



**РЕКОМЕНДАЦИИ ПО СИСТЕМЕ МОНИТОРИНГА
ПОДЗЕМНОГО ХРАНИЛИЩА ГАЗА**

**RECOMMENDATIONS ON THE MONITORING SYSTEM
OF UNDERGROUND GAS STORAGE**

*Victor NORDIN, Natalia BELKINA
Immanuel Kant Baltic Federal University Kaliningrad*

Резюме:

В статье в соответствии с «процессным подходом» по ISO 9000 обосновывается необходимость создания на подземном хранилище газа системы мониторинга и контроля, включающей объекты, параметры, методы, периодичность и корректирующие воздействия, на основании которой составлена структурная формула цикла мониторинга. Квалиметрический подход позволяет определять комплексные показатели оценки эффективности эксплуатации, которые помогут своевременно принимать эффективные управленческие решения, в том числе и с позиции охраны окружающей среды.

Abstract:

The article in accordance with the "process approach" ISO 9000 is substantiated the necessity of creating underground gas storage system monitoring and control, including objects, parameters, methods, frequency and corrective action, on the basis of which made structural formula monitoring cycle. Qualimetric approach allows to define complex criteria of an estimation of efficiency of operation, which will help to make timely and effective management decisions, including from the perspective of environmental protection.

Ключевые слова: подземное хранилище газа (ПХГ), мониторинг и контроль, структура мониторинга, квалиметрический подход

Key words: underground gas storage (UGS), monitoring and control, structure monitoring, qualimetric approach

ВВЕДЕНИЕ

В современных условиях повышения интенсивности потребления энергоносителей, а также ответственности за перебои в поставках природного газа потребителям возрастает значение подземных хранилищ газа (ПХГ). ПХГ являются неотъемлемой частью Единой системы газоснабжения России, поддерживая надёжность ее функционирования. Назначением ПХГ является обеспечение бесперебойных поставок природного газа отечественным и зарубежным потребителям за счет сглаживания пиковых нагрузок в потреблении газа из-за резких колебаний температуры. Кроме того, ПХГ компенсируют перебои в поставках газа при авариях и других непредвиденных обстоятельствах в газотранспортной сети (резервные ПГХ), обеспечивают хранение стратегически важных резервов природного газа.

Одним из рациональных способов удовлетворения пикового спроса является хранение газа в ПХГ, сооружаемых в отложениях каменной соли, как на Калининградском ПХГ, первая очередь которого запущена в эксплуатацию в сентябре 2013 года. В то же время строительство Калининградского ПХГ продолжается, и в течение 5-7 лет планируется

запустить объект на полную мощность. Когда все 14 резервуаров заработают, количество газа в них сможет не только обеспечить безопасность области в аварийных ситуациях, но и позволит Калининградскому ПХГ служить самостоятельным поставщиком природного газа, направляя потребителям до 12 млн. куб. м газа в сутки (при сегодняшнем среднесуточном потреблении газа в регионе – 5,9 млн. куб. м).

ПРОБЛЕМЫ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ПХГ

Правилами обустройства и безопасной эксплуатации подземных хранилищ природного газа в отложениях соли строго регламентируются технологические показатели и требования, предъявляемые к охране окружающей среды, своевременность выполнения работ по ремонту основного и инфраструктурного оборудования, а также сохранение устойчивости и герметичности на весь период эксплуатации хранилища [1].

При создании и эксплуатации ПХГ всегда имеется утечка части хранимого газа. Кроме прямых экономических потерь, это крайне раздражает экологов, которые считают утечки газа одним самым вредным из воздействий ПХГ на окружающую среду.

Размеры утечек зависят от геолого-физических условий объекта ПХГ, динамических условий эксплуатации, технического состояния скважин и многого другого. Причины, вызывающие нарушение герметичности хранилища, делят на геологические, технические и технологические [2]. К первым можно отнести наличие тектонических разломов, неоднородность покрывки хранилища (например, включение линз песка в глиняном слое), особенности подземной гидродинамики и геохимии (например, растворение газа в подземных водах и миграция газа по пластам пород и др.). На это персонал ПХГ никак повлиять не может.

Технические причины связаны в основном с состоянием скважин, (негерметичность колонных оголовков, дефекты эксплуатационных колонн и пр.). К технологическим причинам, вызывающим перетоки газа из хранилища, относят ошибки при оценке эффективности гидро- и газопорыв ловушки, рабочего объема хранилища и запасов газа, отклонения от технологического режима, и физико-химических процессов в самой залежи. Всё это может привести к переполнению хранилища и утечке газа [3].

Основные виды контроля и наблюдений выполняются по скважинам различного технологического назначения по:

- объекту хранения газа,
- контрольным водоносным горизонтам, залегающим выше и ниже объекта хранения,
- питьевым водоносным горизонтам,
- дневной поверхности в границах горного отвода ПХГ.

На всех действующих скважинах должен быть установлен оптимальный режим закачки и отбора газа, обеспечивающий требуемую производительность.

Наземное оборудование скважин в процессе эксплуатации должно находиться под постоянным контролем операторов эксплуатационной службы. Во время профилактических осмотров особое внимание следует уделять утечкам газа через фланцевые, резьбовые и сварные соединения, сальниковые уплотнения запорной арматуры, межколонным давлениям. После отработки каждой единицей технологического оборудования заданного количества часов независимо от ее технического состояния необходимо проводить планово-предупредительный ремонт-текущий или капитальный.

При сооружении и эксплуатации подземных хранилищ должен проводиться экологический мониторинг сред, подверженных их воздействию, для выявления техногенной миграции загрязняющих веществ и оценки реальных изменений в окружающей среде. К процессам аварийного характера относятся: загрязнение при авариях трубопроводов почв, приповерхностных грунтов, подземных вод рассолом, жидким нерастворителем (дизельным топливом); загрязнение водоносных горизонтов при перетоках высокоминерализованных вод из горизонта захоронения строительного рассола; образование техногенных залежей и распространение газа по коллекторам при перетоках газа из подземных резервуаров; смятие обсадных колонн технологических скважин.

Таким образом, из анализа многих регламентных документов, научно-производственной литературы и справочников следует, что основные проблемы ПХГ связаны с обеспечением безопасности эксплуатации, связь которой с влияющими факторами отобразим в виде причинно-следственной диаграммы (Рис. 1) [4].

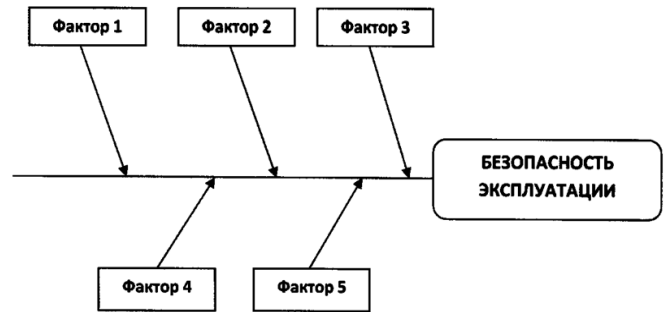


Рис. 1 Причинно-следственная диаграмма безопасности эксплуатации НГХ

Влияющие на безопасность эксплуатации факторы:

- фактор 1 – ответственность руководства,
- фактор 2 – требования к персоналу,
- фактор 3 – мониторинг окружающей среды,
- фактор 4 – контроль технологических процессов и технического состояния элементов,
- фактор 5 – строгая регламентация контрольных операций.

Сравнение перечисленных факторов по методу экспертных оценок с помощью матриц предпочтительности [4] с точки зрения их значимости для обеспечения безопасности эксплуатации ПХГ показало, что мониторинг окружающей среды среди факторов занимает лидирующее положение. Другие факторы также связаны с необходимостью получения всеобъемлющей информации о работе ПХГ.

Как показывает мировой опыт, решению этой проблемы в значительной степени будет способствовать создание и функционирование системы менеджмента качества (СМК) на НГХ в соответствии с международными стандартами серии ISO 9000 и ISO 14001.

ОСОБЕННОСТИ МОНИТОРИНГА ПРОЦЕССОВ И ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ПХГ

На основании анализа многих нормативных документов нефтегазовой отрасли представим структуру мониторинга процессов, объектов и окружающей среды при эксплуатации ПХГ (Рис. 2).

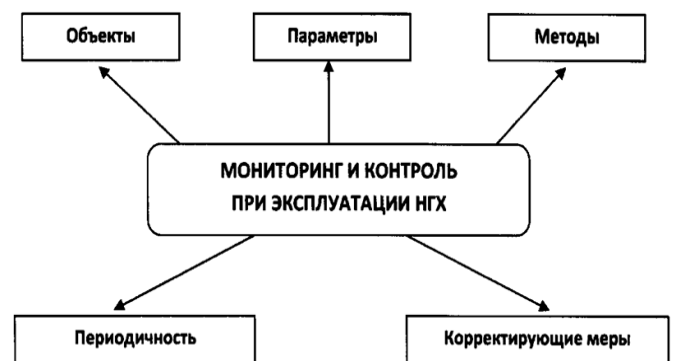


Рис. 2 Структура мониторинга при эксплуатации НГХ

Объектами мониторинга являются:

- объект хранения газа,
- контрольные горизонты;
- эксплуатационные, наблюдательные, контрольные, поглотительные, геофизические скважины,
- оборудование,
- окружающая среда.

К контролируемым **параметрам** относятся:

- объем газа,
- объем пластовой жидкости, добываемой при отборе газа,
- суточная производительность эксплуатационных скважин и хранилища в целом,
- состав газа, точка росы,
- пластовое давление в объекте хранения (в газоносной и водоносной зоне),
- уровни и давления в контрольных горизонтах,
- давление и температура в технологической линии,
- межколонное давление и межколонный расход газа по скважинам,
- содержание растворенного газа,
- герметичность ПХГ и скважин,
- техническое состояние оборудования,
- вместимость резервуаров,
- уровни шума оборудования и др.

Для осуществления мониторинга на ПХГ применяют **гидрохимические, геофизические, промышленные и аналитические методы**. При необходимости возможно применение дополнительных методов исследований.

Периодичность контроля за объектами ПХГ и их параметрами значительно различается [1], например:

- учет количества закачиваемого и отбираемого газа – ежедневно,
- баланс газа по ПХГ и эксплуатационным скважинам – ежемесячно,
- контроль за товарным качеством газа – ежемесячно,
- контроль за техническим состоянием скважин – ежемесячно в летний период,
- контроль состояния питьевых горизонтов – раз в квартал,
- эколого-геохимические исследования – раз в три года и т.д.

Представим структурную формулу цикла мониторинга «С Д М К Г» (Рис. 3).

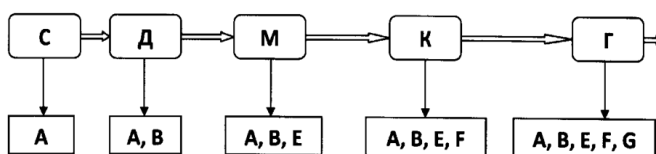


Рис. 3 Структура годового цикла мониторинга объектов НГХ

Наземное оборудование скважин в процессе эксплуатации должно находиться под постоянным контролем операторов эксплуатационной службы. Во время профилактических осмотров особое внимание следует уделять утечкам газа через фланцевые, резьбовые и сварные соединения, сальниковые уплотнения запорной арматуры, межколонным давлениям. При обнаружении неисправностей и пропусков газа скважины должны быть немедленно

перекрыты и приняты меры по замене неисправных узлов и деталей или передаче скважины в ремонт. Периодичность обхода должна устанавливаться руководством предприятия.

На рисунке обозначены объекты с соответствующей периодичностью контроля:

- А – суточной,
- В – декадной,
- Е – месячной,
- Ф – квартальной,
- Г – годовой.

Техническое обследование подземных стальных газопроводов должно производиться: при продолжительности эксплуатации их до 25 лет – не реже 1 раза в 5 лет, при продолжительности эксплуатации более 25 лет – не реже 1 раза в 3 года. Газопроводы, включенные в план капремонта или замены, должны обследоваться не реже 1 раза в год.

Базовое и периодическое техническое диагностирование (ТД) скважин ПХГ должно включать:

- анализ имеющейся технической документации на скважину,
- анализ условий и режимов эксплуатации скважины,
- техническое диагностирование обсадных колонн и заколонного пространства скважин,
- определение остаточной прочности обсадных колонн,
- составление заключения о техническом состоянии объектов диагностирования.

Так как в современных условиях при мониторинге и измерении используют компьютерные программные средства, их способность должна удовлетворять всем требованиям применения для столь сложного объекта, как реальный производственный процесс.

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО СИСТЕМЕ МОНИТОРИНГА И КОНТРОЛЯ НА ПХГ

Многие исследователи, например [5], отмечают, что любой процесс СМК может быть оценен по следующим группам характеристик:

- Результативность процесса: вероятность достижения запланированного результата. Поскольку упоминается вероятность, очевидно, что при этом проявляются и риски.
- Эффективность процесса: отношение затрат на выполнение процесса к полученному полезному результату, а также время, затраченное на процесс.
- Дополнительные характеристики процесса: воздействие на окружающую среду, потенциальные риски для персонала, непрогнозируемые выходы оборудования из работоспособного состояния, техногенные катастрофы и др.

Цель реализации процесса, кроме того, что определяет алгоритм анализа, влияет на вид показателей и их назначение. Так, например, для акционеров будут важны стоимостные показатели, для общества – экологические показатели, для персонала – показатели профессиональной безопасности.

С **ценностью процесса** связана тщательность и сложность мониторинга и применяемого измерительного оборудования.

Метод (технология) процесса, в первую очередь, определяет место и время измерительных и контрольных операций в процессе.

Требования к процессу и его результату влияют на точность и методику измерений.

Таблица 1
Факторы и показатели риска для ПХГ

Факторы риска	Показатели
Персонал	Компетентность персонала (образование, подготовка, навыки, опыт)
Оборудование, программное обеспечение	Техническое состояние, режимы и параметры работы оборудования (программного обеспечения)
Внешняя среда	Атмосферные и природные условия, законодательство, политические и экономические условия, социальное окружение
Материалы, инфраструктура	Характеристики материалов и инфраструктурного обеспечения
Управляющие воздействия	Планирование, алгоритм действий, коррективы, контроль (PDCA-икл)

Основные факторы, влияющие на достижение результатов процессов СМК в ПХГ, и соответствующие показатели представлены в табл. 1.

Предложенный алгоритм анализа процессов показывает администрации НГХ направление, по которому целесообразно проводить анализ.

ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ МОНИТОРИНГА И КОНТРОЛЯ НА ОСНОВЕ КВАЛИМЕТРИЧЕСКОГО ПОДХОДА

Эксплуатация ПХГ осуществляется посредством многих процессов, а ее мониторинг и контроль включают в себя множество показателей (табл. 2).

В табл. 2 из регламентирующих документов приведены основные показатели, которые нужно контролировать в процессе мониторинга, разделенные на четыре группы по основным процессам.

Учитывая сложность и многофакторность эксплуатации ПХГ, а также то, что стандарты серии ISO 9000 требуют базирования принимаемых решений на фактах, т.е. на измерениях, целесообразно для обработки и анализа результатов мониторинга использовать квалиметрический подход. Его аналитическая сущность приведена в [4, 6].

Таблица 2
Основные показатели эксплуатации ПХГ

Показатели	Предельно допустимые значения показателей	Тип показателя
1. Закачка газа в ПХГ		
1.1. Давление нагнетания, МПа	16-20	двухсторонний
1.2. Количество вводимого одоранта, г/1000 м ³	10-30	двухсторонний
1.3. Скорость течения газа, м/с	30-35	двухсторонний
1.4. Предельное содержание механических примесей, мг/м ³	3	односторонний
1.5. Предельное содержание влаги, мг/м ³	6	односторонний
2. Хранение газа в ПХГ		
2.1. Максимальная суточная расчетная утечка, м ³	0,02	односторонний
2.2. Максимальное снижение давления опрессовки за 30 минут, МПа	0,5	односторонний
2.3. Давление газа в полостях ПХГ	15-17,2	двухсторонний
2.4. Температура точки росы, °С	-10-8	двухсторонний
3. Отбор газа из ПХГ		
3.1. Снижение давления при отборе газа, МПа/ч	0,3-0,5	двухсторонний
3.2. Давление газа на входе в магистраль, МПа	4-10	двухсторонний
3.3. Скорость истечения газа, м/с	30-35	двухсторонний
3.4. Калорийность газа, Ккал/м ³	7800-8500	двухсторонний
4. Воздействие на окружающую среду		
4.1. Предельное содержание нерастворимой взвеси в откачиваемом рассоле, мг/л	10	односторонний
4.2. Предельная концентрация вредных веществ в воде, мг/л	0,05	односторонний
4.3. Предельное фоновое загрязнение воздуха, мг/м ³	0,5	односторонний
4.4. Сумма отношений фактических концентраций вредных веществ в воздухе к их ПДК	1,0	односторонний
4.5. Допустимый уровень шума, дБ	80	односторонний

Единичный уровень для двухстороннего показателя:

$$q_i = 1 - \frac{(P_i - P_{oi})}{0,5 \cdot T_i} \quad (1)$$

где:

P_i – i -й единичный показатель (характеристика) оцениваемого объекта (процесса), характеризующий какое-либо одно его свойство,
 P_{oi} – номинальное (базовое) значение i -го единичного показателя;
 T_i – допуск i -го единичного показателя, равный разности верхнего и нижнего предельно допустимых значений.

При одностороннем асимметричном допуске показателей по аналогии получим:

$$q_i = 1 - \frac{(P_i - P_{oi})}{T_i} \quad (2)$$

Весомости (значимости) единичных показателей целесообразно устанавливать экспертным методом. При этом должны выполняться следующие соотношения:

$$0 < m_i < 1; \sum_1^n m_i = 1 \quad (3)$$

При невозможности использования экспертного метода можно использовать следующую формулу, вытекающую из вероятностного подхода,

$$m_i = \frac{q_i}{\sum_1^n q_i} \quad (4)$$

Исключая прямое влияние количества единичных показателей на весомости их уровней и, приводя последние к более удобному виду, введем коэффициенты участия:

$$y_i = \frac{m_i}{m_{oi}} = n \cdot m_i \quad (5)$$

Комплексный показатель (критерий) эффективности объекта (процесса), для которого недопустим выход любого из единичных показателей за пределы допуска, целесообразно рассчитывать посредством геометрического суммирования с учетом коэффициентов участия:

$$K = \left[\prod_1^n (q_i \cdot y_i) \right]^{1/n} \quad (6)$$

где:

Π – знак произведения.

Если в общей оценке объекта допустимо иметь единичные показатели с низким значением (или даже с нулевым), то комплексный показатель эффективности целесообразно определять по следующей формуле:

$$K = \left[\frac{1}{n \sum_1^n (q_i \cdot y_i)^2} \right]^{1/2} \quad (7)$$

В третьем столбце табл. 2 указан тип показателей, при этом для расчета единичных уровней двухсторонних показателей должна использоваться формула (1), а для односторонних – формула (2). Для демонстрации методики зададим измеренные значения основных показателей.

Расчет по формуле (6) комплексных показателей четырех процессов ПХГ, упомянутых в табл. 2., по значениям измеренных единичных показателей дал следующие значения:

$$K_1 = 0,714 \quad K_2 = 0,853 \quad K_3 = 0,775 \quad K_4 = 0,671$$

Комплексный уровень (критерий эффективности) по всем четырем основным процессам по формуле (6) будет: $K = 0,747$.

Предполагая, что для успешной работы ПХГ недопустимо снижение комплексного показателя ниже значения, равного 0,7, тем не менее, необходимо предпринимать меры для недопущения снижения уровня качества менее 0,7 и для каждого из четырех основных процессов при эксплуатации. Для возможности автоматизации сигнала о необходимости принятия мер, в компьютеризированной системе управления следует предусмотреть построение сигнальных зависимостей с предельно допустимыми значениями показателей (Рис. 4).

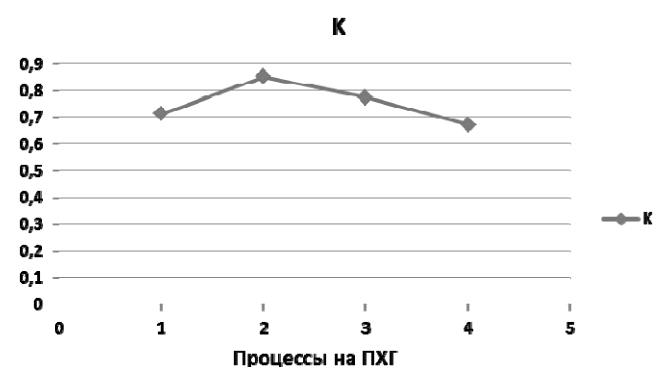


Рис. 4 Значения комплексных показателей по основным процессам при эксплуатации ПХГ

Из рис. 4 следует, что целесообразно уделить внимание процессу «Воздействие на окружающую среду», для которого нужно запросить анализ у системы управления и расчет критерия эффективности.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Подземные хранилища позволяют гарантированно обеспечивать потребителей природным газом независимо от времени года, колебаний температуры, форс-мажорных обстоятельств. Сеть ПХГ обеспечивает в отопительный период свыше 20% поставок газа российским потребителям. А в дни резких похолоданий подземные хранилища дают более 30% газа, потребляемого на территории России.

В соответствии с ведомственными документами при эксплуатации ПХГ необходимо строго соблюдать нормативные технологические показатели и, особенно, требования, предъявляемые к охране окружающей среды. Должен соблюдаться регламент по обследованию и ремонту скважин подземных резервуаров, а также машин и оборудования. Из анализа многих регламентных документов, научно-производственной литературы и справочников следует, что основные проблемы ПХГ связаны с обеспечением безопасности эксплуатации. Выявлено, что мониторинг окружающей среды среди факторов занимает лидирующее положение. Другие факторы также связаны с необходимостью получения всеобъемлющей информации о работе ПХГ. Как показывает мировой опыт, решению этой проблемы в значительной степени

будет способствовать созданию и функционированию системы менеджмента качества (СМК) на НГХ в соответствии с международными стандартами серии ISO 9000 и ISO 14001.

Представлена структура мониторинга, включающая объекты, параметры, методы, периодичность и корректирующие методы, на основании которой составлена структурная формула цикла мониторинга для ПХГ – «С Д М К Г». Систему мониторинга целесообразно создавать в соответствии с процессным подходом, являющимся одним из базовых принципов ISO 9000, что позволяет представлять работу ПХГ как цепь взаимосвязанных основных процессов.

В связи с тем, что эксплуатация ПХГ осуществляется посредством многих процессов, а мониторинг и контроль включают в себя множество показателей, для обработки их результатов целесообразно применять квалиметрический подход, который находит все большее применение в разных областях. Автоматизированная система фиксации и демонстрации результатов мониторинга и контроля позволит наглядно видеть картину эффективности процессов эксплуатации Калининградского ПХГ и быстро реагировать на любые несоответствия.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] ГОСТ Р 53239-2008. Хранилища природных газов подземные. Правила мониторинга при создании и эксплуатации. Введен в действие 01.01.2010.
- [2] СН и П 34-02-99. Подземные хранилища газа, нефти и продуктов их переработки. Приняты с 1 июля 1999 г. постановлением Госстроя России от 17.05.99 № 36.
- [3] М. Л. Теплов, В. А. Грохотов, В. И. Федчук, Д. О. Булгаков. «Риск эксплуатации ПХ в каменной соли.» *Газовая промышленность*, № 9, С. 67, 1999.
- [4] В. В. Нордин. *Практические методы повышения качества управления в транспортной и сервисной отраслях*. Калининград: Изд-во БФУ им. И.Канта, 2010, 212 с.
- [5] Н. А. Шичков. *Выбор методов измерения процессов системы менеджмента качества*. <http://quality.eup.ru/DOCUM5/measuring-process.htm>.
- [6] N. Belkina. "Qualimetric evaluation of educational achievements". *Management Systems in Production Engineering*, 2013, № 2(10), pp 8-11.

prof. dr inż. Victor Nordin, mgr Natalia Belkina
Immanuel Kant Baltic Federal University Kaliningrad
ul. A. Newskiego 14, 236041 Kaliningrad, РОССИЯ
tel. +7952 1146697
e-mail: nordin@gazinter.net