопластичного композиційного матеріалу дозволяє зменшити витрати тампонажних матеріалів на цементній основі в десятки разів.

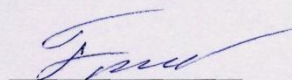
3. Випробувана технологія ліквідації поглинання промивної рідини тампонажними термопластичними композиційними матеріалами дозволяє скоротити непродуктивні витрати часу.

4. Випробувана технологія дозволяє якісно, з найменшими витратами часу і коштів ізолювати поглинаючий горизонт від свердловинної рідини.

5. Розроблені технології виготовлення тампонажного термопластичного композиційного матеріалу та ліквідації поглинання промивної рідини тампонажними термопластичними композиційними матеріалами можуть застосовуватися у виробництві при ліквідації ускладнень, викликаних поглинанням промивальної рідини в бурових свердловинах.

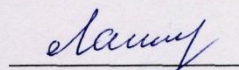
6. Економічний ефект від впровадження розробленої технології тампонування поглинаючих горизонтів із застосуванням ТПКМ склав 16,5 тис. грн.

Голова комісії

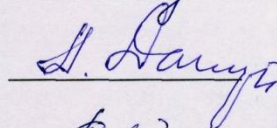


Ткаченко К.С.

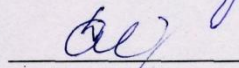
Члени комісії:



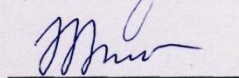
Лазаренко О.Е.



Давиденко О.М.



Судакова Д.А.



Топольник В.Я.



## Додаток Е

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Директор

ТОВ Промислово-геологічна

Група «Дніпрогідробуд»

О.Н. Мостинець

«26» березня 2018 р.



### А К Т

виробничих випробувань технології ліквідації  
поглинання промивної рідини тампонажними термопластичними  
композиційними матеріалами

26.03.2018 г.

с/т. Покровське

Комісія в складі: головного інженера Ткаченка К.С. - голова; інженера-гідрогеолога Лазаренка О.Е.; завідувача кафедри техніки розвідки родовищ корисних копалин НТУ «Дніпровська політехніка» проф. Давиденка О.М.; аспіранта кафедри техніки розвідки родовищ корисних копалин НТУ «Дніпровська політехніка» Судакової Д.А.; бурового майстра Топольника В.Я. склала цей акт про те, що в період з 19 березня по 22 березня 2018 року були проведені виробничі випробування технології ліквідації поглинання промивної рідини тампонажними термопластичними композиційними матеріалами на ділянці с. Романки Покровського району Дніпропетровської області.

#### Мета виробничих випробувань

Метою виробничих випробувань є визначення працездатності технології ліквідації поглинання промивної рідини тампонажними термопластичними композиційними матеріалами в виробничих умовах і отримання техніко-економічних показників проведення тампонажних робіт за пропонованою технологією.

#### Об'єкт виробничих випробувань

Об'єктом виробничих випробувань є процеси: виготовлення тампонажного термопластичного композиційного матеріалу; ліквідації поглинання промивної рідини тампонажними термопластичними композиційними матеріалами, що виникло при бурінні експлуатаційної гідрогеологічної свердловини.

### Геолого-технічні умови тампонування поглинаючого горизонту

При бурінні експлуатаційної гідрогеологічної свердловини на ділянці с. Романки Покровського району Дніпропетровської області виявлено поглинаючий горизонт в інтервалі 20-23 м.

Статичний рівень – 6 м.

Порода поглинаючого горизонту – жорства.

Конструкція свердловини одноступенева. Інтервал 0,0 – 23,0 м пробурений долотом 269 мм, без виходу промивної рідини з свердловини. Вид поглинання - катастрофічний.

Буріння здійснювалося установкою УРБ-2А2.

Промивна рідина – нормальний глинистий розчин.

Тампонажний матеріал – тампонажний термопластичний композиційний матеріал на основі поліетилентерефталату з:

- щільністю – 1620 кг/м<sup>3</sup>;
- діаметром брикету – 260 мм;
- масою брикету – 43 кг;
- довжиною брикету – 0,5 м.

### Результати виробничих випробувань

За даними досліджень були розраховані параметри ізоляційної оболонки:

- радіус ізоляційної завіси – 0,28 м;
- розрахунковий тиск – 1 МПа;
- кількість тампонажної суміші для ізоляції поглинаючого горизонту промивної рідини потужністю 3 м склала 258 кг.

Для ліквідації ускладнення в зону поглинання промивної рідини: по стовбуру свердловини доставлено розрахункова кількість брикетів тампонажного термопластичного композиційного матеріалу; на колоні бурильних труб термомеханічний інструмент.

Термомеханічне плавлення тампонажного матеріалу здійснювалося при частоті обертання 300 хв<sup>-1</sup> і осьовому навантаженні 1000 даН. Середня механічна швидкість склала 0,5 м/год.

Якість тампонування оцінено пробним пуском бурового насоса. Поглинання ліквідовано. Вихід промивної рідини відновлений в повному обсязі.

Витрати на тампонування поглинаючого горизонту з урахуванням часу термомеханічного плавлення, витрат ПММ і вартості термопластичного матеріалу склала 12,1 тис. грн.



### Висновки та пропозиції

Комісією встановлено, що:

1. Виробничі випробування технології ліквідації поглинання промивної рідини тампонажними термопластичними композиційними матеріалами встановили працездатність і ефективність досліджуваної технології і довели, що:

- розроблена технологія виготовлення тампонажного термопластичного композиційного матеріалу дозволяє її застосовувати в умовах бурової;

- технологія ліквідації поглинання промивної рідини тампонажними термопластичними композиційними матеріалами з застосуванням стандартного устаткування і інструменту не ускладнює процес ізоляції поглинаючого горизонту від стовбура свердловини, а спрощує його.

2. Технологія виготовлення тампонажного термопластичного композиційного матеріалу дозволяє зменшити витрати тампонажних матеріалів на цементній основі в десятки разів.

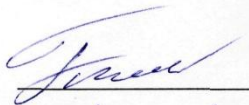
3. Випробувана технологія ліквідації поглинання промивної рідини тампонажними термопластичними композиційними матеріалами дозволяє скоротити непродуктивні витрати часу.

4. Випробувана технологія дозволяє якісно, з найменшими витратами часу і коштів ізолювати поглинаючий горизонт від свердловинної рідини.

5. Розроблені технології виготовлення тампонажного термопластичного композиційного матеріалу та ліквідації поглинання промивної рідини тампонажними термопластичними композиційними матеріалами можуть застосовуватися у виробництві при ліквідації ускладнень, викликаних поглинанням промивальної рідини в бурових свердловинах.

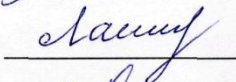
6. Економічний ефект від впровадження розробленої технології тампонування поглинаючих горизонтів із застосуванням ТПКМ склав 26,4 тис. грн.

Голова комісії

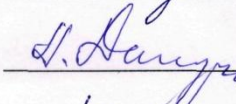


Ткаченко К.С.

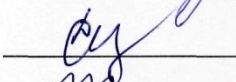
Члени комісії:



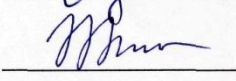
Лазаренко О.Е.



Давиденко О.М.



Судакова Д.А.



Топольник В.Я.



## Додаток Ж

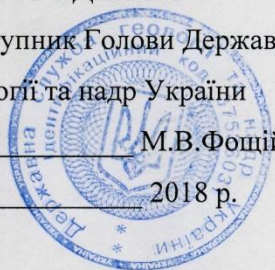
Міністерство освіти і науки України  
НТУ «ДНІПРОВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»

### ПОГОДЖЕНО

Перший заступник Голови Державної  
служби геології та надр України

М.В.Фощій

" " 2018 р.



### ЗАТВЕРДЖЕНО

Проректор з наукової роботи  
НТУ «Дніпровська політехніка»

О.С.Бешта

2018 р.



## ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РЕГЛАМЕНТ ІЗОЛЯЦІЇ ПОГЛИНАЮЧИХ ГОРИЗОНТІВ ТЕРМОПЛАСТИЧНИМИ КОМПОЗИЦІЙНИМИ МАТЕРІАЛАМИ

Науковий керівник

Ю.Л.Кузін

Відповідальний виконавець

Д.А.Судакова

Дніпро

2018

## ЗМІСТ

	<b>стр</b>
ВСТУП	<b>3</b>
1 Області застосування технології ізоляції поглинаючих горизонтів.....	<b>4</b>
2 Технологічна схема ізоляції поглинаючих горизонтів тампонажними термопластичними композиційними матеріалами.....	<b>4</b>
3 Тампонажний термопластичний композиційний матеріал.....	<b>7</b>
3.1 В'язка речовина тампонажного термопластичного композиційного матеріалу.....	<b>7</b>
3.2 Вимоги до наповнювача тампонажного термопластичного матеріалу.....	<b>9</b>
3.3 Фізико-механічні властивості тампонажного термопластичного композиційного матеріалу.....	<b>10</b>
4 Технологія виготовлення композиційного тампонажного термопластичного матеріалу на основі поліетилентерефталату.....	<b>10</b>
5 Проектування ізоляції поглинаючого горизонту.....	<b>11</b>
5.1 Обґрунтування геометричних розмірів ізоляційної оболонки.....	<b>11</b>
5.2 Обґрунтування необхідного обсягу тампонажного термопластичного композиційного матеріалу.....	<b>13</b>
5.3 Розрахунок часу транспортування тампонажного термопластичного композиційного матеріалу по стовбуру свердловини.....	<b>15</b>
5.4 Параметри термомеханічної технології ліквідації поглинання промивної рідини.....	<b>16</b>
6 Організація тампонажних робіт.....	<b>19</b>
7 Правила техніки безпеки, охорона праці, і заходи з охорони навколишнього середовища.....	<b>20</b>
8 Очікувані техніко-економічні показники тампонування.....	<b>20</b>

## ВСТУП

Технологічний регламент ізоляції поглинаючих горизонтів термопластичними композиційними матеріалами (далі «Технологічний регламент») діє в виробничих організаціях Державної служби геології та надр України.

Техніко-економічні показники буріння свердловин, значною мірою, визначаються витратами часу і коштів на усунення ускладнень. Одним з найбільш поширених ускладнень є поглинання промивної рідини. Більшість поглинань усувається методом нагнітання в канали уходу промивної рідини різного роду тампонажних складів. Як правило, ці склади відносяться до розчинів на водній основі. Ефективність їх застосування залишається ще низькою. В першу чергу, це пояснюється тим, що ці тампонажні розчини мають велику чутливість до розведення водою.

В даний час в НТУ «Дніпровська політехніка» розроблена технологія ізоляції поглинаючих горизонтів із застосуванням в якості тампонажного термопластичного композиційного матеріалу (ТПКМ) поліетилентерефталату (ПЕТ) і композитів на його основі. Для реалізації розробленої технології, необхідно виконати наступні технологічні операції: транспортування ТПКМ до поглинаючого горизонту бурової свердловини, плавлення ТПКМ в буровій свердловині і задавлювання ТПКМ в канали поглинання.

Справжній технологічний регламент розроблен на основі лабораторних, стендових, свердловинних досліджень проведених на базі НТУ «Дніпровська політехніка» та ТОВ Промислово-геологічної групи «Дніпрогідробуд» і може бути рекомендований для тимчасового використання в якості нормативного документа при виборі режиму та умов тампонування поглинаючих горизонтів.

## **1 Області застосування технології ізоляції поглинаючих горизонтів**

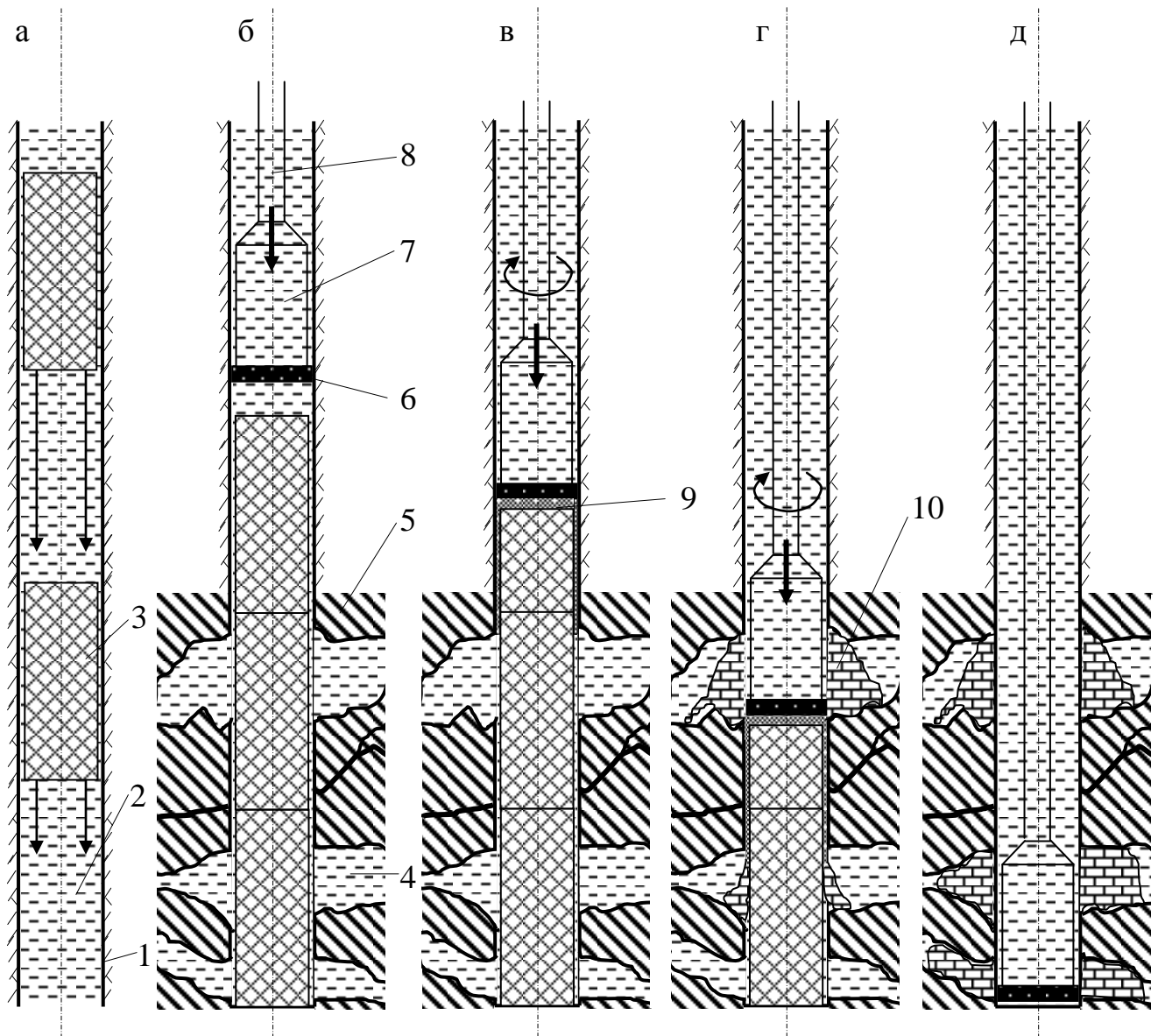
Область застосування розроблювальної технології є ліквідація поглинань в бурових свердловинах різного цільового призначення, стінки яких представлено стійкими кристалічними гірськими породами в яких спостерігається повне, інтенсивне або катастрофічне поглинання промивальної рідини.

У загальному випадку максимальна глибина запропонованих технологій залежить від величини геотермічного градієнта в свердловині і дорівнює глибині при якій температура гірських порід поглинаючого горизонту стане рівною температурі плавлення термопластичного матеріалу. Якщо в якості в'язучої речовини ТПКМ використовувати ПЕТ, то, згідно з даними огляду представлених в 1 розділі, результатів досліджень наведених в розділах 2 і 3, максимальна глибина застосування пропонованої технології складе більше 8000 м.

## **2 Технологічна схема ізоляції поглинаючих горизонтів тампонажними термопластичними композиційними матеріалами**

Відмінною особливістю розроблюваної технології є те, що ТПКМ, основою якого є побутові відходи, доставляється в зону ускладнення в твердому вигляді і плавиться під дією позитивних температур тертя, які створюються термомеханічним породоруйнівним інструментом з одночасним витисненням розплаву композиту в поглинаючий горизонт, охолодженням і формуванням непроникної, малооб'ємної ізоляційної оболонки, з подальшим продовженням процесу буріння тим же інструментом. На підставі вище викладеного для реалізації технології ізоляції поглинаючих горизонтів тампонажним ТПКМ (рис. 1) необхідно:

- 1) визначити характеристики поглинаючого горизонту;
- 2) доставити на бурову відповідного діаметру і довжини ТПКМ;



а - транспортування термопластичного матеріалу по стовбуру свердловини; б - транспортування інструменту по стовбуру свердловини; в - початок ліквідації ускладнення; г - плавлення термопластичного матеріалу з витисненням розплаву в канали поглинання промивальної рідини; д - закінчення операції - досягнення вибою.

1 - стінки свердловини; 2 - свердловинна рідина; 3 - ТПКМ; 4 - канали поглинання промивальної рідини; 5 - тріщинуватий горизонт; 6 - термомеханічний інструмент; 7 - колонкова труба; 8 - колона бурильних труб; 9 - розплав ТПКМ; 10 - тампонажний камінь.

Рисунок 1 - Термомеханічний спосіб тампонування свердловин

- 3) транспортувати ТПКМ до поглинаючого горизонту (рис. 1.а);
- 4) доставити в зону ускладнення термомеханічний інструмент (рис. 1.б);
- 5) здійснити плавлення ТПКМ з одночасним витисненням розплаву в канали поглинання промивальної рідини (рис. 1.в, г).

При ізоляції поглинання:

- технологічні операції, що здійснюються в свердловинних умовах, виконуються без доливання промивальної рідини;
- попередження порушення цілісності стовбура свердловини в зоні ускладнення забезпечується перебуванням в інтервалі ТПКМ;
- ТПКМ циліндричної форми має зовнішній діаметр близький діаметру буріння поглинаючого горизонту і дорівнює

$$D_{ТПКМ} = d_{n.u.} - (1 \div 15 \text{ мм}), \quad (1)$$

де  $d_{n.u.}$  - діаметр породоруйнівного інструменту;

- термомеханічне плавлення ТПКМ виконується до тих пір, поки не буде розплавлений весь композит під торцем термомеханічного інструменту;
- термомеханічне плавлення ТПКМ забезпечується тертям з одночасним зношуванням термомеханічної насадки об абразивний композит;
- подальше буріння здійснюється після повного абразивного зносу термомеханічної насадки без заміни породоруйнівного інструменту.

Контроль результатів ізоляції поглинаючого горизонту проводиться із застосуванням гідродинамічних методів. У разі позитивного результату (визначається спостереженням за рівнем промивальної рідини) триває буріння свердловини. При негативному результаті операції по тампонуванню поглинаючого горизонту повторюють.

### **3 Тампонажний термопластичний композиційний матеріал**

#### **3.1 В'язуча речовина тампонажного термопластичного композиційного матеріалу**

Термопластичні матеріали характеризуються тим, що можуть плавитися при нагріванні і знову тверднути при охолодженні. В якості тампонажних термопластичних матеріалів повинні застосовуватися такі, які: не токсичні, не дефіцитні, не дорогі, мають низьку температуру плавлення; в твердому стані не релаксують, стійкі проти розмивної, розчинюючої і корозійної дії пластових вод і промивної рідини, мають хорошу адгезію до гірських порід. Розплав термопластичного матеріалу не повинен змішуватися або вступати в хімічну взаємодію з промивної рідиною, а щільність його повинна бути більше щільності промивної рідини, в початковому вигляді цей матеріал повинен мати тривалий термін зберігання і легко гранулюватися. У найбільшій мірі цим вимогам відповідає ТПКМ на основі поліетилентерефталату. Його вартість на світовому ринку порівнянна з вартістю сірки, бітуму та цементу.

На сьогоднішній день, ПЕТ є одним з найбільш поширених побутових відходів. За статистичними даними його обсяг становить до 20...25 % із загальної маси відходів. Повний розкладання ПЕТ близько 300 років.

Поліетилентерефталат має високу механічну міцність (табл. 1) і ударостійкість, стійкість до стирання і багаторазовим деформаціям при розтягуванні і вигині і зберігає свою високу ударостійкість та характеристики міцності в робочому діапазоні температур від  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $+60\text{ }^{\circ}\text{C}$ . ПЕТ відрізняється низьким коефіцієнтом тертя і низькою гігроскопічністю. Загальний діапазон робочих температур виробів з поліетилентерефталату від  $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $+170\text{ }^{\circ}\text{C}$ . ПЕТ - хороший діелектрик, електричні властивості поліетилентерефталату при температурах до  $180\text{ }^{\circ}\text{C}$ , навіть в присутності вологи, змінюються не суттєво. В умовах агресивних середовищ ПЕТ має

Таблиця 1 – Фізичні властивості поліетилентерефталату

Властивість	Одиниця виміру	Значення
Щільність:		
аморфного поліетилентерефталату	г/см <sup>3</sup>	1,33
кристалічного поліетилентерефталату	г/см <sup>3</sup>	1,45
аморфно-кристалічного поліетилентерефталату	г/см <sup>3</sup>	1,38-1,40
Руйнівна напруга при:		
розтягненні	МПа	172
вигині	МПа	50-70
стисненні	МПа	80-120
Модуль пружності при розтягуванні	МПа	1,41·10 <sup>4</sup>
Відносне подовження при розриві	%	12-55
Ударна в'язкість	кДж/м <sup>2</sup>	30
Твердість по Брінеллю	МПа	100-120
Водопоглинання за 24 години	%	0,3
Температура плавлення	°С	255-265
Температура розм'якшення	°С	245-248
Температура склування	°С	70-80
Температура розкладання	°С	350
Коефіцієнт теплового розширення		6,55·10 <sup>-4</sup>
Теплопровідність	Вт/(м·К)	0,14
Морозостійкість	°С	-50
Теплостійкість по Мартенсу	°С	135-145
Діелектрична проникність при 10 <sup>6</sup> Гц		3.1
Електрична міцність	МВ/м	140-180



високу хімічну стійкість до кислот, лугів, солей, спиртів, парафіну, мінеральних масел, бензину, жирів, ефіру. ПЕТ має підвищену стійкість до дії водяної пари.

Термодеструкція ПЕТ відбувається в температурному діапазоні 290-310 °С. Деструкція відбувається статистично уздовж полімерного ланцюга. Основними летючими продуктами є терефталева кислота, оцтовий альдегід і монооксид вуглецю.

### **3.2 Вимоги до наповнювача тампонажного термопластичного матеріалу**

Вимоги до наповнювачів тампонажних розчинів:

- повинні мати розміри і форму, що забезпечують надійне закупорювання поглинаючих каналів з різними величинами розкриття і напрямком простягання;

- не повинні змінювати своїх властивостей в транспортуючій рідині, утворювати кислі побічні продукти і токсичні речовини в поглинаючих каналах;

- не повинні руйнуватися під дією високих температур в поглинаючих каналах;

- для використання в розчинах різної щільності повинні мати щільність в межах 0,4-3,2 г/см<sup>3</sup>;

- повинні мати мінімальну абразивність;

- після заповнення каналів поглинання промивальною рідиною повинні протистояти знакозмінному тиску, не руйнуючись під впливом максимальних динамічних навантажень при поглибленні свердловини і забезпечувати цементування колон без поглинань;

- не повинні змінювати своїх властивостей під впливом атмосферних умов.

### 3.3 Фізико-механічні властивості тампонажного термопластичного композиційного матеріалу

Для ліквідації поглинання промивальної рідини рекомендується застосування ТПКМ на основі поліетилентерефталату з гранульованим наповнювачем, крупність менше 0,5 мм. Узагальнені фізико-механічні властивості пропонованого ТПКМ наведено в табл. 2.

Таблиця 2 - Фізико-механічні властивості ТПКМ

Склад	Щільність, кг/м <sup>3</sup>	Межа міцності на одновісне стиснення, МПа	Температура плавлення, °С	Розтікання мс	Коефіцієнт стирання	Коефіцієнт абразивності	Проникність зразка, см <sup>3</sup>
ПЕТ + Гравій. Концентрація 1:1. $d < 0,5\text{мм}$	1620	52,6	246	16-18	19,8	2,0	відсутнє

### 4 Технологія виготовлення композиційного тампонажного термопластичного матеріалу на основі поліетилентерефталату

Технологія виготовлення ТПКМ на основі ПЕТу складається з етапів:

1. Підготовки компонентів ТПКМ на основі поліетилентерефталату. Для цього готують ПЕТ необхідної маси і наповнювач;
2. Виготовлення ТПКМ. ПЕТ необхідної маси і наповнювач нагрівають і при досягненні температури фазового переходу з'єднують;
3. Формування ТПКМ на основі поліетилентерефталату. Для цього розплав ТПКМ заливають у форми необхідних розмірів і конфігурації.

## 5 Проектування ізоляції поглинаючого горизонту

У комплексі робіт з проектування ізоляції поглинаючого горизонту термопластичним матеріалом із застосуванням термомеханічного інструмента можна виділити наступні етапи:

- збір і обробка геологічної інформації про характер тріщинуватості, пластовий тиск, місце розташування, інтенсивності поглинання поглинаючих пластів;
- розрахунок необхідних розмірів ізоляційної оболонки і об'єму розплаву термопластичного матеріалу;
- вибір типу термопластичного матеріалу і можливих добавок до нього;
- розрахунок режиму транспортування ТПКМ по стовбуру свердловини;
- розрахунок режиму термомеханічного буріння (плавлення).

### 5.1 Обґрунтування геометричних розмірів ізоляційної оболонки

Після завершення робіт по ізоляції поглинаючого горизонту навколо свердловини в зоні ускладнення (рис. 2) повинна утворитися непроникна оболонка (завіса), яка знаходиться під впливом пласта і свердловини. З боку свердловини на оболонку діє тиск стовпа промивної рідини, який в загальному випадку має пульсуючий характер (спуско-підйомні операції, запуск і зупинка насоса і ін.). З боку пласта на цю оболонку діє пластовий тиск, який більш стабільний. Таким чином, ізоляційну оболонку можна розглядати як циліндричний посуд, що знаходиться під тиском і напругою на внутрішній його поверхні можна визначити за формулою Ляме.

$$\sigma = \frac{2R^2(P_1 - P_2)}{R^2 - R_1^2} \leq [\sigma] \quad , \quad (2)$$

де  $\sigma$  і  $[\sigma]$  - відповідно, розрахункове і допустиме напруження, МПа;  $P_1$  і

$P_2$  - відповідно гідростатичний тиск стовпа промивальної рідини в свердловині і пластовий тиск, МПа;  $R_1$  і  $R$  - радіус свердловини і зовнішній радіус ізоляційної оболонки, м.

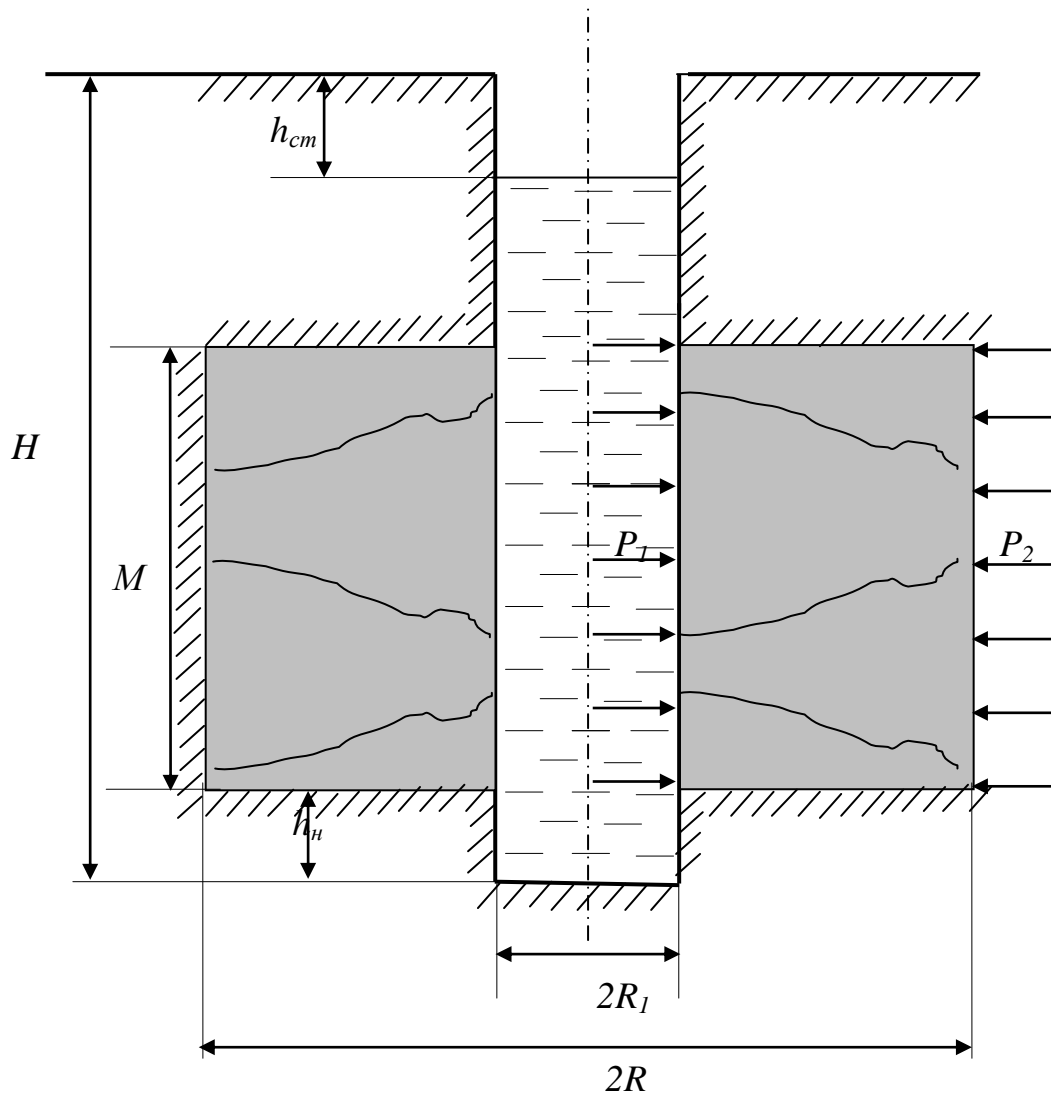


Рисунок 2 - Схема до розрахунку геометричних розмірів ізоляційної оболонки

При цьому, можливі два випадки:

a)  $P_1 > P_2$

$$R = R_1 \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{2(P_1 - P_2)}{[\sigma]_p}}}, \quad (3)$$

$$\text{б) } P_2 > P_1 \quad R = R_1 \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{2(P_2 - P_1)}{[\sigma]_{\text{н\alpha}}}}}, \quad (4)$$

де  $[\sigma]_p$  - допустима напруга тампонажного каменю на розтягнення, МПа;  
 $[\sigma]_{\text{сж}}$  - допустима напруга на стискання, МПа.

Середнє розкриття тріщин  $\delta$  поглинаючого горизонту визначається

$$\delta = 4,83 \sqrt{\frac{K}{m^{2,1}}}, \quad (5)$$

де  $K$  - коефіцієнт поглинання;  $m$  - шпаруватість поглинаючого горизонту, %.

Коефіцієнт поглинаючої здатності горизонту

$$K = \frac{Q}{\sqrt{h_{\text{ст}} - h_{\text{дин}}}} \quad (6)$$

де  $Q$  - витрата рідини при дослідженнях або в процесі буріння свердловини, м<sup>3</sup>/год;  $h_{\text{ст}}$  и  $h_{\text{дин}}$  - відповідно статичний і динамічний рівні рідини в свердловині, м.

## 5.2 Обґрунтування необхідного обсягу тампонажного термопластичного композиційного матеріалу

Мінімально необхідний об'єм ТПКМ  $V_{n.z.}$ , визначиться виходячи з умови

$$V_{n.z.} = \pi(R^2 - R_l^2)MmK_k. \quad (7)$$

де  $M$  - потужність поглинаючого горизонту, м;  $K_k$  - коефіцієнт, що враховує наявність каверн в свердловині ( $K_k=1,2-1,3$ ).

Результати розрахунку для товщини ізоляційної оболонки 50 мм, різних діаметрів розвідувальних свердловин, з урахуванням можливої шпаристості на 1 метр поглинаючого горизонту наведено в табл. 3.

Таблиця 3 – Розрахункове значення об'єму ( $V_{nz}$ , м<sup>3</sup>) ТПКМ припадає на 1 метр поглинаючого горизонту

$m, \%$	Діаметр свердловини, мм					
	<b>59</b>	<b>76</b>	<b>93</b>	<b>112</b>	<b>132</b>	<b>151</b>
<b>1</b>	0,00032	0,00038	0,00044	0,00052	0,00059	0,00066
<b>5</b>	0,0016	0,00190	0,00222	0,00258	0,00296	0,00332
<b>10</b>	0,0032	0,00381	0,00445	0,00516	0,00592	0,00663
<b>20</b>	0,0064	0,00761	0,00889	0,01032	0,01183	0,01326
<b>30</b>	0,0095	0,01142	0,01334	0,01549	0,01775	0,01990
<b>40</b>	0,0130	0,01522	0,01778	0,02065	0,02366	0,02653
<b>50</b>	0,0160	0,01903	0,02223	0,02581	0,02958	0,03316

Маса погонного метра ТПКМ

(8)

де  $R_2$  – радіус ТПКМ, вибирається виходячи з рекомендацій (табл. 4);  $h_l$  - висота контейнерів в свердловині.

Таблиця 4 – Розрахункова маса погонного метра транспортуемого по стовбуру свердловини ТПКМ

Діаметр свердловини, мм	Діаметр ТПКМ, мм	Щільність ТПКМ, кг/м <sup>3</sup>	Маса ТПКМ, кг
59	50	1620	3,2
76	65		5,4
93	80		8,2
112	100		12,7
132	120		18,4
151	140		25,0

Розрахункове значення маси і відповідна їй кількість циліндричних брикетів ТПКМ, що припадають на 1 метр поглинаючого горизонту наведено в табл. 5.

Таблиця 5 – Розрахункове значення маси/кількості брикетів ТПКМ припадаючих на 1 метр поглинаючого горизонту

<i>m, %</i>	Діаметр свердловини, мм					
	<b>59</b>	<b>76</b>	<b>93</b>	<b>112</b>	<b>132</b>	<b>151</b>
<b>1</b>	0,51/1	0,62/1	0,72/1	0,84/1	0,96/1	1,07/1
<b>5</b>	2,57/1	3,08/1	3,60/1	4,18/1	4,79/1	5,37/1
<b>10</b>	5,13/2	6,17/2	7,20/1	8,36/1	9,58/1	10,74/1
<b>20</b>	10,30/4	12,33/3	14,41/2	16,73/2	19,17/2	21,49/1
<b>30</b>	15,40/5	18,50/4	21,61/3	25,09/3	28,75/2	32,23/2
<b>40</b>	20,53/7	24,66/5	28,81/4	33,45/3	38,33/3	42,97/2
<b>50</b>	25,70/8	30,83/6	36,01/5	41,81/5	47,92/3	53,72/3

### 5.3 Розрахунок часу транспортування тампонажного термопластичного композиційного матеріалу по стовбуру свердловини

Доставка ТПКМ здійснюється у вигляді монолітних циліндрів по стовбуру свердловини, під дією сил гравітації рис. 1.а. Так як ТПКМ має циліндричну форму, то скористаємося задачею про вільне падіння циліндричного тіла в ньютонівській рідині

$$V_{\text{ТПКМ}} = gR_1^2 \frac{(\rho_2 - \rho_1)}{2\eta} \left[ \ln \frac{R_2}{R_1} - \frac{R_2^2 - R_1^2}{R_2^2 + R_1^2} \right], \quad (9)$$

де  $g$  - прискорення вільного падіння, м/с<sup>2</sup>;  $R_1$  і  $R_2$  - радіуси відповідно свердловини і брикету ТПКМ, м;  $\eta$  - динамічна в'язкість свердловинної рідини, мПа с;  $\rho_1$ ,  $\rho_2$  - щільність свердловинної рідини і ТПКМ, кг/м<sup>3</sup>.

Зі збільшенням глибини свердловини відбувається збільшення температури свердловинної рідини, що знаходиться в спокої. При цьому відбувається збільшення швидкості транспортування брикетів ТПКМ по стовбуру свердловини (рис. 3). Так у верхніх інтервалах свердловин (до 1000 - 2000 м), не залежно від їх діаметра, швидкість транспортування не перевищує 1 м/с. На глибинах понад 6000 м швидкість варіюється в широкому діапазоні від 0,8 до 2,5 м/с. Враховуючи, що умови транспортування залишалися незмінними для всіх діаметрів, приріст швидкості можна пояснити збільшенням маси брикету ТПКМ (табл. 4).

Крім того, в реальних умовах, конструкції свердловин багатоступінева. У цьому випадку розрахунок швидкості, а отже і часу транспортування повинен вестися для умов ускладнених горизонтів. Розрахунки часу транспортування ТПКМ наведено на рис. 4.

Таким чином, час транспортування (рис. 4) брикетів ТПКМ по стовбуру свердловини на глибину 1000 м складе приблизно 0,5-0,7 години, відповідно, на глибину 8000 м приблизно 2 години, при умові, що їх діаметр складе 100 мм і більше.

#### **5.4 Параметри термомеханічної технології ліквідації поглинання промивної рідини**

Параметрами термомеханічної технології ліквідації поглинання промивальної рідини є:

- режимні параметри - частота обертання інструменту більше  $700 \text{ хв}^{-1}$  і осьове навантаження більше 700 даН;
- речовий склад і концентрація компонентів, обґрунтовано в результаті проведення фізико-механічних властивостей ТПКМ і викладено в п.3;
- термомеханічний інструмент в нижній частині має робочий орган, призначений для термомеханічного плавлення тертям.



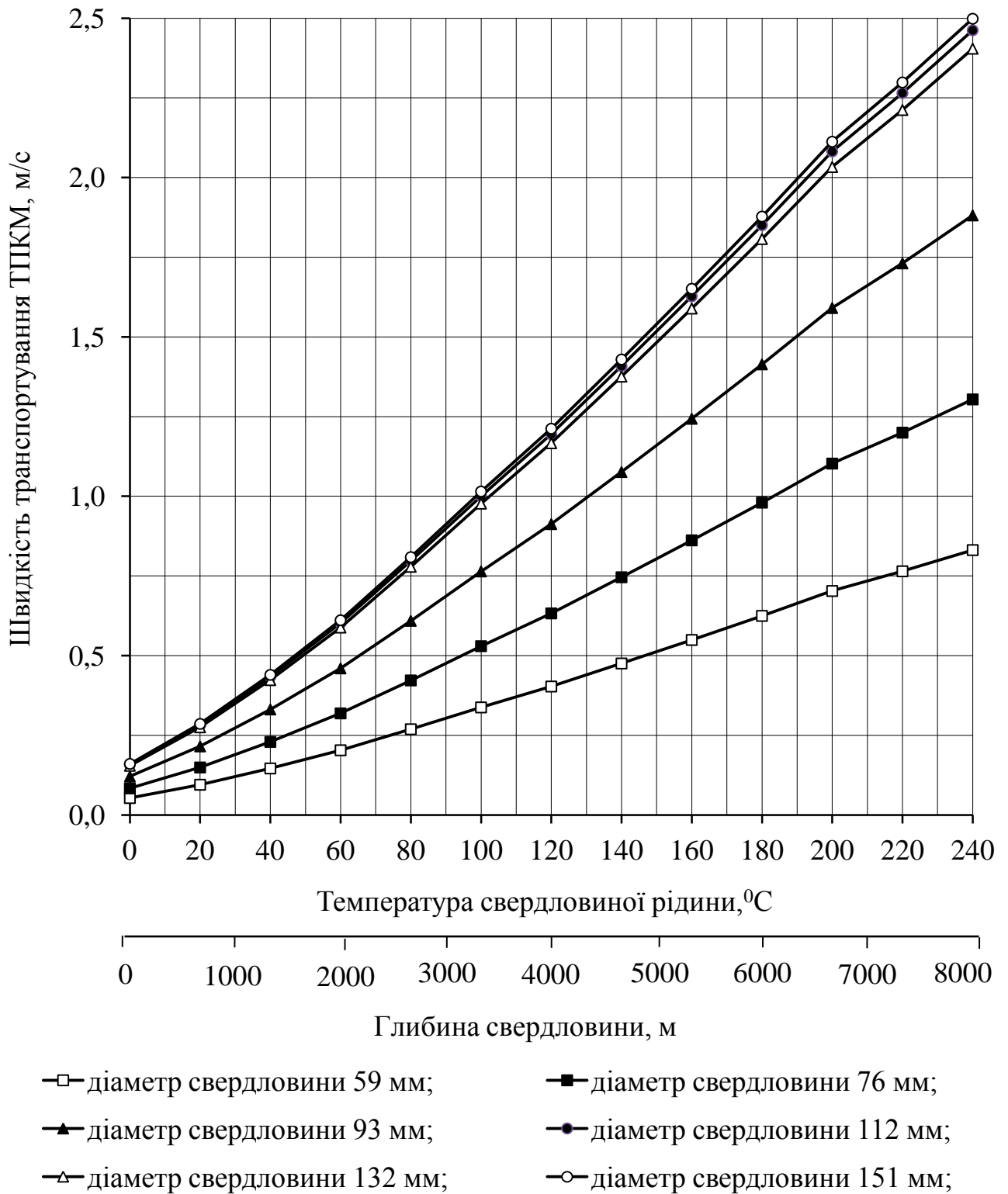


Рисунок 3 - Розрахункова залежність швидкості транспортування брикетів ТПКМ від температури свердловинної рідини

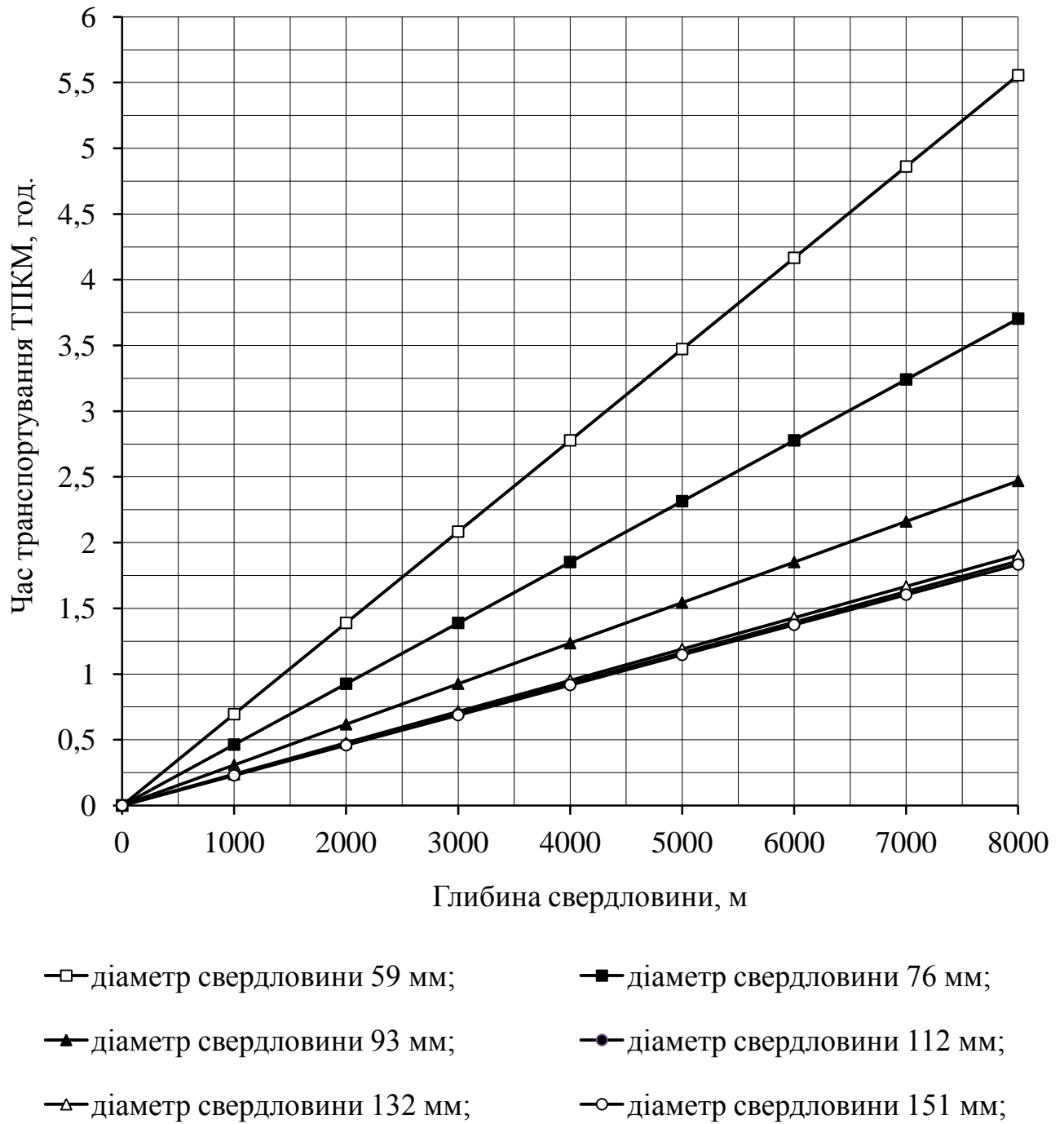


Рисунок 4 - Розрахункова залежність часу транспортування брикетів ТПКМ по стовбуру від глибини свердловини

При реалізації технології ізоляції поглинаючих горизонтів із застосуванням ТПКМ особливих вимог до бурового обладнання не висувається.

## **6 Організація тампонажних робіт**

Роботи по ізоляції зони поглинання термопластичними матеріалами проводиться силами бурової бригади.

Весь процес ізоляції ділиться на три періоди: підготовчий, основний і заключний.

У підготовчий період проводиться: дослідження поглинаючого горизонту, визначення його характеристик; визначення необхідного об'єму тампонажного матеріалу; визначення основних параметрів плавлення. Перед початком робіт вибій свердловини очищається від шламу і визначається ступінь кавернозності стовбура свердловини в зоні ускладнення. На бурову доставляється термопластичний матеріал. У разі необхідності встановлюють мости в свердловині. Готують термомеханічний інструмент.

В основний період в залежності від прийнятої схеми проводиться:

- доставку брикетів ТПКМ. При виникненні ускладнення (зависанні) ТПКМ вище ускладненого горизонту, його ліквідація здійсниться спущеним в свердловину термомеханічним інструментом;

- спуск термомеханічного інструменту в свердловину. Доставляється на колоні бурильних труб;

- термомеханічне плавлення ТПКМ;

- задавлювання розплаву в канали поглинання;

- контроль якості ізоляції поглинаючого горизонту. Після ізоляції поглинаючого горизонту на повну висоту проводиться спостереження за рівнем рідини в свердловині. Якщо циркуляція рідини в свердловині не відновилася, операцію по ізоляції поглинаючого горизонту повторюють.

У заключний період спільно з буровим персоналом складається акт про проведення робіт по ізоляції поглинаючого горизонту.

## **7 Правила техніки безпеки, охорона праці, і заходи з охорони навколишнього середовища**

При нормальних умовах вторинний ПЕТ не токсичний і не має шкідливого впливу на організм людини. Аерозоль поліетилентерефталату відноситься до третього класу небезпеки, ГДК в повітрі робочої зони виробничих приміщень - 5 мгм<sup>3</sup>.

Приміщення, в яких проводяться роботи з речовиною, повинні бути обладнані загальною припливно-витяжною механічною вентиляцією.

Працюючі з поліетилентерефталатом повинні бути забезпечені спецодягом з бавовняної тканини і індивідуальними засобами захисту: очками, рукавичками, респіраторами, а також протигазом марки А для використання в аварійних ситуаціях.

## **8 Очікувані техніко-економічні показники тампонування**

В результаті дослідно-промислового впровадження технології ліквідації поглинання промивальної рідини із застосуванням ТПКМ встановлено, що:

1. Розроблена технологія виготовлення ТПКМ дозволяє її застосовувати в умовах бурової;

2. Технологія ліквідації поглинання промивальної рідини ТПКМ із застосуванням стандартного бурового устаткування і інструменту не ускладнює процес ізоляції поглинаючого горизонту від ствола свердловини, а спрощує його.

3. Технологія ліквідації поглинання промивальної рідини ТПКМ, за рахунок створення малооб'ємної ізоляційної оболонки навколо стовбура бурової свердловини, дозволяє істотно зменшити витрату тампонажних матеріалів в порівнянні із застосуванням традиційних сумішей на цементній основі в десятки разів.