

АНОТАЦІЯ

Педченко Н.М. Удосконалення способів розробки газогідратних покладів та контролю за гідратоутворенням. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 185 – Нафтогазова інженерія та технології (18 – Виробництво та технології). – Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», Полтава, 2022.

У дисертаційній роботі наведено теоретичне узагальнення і вирішення науково-практичного завдання – підвищення ефективності технології видобування і транспортування газу морських родовищ.

Унікальна здатність газів і води утворювати газові гідрати обумовила значні проблеми для галузі. Але поряд з тим призвела до накопичення колосальних покладів природного газу у його складі. Газові гідрати (і перш за все морські) накопичили, за різними оцінками, від 10^{15} до 10^{18} м³ природного газу, що суттєво перевищує всі запаси вуглецевого палива. Останніми роками спостерігається суттєвий прогрес у розробленні технологій видобування природного газу із покладів газових гідратів. Однак, на сьогодні поки не існує комерційно привабливої і технічно опрацьованої технології розробки покладів газових гідратів. Причиною тому, перш за все, є низька продуктивність видобутку і висока собівартість отриманого газу. У зв'язку з цим актуальним завданням є подальше вивчення властивостей газових гідратів, а також процесів, які відбуваються в пластових системах в умовах гідратоутворення.

Метою роботи є підвищення ефективності розробки морських родовищ газових гідратів шляхом удосконалення технології на основі енергоефективних технологічних рішень і керування техногенним гідратоутворенням.

Відомі на сьогодні методи видобутку газу із газогідратних покладів засновані на принципах традиційної технології видобутку нафти і газу. Проте, традиційні методи створюють значні проблеми, пов'язані з вторинним гідратоутворенням,

інженерно-геологічними ускладненнями та низькою ефективністю виробництва. Більшість з цих проблем вирішуються при застосуванні методу псевдозрідження гідратовмісної породи, заснованого на технології гідровидобутку. Дана технологія має беззаперечні перспективи промислового впровадження, однак на даному етапі знаходиться на стадії удосконалення і опрацювання її елементів. Напрямами її удосконалення є організація безперервного процесу гідровидобутку, зниження енерговитрат на руйнування породи, удосконалення процесу сепарації газогідрату з гідросуміші. Також актуальним є організація оперативного контролю повторного гідратоутворення в свердловинній продукції вздовж технологічного ланцюга.

За результатами досліджень запропоновано механізм впливу затоплених струменів на природний газовий гідрат в складі гідратовмісної породи. Обґрунтовано механізм видобутку газогідрату із морських покладів без витрати теплової енергії на його плавлення. Він передбачає стимулювання перекристалізації газогідрату унаслідок сумісного впливу затоплених струменів води і супутніх процесів.

Розроблено і обґрунтовано спосіб видобування газового гідрату. При цьому запропоновано принцип і обґрунтовано механізм енергоефективного псевдозрідження гідратовмісної породи і початкової сепарації газогідрату, який, за умови підтримання мінімальної відстані між гідромонітором і фронтом руйнування, передбачає: дезінтеграцію породи високонапірним струменем; часткову дисоціацію газогідрату за рахунок теплоти дисипації енергії струменя і вивільнення у результаті цього породних включень; повторне гідратоутворення після виходу газу із зони перегріву, але без агломерації з породою. Також запропоновано принцип і обґрунтовано механізм процесу підземної сепарації газогідрату із гідросуміші, який передбачає утворення в процесі гідровидобутку гірничої виробки, гравітаційне розділення в ній гідросуміші, на осад породи і концентрат газогідрату та його відбір із зони концентрування.

Крім того, розроблено спосіб видобування газу із покладів газових гідратів, який передбачає поєднання елементів свердловинного гідровидобутку і теплового впливу на продуктивний пласт. Для встановлення параметрів процесу здійснено

комп'ютерне моделювання теплообміну між породою і матеріальними потоками у видобувному обладнанні.

В ході експериментальних досліджень обґрунтовано спосіб оперативного встановлення параметрів повторної масової кристалізації газогідрату в пластових системах газогідратних родовищ, які піддались дисоціації, але, як мінімум, не втратили властивість пам'яті гідратних структур. Спосіб реалізовано шляхом встановлення параметрів процесу у момент візуальної ідентифікації появи твердої фази газогідрату на міжфазній поверхні газової бульбашки або місця її виходу з рідини в реакторі в процесі підвищення тиску і/або зниження температури системи. Розроблено конструкцію лабораторної установки для реалізації даного способу. Запропонований спосіб дозволяє отримати об'єктивну інформацію про можливу поведінку даної системи при інтенсивній зміні параметрів в нерівноважних умовах. Наведені експериментальні дані отримано менш, ніж за 9 годин циклу досліджень, що практично на порядок оперативніше за традиційні методики визначення рівноважних параметрів гідратоутворення системи. Крім того, попереднє переведення частини води досліджуваного зразка через газогідратну форму, для надання їй властивості гідратних структур, дозволяє оцінити параметри гідратоутворення будь-якої пластової системи.

Також зафіксовано і теоретично обґрунтовано механізм аномальної стабільності газогідрату при його контактуванні з розчином інгібітору високої концентрації, який полягає в утворенні шару льоду на поверхні кристалів гідрату, що перешкоджає безпосередньому його контакту з інгібітором. Встановлений механізм фазових перетворень, у присутності концентрованого розчину інгібітору термодинамічної дії, доцільно враховувати у випадку виникнення ускладнень в системах збору і підготовки нафтогазопромислової продукції.

Запропоновано технологічну схему сумісної енергоефективної розробки газових і газогідратних морських покладів. Технологія передбачає сумісне використання теплової енергії надонного підігріву теплоносія при видобуванні газу із газогідратного покладу і забезпеченні безгідратної експлуатації свердловин вільного підгідратного газу.

Обґрунтовано спосіб переведення газу морських родовищ у газогідратну форму, який передбачає реалізацію найбільш енергоємного процесу – утворення газового гідрату за рахунок енергії продуктивного пласта (енергії стисненого газу) і морської води. Запропоновано математичну модель для опису даного процесу.

Природний газ у формі газових гідратів запропоновано зберігати в удосконалених оболонкових газоопорних спорудах. Удосконалення конструкції і способу експлуатації даних споруд полягає у використанні рідких пін у якості термоізоляційного матеріалу.

Запропоновано конструкцію і технологію експлуатації наземного сховища для накопичення і зберігання природного газу у складі газогідрату. Використання даних гідратосховищ дозволить суттєво підвищити ефективність і конкурентоздатність технології зберігання природного газу у формі газових гідратів.

Ключові слова: природний газ, газові гідрати, розробка газогідратних покладів, гідратовмісна порода, стабільність газогідратних структур, швидкість гідратоутворення, дисоціація, зберігання газогідрату, теплообмін, фазовий перехід, математична модель, технологічна схема розробки, лабораторна установка, міжфазна поверхня, встановлення параметрів гідратоутворення.

ABSTRACT

Nazar Pedchenko. Improvement of methods of gas hydrate deposits development and control of hydrate formation. – Qualifying scientific work on the rights of the manuscript.

The dissertation for a Degree of Doctor of Philosophy (Ph.D.) for a specialty 185 – Oil and gas engineering and technologies (18 – Production and technologies).
– Yuriy Kondratyuk Poltava Polytechnic National University, Poltava, 2022.

The dissertation presents a theoretical generalization and solution to the scientific and practical task of increasing the efficiency of the gas extraction and transportation technology of marine deposits.

The unique ability of gases and water to form gas hydrates caused significant problems for the industry. But at the same time, it led to the accumulation of colossal natural gas deposits in its composition. According to various estimates, 10^{15} to 10^{18} m³ of natural gas has been accumulated in the composition of gas hydrates (and above all marine ones), which significantly exceeds all carbon fuel reserves. In recent years, significant progress has been observed in the development of natural gas extraction technologies from gas hydrate deposits. However, today there is no commercially attractive and technically developed technology for the development of gas hydrate deposits. The reason for this, first of all, is the low production productivity and the high cost of the obtained gas. In connection with this, an actual task is to further study the properties of gas hydrates, as well as the processes that occur in reservoir systems under the conditions of hydrate formation.

The purpose of the work is increase the efficiency of the development of gas hydrates marine deposits by improving technology based on energy-efficient technological solutions and managing man-made hydrate formation.

Now known methods of gas extraction from gas hydrate deposits are based on the principles of traditional oil and gas extraction technology. However, traditional methods create significant problems related to secondary hydrate formation, engineering-geological complications and low production efficiency. Most of these problems are

solved by applying the method of liquefaction of hydrate-bearing rock, based on hydraulic extraction technology. This technology has undeniable prospects for industrial implementation, but at this stage it is at the stage of improvement and development of its elements. The directions of its improvement are the organization of a continuous process of hydraulic extraction, reduction of energy costs for rock destruction, improvement of the process of gas hydrate separation from the aqueous mixture. Organization of operational control for repeated hydrate formation in well products along the technological chain is also relevant.

Based on the research results, the mechanism of influence of submerged jets on natural gas hydrate in the composition of hydrate-bearing rock is proposed. The mechanism of gas hydrate extraction from marine deposits without spending thermal energy on its melting is substantiated. It involves stimulation of gas hydrate recrystallization as a result of the combined effect of submerged water jets and associated processes.

A gas hydrate extraction method has been developed and substantiated. At the same time, the principle of energy-efficient liquefaction for hydrate-bearing rock and the initial gas hydrate separation is proposed and substantiated, which, provided that the minimum distance between the hydromonitor and the fracture front is maintained, provides: disintegration of the rock with a high-pressure jet; partial dissociation of the gas hydrate due to the heat dissipation of jet energy and rock inclusions release as a result; repeated hydrate formation after gas escapes from the overheated zone, but without agglomeration with the rock. The principle of the process for underground gas hydrate separation from the hydro-mixture is also proposed and substantiated, which involves the formation of a mine in the hydro-mining process, the gravitational separation of the hydro-mix in it into rock sediment and gas hydrate concentrate, and its selection from the concentration zone.

In addition, a gas extraction method from gas hydrate deposits has been developed, which involves the elements combination of well hydraulic production and thermal impact on the productive layer. To establish the parameters of the process, a computer

simulation of the heat exchange between the rock and material flows in the mining equipment was carried out.

In the course of experimental studies, the method of operatively establishing the parameters of repeated mass gas hydrate crystallization in reservoir systems of gas hydrate deposits, which underwent dissociation, but at least did not lose the memory property of hydrate structures, was substantiated. The method is implemented by setting the process parameters at the moment of visual identification of the appearance of the gas hydrate solid phase on the interfacial surface of the gas bubble or the place of its exit from the liquid in the reactor in the process of increasing the pressure and/or decreasing the temperature of the system. The construction of a laboratory unit for the implementation of this method has been developed. The proposed method makes it possible to obtain objective information about the possible behavior of this system in case of intensive change of parameters in non-equilibrium conditions. The given experimental data were obtained in less than 9 hours of the research cycle, which is almost an order of magnitude faster than the traditional methods of determining the equilibrium parameters of hydrate formation for the system. In addition, the preliminary transfer of the water part for the studied sample through the gas-hydrate form to give it the properties of hydrate structures allows to estimate the parameters of hydrate formation for any reservoir system.

Also, the mechanism of anomalous the gas hydrate stability when it comes into contact with a high-concentration inhibitor solution is recorded and theoretically substantiated, which consists in the formation of a ice layer on the hydrate crystals surface, which prevents its direct contact with the inhibitor. The established mechanism of phase transformations in the presence of a concentrated solution for an thermodynamic action inhibitor should be taken into account in case of complications in the systems of collection and preparation of oil and gas industry products.

A technological scheme of compatible energy-efficient development of gas and gas hydrate marine deposits is proposed. The technology provides for the combined use of thermal energy for subsurface heating of the coolant during gas extraction from a gas hydrate deposit and ensuring hydrate-free operation of wells with free hydrate gas.

The method of converting gas from marine fields into gas hydrate form is substantiated, which involves the implementation of the most energy-intensive process - the gas hydrate formation using the energy of the productive layer (compressed gas energy) and sea water. A mathematical model is proposed to describe this process.

Natural gas in the form of gas hydrates is proposed to be stored in improved gas-resistant shell structures. The construction improvement and the method of operation these buildings consists in the use of liquid foam as a heat-insulating material. The design and operation technology of the ground storage facility for the accumulation and storage of natural gas as part of gas hydrate is proposed. The use these hydrate storage facilities will significantly increase the efficiency and competitiveness of natural gas storage technology in the form of gas hydrates.

Key words: natural gas, gas hydrates, development of gas hydrate deposits, hydrate-bearing rock, stability of gas hydrate structures, rate of hydrate formation, dissociation, storage of gas hydrate, heat exchange, phase transition, mathematical model, technological scheme of development, laboratory setup, interphase surface, setting parameters of hydrate formation.