
УДК 621.311.16

КОММЕРЦИАЛИЗАЦИЯ ЭТАПОВ СТРОИТЕЛЬСТВА И ЭКСПЛУАТАЦИИ КРУПНОМАСШТАБНЫХ ПОДЗЕМНЫХ АККУМУЛЯТОРОВ ГАЗООБРАЗНЫХ И ЖИДКИХ ЭНЕРГОНОСИТЕЛЕЙ

© 2023 г. В. А. Казарян*

*Общество с ограниченной ответственностью “Газпром геотехнологии”
(ООО “Газпром геотехнологии”), Москва, Россия*

**e-mail: v.kazaryan@gazpromgeotech.ru*

Поступила в редакцию 14.03.2023 г.

После доработки 18.04.2023 г.

Принята к публикации 21.04.2023 г.

Рассматриваются актуальные вопросы, связанные со снижением капитальных затрат и эксплуатационных расходов крупномасштабных подземных аккумуляторов газообразных и жидких энергоносителей путем коммерциализации этапов их строительства и эксплуатации. Показано, что при строительстве подземных аккумуляторов образованный строительный рассол, являющийся отходом производства, может являться сырьем для производства продуктов, имеющих высокую потребительскую ценность для экономики страны. Представлены технологические схемы производства полезных для экономики продуктов в кооперации с процессом сооружения подземных резервуаров в отложениях каменной соли и эксплуатации подземного аккумулятора природного газа. Все технологические схемы разработаны на основе высокоэффективных производств по выпуску поваренной и технической соли, кальцинированной соды, хлора, стекла, водорода (метано-водородной смеси), аммиака, карбамида. Показано, что при реализации разработанных схем кооперации технологических комплексов по производству продуктов, необходимых и полезных для экономики страны, существенно снижаются суммарные капитальные затраты, эксплуатационные расходы и, следовательно, себестоимость выпускаемого продукта.

Ключевые слова: подземные аккумуляторы, коммерциализация, природный газ, хлор, водород, кальцинированная сода, карбамид, кооперация производства

DOI: 10.31857/S0002331023040052, **EDN:** YKVHUK

В настоящее время в сложившейся структуре промышленности и сельского хозяйства топливно-энергетический комплекс остается ключевым звеном экономической системы нашего государства. Поэтому обеспечение устойчивого и надежного функционирования топливно-энергетического комплекса страны является необходимым условием энергетической безопасности как отдельных регионов, так и государства в целом.

В топливно-энергетическом комплексе России суммарная доля природного газа и нефти, а также продуктов их переработки в производстве первичных энергоресурсов составляет около 80%. При этом неравномерный характер потребления газообразных и жидких энергоносителей в условиях Российской Федерации объективно обусловлен географической разобщенностью районов добычи, переработки и использования энергоносителей. Надежность поставок энергоносителей при такой неравномерности обеспечивается за счет использования крупномасштабных подземных аккумуляторов газообразных и жидких энергоносителей. В наибольшей степени этим условиям отве-

чают подземные крупномасштабные аккумуляторы, создаваемые в пористых, проницаемых горных породах (для природного газа) и в отложениях каменной соли (для газообразных и жидких углеводородов), которые обеспечивают лучшую защиту окружающей среды от вредного воздействия газонефтепродуктов, имеют высокую пожаровзрывобезопасность и защищенность от воздействия всех видов современного оружия.

В данной работе рассматривается коммерциализация этапов строительства и эксплуатации подземных крупномасштабных аккумуляторов газообразных и жидких энергоносителей, сооружаемых в отложениях каменной соли.

Подземные крупномасштабные аккумуляторы для хранения газообразных и жидких энергоносителей являются дорогостоящими энергетическими объектами, требующими уменьшения капитальных и эксплуатационных затрат при их строительстве и эксплуатации. Естественно, для этого первоначально необходимо постоянно разрабатывать новые инновационные технологии и усовершенствовать существующие по этапам строительства и эксплуатации подземных аккумуляторов. Учитывая горно-геологические условия площадки строительства подземного аккумулятора, разработка новых инновационных технологий или усовершенствование существующих имеют свой предел.

Вторым направлением повышения экономических показателей этапов строительства и эксплуатации подземных крупномасштабных аккумуляторов газов и жидкостей является использование их технологических особенностей для коммерциализации с получением продуктов, необходимых для экономики страны и с высокой добавленной стоимостью.

Коммерциализации подлежит этап строительства подземного аккумулятора, создаваемого в отложениях каменной соли. В данном случае коммерциализации подлежит технологический процесс утилизации строительного рассола. Коммерциализацию можно осуществлять путем переработки рассола с организацией производств: поваренной и технической соли, кальцинированной соды, хлора, стекла.

На этапе эксплуатации коммерциализации подлежит природный газ, находящийся в подземных аккумуляторах. В результате реализации процесса коммерциализации этапа эксплуатации подземного аккумулятора природного газа можно организовать производство с получением: водорода (метано-водородная смесь), аммиака, карбамида (мочевина).

Рассол (строительный рассол) – раствор хлорида натрия производится при строительстве подземных выработок-емкостей подземных аккумуляторов газообразных и жидких энергоносителей. Производимый рассол при строительстве подземных аккумуляторов газообразных и жидких энергоносителей является отходом производства (этапа строительства), который необходимо удалять со строительной площадки и утилизировать.

Удаление и утилизация рассола, полученного в ходе строительства выработки-емкости, возможны несколькими способами: передача на рассолопотребляющие предприятия, сброс в поверхностные акватории и закачка в глубокие водоносные горизонты. В числе перечисленных способов наиболее распространенным в России является захоронение в водоносные пласты. Этот вариант технологической схемы, как наиболее часто встречающийся, можно считать основным или типовым при строительстве подземных аккумуляторов газообразных и жидких энергоносителей, представлен на рис. 1. Для сооружения подземных выработок-емкостей (13), путем растворения каменной соли, источником пресной воды являются подземные водоносные горизонты (1) или поверхностные водоемы (2). При помощи насосной станции (3) пресная вода подается в подземные выработки-емкости. Образованный строительный рассол по трубопроводу (8) направляется в узел подготовки рассола к транспорту (9). Далее строительный рассол при помощи насосной станции (10) закачивается через скважину (12) в глубокие водоносные горизонты или передается на солепроизводимое предприятие (11). В процессе строительства при помощи системы подачи нерастворителя (4, 5) строго поддерживается уровень нерастворителя в выработке-емкости.

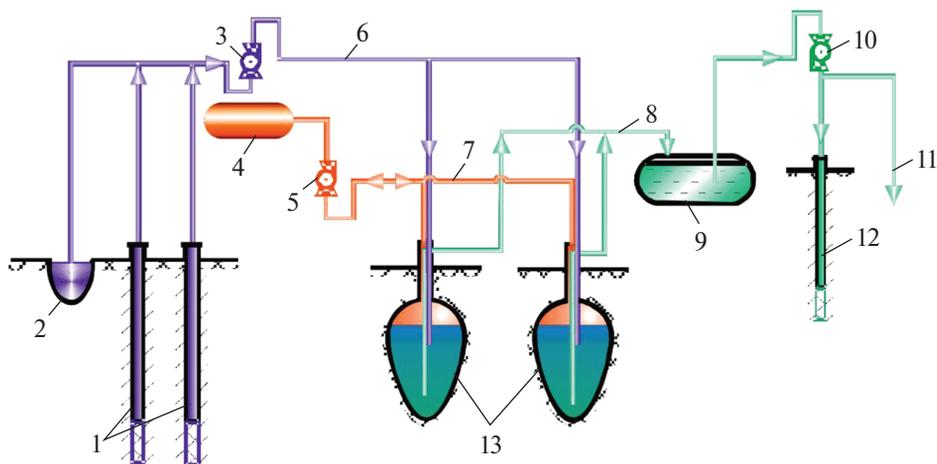


Рис. 1. Принципиальная технологическая схема строительства выработки-емкости подземного аккумулятора в каменной соли: 1, 2 – варианты водозабора из подземных источников или поверхностных водоемов; 3 – насосная станция для перекачки воды; 4 – резервуар для хранения нерастворителя; 5 – насосная станция для перекачки нерастворителя; 6 – трубопровод технической воды; 7 – трубопровод нерастворителя; 8 – рассолопровод; 9 – узел подготовки рассола к транспорту; 10 – насосная станция для перекачки рассола; 11, 12 – варианты удаления рассола: передача на солепроизводящее предприятие или сброс в глубокие водоносные горизонты; 13 – подземные резервуары.

Для применения способа удаления строительного рассола путем его закачки в подземные водоносные горизонты необходимо соорудить полигон подземного захоронения. Полигон подземного захоронения строительного рассола – сложный комплекс, включающий в себя участок недр, подземные и поверхностные сооружения.

Затраты на строительство и эксплуатацию полигона по захоронению строительного рассола составляют 25–30% от суммарных затрат по строительству подземного аккумулятора.

Самый простой способ удаления рассола со строительной площадки – это сброс в поверхностные акватории (соляные озера, реки, моря). Этот метод не требует больших затрат ни в стадии строительства и ни в стадии эксплуатации сопутствующих объектов. Однако данный способ удаления строительного рассола требует очень внимательного наблюдения за загрязнением окружающей среды.

Экономически целесообразным способом удаления рассола является передача его на рассолопотребляющие предприятия.

Подготовка рассола к переработке (очистка рассола). Выбор метода очистки строительного рассола зависит от способа его удаления со строительной площадки, а также способа его использования (переработки).

Очистка рассола для удаления со строительной площадки и очистка рассола для переработки отличаются друг от друга. В частности, удаление рассола со строительной площадки путем закачки его в глубокие водоносные горизонты или при сбросе в поверхностные акватории не требуют проведения химической очистки. Достаточно очистить рассол из нерастворимых включений путем отстаивания.

В данном случае предусматривается очистку рассола произвести в две стадии. Первая стадия очистки рассола производится в подземных выработках-емкостях в процессе их строительства. Количество нерастворимых включений в каменной соли, в которых планируются строительства подземных резервуаров, может достигнуть 25%. В процессе строительства выработки нерастворимые включения за счет гравитации вы-

падают вниз, накапливаясь на дне выработки. Скорость процесса выпадения (отделения) нерастворимых частиц зависит от режима гидродинамического течения рассола в выработке, от ее объема, геологического строения и состава вмещающих подземную выработку горных пород.

Вторая стадия очистки рассола производится на территории технологического комплекса по переработке рассола на предприятии очистки рассола. На этой стадии кроме чистого гравитационного отстаивания производится также принудительная очистка рассола на специально созданном для этих целей оборудовании. На этой же стадии производится химическая очистка рассола.

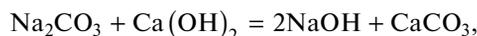
Строительный рассол из скважины по трубопроводу подается в дегазатор (отделитель), где происходит дегазация газообразного нерастворителя из рассола. Очищенный от нерастворителя рассол подается в песколовку, где происходит очистка рассола от твердых частиц и нефтепродуктов концентрацией до 10 г/л.

Следующим элементом очистного сооружения, куда направляется рассол после песколовки по трубопроводам, является отстойник. Отстойник предназначен для очистки строительного рассола от грубодисперсных примесей путем их оседания. Удаление осадка из отстойника производится по мере накопления необходимого количества осадков в иловой части отстойника.

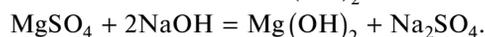
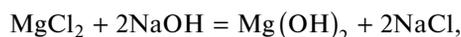
Рассол, очищенный от грубодисперсных примесей, из отстойника направляется в фильтр тонкой очистки и после этого в резервуар-накопитель.

Полученный рассол, кроме основного вещества хлорида натрия (NaCl), содержит примеси кальциевых и магниевых солей. Поэтому перед поступлением в производство (переработку) рассол подвергается очистке от этих солей. Для очистки рассола от кальциевых и магниевых солей готовится предварительно каустифицированный реактив путем смешения содового раствора и известкового молока.

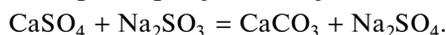
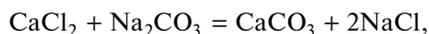
При этом протекает следующая реакция:



образующийся едкий натр вступает в реакцию с солями магния:



Сода, содержащаяся в реактиве, осаждает кальциевые соли по реакциям:



Если в комплексе переработки рассола существует производство хлора, тогда нет необходимости подготовки каустифицированного реактива. Его можно взять из завода по производству хлора, где при электролизе рассола получаем кроме хлора водород и каустическую соду (NaOH).

В отстойнике происходит очистка рассола от выпавших осадков солей кальция и магния (в виде труднорастворимых соединений гидроксида магния $\text{Mg}(\text{OH})_2$ и карбоната кальция CaCO_3) в нижней части отстойника. По мере насыщения осадка, называемого шламом, он уплотняется и периодически выводится из отстойника путем откачки центробежным насосом в наружный сборник шламовых вод.

Производство поваренной и технической соли. Исходным сырьем для производства поваренной и технической соли является строительный рассол, образованный в процессе подземного растворения каменной соли при сооружении резервуаров подземного аккумулятора газообразных или жидких энергоносителей. При строительстве подземных резервуаров в отложениях каменной соли, образованный рассол является отходом производства, требующий удаления со строительной площадки. Этот же рассол при производстве поваренной и технической соли является сырьем.

Строительный рассол из подземного резервуара по трубопроводу передается на завод по подготовке (очистке) рассола к переработке, где происходит очистка рассола от механических – нерастворимых включений и удаление ионов кальция и магния. Далее очищенный рассол направляется в резервуар-накопитель оперативного рассола. Резервуар-накопитель оперативного рассола размещается на территории завода очистки рассола. Из резервуара-накопителя очищенный рассол по рассолопроводу передается на солезавод, где происходит выпарка рассола с получением сухой поваренной или технической соли и пресной воды. Пресная вода по трубопроводу подается в резервуар-накопитель пресной воды, который находится на территории строящегося подземного аккумулятора. Далее эта вода используется в процессе подземного растворения каменной соли, таким образом удешевляя стоимость строительства подземного резервуара.

Схема кооперации производства поваренной и технической соли в составе технологического комплекса по подготовке рассола к переработке при строительстве подземных аккумуляторов газообразных и жидких энергоносителей в отложениях каменной соли представлена на рис. 2.

Предлагаемая технология использования строительного рассола в качестве сырья для производства поваренной и технической соли дает существенное технологическое, экономическое и экологическое преимущество по сравнению с существующими способами производства поваренной и технической соли, когда специально создается рассолопромысел для добычи рассола.

Перечислим основные преимущества при использовании предлагаемой технологии производства поваренной и технической соли:

1. Исключается необходимость строительства рассолопромысла.
2. При строительстве подземного аккумулятора исключается необходимость сооружения полигона подземного захоронения строительного рассола.
3. Появляется возможность использования пресной воды, образованной в выпарных установках, для процесса растворения каменной соли.
4. Существенно упрощается проведение экологического мониторинга производства поваренной и технической соли (отсутствуют на территории солезавода производство очистки рассола и хранилище рассола).
5. Возможность подачи природного газа на солезавод из двух источников (магистральный газопровод, подземный аккумулятор газа) существенно повышает надежность снабжения производства топливом.

Использование природного газа в качестве топлива, возврат пресной воды в процесс растворения каменной соли, снабжение солезавода очищенным рассолом позволяют значительно снизить (до 30–35%) себестоимость производимой поваренной и технической соли.

Производство кальцинированной соды. Кальцинированная сода (Na_2CO_3) применяется главным образом в производстве стекла и химикатов. Около половины производимой кальцинированной соды идет на изготовление стекла, около 25% – на производство химикатов, 13% – мыла и моющих средств, 11% – употребляется на такие цели как изготовление целлюлозы и бумаги, рафинирование металлов и нефти, дубление кожи и очистка воды, а остальное поступает в продажу.

Современный способ производства кальцинированной соды основан на методе насыщения рассола аммиаком и углекислым газом, с дальнейшей переработкой получающегося при этом осадка бикарбоната на кальцинированную соду посредством простого прокалывания (способ Сольве).

Процесс получения кальцинированной соды можно изобразить следующими образом. В насыщенный рассол пропускаются газообразные аммиак и диоксид углерода.



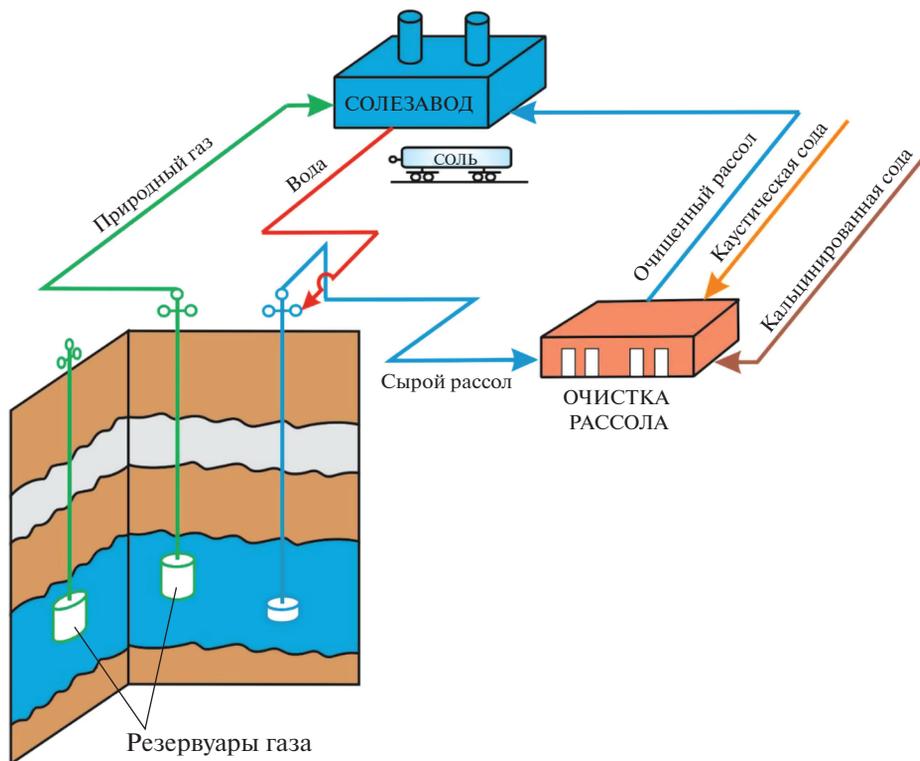
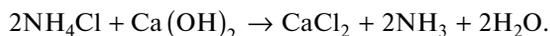


Рис. 2. Схема кооперации производства поваренной и технической соли в составе технологического комплекса по подготовке рассола к переработке при сооружении подземных аккумуляторов газообразных и жидких энергоносителей в отложениях каменной соли.

Далее гидрокарбонат натрия (NaHCO_3) кальцинируется (обезвоживается) при температуре $140\text{--}160^\circ\text{C}$, в результате получается карбонат натрия (Na_2CO_3) или кальцинированная сода.



Диоксид углерода (CO_2) возвращается в производственный цикл. Хлорид аммония (NH_4Cl) обрабатывается гидроксидом кальция ($\text{Ca}(\text{OH})_2$).



Аммиак (NH_3) также возвращается в производственный цикл. Отходом производства является хлорид кальция (CaCl_2).

Рентабельность производства кальцинированной соды (Na_2CO_3) определяется главным образом стоимостью основных видов сырья и топлива, в частности, соли, известняка (или мела), аммиачной воды, источника тепла (уголь, нефтепродукт или природный газ). В виду значительных расходных величин указанных продуктов, содовые заводы строятся обычно вблизи источников этих продуктов, чтобы стоимость транспорта сырьевых материалов не ложилась тяжелым накладным расходом на стоимость их добычи.

В аммиачном способе производства кальцинированной соды применяют не твердую (каменную) соль, а рассол, что является большим преимуществом, так как добыча

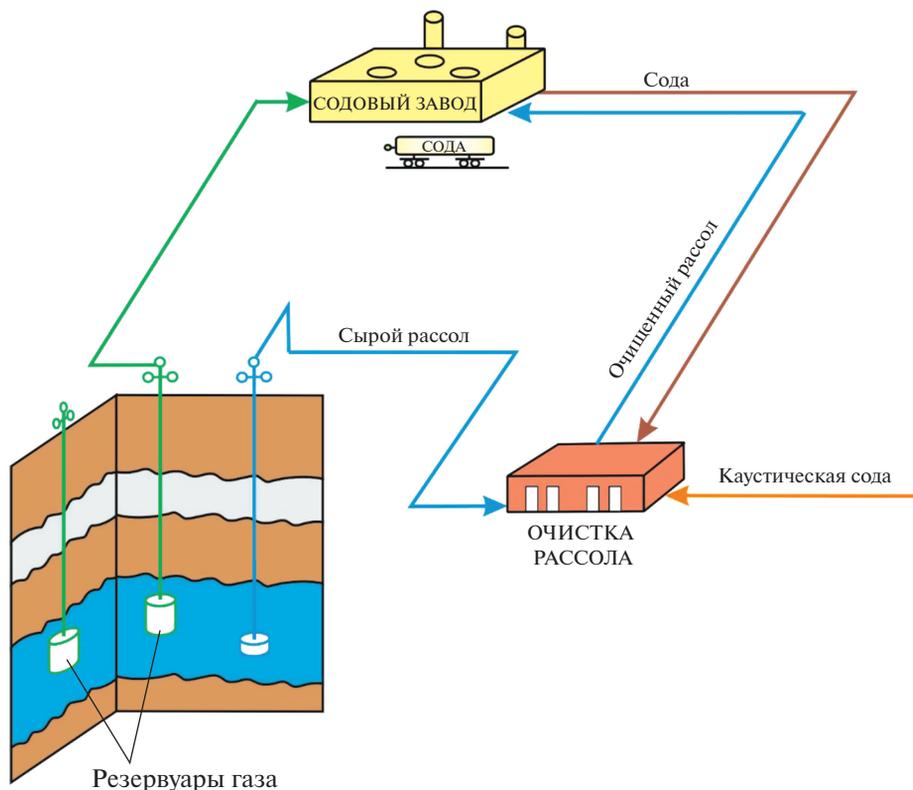


Рис. 3. Схема кооперации производства кальцинированной соды в составе технологического комплекса по подготовке рассола к переработке при сооружении подземных аккумуляторов газообразных и жидких энергоносителей в отложениях каменной соли.

рассола путем подземного растворения каменной соли водой значительно дешевле добычи твердой соли обычным шахтным способом.

В предлагаемой технологии рассол является отходом производства при сооружении подземных резервуаров для аккумуляции газообразных или жидких энергоносителей. Для производства кальцинированной соды рассол является основным сырьевым продуктом. Расположение данного производства вблизи строящегося подземного аккумулятора и завода по очистке рассола позволят минимизировать транспортные расходы рассола.

Схема кооперации производства кальцинированной соды в составе технологического комплекса по подготовке рассола к переработке при строительстве подземных аккумуляторов газообразных и жидких энергоносителей в отложениях каменной соли представлена на рис. 3.

Рассол при подземном растворении каменной соли имеет температуру порядка 15°C . При этой температуре насыщенный раствор содержит около 317 г/л NaCl . Однако получить насыщенный рассол довольно трудно. Необходимо иметь большую поверхность растворения, которая достигается тогда, когда объем подземной выработки становится больше $40\text{--}50\text{ тыс. м}^3$. В этом случае можно получить рассол с концентрацией $310\text{--}312\text{ г/л}$ при расходе воды $50\text{ м}^3/\text{ч}$.

В соответствии с разработанной технологической схемой очищенный рассол с концентрацией $310\text{--}312\text{ г/л}$ по трубопроводу с завода подготовки рассола подается на содо-

вый завод. В предлагаемом способе производства соды очистка рассола, включая химическую, производится централизованно на заводе подготовки рассола к переработке. Там же имеется централизованный склад по хранению оперативного запаса рассола.

Вторым основным сырьевым материалом для производства соды служит известняк или мел. Более предпочтительным сырьем является известняк. Недостатком мела является его пористая порода, он легко впитывает влагу, нарушающую нормальный ход обжига его в известковых печах. Добыча известняка и мела ведется в карьерах в большинстве случаев методом открытых разработок.

Вспомогательными материалами при производстве кальцинированной соды являются: аммиак, топливо, вода и водяной пар.

В производстве соды аммиак после регенерации возвращается обратно в производственный цикл. Неизбежные при этом потери компенсируются введением аммиачной воды.

В производстве кальцинированной соды топливо применяют в известковых печах при получении извести и в содовых печах при кальцинации бикарбоната натрия. В качестве топлива в предлагаемой технологии комплексной переработки рассола при сооружении подземных аккумуляторов газообразных и жидких продуктов в отложениях каменной соли используется природный газ. Природный газ подается по трубопроводам из подземного аккумулятора газа. Наличие подземного аккумулятора газа повышает эксплуатационную надежность содового завода.

Кооперация производства кальцинированной соды со строительством подземных аккумуляторов при централизованной очистке строительного рассола позволит снизить себестоимость выпускаемой продукции до 25–30%.

Производство стекла. Стекло получается из многокомпонентной сырьевой смеси, в состав которой входят стеклообразующие компоненты и добавки, регулирующие его свойства.

К основным стеклообразующим компонентам относятся: кварцевый песок, окись натрия, доломит, известняк (мел), окись калия (поташ).

Окись натрия Na_2O – одна из основных частей стекла. Она ускоряет стеклообразование и понижает температуру варки стекла, повышает коэффициент термического расширения. Окись натрия вводят в стекломассу в виде кальцинированной соды. Кальцинированная сода (Na_2CO_3) представляет собой белый порошок, который при нагревании разлагается на Na_2O и CO_2 , причем Na_2O (примерно 58.5%) переходит в стекломассу, а CO_2 (оставшиеся 41.5%) улетучивается в атмосферу печи.

Технология производства стекломассы предполагает использование материалов примерно в следующем пропорциональном соотношении: 68–70% – кварцевый песок, 28–30% – кальцинированная сода и известняк.

При данной технологической схеме производства стекла такое количество кальцинированной соды подается по линии кооперации из содового завода, расположенного территориально на одной площадке (на единой площадке технологического комплекса по переработке рассола). Транспортировка кальцинированной соды с содового завода до стекольного осуществляется при помощи ленточного транспортера. Таким образом, транспортные расходы доведены до минимума.

Схема кооперации стекольного производства в составе технологического комплекса по производству кальцинированной соды при строительстве подземных аккумуляторов газообразных и жидких энергоносителей в отложениях каменной соли представлена на рис. 4.

Также в данной технологической схеме предлагается улавливать из дымовых газов печи CO_2 (существуют много известных способов) и направлять на производство кальцинированной соды для карбонизации аммонизированного рассола.

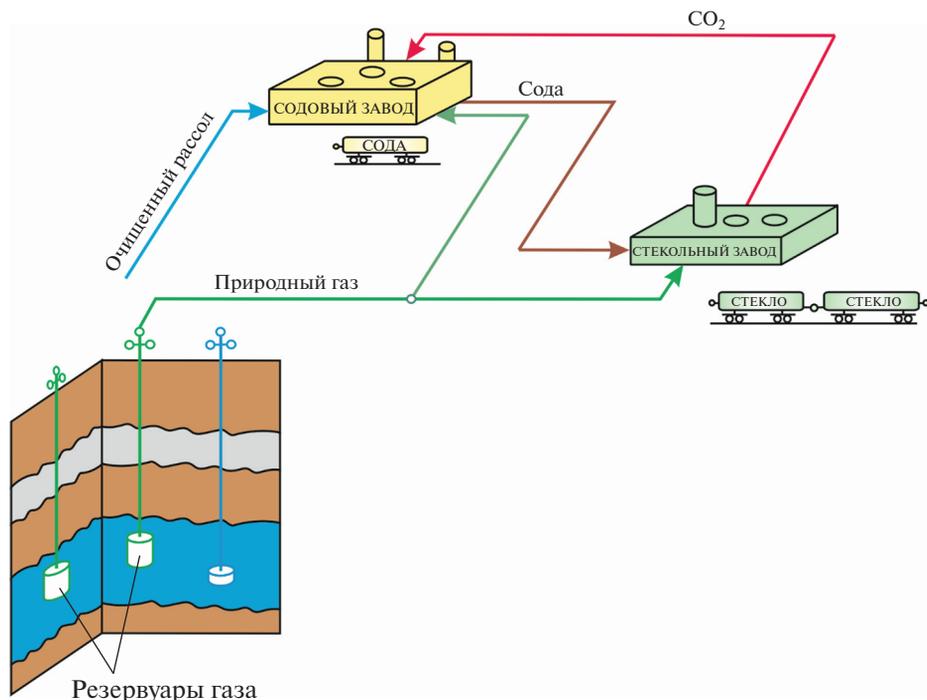


Рис. 4. Схема кооперации стекольного производства в составе технологических комплексов по производству кальцинированной соды и очистки строительного рассола при сооружении подземных аккумуляторов газообразных и жидких энергоносителей в отложениях каменной соли.

Оксид калия K_2O выполняет ту же функцию, что и оксид натрия, повышает вязкость стекла и коэффициент термического расширения. В основном его используют вместо окиси натрия при производстве сортовых, в особенности хрустальных стекол.

В качестве сырьевых материалов для ввода окиси калия в стекло используют в основном кальцинированный поташ K_2CO_3 – порошок желтого цвета. При нагревании поташ разлагается, причем K_2O (68.2%) переходит в стекломассу, а CO_2 (31.8%) улетучивается в атмосферу.

Также как и в случае разложения кальцинированной соды, предлагается образованный CO_2 при разложении поташа улавливать из дымовых газов печи и направлять на производство кальцинированной соды.

Поташ получают известным способом путем химической переработки главным образом из минералов, содержащих хлористый калий и двойную углекислую соль калия и магния $K_2CO_3 \cdot MgCO_3$.

Таким образом, в данной технологии стекольное производство связано с двумя производственными объектами – производством кальцинированной соды и подземным аккумулятором энергоносителя. Такая кооперация дает существенное технологическое, экономическое и экологическое преимущество по сравнению с существующим способом, когда стекольное производство расположено далеко от основных источников сырья и топлива.

Перечислим основные преимущества такой кооперации:

1. Экологические, приводящие к экономии эксплуатационных средств:
 - углекислый газ не выбрасывается в атмосферу, а передается на содовый завод;

– в качестве топлива используется природный газ.

2. Технологические, приводящие к экономии эксплуатационных средств:

– подача кальцинированной соды на стекольный завод ленточным транспортером;
– подача природного газа из подземного аккумулятора или газопровода, находящихся на производственной площадке технологического комплекса.

Кооперация стекольного производства в составе технологических комплексов по производству кальцинированной соды и очистки строительного рассола при сооружении подземных аккумуляторов позволит снизить себестоимость выпускаемого стекла до 30–35%.

Производство хлора. Электролитическое производство хлора в настоящее время считается одной из ведущих отраслей химической промышленности. Сырьем для электролиза служит хлорид натрия в виде раствора каменной соли (рассол). Рассол должен иметь концентрацию соли 310–315 г/л, чтобы обеспечить более низкий потенциал разряда ионов при электролизе.

Применяют три варианта технологического процесса электролиза рассола: электролиз с твердым железным катодом (диафрагменный метод), электролиз с жидким ртутным катодом (ртутный метод) и мембранный метод.

При электролизе водных растворов хлорида натрия (рассола) получают хлор, водород и едкий натр (каустическая сода – NaOH).



В среднем на 1 т вырабатываемого хлора приходится 1,2 т каустика.

Схема кооперации хлорного производства в составе технологического комплекса по переработке рассола с получением кальцинированной соды при сооружении подземных аккумуляторов газообразных и жидких энергоносителей приводится на рис. 5.

Хлор при атмосферном давлении и обычной температуре – газ желто-зеленого цвета с удушливым запахом. При атмосферном давлении температура кипения составляет минус 33,6°C, температура заморозки минус 102°C. Хлор растворяется в воде, органических растворителях и обладает высокой химической активностью.

В процессе электролиза на аноде идет образование хлора, а на катоде – водорода и едкого натра.

Производство хлора и сопутствующих продуктов (водород и едкий натр – каустическая сода) в кооперации в составе технологического комплекса по переработке рассола при сооружении подземных аккумуляторов газообразных и жидких энергоносителей в отложениях каменной соли дает существенное технологическое, экономическое и экологическое преимущество. Такими преимуществами являются:

1. Отсутствие производства очистки рассола непосредственно на заводе хлорного производства, а также отсутствие хранилищ рассола.

2. Низкая себестоимость выпускаемой продукции из-за отсутствия этапа очистки и хранения рассола непосредственно на заводе по производству хлора.

3. Пониженная экологическая нагрузка на окружающую среду за счет централизации очистки рассола.

Кооперация хлорного производства в составе технологического комплекса по подготовке строительного рассола к переработке при сооружении подземных аккумуляторов позволит снизить себестоимость выпускаемого хлора до 20%.

Выше рассмотрены, в отдельности, технологические схемы коммерциализации этапа строительства подземного аккумулятора путем переработки строительного рассола с получением поваренной и технической соли, кальцинированной соды, хлора, стекла.

Как показано, производство перечисленных продуктов осуществляется не в отдельности каждое по себе самостоятельно, а в кооперации между собой, что дает существенное технологическое, экономическое, экологическое и социальное преимущество по сравнению с существующими способами переработки рассола.

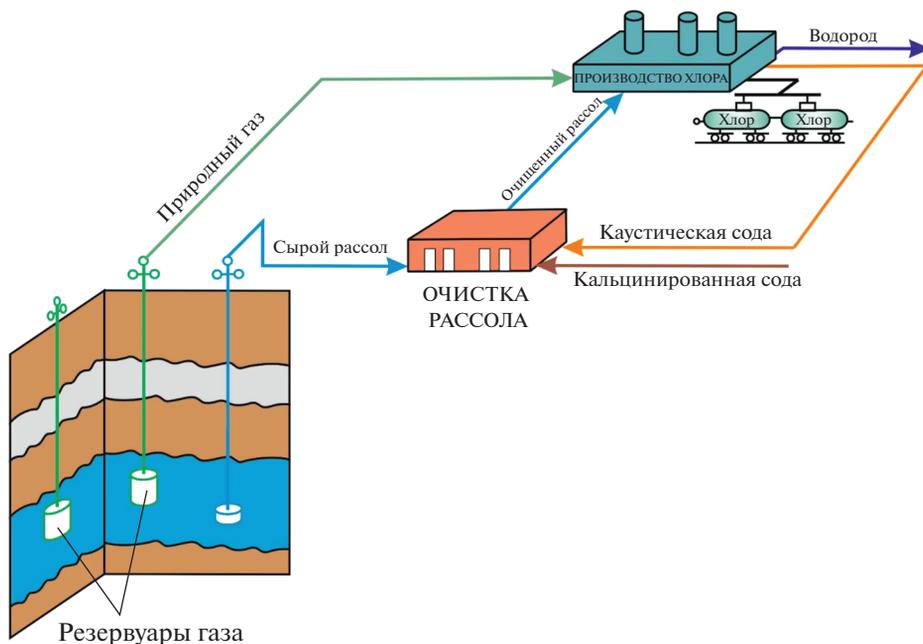


Рис. 5. Схема кооперации хлорного производства в составе технологического комплекса по подготовке рассола к переработке при сооружении подземных аккумуляторов газообразных и жидких энергоносителей в отложениях каменной соли.

Коммерциализация этапа строительства подземных аккумуляторов газообразных и жидких энергоносителей позволила организовать производства: очищенного рассола, поваренной и технической соли, кальцинированной соды, хлора и стекла (рис. 6). Кооперация вышеуказанных производств между собой и с созданием подземных аккумуляторов в отложениях каменной соли дает следующее преимущество:

1. Использование строительного рассола, являющегося отходом производства, в качестве сырья для производства вышеуказанных продуктов.

2. Централизация очистки рассола, которая позволит существенно уменьшить капитальные и эксплуатационные расходы отдельно взятых производств, а также значительно уменьшить экологическую нагрузку на окружающую среду.

3. Кооперация шести самостоятельных производств позволит:

– использовать образованную на солезаводе в результате выпаривания рассола воду в качестве растворителя при сооружении подземных выработок-емкостей;

– существенно уменьшить расходы на транспортировку сырья и топлива (сырой рассол, природный газ), а также готовую продукцию, используемую для собственных нужд (очищенный рассол, кальцинированная сода, углекислый газ);

– снизить капитальные затраты за счет централизации производства подготовки рассола (очистка рассола) к переработке и его хранения в одном месте, уменьшения количества земельных угодий за счет сокращения количества и размеров полос отчуждения.

4. Оптимизация количества и объема складских помещений для главного сырьевого продукта рассола за счет создания централизованного хранилища очищенного рассола на территории предприятия по подготовке рассола к переработке.

5. Снижение себестоимости выпускаемой продукции всеми предприятиями технологического комплекса за счет кооперации между собой.

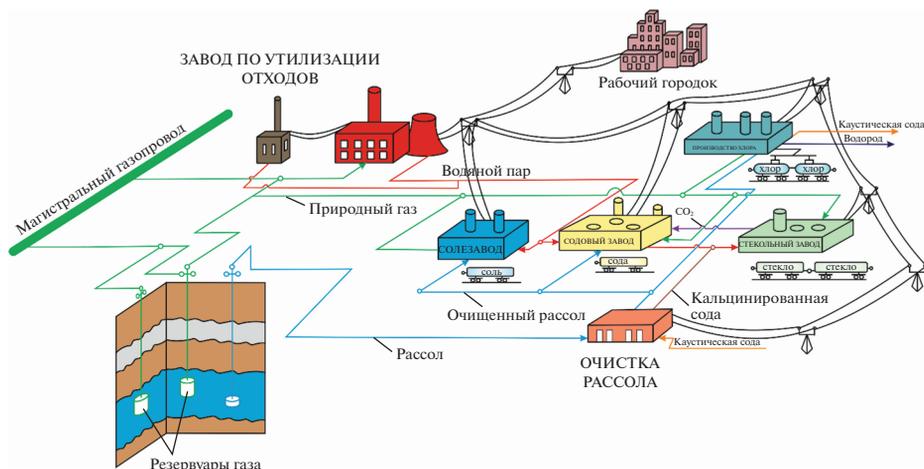


Рис. 6. Схема кооперации технологических комплексов по производству очищенного рассола, поваренной и технической соли, кальцинированной соды, хлора и стекла при сооружении подземных аккумуляторов газообразных и жидких энергоносителей в отложениях каменной соли.

6. Оптимизация расходов социального блока, улучшение жизненного пространства за счет строительства единого рабочего городка для всех шести производств.

Коммерциализация этапа эксплуатации подземных аккумуляторов природного газа. В процессе эксплуатации подземного аккумулятора природного газа все топливопотребляющие предприятия, которые находятся в зоне обслуживания подземного аккумулятора, обеспечены энергоносителем. Природный газ постоянно в необходимом количестве, качестве, давлении и температуре находится в подземном аккумуляторе.

Коммерциализация этапа эксплуатации подземного аккумулятора позволяет создание технологий, которые повышают эффективность эксплуатации самого аккумулятора и расширяют сферу применения природного газа путем получения продукции, необходимой для экономики страны, благодаря внедрению инновационных технологий по рациональному использованию природного газа.

Среди технологий, основанных на инновационных решениях по переработке природного газа, являются: производство водорода (метано-водородной смеси), аммиака, карбамида (мочевины).

Комплекс по производству водорода (метано-водородной смеси). На рис. 7 представлена схема кооперации технологических комплексов по производству, хранению и использованию водорода (метано-водородная смесь) при эксплуатации подземного аккумулятора природного газа.

Объединенный технологический комплекс состоит из следующих объектов:

- подземного аккумулятора природного газа;
- подземного аккумулятора метано-водородной смеси (водорода);
- системы по хранению и захоронению диоксида углерода;
- блока по производству тепловой или электрической энергии;
- блока по производству метано-водородной смеси;
- мембранного устройства по разделению метано-водородной смеси;
- промышленных предприятий, использующих водород (метано-водородную смесь).

Подземный аккумулятор природного газа. Количество подземных резервуаров в аккумуляторе зависит от объема хранимого природного газа. Подземные резервуары строятся методом подземного растворения каменной соли через буровые скважины.

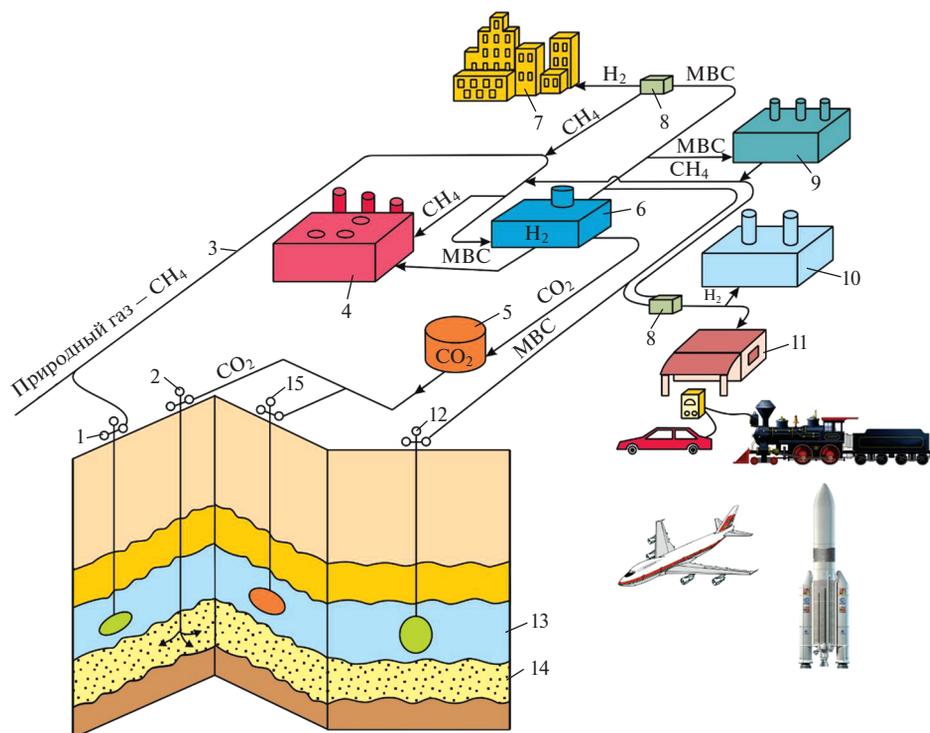


Рис. 7. Схема кооперации технологических комплексов по производству, хранению и использованию водорода (метано-водородная смесь) при эксплуатации подземного аккумулятора природного газа: 1 – скважина подземного аккумулятора природного газа; 2 – скважина для закачки углекислого газа; 3 – газопровод природного газа; 4 – теплоэлектростанция; 5 – компрессорная CO₂; 6 – блок по производству метано-водородной смеси (МВС); 7 – населенный пункт (город); 8 – мембранное устройство по разделению МВС на H₂ и CH₄; 9 – промышленное предприятие; 10 – газотурбинная установка по производству электроэнергии, работающая на водороде; 11 – заправочная станция; 12 – скважина подземного аккумулятора водородосодержащей смеси (водорода); 13 – пласт каменной соли; 14 – пласт для закачки углекислого газа; 15 – скважина подземного резервуара диоксида углерода.

Образованный строительный рассол подлежит утилизации или захоронению. Для создания подземного аккумулятора необходимо, чтобы выбранная строительная площадка имела возможность по обеспечению необходимым количеством растворителя и способность утилизации или захоронения строительного рассола.

В состав подземного аккумулятора входят следующие объекты: подземные резервуары, компрессорная станция и наземная система подготовки газа к транспортировке. Компрессорная станция работает только во время закачки природного газа в подземный аккумулятор. Отбор газа из аккумулятора осуществляется за счет энергии сжатого газа. Система подготовки газа к транспортировке состоит из системы дросселирования, осушки, подогрева и измерения газа, отправленного на станцию по производству метано-водородной смеси.

Блок по производству водорода (метано-водородной смеси). Блок по производству метано-водородной смеси является главным модулем комплекса по производству, хранению и распределению водорода и состоит из двух технологических комплексов. Первый технологический комплекс предназначен для выработки тепловой энергии с

целью подогрева природного газа и подготовки водяного пара. Источником энергии в данном комплексе может быть органический или ядерный теплоноситель.

Второй технологический комплекс, который предназначен для производства метано-водородной смеси (МВС) состоит из трех самостоятельных взаимосвязанных технологических блоков:

- конвертор по производству метано-водородной смеси;
- конденсатор для выделения водяного пара из метано-водородной смеси;
- разделительный блок по выделению CO_2 из метано-водородной смеси.

Конвертор по производству метано-водородной смеси является главным технологическим блоком во втором технологическом комплексе станции по производству метано-водородной смеси. Способ производства водорода в конверторе – паровая конверсия метана.

Конденсатор водяных паров является технологическим блоком стандартной конструкции. Его изготавливают и устанавливают для каждого конвертора индивидуально или его устанавливают для обслуживания группы конверторов. Данный вопрос решается в процессе проектирования станции по производству метано-водородной смеси.

Во втором технологическом комплексе станции по производству метано-водородной смеси самым сложным модулем является разделительный блок по выделению CO_2 из метано-водородной смеси.

В настоящее время существует хорошо разработанный способ выделения CO_2 из таких сложных по составу смесей. Абсорбционный метод, который широко применяется в промышленности. Можно и нужно провести исследовательские работы по применению мембранной технологии выделения CO_2 из метано-водородной смеси.

Устройство по выделению CO_2 из метано-водородной смеси расположено на территории блока (6) по производству метано-водородной смеси. Количество таких устройств не зависит от способа выделения CO_2 из метано-водородной смеси. Количество устройств по выделению CO_2 зависит от обоснования технико-экономической целесообразности всего модуля – конвертор совместно с устройством по выделению CO_2 и конденсатора для выделения водяного пара.

Такие устройства по выделению CO_2 можно установить для каждого конвертора по производству метано-водородной смеси индивидуально. Можно установить для группы конверторов одно устройство.

Кооперация производства водорода (метано-водородной смеси) с этапом эксплуатации подземного аккумулятора природного газа дает следующее преимущество:

- наличие необходимого количества, качества, давления и температуры природного газа, находящегося в подземном аккумуляторе;
- сокращаются расходы по транспортировке и доставке природного газа к блоку по производству водорода (метано-водородной смеси);
- сокращается объем работ по экологическому мониторингу окружающей среды.

Реализация кооперации производства водорода (метано-водородной смеси) с этапом эксплуатации подземного аккумулятора природного газа позволит снизить себестоимость производимого продукта до 15–20%.

Мембранное устройство по разделению метано-водородной смеси. Мембранное устройство (8) предназначено для разделения метано-водородной смеси на водород и метан. Данное устройство устанавливается у потребителя. Такое решение позволяет использовать существующий фонд газопроводов без изменения их конструкции. Так как использовать существующую сеть газопроводов без существенных изменений конструкции соединения труб, оборудования, компрессора и других элементов управления эксплуатации газопроводов возможно, если содержание водорода в метано-водородной смеси не превышает 20–30% по объему.

Выделившийся в мембранном модуле водород направляется потребителю (различные объекты, потребляющие водород), который принимает и использует его по назна-

чению. Вторая часть метано-водородной смеси, которая составляет 60%, является метаном (природным газом). Он по трубопроводу возвращается обратно в блок по производству МВС.

В настоящее время мембранные модули позволяют получить водород из метано-водородной смеси чистой до 99.5%. В этом случае стоимость водорода с указанной чистотой составит всего на 15–20% выше по сравнению со стоимостью метано-водородной смеси с содержанием 40% водорода и 60% метана, полученной непосредственно методом адиабатической конверсии метана.

Промышленные предприятия, использующие водород (метано-водородную смесь). На рис. 7 технологического комплекса по производству, хранению и распределению водорода указаны некоторые возможные объекты, где используется водород. В частности, населенный пункт (7) в качестве топлива, промышленное предприятие (9) в качестве топлива или сырья, газотурбинная установка (10) для выработки электроэнергии, теплоэлектростанция (4), заправочная станция (11).

Подземный аккумулятор метано-водородной смеси (водорода). Для регулирования неравномерности потребления водорода в комплексе по производству, хранению и распределению водорода предусмотрена скважина (12) для подземного аккумулятора метано-водородной смеси или водорода.

В предлагаемой технологии предусмотрено подземное аккумулирование чистого водорода и/или метано-водородной смеси с содержанием водорода до 40% по объему.

Подземные резервуары аккумулятора метано-водородной смеси создаются в отложениях каменной соли методом подземного растворения каменной соли через буровые скважины.

Кооперация процессов строительства и эксплуатации подземного аккумулятора водорода (метано-водородной смеси) с этапом эксплуатации подземного аккумулятора природного газа дает следующее преимущество:

- сокращается строительство водорассольного комплекса для сооружения подземного аккумулятора водорода (метано-водородной смеси);
- сокращается проведение геологоразведочных работ для поиска пресной воды и геологической структуры для создания подземного аккумулятора;
- сокращается комплекс работ и сооружений объектов экологического назначения, а также площадь полос отчуждения.

Реализация кооперации процессов строительства и эксплуатации подземного аккумулятора водорода (метано-водородной смеси) с этапом эксплуатации подземного аккумулятора природного газа позволит снизить капитальные затраты на 25–30%, а эксплуатационные расходы на 10–15%.

Система по хранению и захоронению диоксида углерода. В предлагаемой технологической схеме комплекса по производству, хранению и распределению водорода предусмотрена технология хранения и захоронения диоксида углерода, выделившегося из метано-водородной смеси непосредственно в блоке по производству метано-водородной смеси (6).

При производстве водорода (метано-водородной смеси) из природного газа методом адиабатической конверсии метана получается в виде балласта диоксида углерода. Количество диоксида углерода в метано-водородной смеси составляет около 12% по объему.

В настоящее время существует три способа захоронения углекислого газа – геологическое захоронение, захоронение на дне океана и карбонизация минералов. Из перечисленных способов два последних на сегодняшний день находятся на исследовательском этапе. Поэтому для захоронения углекислого газа в нашем случае также рассматриваем вариант геологического захоронения.

Диоксид углерода можно захоронить в глубокозалегающих пористых пластах, газовых и нефтяных месторождениях.

Сегмент захоронения диоксида углерода (рис. 7) состоит из компрессорной станции (5), скважины (2) для закачки диоксида углерода и пласта (14) для закачки диок-

сида углерода, который располагается под пластом (13) каменной соли. Диоксид углерода в пористом пласте (водоносном, газовом, нефтяном) может находиться как в газообразном, так и в жидком состоянии. Агрегатное состояние углекислого газа зависит от параметров его состояния (давления и температуры).

Хранение диоксида углерода можно осуществлять в подземных резервуарах (15), созданных в отложениях каменной соли. Подземный аккумулятор диоксида углерода можно построить в том же пласте каменной соли (13), где размещены подземные резервуары природного газа и водорода (метано-водородной смеси).

В мире существуют несколько примеров по трубопроводному транспорту водорода как в чистом виде, так и в смеси с углеводородами.

В предлагаемом комплексе по производству, хранению и распространению водорода, в основном, по трубопроводной сети транспортируется метано-водородная смесь и очень малое количество чистого водорода.

Проведенные исследования показали, что при объемном содержании водорода до 20–30% в смеси с природным газом существующие системы трубопроводного транспорта такого газа практически не требуют модернизации.

После блока по производству метано-водородной смеси (6) выходят два потока. Один поток – основной, составляет метано-водородная смесь, который направляется в водород потребляющим предприятиям (потребителям), а второй поток составляет диоксид углерода (CO_2). Далее CO_2 направляется в компрессорную станцию (5), где часть поступает в комплекс по производству карбамида, а остальная часть закачивается через скважину (2) в поглощающий пласт (14).

Кооперация системы хранения и захоронения диоксида углерода с производством и хранением водорода (метано-водородной смеси) при эксплуатации подземного аккумулятора природного газа дает следующее преимущество:

- наличие геологических структур для хранения и захоронения диоксида углерода;
- сокращается проведение геологоразведочных работ для поиска пресной воды и геологической структуры для создания подземного аккумулятора для хранения и поглощающего горизонта для захоронения диоксида углерода;
- сокращается строительство водорассольного комплекса для сооружения подземного аккумулятора диоксида углерода;
- сокращается комплекс работ по экологическому мониторингу окружающей среды.

Реализация кооперации системы хранения и захоронения диоксида углерода с производством и хранением водорода (метано-водородной смеси) при эксплуатации подземного аккумулятора природного газа позволит существенно снизить расходы на хранение (строительство и эксплуатация подземного аккумулятора) до 30–35% и на захоронение (в основном по части поиска поглощающего горизонта) до 20–25%.

Очищенная от водяного пара и диоксида углерода метано-водородная смесь (содержание водорода в смеси до 40%) направляется водород потребляющим предприятиям.

Перед потреблением метано-водородная смесь с помощью мембранных устройств (8) разделяется на чистый водород (H_2) и метан (CH_4). Метан (природный газ) обратно возвращается по трубопроводу на вход блока по производству метано-водородной смеси (6). Чистый водород (H_2) направляется к потребителю.

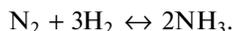
Радиус влияния комплекса составляет от 200 до 500 км. Радиус влияния зависит от объема потребления водорода, района размещения комплекса. Чем больше потребление водорода районом, тем больше производительность по водороду, следовательно, тем меньше будет радиус влияния. Таким образом, если район размещения малонаселенный, не развитой промышленности, тогда радиус влияния комплекса должен быть не менее 500 км. Если район размещения комплекса является промышленно развитым, много потребителей водорода, тогда радиус влияния комплекса можно уменьшить до 200 км.

Комплекс по производству аммиака и карбамида. При коммерциализации этапа эксплуатации подземного аккумулятора природного газа производится водород, который необхо-

дим для синтеза аммиака. Часть производимого водорода отправляется к внешнему потребителю. Оставшаяся часть водорода передается на завод по производству аммиака. Следовательно, нет необходимости на заводе по производству аммиака организовывать производств водорода. Поэтому часть эксплуатационных расходов завода, формирующих себестоимость производимого аммиака, сокращается. Таким образом, себестоимость аммиака существенно снижается при кооперации двух производств – водорода и аммиака.

На рис. 8 приводится схема кооперации технологических комплексов по производству аммиака, карбамида (мочевины) и водорода при эксплуатации подземного аккумулятора природного газа. Как видно из представленной технологической схемы, в комплексе по производству водорода размещены еще два завода. Заводы по производству аммиака (6) и карбамида (7). Полученный водород в химико-технологическом комплексе (4) по трубопроводу подается на завод по производству аммиака (6).

В соответствии прямого воздействия водорода и азота получается аммиак (NH_3).



Реакция происходит с выделением тепла и понижением объема.

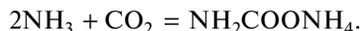
Азот получают из воздуха с применением существующих способов, освоенных промышленностью. Часть полученного аммиака направляется к внешнему потребителю. Оставшаяся часть передается на завод по производству карбамида (7).

Кооперация производства аммиака и водорода (метано-водородной смеси) при эксплуатации подземного аккумулятора природного газа дает следующее преимущество:

- исключает необходимость производства водорода непосредственно на заводе по производству аммиака и его приобретение на стороне;
- сокращается комплекс работ по экологическому мониторингу окружающей среды;
- наличие в достаточном количестве и качестве природного газа;
- сокращается объем капитального строительства.

Реализация кооперации производства аммиака и водорода (метано-водородной смеси) при эксплуатации подземного аккумулятора природного газа позволит снизить капитальные затраты на 15–20%, а эксплуатационные расходы – на 10–20%. Себестоимость выпускаемого аммиака снизится на 15–20%.

В промышленном масштабе карбамид (мочевина) производится только прямым синтезом из аммиака и диоксида углерода. Синтез карбамида протекает в две стадии: в первой стадии образуется карбамид аммония:



Во второй стадии в результате отщепления воды образуется карбамид:



Обе реакции проходят при температуре 185–200°C и давлении до 20 МПа.

Диоксид углерода получают по трубопроводу из химико-технологического комплекса по производству водорода (4).

Кооперация производства карбамида, аммиака и водорода (метано-водородной смеси) при эксплуатации подземного аккумулятора природного газа дает следующее преимущество:

- исключаются транспортные расходы по доставке аммиака из других (далеких) источников производства;
- исключается производство диоксида углерода непосредственно на заводе или приобретение из других источников производства;
- сокращается комплекс работ по экологическому мониторингу окружающей среды;
- сокращается объем капитального строительства.

Реализация кооперации производства карбамида, аммиака и водорода (метано-водородной смеси) при эксплуатации подземного аккумулятора природного газа позво-

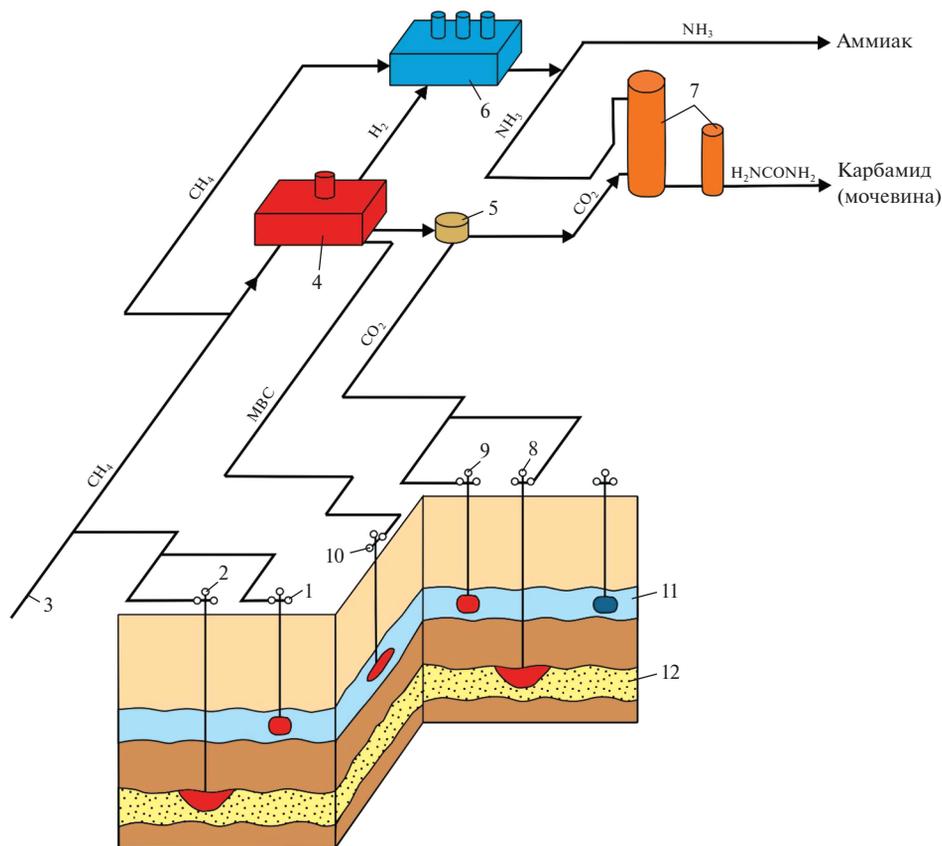


Рис. 8. Схема кооперации технологических комплексов по производству аммиака, карбамида и водорода (метано-водородной смеси) при эксплуатации подземного аккумулятора природного газа: 1 – скважина подземного аккумулятора природного газа в отложениях каменной соли; 2 – скважина подземного аккумулятора природного газа в водоносном горизонте; 3 – газопровод природного газа; 4 – химико-технологический комплекс по производству водорода; 5 – распределительный пункт диоксида углерода; 6 – завод по производству аммиака; 7 – завод по производству карбамида (мочевины); 8 – скважина подземного мотильника диоксида углерода; 9 – скважина подземного аккумулятора диоксида углерода; 10 – скважина подземного аккумулятора метано-водородной смеси (МВС); 11 – пласт каменной соли; 12 – пласт-коллектор для захоронения диоксида углерода и хранения природного газа; CH_4 – метан (природный газ); CO_2 – диоксид углерода; H_2 – водород; NH_3 – аммиак; H_2NCONH_2 – карбамид (мочевина).

лит снизить объем капитальных затрат на 10–15%, а себестоимость выпускаемого карбамида до 20%.

В данной технологической схеме, также и в предыдущей (рис. 7), предусмотрено подземное аккумулялирование природного газа, метано-водородной смеси, захоронение диоксида углерода.

Способы поставки водорода и водородосодержащих энергоносителей в заправочные станции транспортных средств. В зависимости от номенклатуры поставляемого энергоносителя к заправочным станциям, обслуживающих транспортные средства, потребляющих в качестве топлива водород или водородосодержащую смесь, формируется конструктивная компоновка технологического комплекса.

Рассматривается два способа подачи энергоносителя к заправочным станциям транспортных средств.

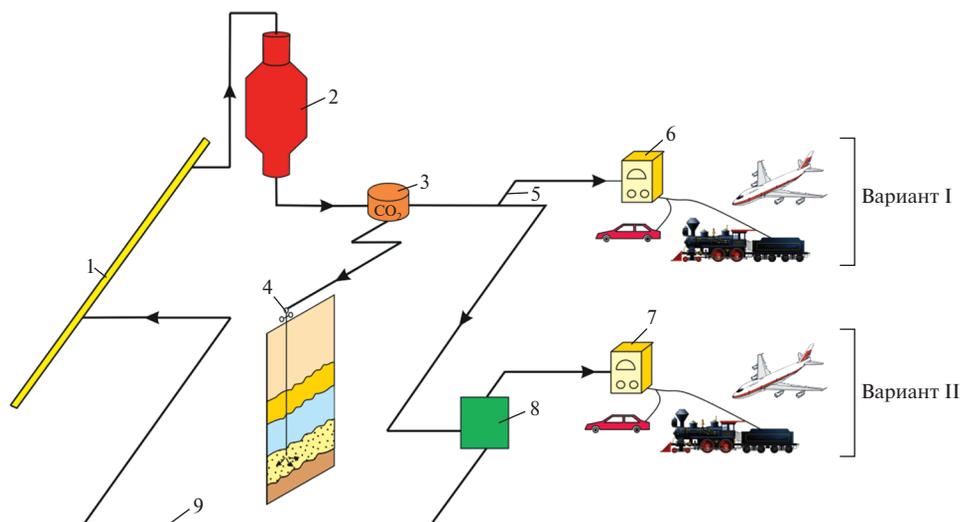


Рис. 9. Схема технологического комплекса по производству и поставке водорода и водородосодержащих энергоносителей (топлив) в заправочные станции транспортных средств, реализованная по Способу I. Вариант I – заправочная станция, где энергоносителем является водородосодержащий энергоноситель; Вариант II – заправочная станция, где энергоносителем является чистый водород; 1 – магистральный газопровод природного газа; 2 – установка по производству водородосодержащей смеси; 3 – блок по выделению CO_2 из водородосодержащей смеси; 4 – скважина для закачки CO_2 ; 5 – газопровод водородосодержащей смеси; 6 – заправочная колонка транспортных средств (топливо-водородосодержащая смесь); 7 – заправочная колонка транспортных средств (топливо – чистый водород); 8 – блок разделения водородосодержащей смеси на отдельные компоненты; 9 – газопровод возвращения природного газа в магистральный газопровод.

Способ I. Реализация данного способа предусматривает подачу энергоносителя к заправочным станциям транспортных средств в виде природного газа (метан) из магистрального газопровода, который имеет широко разветвленную сеть по всей территории европейской части Российской Федерации. В этом случае получение водорода и водородосодержащего энергоносителя из природного газа производится на каждой заправочной станции транспортных средств индивидуально.

Способ II. Реализация данного способа предусматривает подачу энергоносителя к заправочным станциям транспортных средств в виде чистого водорода или водородосодержащей смеси, которые производятся централизованно на заводе, расположенном на экономически обоснованном расстоянии от заправочной станции.

Кроме вышесказанного, рассматриваются для каждого способа два варианта конструктивного оформления заправочной станции транспортных средств. Конструктивные особенности вариантов зависят от способа использования транспортными средствами в качестве энергоносителя чистый водород или водородосодержащую смесь.

Вариант I. Рассматривается заправочная станция транспортных средств, где энергоносителем является водородосодержащая смесь с содержанием водорода 20–40%. Такой заправочной станцией пользуются транспортные средства (автомобили, железнодорожные локомотивы, летательные аппараты и др.), у которых конструкция двигателя остается неизменной, такой, какой была при использовании в качестве энергоносителя бензина, дизельного топлива или керосина.

Вариант II. Рассматривается заправочная станция транспортных средств, где энергоносителем является чистый водород. Такой заправочной станцией пользуются транспортные средства, которые работают на основе топливных элементов, где требу-

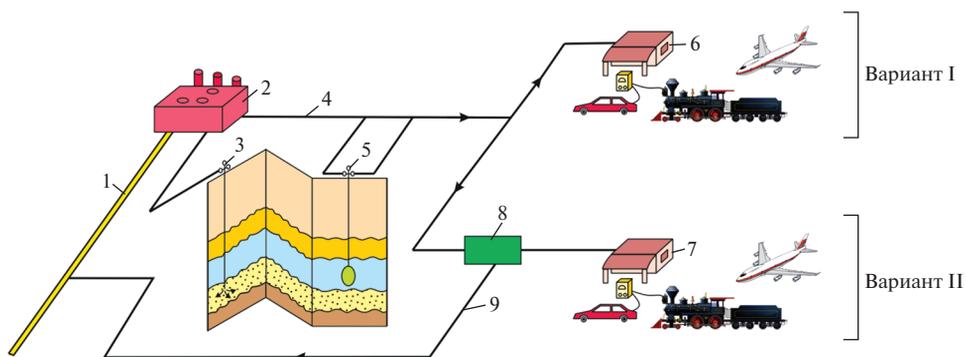


Рис. 10. Схема технологического комплекса по производству и поставке водорода и водородосодержащих энергоносителей (топлив) в заправочные станции транспортных средств, реализованная по Способу II. Вариант I – заправочная станция, где энергоносителем является водородосодержащий энергоноситель; Вариант II – заправочная станция, где энергоносителем является чистый водород; 1 – магистральный газопровод природного газа; 2 – завод по производству водородосодержащей смеси; 3 – скважина для закачки диоксида углерода; 4 – газопровод водородосодержащей смеси; 5 – скважина подземного аккумулятора водородосодержащей смеси; 6 – заправочная станция транспортных средств (топливо-водородосодержащая смесь); 7 – заправочная станция транспортных средств (топливо – чистый водород); 8 – блок разделения водородосодержащей смеси на отдельные компоненты; 9 – возвратный газопровод природного газа.

ется водород с чистотой не менее 99.99%. Заправочная станция, работающая по данному варианту, может отпускать топливо (чистый водород) как в газообразном, так и в жидком состоянии.

Технологическая схема, работающая по Способу I для подачи энергоносителя к заправочным станциям с двумя вариантами их конструктивного оформления, схематически изображена на рис. 9. Природный газ (CH_4) по магистральному газопроводу (1) подается на установку по производству водородосодержащей смеси (2). Перед подачей водородосодержащей смеси в заправочную колонку из нее в специальном разделительном блоке выделяется CO_2 (3) с дальнейшим направлением его на захоронение в поглощающий пласт через специальную скважину (4). Таким образом, очищенная от диоксида углерода водородосодержащая смесь с содержанием водорода 20–40% подается на заправочную колонку (6) (Вариант I).

При реализации Варианта II в состав заправочной станции вводится блок разделения водородосодержащей смеси на отдельные компоненты (8) с выделением водорода с чистотой 99.99%. Блок разделения водородосодержащей смеси на отдельные компоненты (8) состоит из мембранного аппарата и адсорбера. Выделившийся природный газ (CH_4) по газопроводу (9) возвращается в магистральный газопровод (1), соединенный с установкой по производству водородосодержащей смеси (2).

Технологическая схема, работающая по Способу II для подачи энергоносителя к заправочным станциям с двумя вариантами их конструктивного оформления, схематически изображена на рис. 10. Природный газ (CH_4) по магистральному газопроводу (1) подается на завод (2) по производству водородосодержащей смеси (4). Технологический комплекс завода (2) состоит из конвертора, предназначенного для производства водородосодержащей смеси и разделительного блока для выделения из водородосодержащей смеси CO_2 .

С завода по производству водородосодержащей смеси (2) выходят два потока. Один поток (4) основной – составляет водородосодержащая смесь, которая направляется к заправочным станциям транспортных средств (6, 7), а второй поток составляет диок-

сид углерода (CO₂). Далее CO₂ направляется для закачки в поглощающий пласт через скважину (3).

Для обеспечения надежности поставки водородосодержащей смеси в заправочные станции транспортных средств в технологической схеме данного способа предусмотрено подземное хранилище водородосодержащей смеси (5).

В соответствии с Вариантом I водородосодержащая смесь с содержанием водорода 20–40% по газопроводу (4) подается прямо на заправочную станцию (6) для заправки транспортных средств, у которых конструкция двигателя остается неизменной, и они могут использовать в качестве топлива водородосодержащую смесь с содержанием водорода 20–40%.

В соответствии с Вариантом II водородосодержащая смесь по газопроводу (4) поступает в блок разделения водородосодержащей смеси на отдельные компоненты (8) с выделением водорода с чистотой 99.99%. Блок разделения водородосодержащей смеси на отдельные компоненты (8) состоит из мембранного аппарата и адсорбера. Из блока (8) выходят два потока. Один поток, который является основным, составляет водород с чистотой 99.99%, направляется к заправочной станции (7), а второй поток составляет природный газ, который по газопроводу (9) возвращается в магистральный газопровод (1). Конструктивное оформление заправочной станции (7) позволяет осуществлять отпуск топлива – чистый водород как в газообразном, так и в жидком состоянии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Казарян В.А.* Подземное хранение углеводородов в солевых отложениях. М., Ижевск: ИКИ, 2006. 464 с.
2. *Казарян В.А.* Подземное хранение газов и жидкостей. Т. 1. Проектирование. Строительство. М., Ижевск: ИКИ, 2019. 844 с.
3. *Казарян В.А.* Подземное хранение газов и жидкостей. Т. 2. Эксплуатация. Ремонт. Консервация. Ликвидация. Применение хранилищ газов и жидкостей в различных отраслях экономики. М., Ижевск: ИКИ, 2019. 660 с.

Commercialization of Construction and Operation Stages of Large-Scale Underground Accumulators of Gas and Liquid Energy Carriers

V. A. Kazaryan*

Limited Liability Company "Gazprom geotechnology" (Gazprom geotechnology LLC), Moscow, Russia

**e-mail: v.kazaryan@gazpromgeotech.ru*

The article describes the relevant issues associated with the reduction of capex and opex of large-scale underground accumulators of gas and liquid energy carriers by commercializing the stages of their construction and operation. It is shown that during the construction of underground storage, the generated construction brine, which is a waste product, can be a raw material for the creation of products of high consumer value for the country's economy. Technological schemes for the production of economically useful products in cooperation with the process of constructing underground storage in rock salt deposits and the operation of an underground accumulator of natural gas are presented. All the technological schemes are developed based on highly efficient production of common and technical salt, calcined soda, chlorine, glass, hydrogen (methane-hydrogen mixture), ammonia, carbamide. It is shown that the implementation of the developed schemes of cooperation of technological complexes for the production of essential and useful for the country's economy products significantly reduces total capital and operational costs and, consequently, the cost of the output product.

Keywords: underground accumulators, commercialization, natural gas, chlorine, hydrogen, calcined soda, carbamide, production cooperation