

УДК 69.001.5

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА ПО  
УТИЛИЗАЦИИ СЕРОВОДОРОДА ИЗ ГЛУБИН ЧЕРНОГО МОРЯ**

*ст. Кузьмин Г.И., к.т.н., доц. Ожищенко О. А.,  
д.т.н., проф. Савицкий Н. В.*

*ГВУЗ «Приднепровская государственная академия строительства и  
архитектуры», г. Днепропетровск*

**Постановка проблемы и её связь с научными и практическими задачами.** С увеличением потребности в энергии, общество все лучше понимает, что доступных на сегодняшний день источников не достаточно, чтобы обеспечить потребности в будущем. В связи с этим возникает острая необходимость поиска новых источников энергии. Поэтому в настоящее время, в большинстве ведущих стран мира, политика государства по развитию альтернативной энергетики имеет стратегическое значение.

Альтернативная энергетика — совокупность перспективных способов получения, передачи и использования энергии, которые распространены, не так широко, как традиционные, однако представляют интерес из-за выгоды их использования и, как правило, низком риске причинения вреда окружающей среде [3]. Одним из альтернативных является водородная энергетика.

Развитие водородной энергетики вызывает, в настоящее время, большой интерес в мире в связи с поисками альтернативных, экологически чистых, возобновляемых источников энергии. В нашей стране источником водорода может стать Черное море, с его огромными запасами сероводорода. Известны три главных источника появления  $H_2S$  в водоемах Земли. Во-первых, он образуется за счет восстановления присутствующих в воде сульфатов при разложении органических веществ. Во-вторых, этот газ возникает при гниении органических веществ. И, в-третьих, он может поступать из трещин земной коры и с гидротермальными водами.

Согласно последним исследованиям в поверхностном, 150-метровом слое Черного моря сосредоточена почти вся морская жизнь. Глубже – до глубин свыше 2-х километров, встречаются лишь несколько видов анаэробных бактерий. Сейчас сероводородсодержащая толща составляет 90% объёма моря, и она продолжает увеличиваться. По оценкам некоторых экспертов, на 1 метр ежегодно. В некоторых местах граница сероводородной зоны поднялась уже до глубины 25-50 метров, и во время сильных штормов на берегу ощущается характерный запах [1]. Подтверждением тому, что слой чистой воды уменьшается, служит и резкое сокращение черноморской фауны.

Приведенные выше данные позволяют расценивать Черное море как одно из крупнейших в мире месторождений сероводорода, которое может рассматриваться как в качестве источника альтернативной энергии, так и товарной серы. Если считать, что ежегодный прирост  $H_2S$  составляет не менее 4-9 млн. т., то общие его запасы могут быть оценены величиной в 50 млрд. т. Немаловажным является также то, что, в отличие от других горючих

полезных ископаемых, запасы сероводорода в Черном море возобновляемы. Таким образом, используя сероводород, мы не только решаем вопрос сырья для производства альтернативной водородной энергии, но также спасаем Черное море от наметившейся катастрофы: полное исчезновение флоры и фауны.

Но для добычи сероводорода с последующим его разложением на серу и водород необходимо разработать технологический комплекс, который позволил бы осуществлять данный процесс без вреда для окружающей среды.

**Целью данной работы** – исследование современных способов утилизации сероводорода с морских глубин с последующим разложением сероводорода на водород и элементарную серу, разработка концептуального технологического комплекса по утилизации сероводорода с глубин Черного моря с внедрением архитектурно-конструктивных и энергосберегающих технологий.

**Задачи работы:**

- разработка модели технологического комплекса по утилизации сероводорода с глубин Черного моря;
- сравнительный анализ и выбор наиболее рационального варианта конструкции резервуара, предназначенного для дегазации морской воды.

**Изложение основного материала. Сравнительный анализ концептуальных проектов технологических комплексов по утилизации сероводорода с глубинных вод.**

Концентрация сероводорода начинает увеличиваться с глубины 150 м, составляя 0,19 мг на 1 л морской воды, и достигает максимальных концентраций в 9,6 мг/л воды на глубине 2000 м (рис.1).

Сероводородная зона имеет сложную вертикальную структуру. На каждом "этаже" обитает свой вид бактерий, выполняющих определенную функцию. Разрушение этой зоны приведет к гибели экосистемы Черного моря и к экологической катастрофе.

Учитывая вышеизложенное, при проектировании комплекса необходимо опираться на два основных критерия:

- водозабор предпочтительно производить с глубины значительно большей 150 м, где концентрации  $H_2S$  максимальные;
- отработанную воду следует возвращать в море на глубину мертвой зоны (глубже 150 м), чтобы не нанести вред представителям морской фауны.

Опираясь на данные критерии, предлагается рассмотреть два варианта технологических комплексов для утилизации сероводорода из глубин Черного моря:

1. Добыча  $H_2S$  без подъема кубокилометров морской воды на поверхность (морская стационарная платформа) [6] (рис.2).
2. Добыча  $H_2S$  с подъемом кубокилометров морской воды на поверхность, с последующим сбросом отработанной морской воды в глубинные слои (наземный технологический комплекс) (рис.3).

Технология, рассмотренная в данной работе, основана на добыче сероводорода с организацией водозабора с глубины 1000 м при концентрации

H<sub>2</sub>S - 5,24 мг на 1 л морской воды. Обоснованием для глубины водозабора в 1000 м служат следующие факторы [2]:

- высокая концентрация H<sub>2</sub>S на 1л морской воды, при глубине 1000 м;
- отсутствие насосов большой производительности с напором выше 1300 м;
- отсутствие необходимости обслуживании техники на глубине, превышающей 1000 м;
- глубина предлагаемого водозабора определена также на основании возможно создаваемого напора насосной станции с учетом возврата отработанной морской воды в глубинный слой.

В обоих вариантах технологических комплексов по утилизации сероводорода применяется одинаковый метод разложения сероводорода в элементарную серу и водород с применением оборудования «Плазмотрон»[5]. Данная технология переработки H<sub>2</sub>S разработана в ИВЭПТ РНЦ «Курчатовский институт» [4].

Для дальнейшего проектирования комплекса по утилизации сероводорода из глубин Черного моря был принят вариант с расположением комплекса на поверхности земли с организацией водозабора с глубины 1000 м и поднятием кубокилометров на поверхность с последующим сливом отработанной воды в глубинные слои.

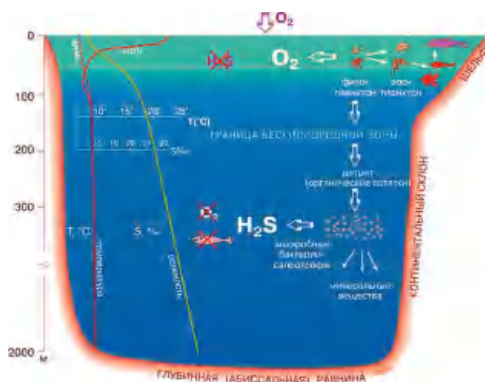


Рис. 1. Зоны Черного моря которые содержат O<sub>2</sub> и H<sub>2</sub>S

Для данного комплекса были запроектированы и сконструированы: трубопровод водозабора морской воды, пусковая насосная станция (станция водозабора морской воды), отстойник с резервуарами дегазации, насосная станция подачи отработанной воды на водонапорные башни, типовые водонапорные башни «Рожновского» в количестве 3 штук, а также система трубопроводов слива отработанной морской воды в глубинные слои.

Технологический цикл состоит из следующих этапов: забор и подача морской воды в резервуары дегазации посредством насосной станции водозабора и систем трубопроводов; сепарирование морской воды, при

помощи резервуаров дегазации; подача сероводорода на предприятие, для дальнейшего разложения на серу и водород; подача отработанной морской воды на водонапорные башни посредством насосной станции подачи морской воды; слив отработанной морской воды в глубокие слои при помощи водонапорных башен и системы водопроводов.

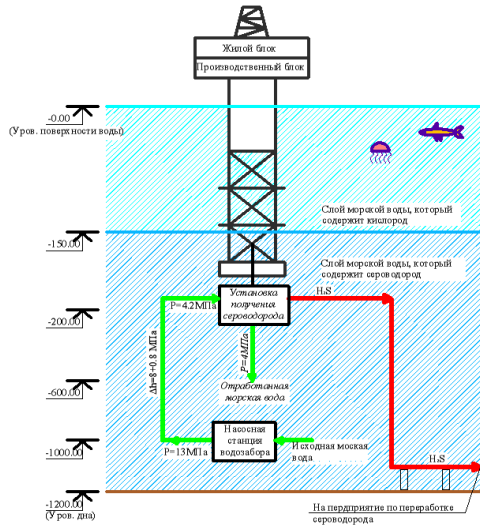


Рис. 2. Схематическое изображение комплекса по утилизации сероводорода из глубин Черного моря (морская стационарная платформа)



Рис. 3. Схематическое изображение комплекса по утилизации сероводорода из глубин Черного моря, который располагается на суше

Резервуар представляет собой герметично закрываемый или открытый, стационарный сосуд, наполняемый жидким или газообразным веществом.

Наиболее распространены металлические и железобетонные резервуары, в меньшей степени - каменные и деревянные.

По типу расположения резервуары принято делить на надземные и подземные, по конструкции на вертикальные, горизонтальные и шаровые. Также резервуары могут быть двустенными и многокамерными, т.е. состоящие из двух и более камер. Также известны флекситанки (внутри контейнерные, внутри вагонные или внутританкерные, каркасные резервуары (выполнены на основе каркаса) и нефтетанки (мягкие или гибкие резервуары).

По условиям эксплуатации резервуары можно разделить на стационарные резервуары (как правило стальные), переносные или перемещаемые (сборно-разборные, каркасные, нефтетанки), плавающие (для хранения и перемещения на воде) и транспортные (для перемещения на транспорте).

В настоящее время в промышленности большое распространение получили **сферические резервуары**. Это связано в первую очередь с тем, что сферическая конструкция обладает уникальной способностью сохранять устойчивое состояние даже при определенных перекосах опоры, на которой она расположена. Тем самым резко снижаются требования к фундаментам для установки такого резервуара, а в некоторых случаях можно обойтись вообще без фундамента. Другим преимуществом сферической конструкции является минимальная площадь поверхности по отношению к объему (благодаря этому сферические резервуары наиболее экономичны с точки зрения расхода материала), что создает дополнительные преимущества в случае, когда нужно поддерживать внутри резервуара определенную температуру за счет снижения потерь теплопередачи из-за уменьшения площади поверхности, также в нашем случае при расположении резервуаров массивом количеством (n-единиц) резервуары будут занимать меньшую площадь застройки. Большим недостатком сферическим резервуаров является сложность их возведения.

Резервуары **цилиндрической формы** занимают второе место по расходам материалов, после сферических, но выигрывают в сферических в простоте возведения.

#### **Стеклофибробетон, как альтернативный материал для возведения резервуаров дегазации**

Стеклофибробетон - разновидность цементного бетона, в котором достаточно равномерно распределены фиброволокна в качестве армирующего материала.

Под собирательным названием «Стеклофибра» подразумеваются волокна из стекла, полимеров (главным образом полипропилена). Фибра добавляется в бетон на стадии производства бетонной смеси, выполняя функцию армирующего компонента, и способствует улучшению качества бетона, повышая его трещиностойкость, деформативность, водонепроницаемость и морозостойкость. Дополнительным преимуществом стеклофибробетон является его сниженный по сравнению с традиционно армованным железобетоном вес, что облегчает монтаж конструкций из фибробетона.

Стеклофибробетон применяют в сборных и монолитных конструкциях, работающих на знакопеременные нагрузки. Важнейшая характеристика фибробетона - прочность на растяжение - является не только прямой характеристикой материала, но и косвенной, и отражает его сопротивление другим воздействиям. Еще одна важная характеристика стеклофибробетон это его долговечность. По показателю работы разрушения фибробетон может в 15-20 раз превосходить бетон [7].

Стеклофибробетонные конструкции в зависимости от их армирования подразделяются на конструкции:

- с фибровым армированием - при их армировании только фибрами из стекловолокна, равномерно распределенными по объему бетона всего элемента или его части;
- с комбинированным армированием - при их армировании фибрами из стекловолокна, равномерно распределенными по объему (сечению) элемента, в сочетании со стержневой, проволочной стальной арматурой.

Стеклофибробетонные конструкции с комбинированным армированием применяются аналогично обычным или предварительно напряженным железобетонным конструкциям в зданиях и сооружениях, для которых существенное значение имеют снижение собственного веса, уменьшение раскрытия трещин, обеспечение водонепроницаемости, долговечность, устойчивость при воздействии ударных нагрузок.

#### **Сравнительная характеристика резервуаров дегазации**

Поскольку проектом заранее были предусмотрены сферические резервуары дегазации диаметром 4м, то для сравнения были рассмотрены резервуары сферической формы в стальном исполнении и стеклофибробетонном. Также был рассмотрен резервуар цилиндрической формы в стеклофибробетонном исполнении.

При расчете и проектировании резервуаров были получены следующие результаты:

- стеклофибробетонный резервуар сферической формы с комбинированным армированием: внутренний диаметр 4 м; внутренний объем 33,5 м<sup>3</sup>; толщина стенки 50 мм; расход арматуры на один резервуар 135,21 кг; расход фибры 226,1 кг; расход бетона 2,512 кг; стоимость за единицу готовой продукции – 23296 грн.
- стеклофибробетонный резервуар цилиндрической формы с комбинированным армированием: внутренний диаметр 4 м; внутренний объем 33,5 м<sup>3</sup>; внутренняя высота резервуара 2,7 м; толщина стенки 100 мм; толщина плиты покрытия 90 мм; толщина днища 80 мм; толщина кольцевого фундамента 100 мм; расход арматуры на один резервуар 583,592 кг; расход фибры 551,4 кг; расход бетона 6,127 кг; за единицу готовой продукции – 33800 грн.
- сварной стальной резервуар сферической формы: внутренний диаметр 4 м; внутренний объем 33,5 м<sup>3</sup>; толщина стенки 3 мм; расход стали на один резервуар 1192,9 кг; за единицу готовой продукции – 29559 грн.

При расчете и проектировании резервуаров во внимание не было принято сопряжение сферических резервуаров с конструкцией опоры.

Опираясь на технико-экономические показатели каждого из рассмотренных вариантов резервуаров дегазации, наиболее рациональным вариантом оказался стеклофибробетонный резервуар сферической формы с комбинированным армированием.

#### **Выводы**

В ходе данной работы был разработан концептуальный технологический комплекс по утилизации сероводорода с глубин черного моря. Был проведен сравнительный анализ полученных результатов для металлического и стеклофибробетонного резервуаров, работающих в одинаковых условиях. На основе этого анализа был выбран наиболее целесообразный вариант конструктивного решения резервуара дегазации среди рассмотренных. Было доказано, что стеклофибробетонная конструкция будет более целесообразным вариантом как с экономической так и с технической точки зрения. При небольшом проценте армирования резервуар из стеклофибробетона ничем не будет уступать железобетонному по прочностным характеристикам, а по затратам арматуры будет выигрывать у железобетона.

#### **СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Беляев В.И., Совга Е.Е. «Сероводород в Черном море не взорвется». Вестник АН СССР №10 1991г. стр. 47-57
2. С. Ф. Пічугін, Г. М. Трусів Проектування об'єктів нафтогазового комплексу. – П.: ПНТУ імені Юрія Кондратюка – 194с.
3. [http://ru.wikipedia.org/wiki/Альтернативная\\_энергетика](http://ru.wikipedia.org/wiki/Альтернативная_энергетика).
4. Богаудинов А.З., Еременко Ю.И., Русанов В.Д., и др. "Ресурсные испытания плазмохимического блока Оренбургского опытного стенда по переработке H<sub>2</sub>S- содержащих газов». ВАНТ 2, 1991г.с.5-7.
5. Амирханов Д.М., Котенко А.А., Русанов В.Д., М.Н.Тульский, М.М.Челяк. Перспективные подходы к созданию мембран для выделения H<sub>2</sub>S в процессе плазмохимической переработки природного газа. Препринт ИАЭ-6169/13.
6. Доусон Т. Проектирование сооружений морского шельфа: Судостроение, 1986. - 143 с.
7. ВСН 56-97 :1997«Проектирование и основные положения технологий производства фибробетонных конструкций».