

Формирование программ технического обслуживания и ремонта подземных хранилищ газа – улучшение промышленной безопасности

С.В. Власов

кандидат технических наук,
генеральный директор¹
office@energo-diagnostics.ru

И.А. Тутнов

профессор, доктор технических наук²
office@energo-diagnostics.ru

Л.Г. Силантьева

кандидат технических наук, начальник отдела³
kachestvo@umail.ru

¹ООО «Энергодиагностика», Москва, Россия

²ООО «НУЦ «Качество», Москва, Россия

³НИИУ МИФИ, Москва, Россия

Представлены новый взгляд, принципы, положения и общая методология формирования эффективных по содержанию и оптимальных по ресурсным затратам программ технического обслуживания и ремонта подземных хранилищ газа с позиций обеспечения гарантий их промышленной безопасности.

Материалы и методы

Научная методология и методы формирования программ технического обслуживания и ремонта (ТОиР) подземных хранилищ газа (ПХГ) на основе основных стратегий безопасной эксплуатации сложных технических систем. Методология и комплексный метод формирования перспективных программ ТОиР представлены общим для всех объектов ПХГ способом вероятностной оценки экономической эффективности интегральной системы ТОиР и мониторинга состояния промышленной безопасности, управления рисками эксплуатации объектов и процессами подземного хранения газа.

Для объективной вероятностной оценки результативности применения различных вариантов ТОиР, включая процедуры и мероприятия функционального мониторинга безопасности и управления рисками эксплуатации объектов ПХГ, и для определения практической эффективности перспективных программ ТОиР объектов ПХГ для эксплуатирующих организаций показано построение соответствующей имитационной модели. Имитационная модель оценки результативности применения различных вариантов перспективных программ технического обслуживания и ремонта подземных хранилищ газа представляет структурную схему надежности объекта ПХГ или

Введение

Подземные хранилища газа (ПХГ) представляют собой совокупность разных объектов (рис. 1) с длительным сроком службы в условиях многокомпонентных и многофакторных неопределенностей внешних и внутренних эксплуатационных, природных и техногенных воздействий. Поэтому эти объекты обычно характеризуются плохо диагностируемым прогнозом ресурса их безопасной эксплуатации и надежности работы. Для таких объектов гарантии функциональной безопасности, системной надежности и экологической приемлемости для периода их будущей эксплуатации во многом формируются за счет выполнения специальных программ и инженерно-технических мероприятий по техническому, в т.ч. и диагностическому, обслуживанию и предупредительного ремонта. Поэтому развитие научной методологии и методов формирования программ технического обслуживания и ремонта (ТОиР) представляется существенной, своевременной и актуальной новой задачей, решение которой чрезвычайно важно для адекватного представления гарантий и улучшения промышленной безопасности различных объектов ПХГ.

Обстоятельства и необходимость развития научной методологии формирования программ технического обслуживания и ремонта ПХГ.

Анализируя состояние проблем ТОиР, в плоскости промышленной безопасности ПХГ, и учитывая накопленный опыт практического использования хранилищ газа в условиях значительной удаленности основных газовых месторождений РФ от европейских потребителей газовых энергоресурсов, и прогнозные ожидания по увеличению существенных неравномерностей в объемах потребления природного газа в регионах России и странах Европы важно отметить следующее:

1. ПХГ РФ и других стран в период их

промышленной эксплуатации в первую очередь предназначены для:

- нивелирования неравномерности и исключения дефицитов в системе газоснабжения конечных региональных потребителей;
- сглаживания и снижения неравномерностей и возможных недопоставок газа потребителям, в т.ч. обусловленных сезонным дефицитом объемов добычи газа, авариями на газопроводной энергетической системе, другими чрезвычайными и опасными явлениями, которые приводят к нарушению нормального состояния энергетической безопасности (ЭБ) стран и регионов;
- создания резерва природного газа на случай возникновения чрезвычайных или иных непредвиденных ситуаций в добыче и распределении газа его конечным потребителям;
- создания стратегического резерва газового топлива государства;
- временного хранения избыточных объемов добытого газа;
- повышения гарантий надёжности внутренних и экспортных поставок российского природного газа по долгосрочным контрактам с разными регионами и странами импортерами газа.

2. Обеспечение надёжного газоснабжения потребителей РФ и экспортных поставок газа, а следовательно, и функциональной безопасности, системной надежности и экологической приемлемости промышленного использования ПХГ, входит в число приоритетных задач национальной энергетической стратегии [1]. Решение этих задач требует постоянного мониторинга, диагностического контроля надёжной и безопасной эксплуатации объектов ПХГ (скважин, газопроводов, установок подготовки газа, газоперекачивающих агрегатов, газовых трубопроводных коллекторов, систем мониторинга, управления и безопасности,



Рис. 1 — Типичная панорама объектов ПХГ

запорной и регулирующей арматуры и пр.), системного выполнения работ ТОиР.

3. В настоящее время технология промышленной эксплуатации ПХГ становится более гибкой и динамичной, соответствующей климатическим аномалиям и конъюнктуре использования газа при внутренних для РФ (региональных) и экспортных поставках природного газа его потребителям. Это определяет дополнительные ограничения для планирования периодов и условий выполнения работ ТОиР на объектах ПХГ.

4. Большинство ПХГ в РФ эксплуатируются свыше 30 лет. Степень износа их основных объектов для текущего периода уже превышает 50%. В этих объективно существующих условиях промышленного использования ПХГ важно выполнять мониторинг функциональной безопасности, планомерно осуществлять работы ТОиР, точно прогнозировать и отслеживать факт полного соответствия показателей промышленной безопасности при текущей и будущей эксплуатации объектов ПХГ действующим нормам и правилам в сфере технического регулирования, а также эффективно управлять состоянием функциональной безопасности, системной надежности, экологической приемлемости и рисками промышленного применения ПХГ. Для этого важно планировать и осуществлять:

- мониторинг герметичности ПХГ;
- на системной основе вести эксплуатационный мониторинг ключевых параметров прочности, надежности, ресурса и других показателей промышленной безопасности объектов ПХГ;
- диагностировать (в т.ч. и прогнозировать) характеристики функциональной безопасности промышленных сооружений, технологических устройств и изделий, оборудования, и трубопроводов ПХГ, а также условия осуществления технологического процесса подземного хранения газа.

Вместе с этим важно и необходимо оценивать риски возможных аварий ПХГ и ожидаемые величины ущерба, которые могут быть вызваны нарушениями проектных условий безопасной эксплуатации ПХГ, определять объемы материальных и финансовых потерь, а также оценивать количественные показатели экономического ущерба, как у поставщиков, так и потребителей природного газа.

5. Надёжное функционирование наземных и подземных объектов ПХГ должно сопровождаться совершенствованием инженерно-организационной системы ТОиР, в т.ч. путем улучшения процедур технического мониторинга и диагностирования, улучшения всего процесса экспертизы промышленной безопасности, а также за счет нового развития методологии оценки технического состояния и определения

возможности продления сроков проектной эксплуатации различных технических устройств, систем и сооружений, технологических газопроводов, трубопроводных коллекторов, газовых энергетических агрегатов, других объектов ПХГ. Кроме этого сам процесс совершенствования инженерно-организационной системы ТОиР ПХГ будет полезно выполнять на основе разработки и применения системы управления качеством мероприятий и работ ТОиР на действующих объектах газовых хранилищ.

С учетом сказанного выше следует считать, что в текущий период особенно важно новое развитие процессной методологии планирования работ ТОиР ПХГ, в т.ч. в части улучшения развития методов управления качеством выполнения ремонтов, диагностического, метрологического и иного технического обслуживания процессов подземного хранения газа. Вместе с этим важно улучшение обеспечивающих баз ТОиР ПХГ и информационной базы знаний для правильного прогнозирования рисков дальнейшей эксплуатации объектов газовых хранилищ. При этом качественное совершенствование методов прогнозирования рисков дальнейшей эксплуатации ПХГ будет способствовать как повышению текущего состояния культуры безопасности и качества эксплуатации ПХГ, так и заметному улучшению эффективности системного планирования и выполнения ремонтов, модернизации и замены конструктивных элементов оборудования и сооружений, скважин, агрегатов и других объектов ПХГ по их фактическому техническому состоянию.

Сегодня уже многими экспертами декларируется [2–5], что постоянно увеличивается реальная циклическая нагрузка на ПХГ в части роста количества рабочих циклов для нивелирования неравномерностей, демпфирования сезонных, месячных и даже суточных объемов внутреннего потребления и экспорта природного газа российского происхождения в страны Европы, поэтому требуется чувствительное внимание к работам ТОиР — основе гарантий промышленной безопасности подземного хранения газа. Вместе с этим появляется позитивная перспектива для инвесторов газовых энергетических систем и комплексов в части работ и решения производственных задач при подземном хранении газа. В первую очередь это задачи ТОиР и задачи по увеличению установленных мощностей существующих и созданию новых объектов газовых хранилищ. Это также и новые задачи по обоснованию возможностей продления первоначальных проектных сроков эксплуатации действующих объектов ПХГ, в т.ч. и за счет выполнения модернизаций, более точного прогнозирования сроков

рассматриваемого процесса, оснащенных многопараметрической системой ТОиР и дополнительной системой мониторинга рисков (СМР). Суммарные затраты на интегральную систему ТОиР, мониторинга и управления рисками эксплуатации, техническую диагностику, эксплуатационный контроль, экспертизу безопасности определяем как

$$Ц_{\Sigma} = \sum_{i=1}^n Ц_i$$

Делается предположение: чем выше функциональная полезность программы мероприятий ТОиР, тем выше цена этой программы; событие P_{Σ} полного отказа, аварии может произойти в случае, когда будет иметь место отказ одного или сразу нескольких q_i критических технологических элементов объекта ПХГ, в т.ч. и элементов СМР — q_i и самого объекта в целом q

$$Q_{\Sigma} = q \cdot \prod_{i=1}^n q_i$$

$$P_{\Sigma} = 1 - Q_{\Sigma} = 1 - q \cdot \prod_{i=1}^n (1 - p_i) = 1 - (1 - P) \cdot \prod_{i=1}^n (1 - p_i)$$

Методология формирования перспективных программ ТОиР, ПХГ представляет комплекс методов, в состав которых входят методы мониторинга и диагностики, имитационного моделирования и верификационного тестирования перспективных вариантов программ.

Ключевые слова

безопасность, газ, ремонт, обслуживание, хранение, эффективность

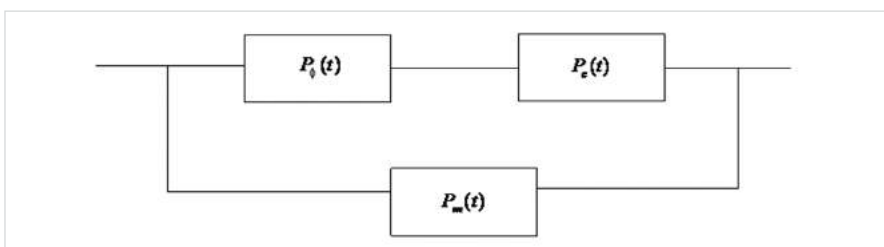


Рис. 2 — Структурная схема надежности объекта ПХГ

безопасной службы объектов и инженерных систем ПХГ, применения современных автоматизированных средств функциональной защиты от явлений разрушительного и пожароопасного характера, уменьшения избыточного консерватизма в предельных индикаторах и действующих нормах промышленной безопасности при подземном хранении газа. Эта перспектива важна также для решения задач:

- технического регулирования функциональной безопасности и надежности поставок газа;
- повышения надежности и функциональной безопасности газотранспортной системы в целом;
- устойчивого газоснабжения, в т.ч. в аномальных условиях, вызванных низкими температурами окружающей среды, аварийными ситуациями в системе газоснабжения, другими обстоятельствами, например, такими как угрозы экономического, военного, террористического или иного характера для регионов.

Для обеспечения безаварийной и надежной эксплуатации объектов ПХГ требуется совершенные методы и общая методология формирования программы ТОиР. Пока методология формирования перспективных программ ТОиР, предупредительного ремонта, реконструкции и модернизации основных инженерных систем, скважин, систем технологических трубопроводов и других компонентов ПХГ, важных для их промышленной безопасности, а также для представления гарантий надежности поставок газа конечному потребителю, эксплуатационной безопасности

и функциональной надежности газовых энергетических систем и комплексов может быть представлена в форме постановки и одного из вариантов решения задачи на базе новых методов, информационных и технических средств интеллектуальной диагностики и мониторинга служебных характеристик и рисков эксплуатации ПХГ. Эта методология и комплексный метод формирования перспективных программ ТОиР, со всей очевидностью, могут быть представлены общим для всех объектов ПХГ способом вероятностной оценки экономической эффективности интегральной системы ТОиР и мониторинга состояния промышленной безопасности, управления рисками эксплуатации объектов и процессами подземного хранения газа.

Для объективной вероятностной оценки результативности применения различных вариантов ТОиР, включая процедуры и мероприятия функционального мониторинга безопасности и управления рисками эксплуатации объектов ПХГ и для определения практической эффективности перспективных программ ТОиР объектов ПХГ для эксплуатирующих организаций, становится необходимо построение соответствующей имитационной модели. При этом целью создания этой модели является обеспечение позитивных условий для декларирования правильных гарантий социальной приемлемости будущих процессов подземного хранения газа. Эта модель, в нашем случае, учитывает вероятностный характер решаемой задачи по планированию мероприятий ТОиР ПХГ и многомерную неопределенность, скудность исходных данных, важных для правильного решения этой задачи.

Имитационная модель оценки результативности применения различных вариантов перспективных программ ТОиР ПХГ.

Для построения имитационной модели оценки результативности применения различных вариантов перспективных программ ТОиР ПХГ допустим, что при вероятности безотказного функционирования P — анализируемого варианта программы ТОиР конкретного объекта ПХГ обеспечивается получение конечной услуги по хранению природного газа в стоимостном выражении величины P_p . Непрогнозируемый (внезапный) отказ технологического объекта ПХГ нарушает безопасные условия поставок газа конечному потребителю, может характеризоваться событием функциональных аварий или проявлением фактов аномальных негативных ситуаций. Вероятность наступления этих событий определяется учетом полноты мероприятий программ ТОиР, реконструкции, модернизации объектов ПХГ и может оцениваться как $Q=1-P$. Вместе с этим, реализация названной программы потребует осуществления экономической компенсации за события разрушительного и пожароопасного характера на объектах ПХГ, т.е. затрат величиной 3_q (затраты на ликвидацию отказа). Тогда в первом приближении основное соотношение для оценки итоговой или конечной прибыли организации, которая эксплуатирует ПХГ — Δ в вероятностной постановке будет иметь вид:

$$\Delta = P P_p - Q 3_q = P(P_p + 3_q) - 3_q \quad (1)$$

Представим простейшую структурную схему надежности объекта ПХГ или рассматриваемого процесса, оснащенных многопараметрической системой ТОиР и дополнительной системой мониторинга рисков (СМР) в виде, показанном на рис. 2, где P — вероятность безотказной работы объекта (процесса) ПХГ, $p_i=1, 2, \dots, n$ — вероятности обнаружения (прогнозирования) отказа в нормальной штатной работе ПХГ.

Допустим, что стоимость i -ого варианта программы ТОиР с учетом ее обслуживания СМР составляет величину C_i .

Тогда суммарные затраты на всю интегральную систему ТОиР, мониторинга и управления рисками эксплуатации, техническую диагностику, эксплуатационный контроль, экспертизу безопасности и т.д. составляют:

$$C_{\Sigma} = \sum_{i=1}^n C_i \quad (2)$$

Допустим, что есть монотонно возрастающие полиномиальные зависимости вида

$$C_i = f(p_i) \quad (3)$$

т.е. чем выше функциональная полезность программы мероприятий ТОиР, тем выше цена этой программы. Определим вероятность безотказной работы объекта (процесса) ПХГ с учетом наличия программы ТОиР. Очевидно, что событие полного отказа, аварии может произойти в случае когда будет иметь место отказ одного или сразу нескольких q_i критических технологических элементов объекта ПХГ, в т.ч. и элементов СМР — q_i и самого объекта в целом q

$$Q_{\Sigma} = q \cdot \prod_{i=1}^n q_i \quad (4)$$

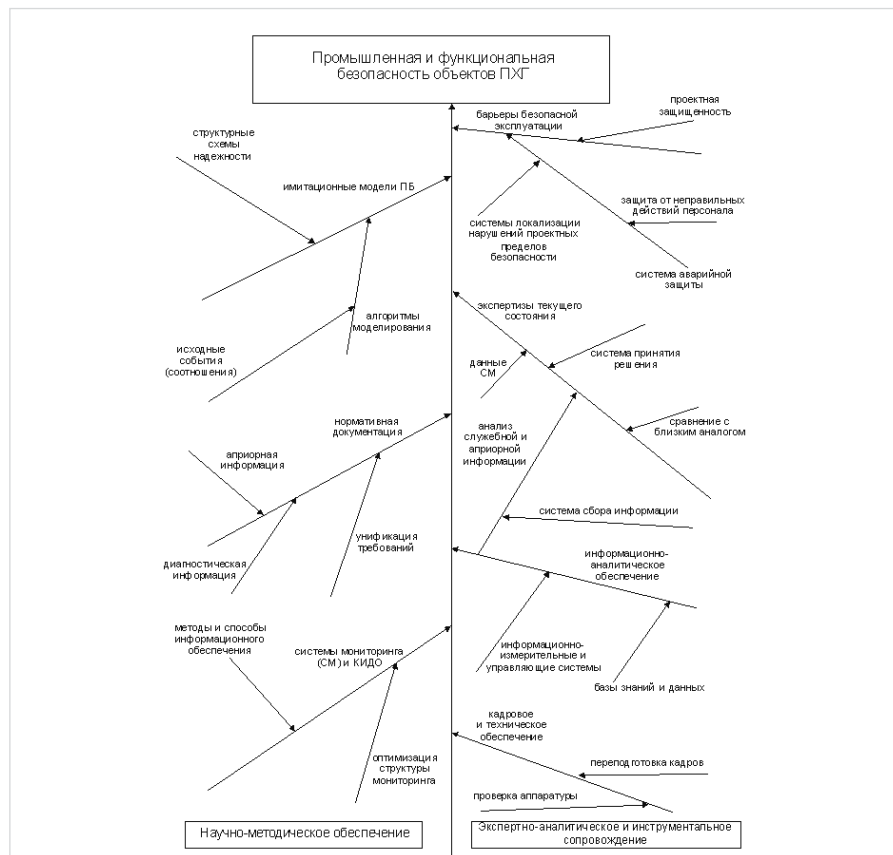


Рис. 3 — Модифицированная диаграмма обеспечения и анализа промышленной и функциональной безопасности объектов ПХГ для заданного варианта программы ТОиР (ПБ — промышленная безопасность; СМ — система эксплуатационного мониторинга; КИДО — комплексные инженерно-диагностические обследования)

Учитывая, что $Q_z + P_z = 1$ и $q_i + p_i = 1$, получим суммарную вероятность безотказной работы P_z при выполнении заданного варианта ТООР ПХГ в виде

$$P_z = 1 - Q_z = 1 - q \cdot \prod_{i=1}^n (1 - p_i) = 1 - (1 - P) \cdot \prod_{i=1}^n (1 - p_i) \quad (5)$$

Тогда прибыль и эффективность работы объекта с заданной программой ТООР определяется как

$$\Delta_n = \left[1 - (1 - P) \cdot \prod_{i=1}^n (1 - p_i) \right] \cdot P_p \quad (6)$$

Затраты на ремонт (восстановление работоспособности) объекта с необходимыми элементами СМР:

$$\Delta_3 = Q_z \cdot 3_q = \left[(1 - P) \cdot \prod_{i=1}^n (1 - p_i) \right] \cdot 3_q \quad (7)$$

Затраты на ремонт i -ого элемента СМР условно включим в цену программы ТООР. Тогда окончательно прибыль от эксплуатации объекта ПХГ или процесса хранения газа с заданным вариантом ТООР определяется с выражением:

$$\Delta = \left[1 - (1 - P) \cdot \prod_{i=1}^n (1 - p_i) \right] \cdot P_p - \left[(1 - P) \cdot \prod_{i=1}^n (1 - p_i) \right] \cdot 3_q - \sum_{i=1}^n f_i(p_i) \quad (8)$$

Для простоты анализа положим, что $p_i = P$, $f_i(p_i) = c_1 + c_2 p_i + c_3 p_i^2 + \dots$ (по физическому смыслу $c_1 = 0$, а квадратичными членами и выше в первом приближении пренебрежем).

Тогда (8) имеет вид

$$\Delta = \left[1 - (1 - P) \cdot \prod_{i=1}^n (1 - P) \right] \cdot P_p - \left[(1 - P) \cdot \prod_{i=1}^n (1 - P) \right] \cdot 3_q - \sum_{i=1}^n c_i \cdot P_i \quad (9)$$

Допустим, что $3_q = K_z P_p$; $C = K_c P_p$. Тогда

$$\Delta = P_p \cdot \left\{ \left[1 - (1 - P) \cdot \prod_{i=1}^n (1 - P) \right] - \left[(1 - P) \cdot \prod_{i=1}^n (1 - P) \right] \cdot K_z - K_c n P \right\} \quad (10)$$

или

$$\Delta = P_p \cdot \left\{ \left[1 - (K_z + 1)(1 - P)^{n+1} \right] - K_c n P \right\} \quad (11)$$

Очевидно, чтобы обеспечить $\Delta \rightarrow \max$ должно выполняться соотношение:

$$\frac{\partial \Delta}{\partial P} = 0; \quad \frac{\partial \Delta}{\partial n} = 0; \quad \frac{\partial^2 \Delta}{\partial P^2} < 0; \quad \frac{\partial^2 \Delta}{\partial n^2} < 0 \quad (12)$$

При этом следует отметить, что выше-рассмотренные соотношения являются условной математической формализацией неотъемлемых элементов обеспечения и анализа промышленной и функциональной безопасности различных объектов ПХГ для заданного варианта программы ТООР. Структурную схему такой формализации и поясняет рис. 3 в виде модифицированной диаграммы Исикавы.

В общем случае методология формирования перспективных программ ТООР, предупредительного ремонта, реконструкции основных инженерных систем, скважин, систем технологических трубопроводов и других компонентов ПХГ, важных для их промышленной безопасности и надежности газовых энергетических систем и комплексов представляет комплекс методов, состав которых поясняет рис. 4. Любой из представленных на этом рисунке метод или их совокупность завершает процедура оценка эффективности системы

мониторинга состояния промышленной безопасности и управления рисками эксплуатации объектов подземного хранения газа.

Заключение.

Методологические аспекты и сами методы формирования перспективных программ технического обслуживания, предупредительного ремонта, реконструкции основных инженерных систем, скважин, систем технологических трубопроводов и других объектов ПХГ в условиях ограниченных ресурсов в своем развитии проходят ряд этапов: стадии итерационных циклов создания перспективных программ ТООР ПХГ, стадии их верификации и апробации, стадии их практического применения в различных режимах и внешних условиях эксплуатации. Возможное накопление инженерных ошибок в период применения выбранных вариантов программ ТООР объектов ПХГ, а также не диагностируемые технологические отклонения от проектных условий безопасной эксплуатации ПХГ, ускоренное проявление эффектов деградации служебных свойств и развития физических дефектов в элементах конструкций и системах объектов ПХГ могут сокращать их проектный период нормального функционирования и эксплуатации. Эти же обстоятельства могут способствовать уменьшению способности выбранного варианта ТООР для объектов ПХГ противостоять угрозам проявления явлений разрушительного и пожароопасного характера при осуществлении процессов подземного хранения газа и снижать безотказность функционирования газовых хранилищ. Применение методов формирования и реализации перспективных программ ТООР, реконструкции, существенной модернизации основных инженерных систем, скважин, систем технологических трубопроводов и других объектов ПХГ, со всей очевидностью, позволит поддерживать на проектом уровне промышленную безопасность и надежность эксплуатации ПХГ. Экспертные оценки затрат на устранение дефектов объектов ПХГ, которые обнаруживаются на различных стадиях проектирования, изготовления и эксплуатации, показывают, что величина этих затрат увеличивается на порядок при продолжении эксплуатации с не устраненным в период ТООР дефектом. Многолетняя практика эксплуатации сложных систем и объектов ПХГ подтверждает, что важной задачей для поддержания этих объектов в состоянии работоспособности, проектной и нормативной промышленной безопасности является формирование программ организации и проведение ТООР. Формирование и реализация ТООР по сути представляет собой организацию замедления негативных процессов старения объектов ПХГ и обеспечивает их промышленную безопасность и эффективность. Формирование программ и реализация программ ТООР в условиях ограниченных ресурсов требует применения новой стратегии безопасной эксплуатации с учетом результатов диагностики фактического технического состояния. Это обстоятельство определяет необходимость

скорейшего пересмотра существующих методов, методик и подходов, применения моделей и способов системного анализа, процедур принятия решений о проведении ТООР, в т.ч. и на основе положений теории массового обслуживания. Всегда присутствующий недостаток материальных и финансовых ресурсов для формирования и реализации программ ТООР ПХГ привел к необходимости проведения исследований проблемы ТООР в плоскости поддержки технического ресурса и декларации адекватных гарантий промышленной безопасности подземного хранения газа. Гарантии промышленной безопасности ПХГ имеют также своей целью своевременное выявление неисправностей и дефектов, дефицитов безопасности, а также определяют планы выполнения ремонтов и замен объектов газовых хранилищ, изношенных до своего критического состояния. Основная идея для формирования и реализации на плановом системном уровне программ ТООР для объектов ПХГ состоит в том, чтобы к формированию программ предупредительного и восстановительного ремонта этих объектов подойти избирательно, оценивая состояние каждого отдельного взятого элемента, узла, системы конкретного объекта и влияние этого объекта на общую промышленную безопасность ПХГ. Задача выявления критичных элементов конструкций и систем ПХГ и формирования программ их ремонта или замены в условиях ограниченных ресурсов в своем решении должна использовать метод ранжирования критических элементов ПХГ по заданному критерию промышленной безопасности. Критичность объекта ПХГ (или его отдельного компонента) есть свойство, которое отражает возможность возникновения отказа общего или индивидуального технологического нарушения безопасности подземного хранения газа и определяющее степень влияния этого отказа на работоспособность системы снабжения газом потребителей в целом для заданного ранга последствий, рисков или ущербов. Наиболее распространенными показателями, характеризующими критичность ПХГ, в нашем случае являются структурная важность функциональной безопасности и важность в смысле эксплуатационной надежности деятельности ПХГ по поставкам газа конечному потребителю. Для этого критичность объекта ПХГ в целях формирования программ и реализации ТООР в условиях ограниченных ресурсов следует рассматривать как широкое векторное свойство:

- эксплуатационной надежности и функциональной безопасности;
- ограниченности последствий отказа и ожидаемого ущерба;
- возможность уменьшения вероятности возникновения исходных событий для нарушения проектных пределов промышленной безопасности и смягчения тяжести последствий развития событий разрушительного и пожароопасного характера.

Эти частные показатели критичности объектов ПХГ могут быть диагностированы на основе различных методов и алгоритмов. Сами показатели могут быть

представлены как количественными индикаторами, например, риска разрушения, величиной прогнозируемого ущерба, так и могут принимать значения как лингвистические переменные, например, высокая степень опасности выхода газа, низкая вероятность разрыва подземных технологических газопроводов и пр. Набор методов, способов, инструментальных алгоритмов, принадлежащих к общей методологии формирования перспективных программ ТОиР может быть дополнен методами резервирования защитных свойств промышленной безопасности и надежности эксплуатации ПХГ. В числе этих методов могут быть представлены и методы аварийной ликвидации исходных событий возможного отказа; методы превентивного смягчения тяжести последствий отказа; методы создания барьеров безопасности, инженерных систем промышленной безопасности, методы для улучшения устойчивости объекта ПХГ к воздействию внешних неблагоприятных факторов среды; методы превентивного предупреждения неправильных действий персонала и пр.

Итоги

Критичность состояния объекта ПХГ в целях формирования программ и реализация ТОиР в условиях ограниченных ресурсов следует рассматривать как широкое векторное свойство: эксплуатационной надежности и функциональной безопасности; ограниченности последствий отказа и

ожидаемого ущерба; возможности уменьшения вероятности возникновения исходных событий для нарушения проектных пределов промышленной безопасности и смягчения тяжести последствий развития событий разрушительного и пожароопасного характера.

Частные показатели критичности объектов ПХГ могут быть диагностированы на основе различных методов и алгоритмов. Эти показатели могут быть представлены как количественными индикаторами, например, риска разрушения, величиной прогнозируемого ущерба, так и могут принимать значения как лингвистические переменные, например, высокая степень опасности выхода газа, низкая вероятность разрыва подземных технологических газопроводов и пр.

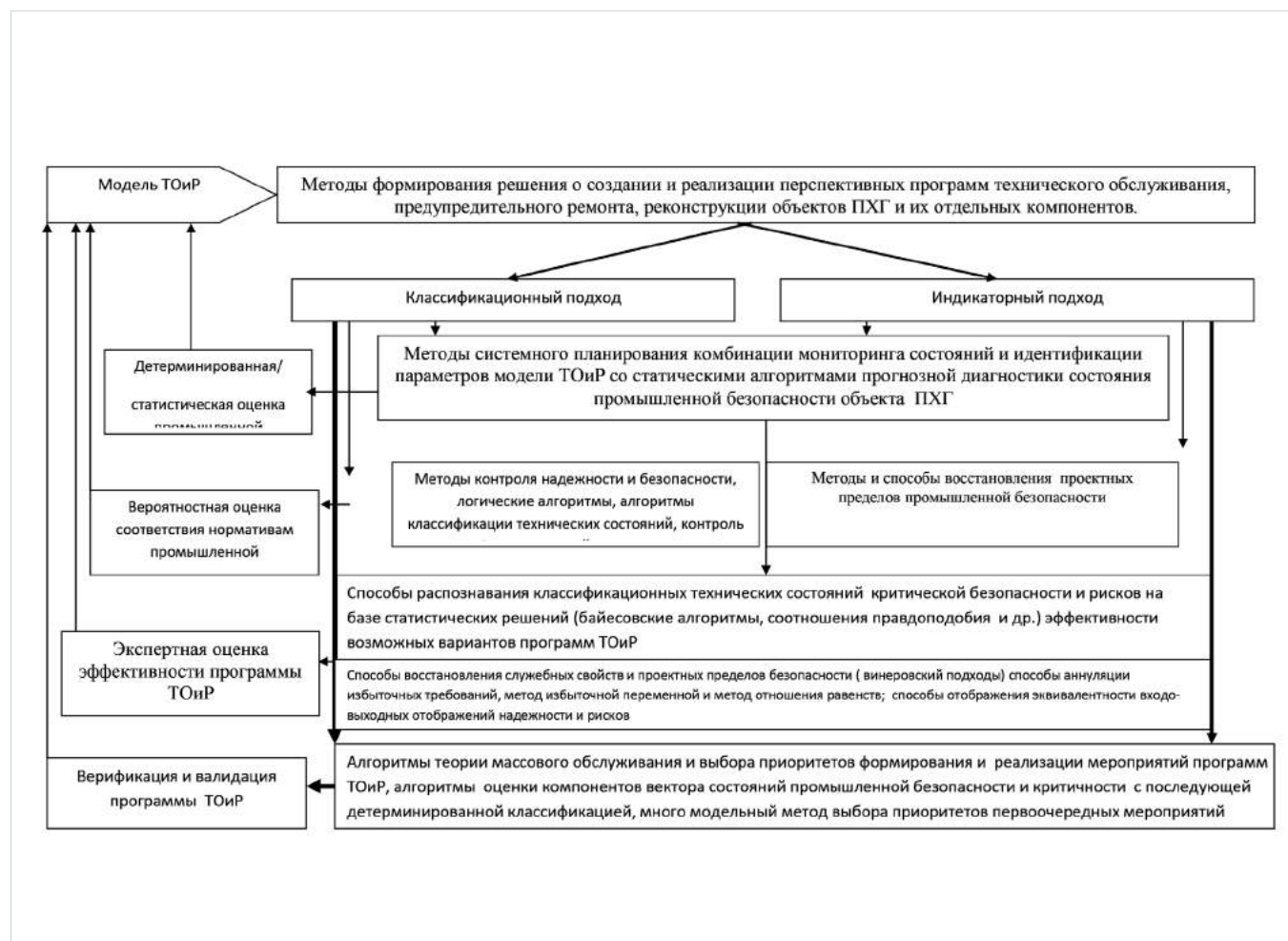
Выводы

Набор методов, способов, инструментальных алгоритмов, принадлежащих к общей методологии формирования перспективных программ ТОиР, может быть улучшен и дополнен методами резервирования защитных свойств промышленной безопасности и надежности эксплуатации ПХГ. В числе этих методов могут быть: методы аварийной ликвидации исходных событий возможного отказа; методы превентивного смягчения тяжести последствий отказа; методы создания барьеров безопасности, инженерных систем промышленной безопасности; методы для улучшения устойчивости объекта ПХГ к воздействию внешних

неблагоприятных факторов среды; методы превентивного предупреждения неправильных действий персонала.

Список используемой литературы

1. Энергетическая стратегия России на период до 2030 года, утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 13 ноября 2009 г., № 1715-р.
2. Власов С.В., Губанок И.И., Салюков В.В. и др. Система инструментального мониторинга промышленной безопасности технологических объектов // Газовая промышленность. 2004. № 9. С. 82–83.
3. Власов С.В., Силантьева Л.Г., Сарычев Г.А. Коновалов Н.Н., Пацков Е.А. Управление риском эксплуатации и промышленной безопасностью объектов энергетических систем // Управление качеством в нефтегазовом комплексе. 2012. № 1. С. 33–37.
4. Власов С.В. Принципы формирования информационной модели промышленной безопасности подземных хранилищ газа // Управление качеством в нефтегазовом комплексе. 2012. № 1. С. 45–48.
5. Глов В.И., Петров М.С., Родионов В.Я. Перспективы информационного обеспечения для анализа рисков энергетической безопасности при развитии потенциала установленной мощности генерации энергии для отдельно взятого региона // Сегодня и завтра российской экономики. 2009. № 1. С. 200–208.



Preparation of UGS maintenance and repair programs — industrial safety improvement

UDC 331.45:518.54

Authors:

Sergey V. Vlasov — general director, ph.d (Engineering)¹; office@energo-diagnostics.ru

Igor A. Tutnov — professor, doctor of technical sciences²; office@energo-diagnostics.ru

Larisa G. Silantjeva — ph.d (Engineering), head of department³; kachestvo@umail.ru

¹Energodiagnostika LLC, Moscow, Russian Federation

²Research and Training Center "Kachestvo" (Quality)" LLC, Moscow, Russian Federation

³National Research Nuclear University "MEPHI", Moscow, Russian Federation

Abstract

A new outlook, principles, provisions and general methods of developing content-effective and resource-consumption optimal programs of UGS maintenance and repair are presented from the point of their industrial safety provision.

Materials and methods

Scientific methodology and methods of preparing UGS maintenance and repair programs (M&RP) in terms of base strategies of complex engineering systems' safe operation. M&RP methodology and complex method of preparing prospective M&RP are presented by means of common for all UGS method of probabilistic assessment of M&RP integral system and industrial safety monitoring, facilities' operation risk management and gas underground storage processes. A proper simulation modeling is given for assessing practical efficiency of prospective M&RP for UGS, objective probabilistic assessment of M&RP various applications, including procedures and measures of functional monitoring of safety and UGS facilities' operation risk management. A simulation model for assessing the effectiveness of various prospective UGS M&RP applications represents a functional chart of reliability of a UGS facility or a process under consideration equipped with a multivariable M&RP system and

additional risk monitoring system (RMS). Cumulative costs of M&RP integral system, operational monitoring and risk management, technical diagnostics, operation inspection, safety expert appraisal are denoted as

$$\Pi_{\Sigma} = \sum_{i=1}^n \Pi_i$$

Assumption is made: the higher the functional value of M&RP, the higher the cost of this program.

Complete failure P_{Σ} can happen if there is a failure of one or several q_i critical technological elements of UGS including construction and installation elements — q_i and the facility itself q .

$$Q_{\Sigma} = q \cdot \prod_{i=1}^n q_i$$

$$P_{\Sigma} = 1 - Q_{\Sigma} = 1 - q \cdot \prod_{i=1}^n (1 - p_i) = 1 - (1 - P) \cdot \prod_{i=1}^n (1 - p_i)$$

Methodology of preparing prospective UGS M&RP consists of a number of monitoring and diagnostics methods, simulation modeling, testing and verification of prospective options of the program.

Results

Critical condition of a UGS facility with the purpose of preparing a program and M&RP realization in the conditions of

limited resources shall be considered in terms of operational and functional safety, mitigation of losses and failure consequences, possibility of reducing the occurrence of initial events which could go beyond the design industrial safety limits and could mitigate the consequences of a fire or any other destructive effect.

Special indicators of UGS facilities' critical condition can be determined on the base of various methods and algorithms. They can be expressed either numerically, for example, risk of destruction or expected losses, or linguistically, for example, high risk of gas discharge, low risk of buried process pipeline rupture, etc.

Conclusions

A set of methods, ways, instrumental algorithms as part of general methodology of preparing prospective M&RP can be modified, enriched with methods of industrial safety protective means' backup, increasing the reliability of UGS operation. These methods can include: possible failure emergency liquidation, preventive mitigation of the failure consequences, development of safety barriers, industrial safety engineering systems, improvement of UGS resistance to unfavorable environment, preventive measures against improper activity of personnel.

Keywords

safety, gas, repair, service, storage, effectiveness

References

1. The RF energy strategy in the period up to 2030. Approved by the RF Government on November 2009, issue 1715-p
2. Vlasov S.V. Gubanok I.I., Saljukov V.V. and others. *Sistema instrumental'nogo monitoringa promyshlennoy bezopasnosti tekhnologicheskikh ob"ektov* [System of instrumental monitoring of engineering facilities' industrial safety]. Gas Industry, 2004, issue 9, pp. 82–83.
3. Vlasov S.V., Silantjeva L.G., Sarychev G.A., Konovalov N.N., Patskov E.A. *Upravlenie riskom ekspluatatsii i promyshlennoy bezopasnost'yu ob"ektov energeticheskikh sistem* [Risk management in energy systems operation and industrial safety]. *Quality management in the oil and gas sector*, 2012, issue 1, pp. 33–37.
4. Vlasov S.V. *Printsipy formirovaniya informatsionnoy modeli promyshlennoy bezopasnosti podzemnykh khranilishch gaza* [Principles of information modeling of UGS industrial safety sector]. *Quality management in the oil and gas sector*, 2012, issue 1, pp. 45–48.
5. Glotov V.I., Petrov M.S., Rodionov V.Y. *Perspektivy informatsionnogo obespecheniya dlya analiza riskov energeticheskoy bezopasnosti pri razviti potentsiala ustanovlennoy moshchnosti generatsii energii dlya otdel'no vzyatogo regiona* [Information support prospects for energy safety risk analysis when developing the potential of installed capacity of energy generation for a particular region]. *Today and tomorrow of Russian economy*, 2009, issue 1, pp. 200–208.