

ОБОСНОВАНИЕ СПОСОБА ДОБЫЧИ ГАЗА МЕТАНА ИЗ ГАЗОГИДРАТНЫХ ЗАЛЕЖЕЙ ЧЕРНОГО МОРЯ

© S. Vlasov, V. Babenko

SUBSTANTIATION OF METHANE PRODUCTION METHOD FROM GAS HYDRATE DEPOSITS OF THE BLACK SEA

Проанализированы геологические условия залегания газа в гидратах на дне Черного моря. Выполнен анализ существующих способов добычи метана из газогидратных месторождений. Обоснован комбинированный способ добычи природного газа с газогидратных месторождений в условиях дна Черного моря, основанный на использовании высоконапорных струй воды.

Проаналізовано геологічні умови залягання газу в гідратах на дні Чорного моря. Виконаний аналіз існуючих способів видобутку метану з газогідратних родовищ. Обґрунтовано комбінований спосіб видобутку природного газу з газогідратних родовищ в умовах дна Чорного моря, оснований на використанні високонапірних струменів води.

Цель. Обоснование использования способа струйного разрушения газогидратных залежей дна Черного моря для добычи газа метана.

Вступление. За последнее столетие население планеты Земля увеличилось на 6 млрд человек и в настоящее время составляет 7,5 млрд. Стремительный рост населения планеты обуславливает необходимость увеличения потребления энергии. Экологически чистые источники энергии – солнечная, ветровая и гидроэнергия – малоэффективны и находятся на стадии усовершенствования технологий их эксплуатации. Энергия, полученная при расщеплении радиационных частиц, имеет гораздо больший коэффициент полезного действия, но её производство очень опасно, так как необходимо утилизировать радиоактивные отходы, полученные после отработки данных элементов. Процессы получения энергии из водорода и термоядерного синтеза находятся на начальном этапе своего развития, поэтому экономически рентабельных технологий производства энергии из этих источников в ближайшее будущее вряд ли стоит ожидать. Приоритетным источником энергии в мире на данный момент является энергия из традиционных углеводородов. Мировые объемы добычи нефти на начало 2015 года составляли около 4220 млн т/год, газа – 2797 млрд м³/год, а угля – около 8,5 млрд т/год [1]. Но добываемое углеводородное сырье не восстанавливается и, согласно исследованиям американского ученого Хубберта, при условии мирового потребления, например, нефти в 4 млрд т, запасов углеводородов хватит примерно на 30 лет. И дело не только в исчерпании мировых запасов углеводородов как таковых, а и в резком уменьшении запасов рентабельно извлекаемых углеводородов, добывать которые можно также легко, как раньше. Однако добыча сланцевого газа Соединенными Штатами за последние 20 лет по-

казывает, что извлекать из недр Земли экономически рентабельно можно не только традиционные углеводороды. Но сланцевый газ не единственный нетрадиционный источник углеводорода. Газ метан в газогидратах – огромный ресурс природного метана. По оценкам различных международных организаций, наличие мировых ресурсов газогидратов оценивается в 2500 – 20000 трлн м³ [2] и превышает более чем в два раза объем всех возможных источников углеводородов вместе взятых.

Анализ последних исследований. В конце прошлого столетия ученые США, Канады, Японии, Австралии, Индии, Китая, Германии и России проводили большие исследования по поиску газогидратных залежей и оценке их запасов на дне морей и океанов.

В 90-х годах XX столетия был организован ряд экспедиций, в которых принимали участие сотрудники объединения «Южморгеология» Ю.А. Бяков, Р.П. Кругляков [3], Е.Ф. Шнюков, В.П. Коболев [4–5]. Они оценили запасы природного газа в гидратных месторождениях Черного моря в 45–75 трлн м³. В результате поисковых работ было установлено, что газогидраты в донных осадочных породах содержат до 95% метана, а максимальная глубина их залегания по геофизическим данным составляет от 400 – 500 до 800 – 1000 м ниже дна моря.

В последние годы были проведены различные промышленные эксперименты по извлечению метана из гидратных донных осадков. Например, в 2013 году (Япония, Нанкайский Желоб) добычу метана из гидратов производили с применением понижения давления (разгерметизации) с помощью бурения скважин в газогидратное тело на морском дне. Суммарный объем добытого метана из скважин составил 120 тыс. м³ в течение шести суток за счет изменения структуры нетронутого газогидратного тела и перераспределения напряжений в донных осадках. Эксперимент пришлось прекратить из-за закупоривания забортного оборудования в скважине донными отложениями и понижения давления в добычной скважине от 13,5 до 5 МПа. В Канаде и Китае проводились эксперименты по добыче гидратного метана из континентальных коллекторов с применением понижения давления и термической стимуляции гидратного пласта. Суммарный дебит составил соответственно 13 000 м³ в течение шести дней и около 100 м³ за четыре дня [6].

В настоящее время основным направлением исследований ученых США, Канады, Японии, Австралии, Индии, Китая, Германии, России и Украины является изучение процессов образования газогидратов, их фазовых переходов, процессов вытеснения углекислым газом метана из структуры гидрата, свойств поверхностного слоя предплавления на гидратах и разработка различных способов добычи гидратного метана из донных морских отложений и арктических коллекторов.

Учитывая актуальность этого вопроса для Украины, ученые Национального горного университета, Полтавского национального технического университета им. Ю. Кондратюка, Ивано-Франковского национального технического университета нефти и газа и др. в последние годы проводят различные экспе-

рименты по исследованию процессов гидратообразования и разработке способов добычи газа метана из газогидратов с дна Черного моря.

Нерешенная часть проблемы. Анализ результатов выполненных промышленных экспериментов по добыче метана из гидратов в Канаде, Японии и Китае показывает, что добыть такой вид метана возможно, однако предлагаемые способы технически трудноосуществимые, также экологически опасные. Именно экологическая безопасность является основным сдерживающим фактором при продвижении проектов по разработке газогидратных залежей на морском дне.

Постановка задачи. Разрабатываемые способы по добыче метана из гидратов должны быть экологически безопасными, а себестоимость их извлечения не выше той, которая соответствует разработке традиционных углеводородов. Исходя из этого, разработка гидратных месторождений природного газа должна также учитывать фазовые переходы газогидратов в метан, технологию бурения скважин с поверхности моря, сбор и транспортировку метана на поверхность и его доставку до места хранения на суше. Все эти факторы определяют использование высокопроизводительного, достаточно дорогого оборудования, от технических характеристик которого зависит эффективность разработки газогидратных залежей на морском дне. Однако эффективных способов разрушения ван-дер-ваальсовых связей газогидратов с целью высвобождения газа метана до настоящего времени предложено не было. Поэтому для добычи метана из донных гидратных осадков Черного моря необходимо разработать наиболее эффективный способ извлечения метана из гидратов.

Основной материал исследований. Для достижения поставленной цели был выполнен анализ геологического строения дна Черного моря в газогидратобразующих зонах и способов добычи природного газа из гидратных залежей.

Для выявления перспективных зон к разработке газогидратных залежей и определения геологического строения дна Черного моря был выполнен анализ научных трудов Кругляковой Р.П., в которых описаны результаты геологической разведки, а также составлено общее представление о строении дна Черного моря. Согласно Гинсбургу и др., грунты Черного моря образовались в результате взаимодействия трех основных факторов: разрушения берегов, выносов рек и отложений органических остатков. Строение грунтов в прибрежной зоне представлено песком, гравием, галькой и мелкими частицами алеврита. Дно моря на глубине от 20 до 150 метров покрыто илом со створками мидий и модиол, а дно на больших глубинах – глинистым и известковым илом. Толща осадков моря составляет до 16 километров. По результатам исследований Шнюкова Е.Ф. и Старостенка В.И., дно Черного моря представляет собой базальтовую плиту, которая покрывает мантию Земли. Под Черным морем строение земной коры напоминает океанское, но слой осадочных пород там более 10 километров, то есть толще, а слой базальтов имеет толщину меньше, чем под материками, но больше, чем под океанами – 10 – 20 км.

Рельеф центральной части Черного моря представлен абиссальной равниной, которая расположена на глубине 2 км. Шельфом моря является пологий

подводный склон протяженностью 100 – 150 метров. За ним расположен континентальный склон с углом падения 20 – 30°, который представляет собой обрыв до глубин свыше 1 км (рис. 1).

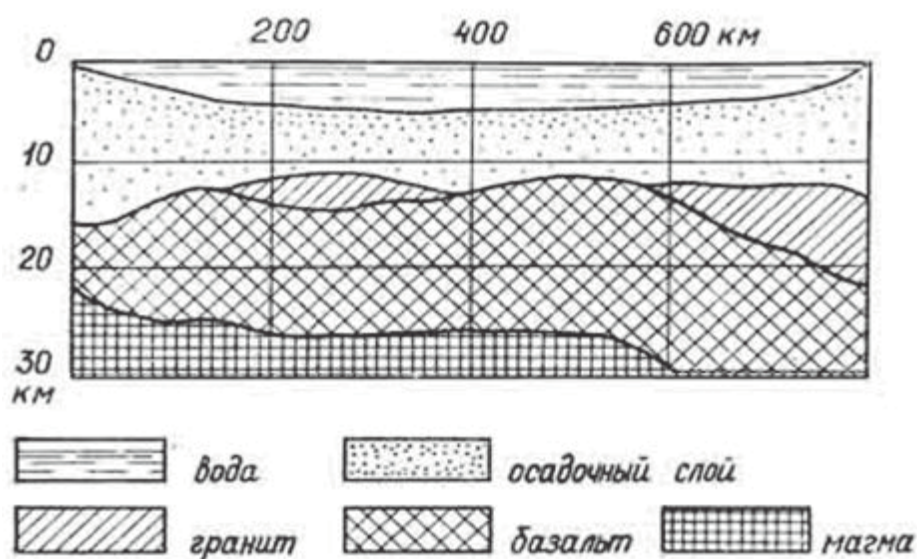


Рис. 1. Строение земной коры под Черным морем

Предполагается, что метан в Черном море может залежать в двух состояниях – свободном и гидратном. Свободный метан находится в так называемых «газовых ловушках», которые формируются в разуплотненных породах. Что касается гидратного состояния, то метан в виде газогидратного пласта залегает в донных осадках, состоящих из песка и органики, на глубине примерно двух километров. Газогидраты можно обнаружить на расстоянии 20 км от береговой линии [7]. Существуют две гипотезы, объясняющие наличие метана в Черном море. Согласно первой из них, метан выделяется в результате разложения органики, а также является продуктом жизнедеятельности микроорганизмов. Вторая гипотеза предполагает, что метан поступает в водную толщу моря через глубинные разломы и трещины. Существует некоторая закономерность: выделение метана в виде факелов проявляется только по периферии Черного моря, в то время как в Черноморской впадине практически отсутствует. Есть предположение, что там где газы не проходят через осадочную породу, впоследствии они превращаются в газогидраты при определенном сочетании температуры и давления.

По генетическому признаку газогидраты Черного моря относятся к фильтрогенному типу, которые образуются в результате фильтрации газа либо газонасыщенной воды через область с параметрами, близкими параметрам термодинамической стабильности гидратов. Данные газогидраты формируются в осадочной толще участков разгрузки флюидной системы, примером которой может быть подводный грязевой вулканизм, наблюдающейся в условиях Черного моря. Результаты проведенного анализа позволили получить представле-

ние о литологии газогидратных дисперсных пород на дне Черного моря и их физико-механических свойств.

Для обоснования наиболее эффективного способа добычи газа метана из газогидратных залежей дна Черного моря был выполнен анализ более 50 патентов Украины на уже существующие способы. Эти способы можно разделить на четыре основные группы: химическая стимуляция (ввод ингибитора), понижение давления (разгерметизация), температурное воздействие (нагрев) и механическое разрушение.

Проведенный анализ позволил выявить ряд достоинств и недостатков по каждому способу. Систематизация этих способов по добыче газа метана из газогидратов, залегающих в водоемах и арктических коллекторах, представлена на рис. 2.

К достоинствам способа химической стимуляции газогидратного пласта относятся полнота извлечения природного газа из вмещающих пород и короткий срок разложения гидрата. К недостаткам – высокая стоимость применяемых ингибиторов и неизученность их влияния на окружающую среду.

Основное достоинство разгерметизации газогидратного массива – простота процесса и невысокая стоимость по сравнению с другими способами. Недостатки разгерметизации заключаются в слабом воздействии на гидратную залежь, т.е. дебит добытого газа будет незначительным, а также в значительном времени разложения гидрата.

Достоинство нагревания газогидратного пласта – полное извлечение природного газа вследствие наиболее эффективного изменения термобарических условий гидратной залежи, что приводит к полному разложению структурных каркасов гидрата. Однако его недостатками являются высокая себестоимость процесса и высокая продолжительность нагревания гидрата.

Механические способы на практике не применялись, поэтому выделить их достоинства и недостатки без реальных экспериментов практически невозможно.

По мнению авторов, наиболее эффективным способом разрушения донных гидратов с целью извлечения газа метана является сочетание разгерметизации (проведение скважин), нагрева (струями воды с температурой выше, чем в гидратах) и механического разрушения (воздействие струй воды на гидратную залежь).

Сущность предлагаемого способа заключается в механическом разрушении донных гидратных осадков, при котором нужно учитывать перераспределение давления в гидратной залежи после проведения эксплуатационной скважины и влияние температуры водяной струи. Процессом непосредственной добычи газа метана является разрушение ван-дер-ваальсовых связей газогидратов, которое осуществляется с помощью воздействия на них высоконапорных струй воды и высвобождением газа метана. На рис. 3 показана реализация предлагаемого способа в зоне разрушения газогидратных дисперсных пород турбулентными струями воды [8].

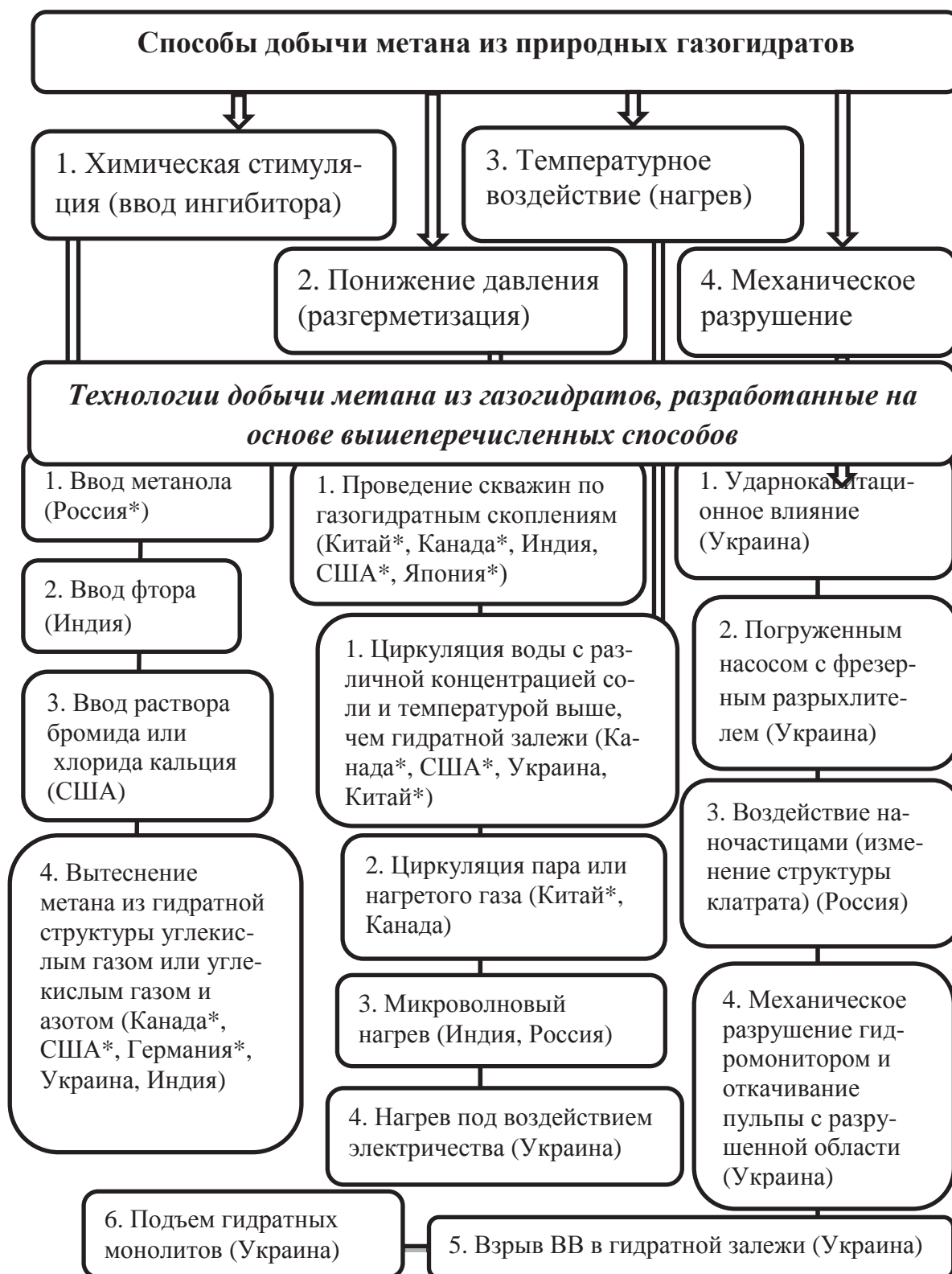


Рис. 2. Систематизация способов и технологий добычи газа из газогидратов
*- страны, в которых проводились эксперименты по добыче метана из газогидратных формирований

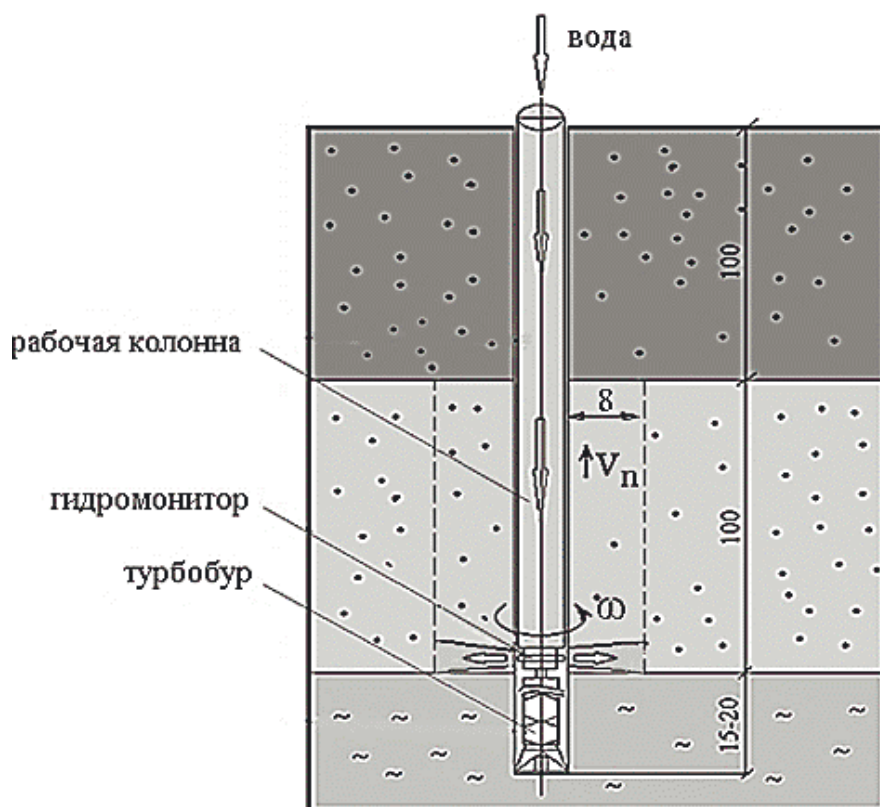





Рис. 3. Схема реализации способа при разрушении газогидратных дисперсных пород высоконапорными струями воды:

-  мелкодисперсные осадки из органики и песков;
-  мелкодисперсные осадки расположены в зоне образования газогидратов;
-  донные осадки, залегающие вне зоны образования газогидратов

Нагнетание воды в гидромонитор осуществляется с помощью насосной установки, расположенной на буровой платформе. Вода подается по трубопроводу через вертлюг в рабочую колонну. На этапе бурения вода нагнетается в турбобур, с помощью которого будет происходить бурение скважины через покрывные породы в газогидратной залежи (с углубкой её в породы почвы). После этого производится переключение потока воды через специальный дистанционно управляемый клапан на сопла гидромонитора и на холостую работу турбобура. Поскольку гидромонитор жестко связан с турбобуром, то его вращение осуществляется за счет холостой работы последнего. Для того чтобы обеспечить необходимую глубину проникания высоконапорных струй воды в газогидратные дисперсные породы необходимо вращение и поднятие монитора вдоль оси скважины производить с определенными скоростями. Высоконапорные струи воды, формируемые в соплах гидромонитора, будут разрушать газо-

гидратные дисперсные породы и вытеснять из них газ метан в межтрубное пространство между буровой колонной и обсадной трубой. Этот газ у поверхности платформы по специальному отводу и газопроводу собирается в специальных емкостях. С целью предотвращения выхода газа не по затрубному пространству, а через трещины и разломы в вышележащем над газогидратным слое пород необходимо установить защитный газосборный колпак с радиусом $1,5h_m$, связанный с платформой трубопроводом.

Для определения глубины проникания струи воды в газогидратную залежь была разработана математическая модель, позволяющая моделировать основные процессы разрушения газогидратного тела высоконапорными струями. Задаваемыми параметрами являются: плотность газогидратной породы (ρ_2), плотность разрушающей водяной струи (ρ_1), ударная вязкость газогидратной породы (η), давление насоса (P_0), диаметр сопла (d_0), диаметр рабочей колонны (d_1), скорость вращения гидромонитора (ω).

Определяемые параметры: постоянная проникания (C), объемный расход (Q), скорость струи на выходе из сопла (u_0), скорость проникания (u^k), время одного поворота рабочей колонны (T^1), время поднятия монитора (T_1), возможный радиус проникания (h_m), максимальная глубина проникания (h).

Изменение глубины проникания высоконапорной струи воды в газогидратную залежь напрямую будет зависеть от технических характеристик оборудования. Соответственно, при увеличении этой глубины диаметр разрушаемой полости в газогидратных породах увеличится, что в свою очередь позволит добыть большее количество природного газа из газогидратной залежи.

Выводы. Исследованы условия расположения газовых гидратов в донных осадках Черного моря, позволившие обосновать новый способ добычи газа метана из газогидратных месторождений, состоящий из механического разрушения высоконапорными струями воды, температурного нагрева и разгерметизации.

В последующих исследованиях необходимо выполнить моделирование процессов разрушения газогидратного тела с помощью высоконапорных струй воды. Результаты этих исследований позволят обосновать рациональные технологические параметры, обеспечивающие максимальную глубину проникания высоконапорных струй воды в газогидратное тело, и с их помощью достигнуть максимальное извлечение газа метана из донных гидратов, с учетом гидравлических потерь в технологической схеме подачи воды к соплам гидромонитора.

Перечень ссылок

1. Джеймс Г. Кунслер. Что нас ждет когда закончится нефть, изменится климат и разразятся другие катастрофы XXI века / Джеймс Г. Кунслер. – СПб.: Питер, 2011. – 304 с.
2. Resources to Reserves 2013 – Oil, Gas and Coal Technologies for the Energy Markets of the Future / IEA, 2013. – 268 p.

3. Бяков Ю.А. Газогидраты осадочной толщи Черного моря – углеводородное сырье будущего / Ю.А. Бяков, Р.П. Кругляков // Разведка и охрана недр. – 2001. – № 8. – С.14 – 18.
4. Шнюков Е.Ф. Гидраты природных газов / Ю.Ф. Шнюков, А.П. Зиборов. – К.: Наукова думка, 2004. – 280 с.
5. Шнюков Е.Ф. Газовый вулканизм Черного моря / Е.Ф. Шнюков, В.П., А.А. Пасынков. – К.: Логас, 2013. – 384 с.
6. Arora A. Field Testing of Gas Hydrates - An Alternative to Conventional Fuels / Amit Arora, Swaranjit Singh Cameotra, Chandrajit Balomajumder // Petroleum & Environmental Biotechnology. – 2015. – 6:5. – P. 1–4.
7. Трубенко О.М. Можливість поширення потенційно газогенеруючих зон у олігоценово-нижньоміоценових відкладах у межах Чорного моря / О.М. Трубенко, А.П. Мазур, А.О. Трубенко // Газогідратні технології у гірництві, нафтогазовій справі, геотехніці та енергетиці: матеріали II міжнародної науково – технічної конференції. – Дніпро: Національний гірничий університет, 2016. – С. 46 – 47.
8. Пат. 10333 А Україна, МКИ Е 02 Д 3/12. Спосіб струминного закріплення слабких гірничих порід / Бондаренко В.І., Власов С.Ф., Почепов В.Н., Ткачук С.В.; заявл. 22.11.93; опубл. 25.12. 96; Бюл. №4.

ABSTRACT

Purpose. Substantiation of the method of methane gas extraction from the gas hydrate deposits of the Black Sea bottom, using high-pressure water jets.

The methodology of the study consists in the substantiation of combined way of methane extraction from hydrate deposits of the Black Sea bottom due to mechanical destruction of the dispersed rocks by the high-pressure water jets.

Findings. The analysis of existing methods of the extraction of natural gas from gas hydrate deposits is carried out. The expediency of developing a combined method for the extraction of natural gas from hydrates in the Black Sea is proved.

The originality consists in substantiation of the new method of extraction of natural gas from hydrates for the conditions of the Black Sea bottom. The main criterion for the development of the gas hydrate deposit is the depth of penetration of the high-pressure jet of water, which depends on the densities of hydrate rock, supplied water, toughness of the gas hydrate, pump pressure, nozzle diameters, working string, rotation speeds and lifting of the hydraulic monitor.

Practical implications. The substantiated method will allow to develop technological parameters of jet technology of methane gas extraction from of the Black Sea bottom.

Keywords: *gas hydrate, method of methane extraction, Black Sea bottom, analysis of geological exploration, analysis of methane extraction methods, high-pressure jets*