

## НОВАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПОДВОДНОЙ ДОБЫЧИ ГАЗА ИЗ ЗАЛЕЖЕЙ ГАЗОВЫХ ГИДРАТОВ

*Б.Н. Васюк, Общество изобретателей и рационализаторов Украины*

Представлена новая технологическая схема подводной разработки газогидратных месторождений, которая обеспечивает оперативное перемещение оборудования для добычи газа по площади месторождения, разработку последнего по всей толще гидратосодержащих пород, применение комплекса методов разложения газовых гидратов.

Газовые гидраты представляют собой твердые, кристаллические соединения природного газа и воды, для их образования и существования необходимы определенные термобарические и геологические условия. Скопления газогидратов на суше приурочены к охлажденным зонам осадочного чехла земной коры. В районах многолетней мерзлоты толщина пород, в которой существуют газогидратные залежи, может достигать 400–800 м, а в некоторых случаях превышает 1000 м. В акваториях Мирового океана зона гидратообразования начинается от дна океана и обычно составляет несколько сотен метров. Субмаринные залежи приурочены, главным образом, к глубоководному шельфу и океаническому склону при глубине воды от 200 м – для условий приполярья, и от 500–700 м – для экваториальных регионов [1].

Наиболее перспективны подводные месторождения газогидратов; по оценкам, приведенным в мировых литературных источниках, суммарные запасы газогидратов и подгидратного газа в Мировом океане в сотни раз превышают начальные суммарные газовые ресурсы суши –  $0,180 \cdot 10^3$  трлн м<sup>3</sup> (В.Н.Панов, А.А.Трофимчук, Н.В.Черский, В.П.Царев, В.А.Краюшкин и др.) [2]. При этом, промышленная разработка подводных газогидратных месторождений в настоящее время не производится из-за отсутствия надежных, экономически эффективных технологий, хотя научно-практические разработки по данному направлению выполняются во многих странах, в том числе в Украине.

Далее будут кратко охарактеризованы основные известные технологии подводной добычи газа из скоплений газовых гидратов и представлена новая, универсальная технологическая схема подводной разработки указанных скоплений, предложенная автором статьи.

Методы разработки газогидратных месторождений определяются физико-химическими свойствами газовых гидратов, термобарическими, геологическими условиями их образования и существования, другими факторами.

В работе [3] выделены три наиболее известные технологии добычи газа из скоплений газогидратов:

- искусственное снижение давления в пласте газовых гидратов до уровня их разложения посредством откачки воды из скважины; технология реализована на Мессояхском месторождении (Россия) в 1967 г., ее существенный недостаток – значительные энергозатраты на откачку воды;

- нагрев залежи до температуры разложения газовых гидратов; технология заключается в закачке пара или горячей воды в пласт, опробована канадскими исследователями у реки Маккензи при участии ученых США, Японии, Германии и Индии; установлен высокий уровень энергозатрат при добыче, сопоставимый с энергоемкостью высвободившегося газа;

- закачка ингибиторов, таких как метанол или гликоль, что приводит к разложению газогидратов и выделению газа; технология требует экспериментального подтверждения эффективности и экологической безопасности.

Перспективны технологии добычи природного газа, предполагающие механическое разрушение газогидратов, в частности способ, связанный с разрушением гидратосодержащей породы шнековым буром [4], при помощи гидроразрыва пласта [3], в том числе направленного [5].

Значительный интерес специалистов различных стран вызывает технология извлечения газа, заключающаяся в закачке в газогидратный пласт углекислого газа, что сопровождается вытеснением метана и образованием гидратов углекислого газа, более стабильных, чем гидраты метана [3; 6; 7]. Такая технология позволяет не только извлечь метан из газовых гидратов, но и решить актуальную проблему нашего времени – уменьшение объемов парниковых газов в атмосфере за счет депонирования углекислого газа под землей. Данная технология, как и некоторые другие методы воздействия на газогидраты, в частности электромагнитные и акустические, требуют более широкого экспериментального изучения.

В настоящее время на практике подводная добыча газа может осуществляться из уже действующих источников: газовых факелов. Способ непрерывного отбора газа из газовых факелов [2] предполагает использование газоотборного зонда со встроенным шлангом, который с борта специализированного судна лебедкой спускается на морское дно и устанавливается над газовым факелом при маневрировании судна. Собранный газ через гибкий рукав подается на судно, где установлен специальный блок, обеспечивающий влагоотделение, оценку интенсивности газовыделения и подачу газа в специальные емкости. Недостаток способа – невозможность активации источника с целью увеличения интенсивности газовыделения.

Наиболее эффективным и близким к предложенной технологии по совокупности признаков является уже упомянутый выше способ добычи газа из придонных скоплений газовых гидратов [4], включающий размещение над скоплением газовых гидратов куполообразного газосборника, механическое разрушение находящейся под газосборником породы, содержащей газы гидраты, с одновременным ее разрыхлением и взмучиванием, сбор под куполом газосборника продуктов разрушения породы и разложения газовых гидратов, сепарацию и отвод из газосборника выделенного газа. Механическое разрушение породы производится с использованием бура, в частности шнекового, с подачей под купол воды, которую берут из верхних, наиболее теплых слоев водной толщи, что способствует разложению газогидратов. Недостаток способа заключается в обеспечении разработки лишь придонных залежей и только под куполом газосборника, тогда как глубина их залегания под морским дном, как показано, может составлять сотни метров, а протяженность залежей – значительно превышать размеры купола.

С целью повышения эффективности работ по подводной разработке залежей газогидратов предложена новая, универсальная технологическая схема, определяющая возможность применения различных методов, в том числе комплексных, для добычи природного газа в указанных условиях [8].

В соответствии с предложенной схемой производится постановка специализированного судна 1 (рис. 1) на якоря 16 над залежью газогидратов 15.

В корпусе специализированного судна выполнена шахта, через которую производится спуск-подъем обсадных и буровых труб, а также различного оборудования. Над шахтой размещены ротор 7 и буровая вышка 4 с талевой системой 5, 6. Судно оборудовано также лебедкой 3 для выполнения спуско-подъемных операций, насосно-компрессорной станцией 2 для нагнетания на забой скважин воды и газовоздушных смесей, емкостями для сбора газа, добытого из гидратов, спутниковой системой навигации, системой динамического позиционирования и другими специальными техническими средствами.

Выполняется спуск с борта судна колонны труб 8, к нижней части которой переходником 9 с возможностью вращения присоединен газосборник 10, внутри которого закреплена направляющая труба 13 с перфорацией, а снаружи установлены двигатели 11 с гребными винтами 12. В данном случае целесообразно использование асинхронных электродвигателей типа ПЕДВ, предназначенных для подводных работ; высокая работоспособность этих двигателей в водной среде обеспечивается за счет применения специальных изолированных обмоток и резино-металлических подшипников. При работе в воде эти двигатели не герметизируются кожухом, их обмотки омываются водой, что обеспечивает их эффективное охлаждение и исключает перегрев; в водной среде надежно работают резино-металлические

подшипники двигателей. Спуск труб завершается после размещения газосборника непосредственно над поверхностью дна 14.

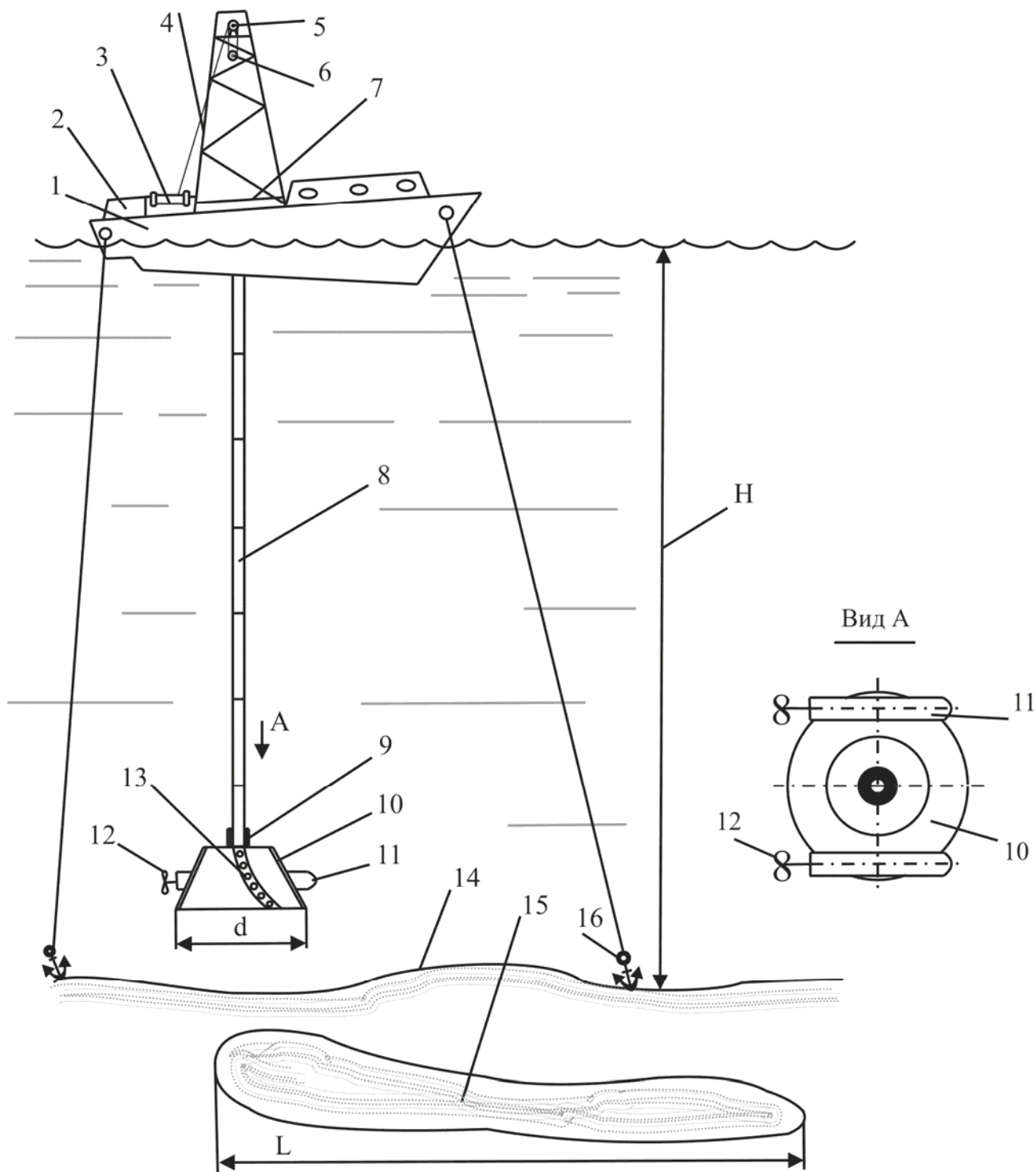


Рис.1. Схема специализированного судна с газосборником: 1 – специализированное судно; 2 – насосно-компрессорная станция; 3 – лебедка бурового станка; 4 – буровая вышка; 5 – крон-блок; 6 – талевый блок; 7 – корпус ротора бурового станка; 8 – колонна труб; 9 – переходник; 10 – корпус газосборника; 11 – двигатель; 12 – гребной винт; 13 – направляющая труба; 14 – поверхность дна; 15 – залежь газогидратов; 16 – якорь; Н – глубина водоема; L – протяженность залежи гидратов; d – диаметр основания газосборника

Включением одного из электродвигателей выполняется поворот газосборника на определенный угол с обеспечением заданного положения направляющей трубе.

При спуске колонны труб газосборник устанавливается на дне (рис. 2). Следует отметить, что при указанном положении газосборника за счет вертикальных перемещений судна на волнах возможно воздействие динамических нагрузок на газосборник, колонну труб и корпус судна; для уменьшения или исключения этого воздействия верхняя часть колонны труб соединена с корпусом судна с возможностью относительного осевого перемещения.

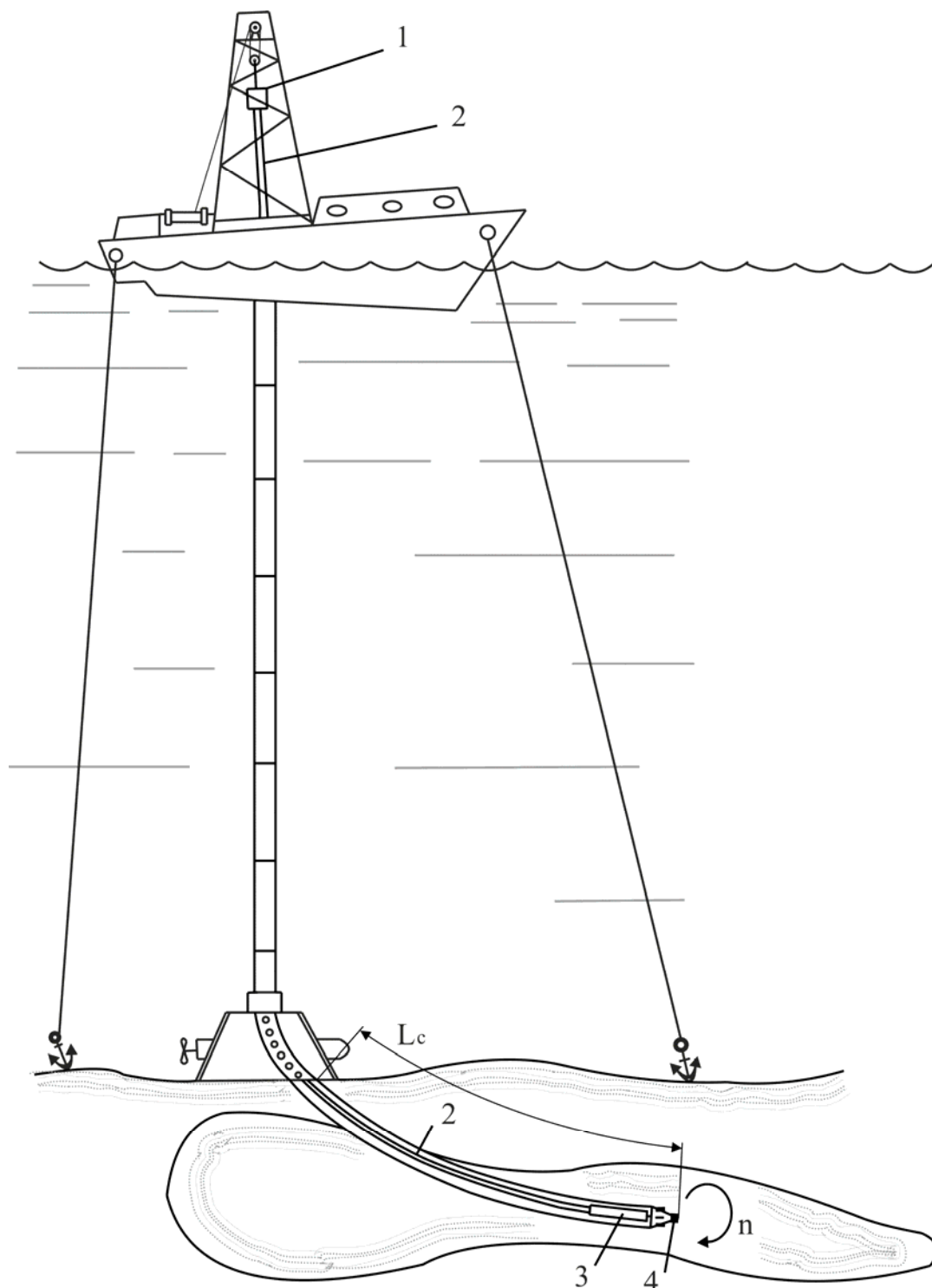


Рис.2. Схема добычи газа с использованием забойного двигателя: 1– элеватор; 2 – колонна буровых труб; 3 – винтовой забойный двигатель; 4– породоразрушающий инструмент;  $n$ –частота вращения бура;  $L_c$  – длина скважины

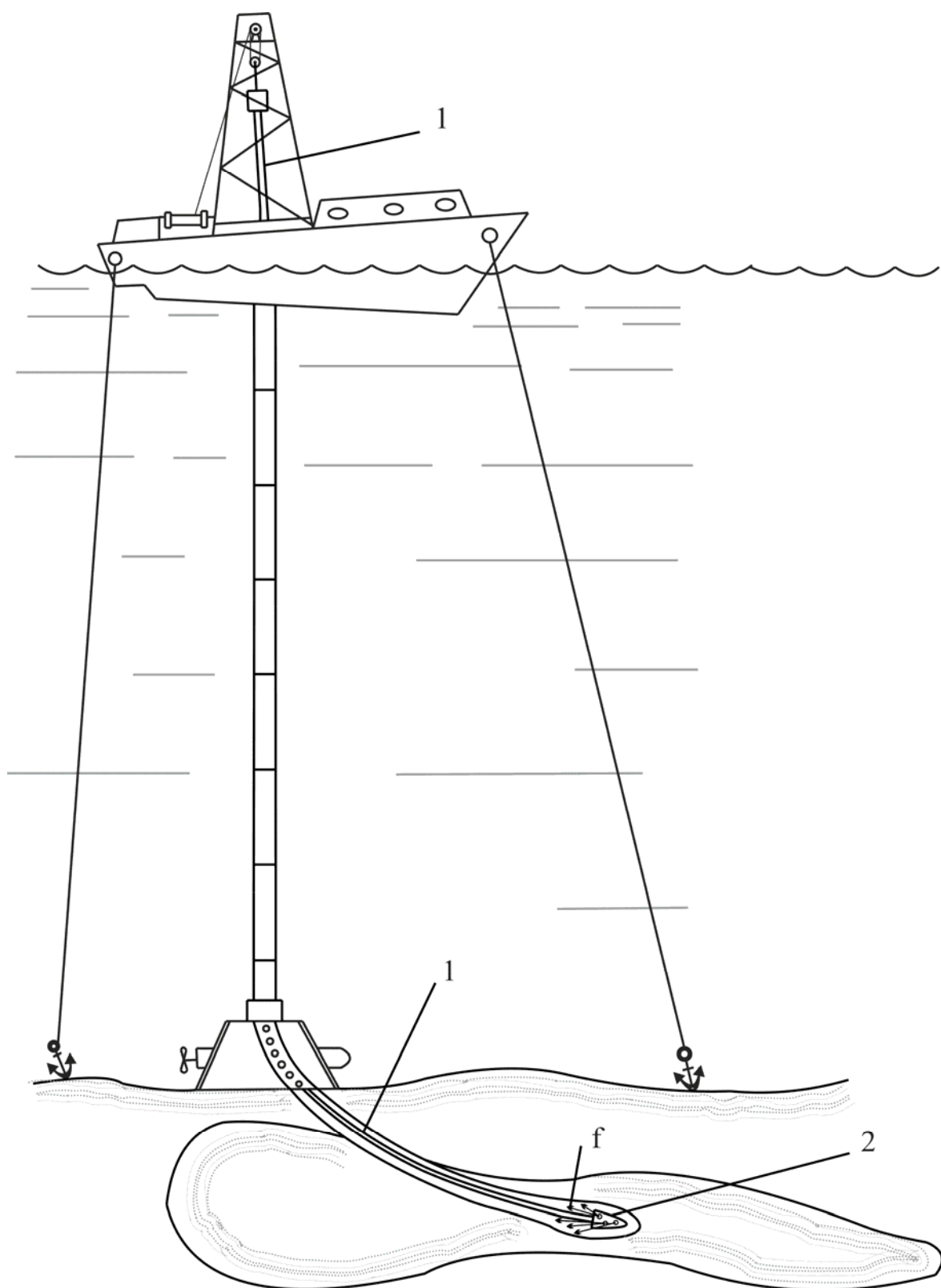
В дальнейшем к поверхности дна через колонну труб с использованием элеватора 1 на бурильных трубах 2 осуществляется спуск винтового забойного двигателя 3 с породоразрушающим инструментом 4. Через колонну бурильных труб насосом нагнетается вода, забор которой происходит вблизи судна из верхних, наиболее теплых слоев водной толщи, обеспечивается вращение забойного двигателя и бурение скважины по скоплению газогидратов. Характерно, что предложенный способ обеспечивает возможность бурения скважины в заданном направлении на длину  $L_c$ , которая превышает диаметр газосборника  $d$ , т.е. за его пределами. В процессе бурения за счет механического воздействия происходит разрушение гидратосодержащей породы и разложение гидратов, в результате выделяется газ, который по стволу скважины поступает в газосборник, по кольцевому зазору между колоннами труб поднимается на судно и собирается в специальные емкости. Кроме механического воздействия факторами разложения гидратов являются температурное воздействие, обусловленное применением теплой воды из верхних слоев водоема, и снижение пластового давления за счет движения выделяемого газа по трубам и образования при этом газовоздушной смеси, обладающей более низкой плотностью, чем вода.

При определенной длине скважины ее проходка завершается, производится подъем бурового инструмента и его размещение на судне. Длина скважины определяется геологическим строением участка проведения работ, интенсивностью газовыделения, физико-механическими свойствами гидратосодержащей породы, характеристикой применяемой техники, другими факторами. После извлечения бурового инструмента газ продолжает поступать из залежи гидратов по вертикальной колонне труб, продолжается его сбор в емкости. В данном случае разложение гидратов и выделение газа определяется одним фактором: снижением пластового давления, что, как было показано, связано с заполнением газовоздушной смесью вертикальной колонны труб.

Возможное снижение газовыделения определяет необходимость применения дополнительных мероприятий, а именно в скважину производится спуск бронированного гибкого шланга 1 (рис. 3) с гидродинамической насадкой 2; плунжерным насосом, установленным на судне, в шланг нагнетается морская вода с расходом  $0,5 \text{ дм}^3/\text{с}$  и более, которая при перепаде давления не менее  $13 \text{ МПа}$  с высокой скоростью вытекает из сопел насадки в направлении вектора  $f$ , разрушает породу и разлагает газогидраты с выделением газа. Выделенный газ по открытому стволу скважины и вертикальной колонне труб поступает в емкости на судне. В данном случае добыча газа сопровождается многократными возвратно-поступательными перемещениями шланга с насадкой вдоль оси скважины; движение шланга от устья скважины к забою определяется реактивными силами, обусловленными истечением воды из насадки, движение от забоя скважины к устью обеспечивается лебедкой, установленной на судне.

При снижении интенсивности газовыделения шланг с насадкой извлекается из скважины и колонны труб. Газосборник поднимается над поверхностью дна (рис.1), включением одного из двигателей 11 осуществляется его поворот на определенный угол, например  $90$  или  $180^\circ$ , соответственно поворачивается направляющая труба газосборника, после чего газосборник вновь устанавливается на дне (рис. 2); комплекс операций по добыче газа повторяется, однако скважина будет пробурена уже в измененном направлении, разрабатываться будет новый участок залежи гидратов. По мере истощения залежи вокруг газосборника последний вновь поднимается над поверхностью дна (рис. 1), судно снимают с якорей и перемещают вместе с колонной труб 8 и газосборником 10 на новый участок над залежью газогидратов; при этом извлечение труб 8 не производится, перемещение газосборника сопровождается включением двигателей 11. В дальнейшем осуществляется постановка судна на якоря, спуск газосборника на дно и добыча газа по указанной методике.

Добыча газа из пробуренной скважины возможна не только за счет гидроразмыва гидратосодержащей породы и гидратов, но и воздействия на них специальных реагентов или углекислого газа, подача которых в скважину обеспечивается по гибкому шлангу.



*Рис.3. Схема добычи газа с гидродинамическим размывом породы. 1 – бронированный шланг; 2 – гидродинамическая насадка;  $f$  – направление струи жидкости*

### **Выводы**

1. Перспективными альтернативными источниками природного газа являются залежи газовых гидратов в осадках Мирового океана и скопления подгидратного газа; суммарные ресурсы этих источников в сотни раз превышают начальные суммарные газовые ресурсы суши.

2. Известны многие способы воздействия на залежи газовых гидратов для их разложения и выделения газа: механические, физико-химические и др., однако в настоящее время все эти методы не нашли промышленного применения из-за технической сложности их реализации, отсутствия технологий, предполагающих воздействие на продуктивный пласт комплекса различных методов.

3. Предложена новая технологическая схема для подводной разработки газогидратных месторождений, которая обеспечивает оперативное перемещение оборудования для добычи газа по площади месторождения, его разработку по всей толще гидратосодержащих пород, применение комплекса методов разложения газовых гидратов.

#### Список литературы

1. Макогон Ю.Ф. Природные газовые гидраты: распространение, модели образования, ресурсы // Рос. хим. журн.–2003.–Т. XLVII, №3.–С. 70–79.

2. Шнюков Е.Ф., Зиборов А.П. Минеральные богатства Черного моря.–К.: ОМГОР НАН Украины, 2004.–280 с.

3. Бондаренко В.И., Ганушевич К.А., Сай Е.С. К вопросу скважинной подземной разработки газовых гидратов // Науковий вісник НГУ.–2011.–Т. 1.–С. 60–66.

4. Пат. РФ 2403379, МПК E21B 43/01. Способ добычи газа из придонных скоплений газовых гидратов/ Т.В. Матвеева, В.А. Соловьев, Л.Л. Мазуренко. – Заявл. 24.06.2009; Оpubл. 10.11.2010; Бюл. № 31.

5. Пат. 82371 Украина, МПК E21B 43/16; 43/25. Спосіб локального спрямованого гідророзриву пласта/ Б.М. Васюк. – Заявл. 07.03.2013; Оpubл. 25.07.2013, Бюл. № 14.

6. Пат. 2370642 РФ, МПК E21B 43/22. Добыча свободного газа конверсией газового гидрата/ Арне Грзуэ и др. – Заявл. 16.09.2005; Оpubл. 20.10.2009.

7. Пат. 65280 Украина, МПК E21B 43/00. Спосіб добування газу метану з морських газогідратних родовищ/ В.І. Бондаренко та ін. – Заявл. 05.07.2011; Оpubл. 25.11.2011, Бюл. № 22.

8. Пат. 100522 Украина, МПК E21B 43/01. Універсальний спосіб підводного видобутку газу зі скупчень газових гідратів в осадовій товщі/ Б.М. Васюк. – Заявл. 27.02.2015; Оpubл. 27.07.2015, Бюл. №14

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ МЕХАНИЗИРОВАННОЙ ДОБЫЧИ УГЛЯ НА ОСНОВЕ РАЦИОНАЛЬНОГО ВЫБОРА КОМПЛЕКТАЦИЙ ОЧИСТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

*А.А. Хорольский, В.Г. Гринев, ИФГП НАН Украины, Украина*

*В.Г. Сынков, Красноармейский индустриальный институт ГВУЗ «Донецкий национальный технический университет», Украина*

В данной работе проведен анализ фактических технологических цепочек «крепь-комбайн-конвейер» в очистных забоях Западного Донбасса. Предложен новый метод оценки эффективности взаимосвязи оборудования сопоставлением фактических связей с конкретными показателями их работы. Использование теории графов и классических алгоритмов оптимизации позволило разработать методологию рационального выбора оборудования.

Современный уровень угледобычи предъявляет ряд требований к инженерному обеспечению горных работ и обоснованности принятых инженерных решений. Наряду с газовым одним из главных факторов снижающим эффективность технологии угледобычи является проблема нерационального выбора комплектаций горно-шахтного оборудования. В