ОСОБЕННОСТИ МОНИТОРИНГА ХРАՄЕНИЯ МЕТАНО-ВОДОРОДНЫХ СМЕСЕЙ

Д.С. Филиппова, В.Е. Столяров, Е.А. Сафарова*

Институт проблем нефти и газа Российской Академии наук, Москва, Россия

Features of Monitoring Storage of Methane-Hydrogen Mixtures

D.S. Filippova, V.E. Stolyarov, E.A. Safarova

Oil and Gas Research Institute of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

Abstract

The storage of methane-hydrogen mixtures (MHM) in existing underground gas storage facilities (UGS) is a prerequisite for the development of a "carbon-neutral" strategy of the Russian Federation. The use of technologies for storage and delivery of MHM in industrial volumes should be ensured by experimental research, the creation of a regulatory framework and the introduction of modern methods for maintaining the operational reliability of the existing Unified Gas Transportation System (UGSS). The need for scientific and project work is determined by the peculiarities of the storage of MHM and the assessment of the likelihood of negative technogenic and mechanical consequences during the operation of the equipment. The materials provide the main risk models of the processes that arise in the case of hybrid storage of MHM. The use of cluster technology for storage and transportation of MHM is proposed, and the need to ensure constant monitoring of the component composition of gas as part of the implementation of an integrated automated flow technology is shown.

Keywords:

Methane-hydrogen mixtures;
Hydrogen energy;
Underground gas storage;
Hardware control;
Risks.

© 2021 «OilGasScientificResearchProject» Institute. All rights reserved.

Введение

Научные основы получения и применения промышленного водорода были разработаны в 70–80 годах прошлого столетия и, согласно экономическим расчетам, самый дешевый водород производится путем переработки углеводородов. Виды и способы производства промышленного водорода приведены на рисунке 1.

В классификации водорода главным критерием является его экологичность. Рост количества оксидов углерода, выделяемых при производстве водорода, напрямую связан с понижением класса экологичности производимого сырья. Для простоты сортировки используют так называемую «цветность» водорода, согласно которой выделяют 4 основных вида:

- Голубой водород, получаемый путем паровой конверсии метана с использованием методов улавливания и хранения углерода (технология CCS - carbon capture and storage). Это способствует сокращению выбросов углерода вдвое. Минус

*E-mail: safarova@ipng.ru

<http://dx.doi.org/10.5510/OGP2021SI200552>

- дороговизна.

- Желтый водород, получаемый путем электролиза воды. Источник энергии, при этом, — атомные электростанции (АЭС). Выбросы CO_2 отсутствуют, но метод не является абсолютно экологичным.

- Зеленый водород является самым экологичным, т.к. получают его с помощью электролиза воды при потреблении электричества, поступающего от возобновляемых источников энергии (ВИЭ), таких как ветер, солнечная или гидроэнергия. Выбросы CO_2 отсутствуют. Проблема: недостаток чистой деминерализованной воды (на 1 т. H_2 требуется 18 т. H_2O), требующей специальной подготовки и очистки (для дистилляции 1 л. H_2O израсходуется 0.717 кВт/ч электроэнергии).

- Серый водород производится путем паровой конверсии метана. Исходным сырьем для такой реакции служит природный газ. Этот процесс легко осуществим с практической точки зрения, однако в ходе химической реакции выделяется углекислота, причем в тех же объемах, что и при сгорании природного газа (также расходуется энергия на конверсию).

Среди преимуществ РФ в развитии водородной энергетики стоит отметить обширные ресурсы для производства водорода: ископаемое топливо, дешевая электроэнергия, гидро- и атомная энергетика, развитая газотранспортная инфраструктура, высокий технологический уровень. Водородная энергетика требует отдельного подхода и решения вопросов в области охраны окружающей среды, здравоохранения и промышленной безопасности.

Развитию водородной энергетики противостоит ряд барьеров: высокая стоимость низкоуглеродного H_2 и низкая конкурентоспособность H_2 по сравнению с традиционными энергоносителями; низкий внутригосударственный спрос на водород; малая конкурентоспособность отечественных технологий; недостаточная готовность и коммерциализованность технологий производства голубого и зеленого H_2 ; отсутствие необходимой инфраструктуры для хранения и транспортировки H_2 ; высокие энергозатратность и стоимость транспортировки; ограниченность правовой базы.

В ситуации, когда отрасль возобновляемых источников энергии станет ключевым «игроком» на рынке, роль многомегаваттных систем хранения энергии сильно возрастет. Подземное хранение МВС в данном случае окажется весьма востребованным. Геологические хранилища газа могут обеспечить возможность хранения энергии в другом временном масштабе (среднесрочный и долгосрочный). Это позволит уравновесить нерегулярное снабжение газовыми смесями, что характерно для возобновляемых источников энергии. Для подземного хранения МВС принимаются во внимание: истощенные углеводородные (нефтегазовые) месторождения, водоносные горизонты и каверны в соляных отложениях.

Поэтому важно сосредоточиться на планировании природного пространства в контексте прогрессивного развития подходящих интегрированных связей между надземной и подземной инфраструктурами.

Прогнозируемый рост производства и потребления водорода и гибридных метано-водородных смесей предполагает развитие транспортных технологий (аэрокосмическая, автомобильная, морская отрасль), энергетики и электроники [1]. Водородное топливо является промежуточным энергоносителем с достаточно ограниченным временным и технологическим интервалом до создания конкурентоспособных технологий на основе возобновляемых источников энергии. Соответственно, в самых смелых планах по декарбонизации газовой отрасли доля природного газа остается значительной и, в дальнейшем, основную долю произведенного водорода и сопутствующих смесей предполагается использовать в химической и металлургической промышленности. В рамках создания новой экспортно-ориентированной водородной отрасли правительством РФ принят и реализуется план мероприятий «Развитие водородной энергетики в Российской Федерации до 2024 года», создан консорциум по развитию водородных технологий «Технологическая водородная долина».

Обязательным условием расширения производства водорода и МВС в промышленном объеме является создание избыточных объемов природного газа, а также применение и расширение сети объектов хранения в виде имеющихся подземных хранилищ газа, а также дополнительного использования истощенных месторождений или искусственно созданных объектов хранения водорода и его смесей при наличии избыточной генерации энергии.

Концепция «углеродно-нейтральных» стратегий стран Европы до 2050 года, принятая в целях получения экологического нейтралитета и снижения объемов углекислого газа при производстве продукции, предусматривают изменение структуры спроса и потребления природного газа. Для принятия взвешенного решения по гибриднему хранению и транспорту МВС требуется проведение исследований с учетом необходимости сохранения эксплуатационной надежности ЕСГ и оценки рисков воздействия МВС на объекты инфраструктуры (подземные хранилища и объекты транспорта газа) [2].

Проблематика гибридного хранения метано-водородных смесей

Исторически в России подземное хранение применяется преимущественно для природного газа (метана) и обеспечивается распределенным территориальным расположением 23 ПХГ в 27 геологических структурах с различными технологическими условиями и промысловыми условиями хранения. Места их расположения различаются по геологическим условиям и исто-

рии эксплуатации, а также по составу горных пород, связанным с ними пластовым флюидам и, следовательно, по условиям окружающей среды для текущего биоценоза. Из-за таких различных геологических условий дополнительные исследования вмещающих пород ПХГ расширяют представления о потенциальном взаимодействии органических и неорганических компонентов и их влиянии на качество коллектора в процессе всех технологических циклов хранения газа в естественных хранилищах [10].

Свойства чистого водорода хорошо известны. Водород является неотъемлемым компонентом природных органических соединений и в природных условиях является наиболее легким, подвижным и химически активным газом, но многофазные свойства хранения в пористых средах остаются неопределенными и не исследованными. Поскольку газообразный водород состоит из небольших и легких молекул, он имеет сильную способность мигрировать в пористой среде и может иметь высокую реакционную способность с породообразующими минералами. Фактически окислительно-восстановительные реакции, индуцированные водородом, могут изменить минеральную ассоциацию породы. В случае накопления водорода в осадочной толще происходят изменения пористой структуры породы, что оказывает влияние на емкость подземных хранилищ газа. Помимо абиотических реакций, проявляется микробная активность в условиях подземного хранения водорода [4-6].

Безопасность хранения определяется в значительной степени качеством покрышки существующих хранилищ, её составом и проницаемостью в связи с диффузионной способностью водорода и его химической активностью. Возможности хранилищ позволяют в период максимального потребления (отопительный период) предоставить в сжатые сроки от 20 до 40 % потребностей от всего добываемого газа и обеспечить хранение и закачку в реверсивном режиме. Технологическая

схема производственных циклов (закачка-хранение-отбор) подземных хранилищ газа (ПХГ) приведена на рисунке 2.

Скважины ПХГ являются основными производственными объектами, обеспечивающими эффективность и безопасность производственных циклов.

Подземное хранение МВС будет влиять на вмещающую горную массу и поверхностную среду (взаимодействие газовой смеси с минералами и горными породами, пластовыми флюидами, геохимические и биологические изменения, геомеханические напряжения, утечки жидкостей или газов и др.). Определение герметизирующих свойств покровной породы и зоны ствола скважины имеет важное значение для выбора площадки и условий эксплуатации [15-17]. Например, в соляных кавернах, как показывает практика, диапазон рабочего давления газа должен составлять от 24% до 80% давления покрывающих пород. Верхняя граница рабочего давления устанавливается во избежание образования трещин, а нижняя определяется исходя из сохранения приемистости коллектора [18]. В пористых коллекторах соответствующий дебит является жизненно важным параметром, позволяющим избежать попадания рассола водоносного горизонта в зону перфорации скважины [20]. Следовательно, для определения влияния хранения МВС на среду требуется надлежащая система мониторинга, а также необходимо расширение знания и понимания сопутствующих процессов. Поведение водорода, хранящегося в естественных хранилищах, — много критерийный процесс, требующий систематизации и ранжирования возможных рисков.

В процессе эксплуатации подземного хранилища газа подземное и наземное оборудование подвергаются процессу коррозии. Микробиологическая коррозия является одним из факторов ускоренного разрушения металлоконструкций, на долю которой приходит-

ся от 50 до 80% коррозионных повреждений. Коррозионная активность микроорганизмов связана с образованием на поверхности металла биопленок, которые характеризуются определенным составом микробных клеток. Среда становится благоприятна для бактерий, продуцирующих сероводород, что вызывает коррозию металла и оказывает электрохимическое воздействие на сталь в пластовых условиях. Сероводород также ухудшает свойство скважин, а бактерии с сульфидом железа способны снизить на 30-40% проницаемость. Растворенный в воде кислород вызывает интенсивное разъедание металла и способствует развитию в пласте аэробных бактерий.

Углекислый газ понижает кислотность воды и приводит к разрушению защитных окисных пленок на металле, а также к усилению коррозии оборудования. Сероводород образует, реагируя с железом, твердые уносимые потоком воды и смесей частицы сернистого железа, а при наличии кислорода образовывается сернистая кислота. Возникновение кислых агрессивных сред может происходить и в результате деятельности нитрифицирующих бактерий и связано с образованием азотной кислоты за счет окисления аммиака. Взаимодействие неуглеводородных газов с минералами, бактериями, пластовой и конденсационной водой также приводит к неблагоприятным последствиям в виде выпадения на конструкциях серных отложений.

Операции по хранению водорода совместно с метаном в подземных условиях должны прогнозироваться с учетом понимания возможности техногенного изменения механических свойств и напряженно-деформированного состояния пласта-коллектора, имеющих в хранилищах гидрохимических и микробиологических условий, ограничений для многофазного перемещения флюидов в пористых средах.

Уже выявленными следствиями взаимодействия водорода, метана, пластовых вод и микробиологических популяций является снижение объемов хранящегося газа, появление и выпадение сернистых соединений на инженерных сооружениях и сетях, проявление сероводорода, коррозия оборудования и наличие водородного охрупчивания металлов для объектов хранения и транспортной инфраструктуры системы ЕСГ. К сожалению, содержание водорода в природном газе значительно ухудшает энергетические параметры и теплотворную способность природного газа. Эти критерии должны быть учтены до того, как начнется передача МВС через трубопроводную сеть. Закачка водородсодержащего газа в существующие ПХГ влияют на оперативность их работы, геологическую целостность пласта и вскрышных пород, а также долговечность металлоконструкций.

С участием водорода реакции окислительно-восстановительного характера могут способствовать изменению фильтрационно-емкостных свойств пород и неблагоприятно воздействовать

на газоносный пласт, что вызывает ухудшение проницаемости продуктивного пласта и снижает прочность пород коллектора вплоть до их разрушения. Наличие примесей может привести к изменениям, сложным техническим и эксплуатационным проблемам как токсичность, безопасность и требования к сжатию или обезвоживанию, поскольку теплофизические свойства богатой водородом МВС могут значительно отличаться от чистого водородного потока. Поступление молекулярного водорода изменяет скорость микробных биохимических процессов [3]. Помимо проблем с сырьем для производства водорода и его транспортировкой, учёные отмечают ещё одну, которая ложится вразрез всей концепции развития «зелёной» энергетики. Использование H_2 в качестве топлива может только усугубить проблему глобального потепления. Суть в том, что водород, попадая в атмосферу, снижает концентрацию в ней гидроксильных радикалов – мощных оксидантов, нейтрализующих вредные продукты человеческой жизнедеятельности, в том числе парниковые газы, очищающих воздух [7, 17]. Особенности и возможные риски при хранении газовых смесей при гибридном хранении приведены на рисунке 3.

В настоящее время в нефтегазовой промышленности установилось мнение, что главная опасность при воздействии сероводородсодержащих сред заключается не в увеличении скорости коррозии, а в усилении процесса наводораживания стали, приводящего к охрупчиванию и коррозионному растрескиванию металла оборудования. Установлено, что коррозия и водородное охрупчивание промышленного оборудования протекают очень интенсивно при наличии влаги согласно механизму электрохимической коррозии. При своевременном обнаружении коррозионных разрушений и определении их причин, осуществ-

Рис.3. Особенности и возможные риски при хранении газовых смесей

вляется выбор защитных мероприятий и защита оборудования от негативных процессов.

С целью снижения неблагоприятных воздействий в рамках отдельных предприятий в настоящее время разработаны положения и стандарты для продления межремонтных периодов оборудования и обеспечения безопасности эксплуатации, в том числе:

- применение коррозионностойких сталей для скважин и наземного оборудования;
- постоянное дозирование (впрыск) различных ингибиторов в зависимости от условий;
- применение защитных покрытий для предварительной обработки оборудования.

С учетом создания отдельной водородной отрасли этот опыт должен быть консолидирован и применен в виде государственных или отраслевых стандартов и положений. Основные риски особенностей хранения и транспортировки МВС, которые требуется учесть для проектирования и эксплуатации объектов хранения ЕСГ:

- диффузия и влагосодержание продукта; высокая активность и реакционную способность;
- рост микроорганизмов, потребляющих водород, потери в результате бактериологического биодеградирования и растворения;
- риск разгерметизации; изменение поля напряжений структур пород в процессе хранения;
- процесс охрупчивания инженерных сооружений из металлического оборудования и пластиковых конструкций;
- углекислотная и сульфатная коррозия, выпадение на инженерных сооружениях серных и карбонатных отложений.

Широкое применение метано-водородных смесей приведет к качественно новым показателям работы всего производственного цикла топливно-энергетического комплекса и применяемого при этом оборудования, эксплуатируемых энергетических систем и агрегатов.

Концепция территориальных водородных кластеров полного производственного цикла

В нефтегазовой отрасли существует блок общих интересов при «диверсификации» в виде эксплуатации существующей территориально протяженной единой трубопроводной системы. При отсутствии фактических данных по степени воздействия «зеленого» газа на магистральные трубопроводы и, тем более, на хранилища, созданные в пористых средах на ПХГ, представляется логичным ограничить в настоящее время использование водорода и биогаза в промышленных объемах через транспортную систему несмотря на то, что в европейских странах и США хранение и транспортировка водорода и биогаза совместно с метаном применяются и нормированы.

В открытой литературе рассматривается несколько вариантов транспортировки водорода: по существующей газотранспортной системе

без ограничений, по специально построенным магистральным трубопроводам и по имеющейся транспортной системе в режиме последовательной перекачки. Каждый из вариантов имеет свои преимущества и недостатки с точки зрения надежности и получения прибыли в среднесрочной и долгосрочной перспективе [3,8,9].

В рамках процедуры получения комментариев по дорожной карте стратегии Европейского союза в области водорода в июне 2020 года в предложениях ПАО «Газпром» по Стратегии ЕС по долгосрочному сокращению выбросов парниковых газов до 2050 года была представлена «технологическая декарбонизация на основе существующих технических решений и инфраструктуры, в частности производство метано-водородной смеси на компрессорных станциях магистральных газопроводов и ее использование в качестве топливного газа на этих же станциях вместо метана, что позволит снизить выбросы CO_2 примерно на треть» [3].

Изучение геохимического состава при хранении МВС и циклических изменений состава служит инструментом дополнительного контроля качества и способом своевременного предотвращения осложнений и аварийных ситуаций на объектах. С учетом быстрого развития экспорта и внутреннего рынка МВС предполагается создание национальных и международных территориальных водородных кластеров полного производственного цикла по всем видам деятельности: производство-хранение-транспортировка-использование [5, 11-14].

Безусловной компонентой такого территориального водородного кластера предполагается считать узлы анализа компонентного состава – потоковые хроматографы, которыми предполагается оснащать все объекты хранения в том числе накопления водорода и МВС. Приборы определения состава и качества стоит размещать на каждой ступени хранения и транспортировки МВС и чистых газовых флюидов (метана из магистрального трубопровода). Таким образом осуществляется контроль состава смесей и предотвращаются возможные негативные изменения и последствия во всем создаваемом кластере. Предлагаемая схема аппаратного (инструментального) контроля приведена на рисунке 4.

На схеме голубым цветом обозначен поступающий из транспортной системы газ (метан), светло-зеленым приведены газовые потоки производимого водорода на хранилища и производство, темно-голубым показана возможность поставки на производство метано-водородной смеси. Согласно предложениям, также возможна организация поставки водорода по специальному водородному трубопроводу, что снижает производственные затраты и риски.

Контроль компонентного состава обеспечивается из единого Аналитического центра с использованием потоковой хроматографии, высокоскоростных каналов передачи данных и технологий

искусственного интеллекта. Наличие оперативного потокового контроля состава позволяет повысить качество хранения и транспортировки МВС, обеспечить безопасность технологического процесса и сократить затраты на проведение лабораторного анализа.

Приведенный в качестве основного вариант предполагает использование существующей инфраструктуры подземных хранилищ и магистральных трубопроводов для водорода или МВС в качестве временных хранилищ. Необходимо отметить, что закачка водорода в пористые резервуары вытеснит пластовые флюиды, что приведет к сложным многофазным перетокам. Операции по хранению водорода должны основываться на точном прогнозировании многофазного перемещения жидкости в пористых средах. В дополнение к техническим и социально-экономическим проблемам необходимо обеспечить основу для точной оценки возможностей и проблем, связанных с хранением водорода, а регулирующие органы и общественность смогут реализовать политику крупномасштабного хранения водорода в пористых средах и определить, как эта технология может способствовать переходу к водородной энергетике

ке без технологических и экологических рисков.

При внедрении технологии хранения многокомпонентных газовых смесей необходимо проведение анализа возможных положительных и отрицательных изменений параметров рабочих процессов. Критерии выбора объекта хранения МВС имеют решающее значение. При отсутствии фактических данных о степени воздействия на нефтегазопроводы и тем более на подземные хранилища представляется логичным ограничить использование водорода и биогаза в промышленных объемах через транспортную систему до выяснения последствий и разработки правил эксплуатации.

В этой перспективе необходимо проведение научных исследований по вопросам подземного хранения неуглеводородных газов и их смесей в водоносных горизонтах и истощенных месторождениях с применением имеющихся и перспективных систем автоматизации.

Выводы

Несмотря на то, что водород фактически является вторичным энергоносителем, его применение в ряде случаев может стать экономически целесообразным.

Для снижения негативных последствий для объектов инфраструктуры необходимо обеспечить непрерывный аппаратный мониторинг в виде контроля компонентного состава газовых смесей на каждом технологическом цикле промышленного кластера, что обеспечит своевременное выявление возникающих осложнений и негативных процессов в виде вероятности утечек водорода и его смесей, предотвращения коррозионных эффектов и основываются на мониторинге объектов.

Для принятия взвешенного решения и учета всех рисков, технологических и экологических угроз по использованию существующей сети хранения и объемам транзита требуется проведение дополнительных исследований особенностей поведения водорода. Результаты исследований требуют специфической обработки с учетом национальных и отраслевых стандартов, чтобы гарантировать безопасную, экономичную и цикличную работу без нанесения вреда инфраструктуре в длительной перспективе.

Статья подготовлена в рамках выполнения государственного задания по теме: «Научное обоснование оптимальных условий подземного хранения водорода совместно с метаном», № AAAA-A19-119101690016-9.

Алгебра

1. Abukova, L. A., Filippova, D. S., Safarova, E. A., et al. (2021). Hydrogeochemical and microbiological features of ugs in the aspect of hybrid storage of natural gases. In: *EAGE Conference Proceedings*. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.202150116>
2. Ajanovic, A., Haas, R. (2018). Economic prospects and policy framework for hydrogen as fuel in the transport sector. *Energy Policy*, 123, 280–288.
3. Aksyutin, O. E., Ishkov, A. G., Romanov, K. V. i dr. (2017). Potencial metano-vodorodnogo topliva v usloviyah perekhoda k nizkouglerodnoj ekonomike. *Gazovaya promyshlennost'*, S1(750), 82–85.
4. Amid, A., Mignard, D., Wilkinson, M. (2016). Seasonal storage of hydrogen in a depleted natural gas reservoir. *International Journal of Hydrogen Energy*, 41, 5549–5558.
5. Barsuk, N. E., Khaydina, M. P., Khan, S. A. (2018). “Green” gas in the European gas transportation system. *Gas Industry*, 10, 104–109.
6. Bedel, L., Junker, M. (2006, June). Natural gas pipelines for hydrogen transportation. In: *Proceedings of the WHEC Conference Session, Lyon, France*.
7. Caglayan, D. G., Weber, N., Heinrichs, H. U., et al. (2020). Technical potential of salt caverns for hydrogen storage in Europe. *International Journal of Hydrogen Energy*, 45, 6793–6805.
8. Fekete, J. R., Sowards, J. W., Amaro, R. L. (2015). Economic impact of applying high strength steels in hydrogen gas pipelines. *International Journal of Hydrogen Energy*, 40, 10547–10558.
9. Hagemann, B., Rasoulzadeh, M., Panfilov, M., et al. (2015). Mathematical modeling of unstable transport in underground hydrogen storage. *Environmental Earth Sciences*, 73, 6891–6898.
10. Henkel, S., Pudlo, D., Werner, L., et al. (2014). Mineral reactions in the geological underground induced by H₂ and CO₂ injections. *Energy Procedia*, 6, 8026–8035.
11. Luboń, K., Tarkowski, R. (2020). Numerical simulation of hydrogen injection and withdrawal to and from a deep aquifer in NW Poland. *International Journal of Hydrogen Energy*, 45, 2068–2083.
12. Lurie, M. V. (2021). Transportation of hydrogen through natural gas pipelines using the batch method. *Oil and Gas Territory*, 3-4, 86–92.
13. Nemati, B., Mapar, M., Davarazar, P., et al. (2020). A sustainable approach for site selection of underground hydrogen storage facilities using fuzzy-delphi methodology. *Journal of Settlements and Spatial Planning*, 6, 5–16.
14. Panfilov, M. (2010). Underground storage of hydrogen: in situ selforganisation and methane generation. *Transport in Porous Media*, 85(3), 841–865.
15. Panfilov, M. (2016). Underground and pipeline hydrogen storage /in: Gupta, R.B., Basile, A., Veziroglu, T.N., eds. «Compendium of hydrogen energy». Vol. 2. Hydrogen storage. Distribution and infrastructure. *Woodhead Publishing*.
16. Stolyarov, V. E., Monakova, A. S., Safarova, E. A., Filippova, D. S. (2021). Automatization features of industrial hydrogen production and storage. *Automation, Telemechanization and Communication in Oil Industry*, 3, 18–26.
17. Tarkowski, R. (2017). Perspectives of using the geological subsurface for hydrogen storage in Poland. *International Journal of Hydrogen Energy*, 42, 347–355.
18. Tarkowski, R. (2019). Underground hydrogen storage: Characteristics and prospects. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 105, 86–94.

Особенности мониторинга хранения метано-водородных смесей

Е.А. Сафарова, Д.С. Филиппова, В.Е. Столяров

Институт проблем нефти и газа
Российской Академии наук, Москва, Россия

Реферат

Хранение метано-водородных смесей (МВС) в существующих подземных хранилищах газа является необходимым условием развития «углеродно-нейтральной» стратегии Российской Федерации. Применение технологий хранения и поставки МВС в промышленных объемах должно быть обеспечено экспериментальными исследованиями, созданием нормативно-правовой базы и внедрением современных методик сохранения эксплуатационной надежности существующей Единой Газотранспортной Системы.

Необходимость проведения научных и проектных работ определяется особенностями хранения МВС и оценкой вероятности возникновения негативных техногенных и механических последствий при эксплуатации оборудования. В материалах приведены основные рискованные модели процессов, возникающих в случае гибридного хранения МВС.

Предложено использование кластерной технологии хранения и транспортировки МВС, а также показана необходимость обеспечения постоянного контроля компонентного состава газа в рамках реализации интегрированной автоматизированной потоковой технологии.

Ключевые слова: метано-водородные смеси; водородная энергетика; риски; подземное хранение газа; аппаратный контроль.

Metan-hidrogen qarışıqların saxlanılması monitorinqinin xüsusiyyətləri

E.A. Səfərova, D.S. Filippova, V.E. Stolyarov

Rusiya Elmlər Akademiyasının
Neft və Qaz Problemləri İnstitutu, Moskva, Rusiya

Xülasə

Rusiya Federasiyasının «karbon-neytral» strategiyasının inkişaf etdirilməsi üçün metan-hidrogen qarışıqların (MHQ) mövcud yeraltı qaz anbarlarında saxlanılması vacib şərtlərdən biridir. Metan-hidrogen qarışıqlarının sənaye həcmələrində saxlanılması və çatdırılması texnologiyaların istifadəsi eksperimental tədqiqatlar, normativ-hüquqi bazanın yaradılması və mövcud Vahid Qaz Nəqliyyat Sisteminin istismar etibarlılığının saxlanılması üçün müasir üsulların tətbiqi ilə təmin edilməlidir. Elmi və layihə işlərinin aparılması zərurəti MHQ-nın saxlanılmasının xüsusiyyətləri və avadanlığın istismarı zamanı mənfi texnogen və mexaniki təsirlərin yaranması ehtimalının qiymətləndirilməsi ilə müəyyən edilir. MHQ-nın hibrid halında saxlanılması zamanı əmələ gələn proseslərin əsas risk modelləri verilmişdir. Məqalədə MHQ-nın saxlanılmasının və nəqliyyatının klaster texnologiyasının istifadəsi təklif edilir, həmçinin integrasiya olunmuş avtomatlaşdırılmış axın texnologiyasının həyata keçirilməsi çərçivəsində qazın komponent tərkibinin daimi nəzarətdə saxlanılmasının təmin edilməsi zərurəti göstərilir.

Açar sözlər: metan-hidrogen qarışıqları; hidrogen energetikası; risklər; qazın yeraltı saxlanılması; aparat nəzarəti.