

УДК 622.691.4:614.8

Д.П. Варламов, к.т.н., ведущий научный сотрудник, ЗАО «НПО «Спецнефтегаз», e-mail: DPVarlamov@yandex.ru; О.И. Стеклов, д.т.н., профессор, РГУ нефти и газа имени И.М. Губкина

АНАЛИЗ РИСКОВ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЛИНЕЙНОЙ ЧАСТИ МАГИСТРАЛЬНЫХ ГАЗОПРОВОДОВ

Проблемы безопасности отраслей трубопроводного транспорта являются ключевыми в энергетической безопасности России, особенно в следующих аспектах:

1) производственная безопасность, характеризующая защищенность от нарушения технических систем – аварий, катастроф, вызываемых или сопровождаемых пожарами, взрывами, выбросами вредных веществ и т.д., а также несоблюдением норм и правил техники безопасности; 2) технологическая безопасность, рассматриваемая как защита от таких угроз, как снижение технического уровня производства, массовое сохранение устаревшей техники, невосприимчивость экономики к инновациям, чрезмерная зависимость от зарубежных технологий и оборудования, снижение уровня научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ; 3) сырьевая безопасность, характеризующаяся защищенностью от дефицита разных видов сырья и материалов, от нарушений их внешних поставок, низкой эффективности использования в народном хозяйстве, незначительного уровня самообеспечения страны и/или регионов.

Прогнозирование рисков эксплуатации на основе комплексного подхода по оценке технического состояния газопроводов позволяет повысить эффективность планирования, результативность диагностических и ремонтных работ, а также надежность, безопасность и технико-экономические показатели эксплуатации всей газотранспортной системы России.

Интегральная аналитическая обработка результатов внутритрубной, наземной и модельной диагностики позволит учесть факторы внешнего воздействия на выявленные дефекты и не только классифицировать их по степени опасности, но и оценить реальную динамику развития. Тем самым повышается достоверность прогноза технического состояния и обоснованность расчета остаточного ресурса газопроводов, обеспечивая возможность рационального планирования периодичности выполнения диагностических работ, определения приоритетности вывода участков линейной части магистральных газопроводов в ремонт и наиболее эффективное расходования средств и ресурсов.

Ключевые слова: коррозионное растрескивание под напряжением (КРН), магистральные газопроводы, внутритрубная диагностика, оценка рисков.

Концепция риска в техногенной сфере появилась, когда в условиях роста числа потенциально опасных объектов и связанного с этим увеличения аварий и катастроф встал вопрос, какую выбрать стратегию обеспечения безопасности объектов техногенной сферы.

Сложившийся до этого детерминистский подход к обеспечению безопасности в техногенной сфере основывался на требованиях, разработанных и сформулированных в нормативных документах (ГОСТах, нормах, правилах, стандартах). Казалось, что обязательное выполне-

ние этих требований и есть гарантия обеспечения безопасности. Но при этом не было достаточно обоснованных критериев, где должны начинаться и кончатся границы выставленных детерминистских требований к потенциально опасному объекту по его защищенности

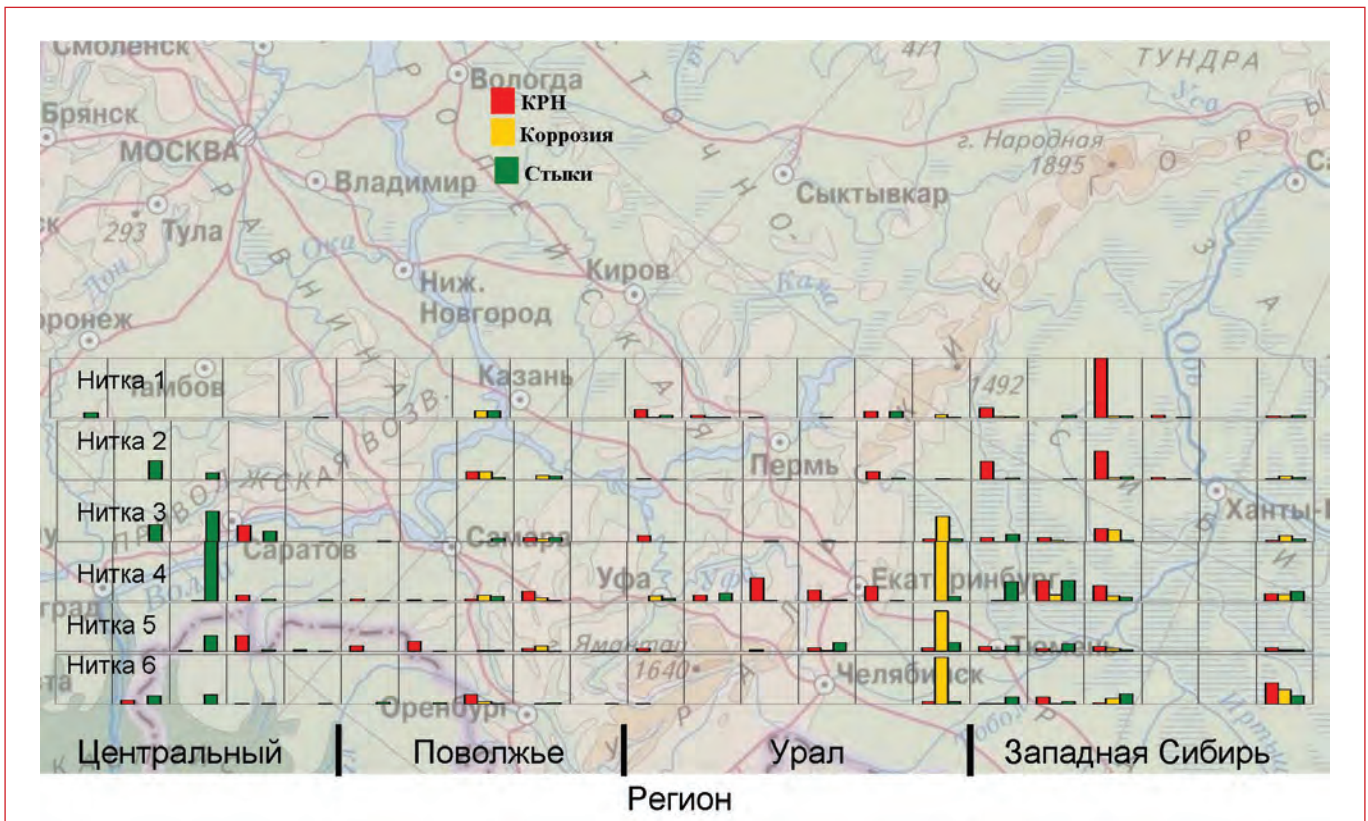


Рис. 1. Вероятность наступления ЧС для дефектов КРН, общей и местной коррозии, аномальных стыков без использования данных ВТД

от внутренних нарушений и внешних воздействий. Концепция риска должна ранжировать потенциально опасные объекты и помогать понять, где мы перестраховываемся в их защите, а где принимаем мер недостаточно. Располагаемые средства предлагается расходовать в первую очередь на предотвращение наиболее опасных событий (искать оптимальные пути обеспечения безопасности).

В настоящее время чрезвычайно остро стоит проблема мониторинга и оценки прогнозируемого ресурса сооружений с целью определения плановых сроков эксплуатации, прогнозирования и оценки экономического риска аварий, проверки соответствия состояния объектов законодательным требованиям и административным решениям. Основой мониторинга является техническое диагностирование «по состоянию» или техническая экспертиза.

Принципиальное различие задач повышения эффективности и на-

дежности трубопроводных систем (ТС) на современном этапе состоит в необходимости структурных и технологических изменений во всем неразрывно связанном комплексе технологических процессов диагностики, технического обслуживания, ремонта и реконструкции ТС без нарушений режимов эксплуатации магистральных газопроводов. Практические потребности развития ТС определяют в качестве актуальной проблемы создание перспективных стратегий формирования политики технической диагностики, обслуживания и ремонта ТС как одного из основополагающих элементов реализации крупномасштабных инновационных программ эксплуатации, развития и реконструкции ТС.

В связи с этим в отрасли необходимо совершить переход от локальных, зачастую не связанных между собой работ по оценке состояния отдельных магистральных газопроводов (МГ) или отдельных участков МГ к организации комплексной си-

стемы диагностики, базирующейся на единых методологических, научных и организационных подходах ко всей системе магистральных газопроводов.

Для газопроводных систем перспективной является комплексная двухуровневая система мониторинга состояния, включающая:

- внутритрубную диагностику (ВТД);
- специальные методы диагностирования трубопроводов (электроизмерения, гидроиспытания, натурные и модельные исследования).

Такой комплексный подход при оценке технического состояния газопроводов позволит повысить как эффективность планирования диагностических работ, так и надежность всей газотранспортной системы, обеспечивая возможность для оптимального распределения ресурсов и сокращения затрат на эксплуатацию.

Проблемы безопасности отраслей трубопроводного транспорта явля-

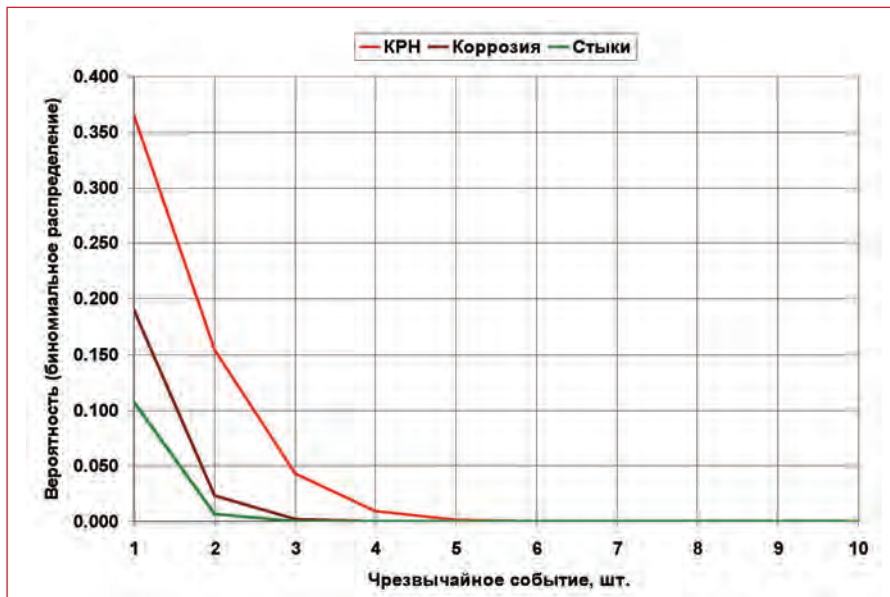


Рис. 2. Опасные дефекты 6-ниточной системы магистральных газопроводов

ются ключевыми в энергетической безопасности России, особенно в следующих аспектах: 1) производственная безопасность, характеризующая защищенность от нарушения технических систем – аварий, катастроф, вызываемых или сопровождаемых пожарами, взрывами, выбросами вредных веществ и т.д., а также несоблюдением норм и правил техники безопасности; 2) техно-

логическая безопасность, рассматриваемая как защита от снижения технического уровня производства, массового сохранения устаревшей техники, невосприимчивости экономики к инновациям, чрезмерной зависимости от зарубежных технологий и оборудования, снижения уровня научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ; 3) сырьевая безопасность, харак-

теризующаяся защищенностью от дефицита разных видов сырья и материалов, от нарушений их внешних поставок, от низкой эффективности использования в народном хозяйстве, незначительного уровня самообеспечения страны и/или регионов.

Основным общепринятым показателем безопасности является риск. При проектировании и эксплуатации систем линейной части магистральных газопроводов в первую очередь надо иметь в виду технические риски. Технический риск характеризуется опасностью аварий на линейной части магистральных газопроводов, происходящих из-за наличия дефектов, образовавшихся и развившихся в процессе эксплуатации.

Таким образом, расчет рисков эксплуатации линейной части системы магистральных газопроводов России в практическом применении для различных климатических регионов возможен только с использованием мониторинга по результатам многократной внутритрубной диагностики.

Рассчитывать технические риски эксплуатации системы линейной части (ЛЧ) магистрального газопровода можно двумя путями.

ВЫЧИСЛЕНИЕ ТЕХНИЧЕСКИХ РИСКОВ. ПЕРВЫЙ ПУТЬ

По классической теории вероятностей, зная аварийность по годам и процент аварий, приходящийся на дефекты коррозионного растрескивания под напряжением, дефекты общей и местной коррозии, дефектные сварные кольцевые соединения, мы уже можем найти вероятность наступления чрезвычайного события (ЧС), у нас это аварийное разрушение, используя закон биномиального распределения. Биномиальное распределение, или распределение Бернулли, описывает дискретные события следующего типа. Пусть некоторое испытание повторяется N раз и результаты, полученные в каждом испытании, не зависят один от другого. Пусть

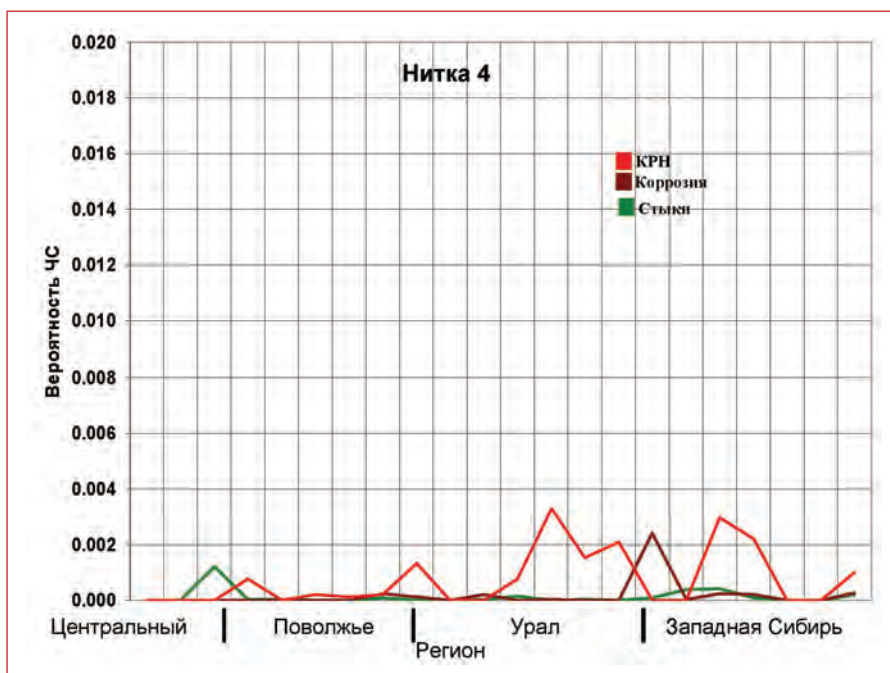


Рис. 3. Вероятность наступления ЧС для дефектов КРН, общей и местной коррозии, аномальных стыков с использованием данных ВТД (нитка 4: момент проведения последней ВТД)

в каждом испытании может произойти или не произойти событие А, вероятность осуществления которого в отдельном испытании одна и та же и равна р. Такую последовательность испытаний называют последовательностью независимых испытаний по схеме Бернулли. Будем рассматривать последовательность независимых испытаний как одно сложное испытание, с которым связана случайная величина X – число появлений события А. Величина X может принимать только значения 0, 1, 2, ..., N. Закон ее распределения, т.е. выражение, которое дает вероятность появления события А точно n раз при N испытаниях P(X=n), следующий:

$$P(X=n) = C_N^n p^n q^{N-n} \quad (1),$$

где

$$C_N^n = \frac{N!}{(N-n)!n!} = \frac{N(N-1)(N-2)\dots(N-n+1)}{n!},$$

где q = (1-p) – вероятность наступления события, противоположного событию А. Математическое ожидание случайной величины, то есть сумма произведений всех возможных значений случайной величины на вероятности этих значений

$$M[X] = \sum_{i=1}^n x_i p_i \quad (11) - \text{ для дискретной } X$$

в нашем случае биномиального распределения

$$M[X] = Np \quad (2).$$

Дисперсия случайной величины

$$XD[X] = M[X^2] = M[X - m_x]^2 \quad (3),$$

то есть характеристика рассеивания, разбросанности значений случайной величины около ее математического ожидания

$$D[X] = \sum_{i=1}^n (x_i - m_x)^2 p_i \quad (4)$$

в биномиальном распределении будет

$$D[X] = Npq \quad (5).$$

У нас имеется 100 участков, поэтому закон биномиального распределения для N = 100. В результате получаем средние значения вероятности отказа, одинаковые для всех участков системы ЛЧ МГ.

Результаты, показанные на рисунке 1, можно использовать для приближенной оценки рисков безопасной эксплуатации протяженной многониточной системы магистральных газопроводов.

Вероятность ЧС для дефектов коррозии и аномальных стыков практически обращается в ноль при 3 ЧС, тогда как вероятность ЧС для дефектов КРН практически обращается в ноль при 5 ЧС. Это означает, что при приближенной оценке рисков вероятность ЧС на газопроводе отлична от нуля для 2 ЧС по стыкам, еще 2 ЧС в плане общей коррозии и 4 ЧС – по КРН. В сумме получаем 8 ЧС на систему из шести параллельных ниток, что грозит большой системной аварией, при которой могут выйти из строя все шесть ниток газопровода. Из этого следует глобальный вывод, что для поддержания целостности системы газопроводов необходимо уже в данный момент принимать комплекс мер по снижению веро-

ятности отказов путем управления рисками.

В результате получаем средние значения вероятности отказа, одинаковые для различных участков системы ЛЧ МГ. Данные вероятности ЧС могут показать так называемую среднюю температуру по больнице. Такие вероятности нужны только как своеобразный показатель того, «началась эпидемия или нет».

В нормальном режиме работы системы МГ без значительного изменения количества аварий необходимо точно знать наиболее узкие участки, участки повышенной дефектности, находящиеся в опасных зонах. Для этого необходима более точная оценка рисков эксплуатации ЛЧ МГ, использующая данные по реальному состоянию отдельных участков магистральных газопроводов, т.е. необходимо использовать второй путь.

ВЫЧИСЛЕНИЕ ТЕХНИЧЕСКИХ РИСКОВ. ВТОРОЙ ПУТЬ

Возможна оценка рисков эксплуатации ЛЧ МГ путем наиболее полного использования данных дефектности, скоростей роста дефектов, прогноза состояния, ана-

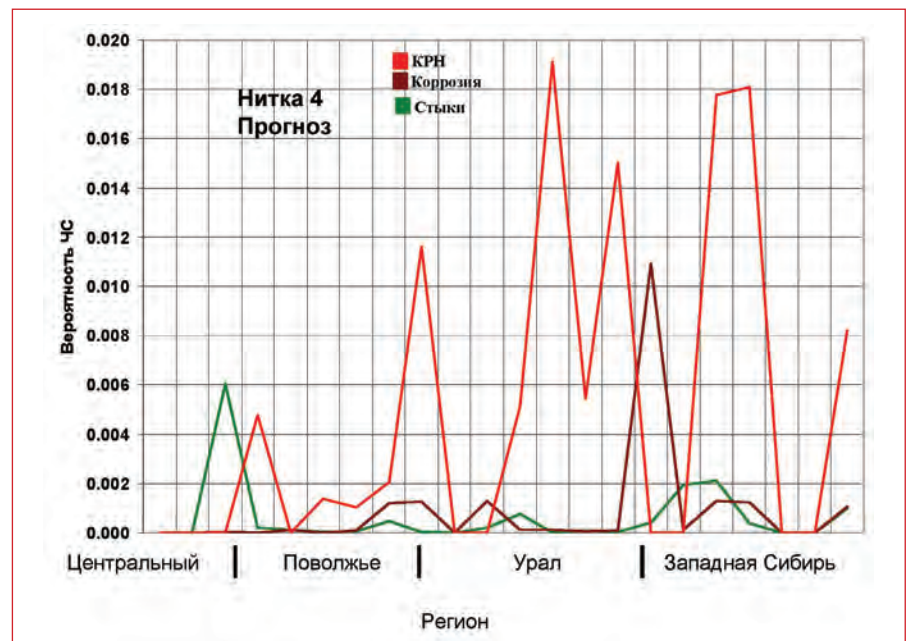


Рис. 4. Вероятность наступления ЧС для дефектов КРН, общей и местной коррозии, аномальных стыков с использованием данных ВТД (нитка 4: прогноз на 5 лет)

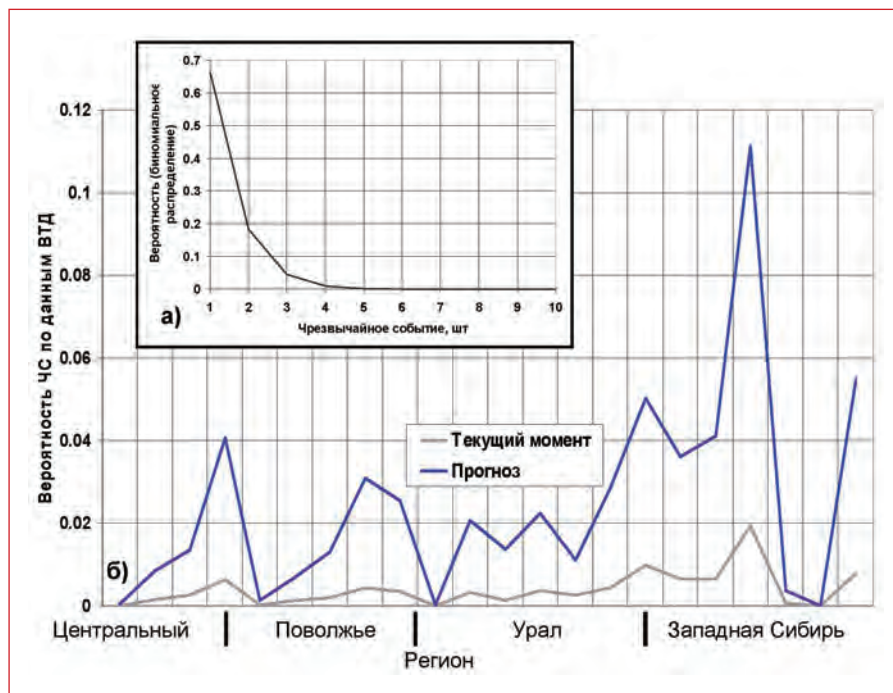


Рис. 5. Вероятность наступления чрезвычайного события:

а) по данным аварийности; б) с учетом дефектов КРН, общей и местной коррозии, аномальных стыков на 6-ниточной системе МГ

лиза факторов зарождения и развития опасных дефектов на каждом участке газопровода. Полученные значения рисков эксплуатации ЛЧ МГ учитывают особенности эксплуатации не только отдельного

участка, но и даже отдельных зон участка МГ.

На рисунке 2 в результате проведения ВТД мы знаем точное распределение опасных дефектов по участкам, их скорости роста и фак-

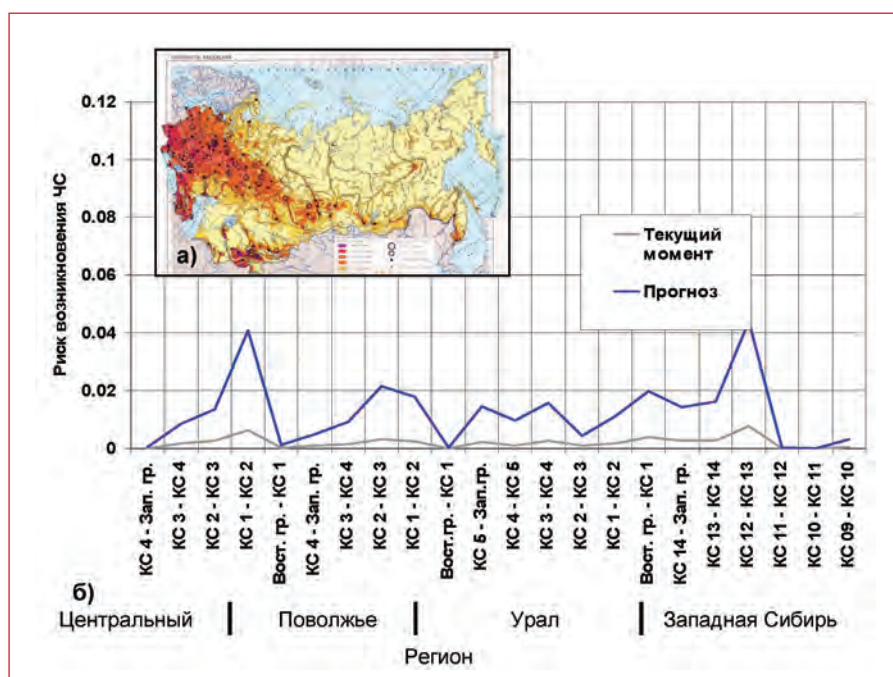


Рис. 6. Социальные риски для дефектов КРН, общей и местной коррозии, аномальных стыков с использованием данных ВТД (6-ниточная система магистральных газопроводов)

торы, влияющие на зарождение и развитие дефектов.

На основе распределения опасных дефектов магистральных газопроводов по участкам построена вероятность наступления чрезвычайного события (аварии) на многониточной системе (рис. 3).

Из рисунка 3 высокая вероятность ЧС по КРН и закритическим дефектам общей коррозии в регионах Урал и Западная Сибирь.

Вероятность наступления ЧС для дефектов КРН, общей и местной коррозии, аномальных стыков с использованием данных ВТД по нитке 4 в прогнозе на 5 лет представлена на рисунке 4.

Из рисунка 4 следует рост вероятности ЧС в Центральном регионе по аномальным кольцевым сварным швам и КРН. Значительный рост по вероятности ЧС для дефектов КРН – в регионах Поволжье, Урал и Западная Сибирь. По закритическим дефектам общей коррозии – рост вероятности ЧС на границе регионов Урал и Западная Сибирь. На рисунке 5 приведена вычисленная вероятность наступления чрезвычайного события на каждом из участков многониточной системы магистральных газопроводов, где внутритрубная диагностика проводилась неоднократно.

На рисунке 5а показано, что суммарная вероятность ЧС для КРН, общей коррозии и стыков обращается в ноль при значениях более пяти ЧС в год. При уменьшении количества ЧС с 3 до 2 вероятность ЧС возрастает с 0,05 до 0,2. При дальнейшем уменьшении ЧС с 2 до 1 вероятность обнаруживает значительный рост с 0,2 примерно до 0,7.

Из рисунка 5б следует, что на момент проведения последней ВТД все участки находятся в интервале вероятности ЧС до 0,02. Это примерно соответствует вероятности 3–4 ЧС в год по биномиальному распределению (рис. 5а). При несвоевременном проведении ремонтно-восстановительных работ на некоторых участках прогнози-

руется уровень вероятности ЧС от 0,04 до 0,11, что соответствует интервалу 2–3 ЧС в год по рисунку 5а. На рисунке 5 вычислена основная компонента риска – вероятность чрезвычайного события (отказа) дифференцированно для каждого из отдельных участков ЛЧ МГ в настоящий момент и с прогнозом через 5 лет. Полученные значения рисков эксплуатации ЛЧ МГ учитывают особенности эксплуатации не только отдельного участка, но и даже отдельных зон участка МГ. По данной схеме произведена совместная оценка технических и социальных рисков эксплуатации системы магистральных газопроводов.

ВЛИЯНИЕ СОЦИАЛЬНЫХ ФАКТОРОВ НА ТЕХНИЧЕСКИЕ РИСКИ

Представляется крайне важным к чисто техническим рискам добавить и социальные риски, в частности наложить вероятности отказов магистральных газопроводов на карту плотности населения. То есть одно и то же ЧС, но произошедшее в разных по плотности населения

регионах России, может привести к совершенно различным последствиям.

Учитывая коэффициент плотности населения России, по оси 0–У мы будем уже иметь не чистую вероятность чрезвычайного события в год на участке МГ, а риск, названный в данном разделе социальным.

Социальные риски для дефектов КРН, общей и местной коррозии, аномальных стыков с использованием данных ВТД по 6-ниточной системе магистральных газопроводов на текущий момент (момент проведения последней ВТД) и в прогнозе представлены на рисунке 6.

На рисунке 6 пики по рискам в регионе Западня Сибирь более сглажены (коэффициент снижения – 2,54) и сравниваются по значимости с пиками в Центральном регионе. Для недопущения увеличения в разы в ближайшие пять лет вероятности отказа системы магистральных газопроводов вследствие естественного старения и возникновения массового зарождения и развития новых опасных видов дефектов необходимо принятие комплексной программы по выявлению

и устранению как дефектов, так и причин возникновения дефектов магистральных газопроводов.

Оценка рисков безопасной эксплуатации системы магистральных газопроводов возможна в настоящий момент путем наиболее полного использования данных внутритрубной дефектоскопии при оценке вероятности отказов.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ ПО РАБОТЕ

1. Вычислена основная компонента риска – вероятность отказа для каждого отдельного участка многониточной системы ЛЧ МГ России. Получены текущие и спрогнозированные будущие риски многониточной системы ЛЧ МГ России на базе данных мониторинга результатов многократной внутритрубной дефектоскопии.

2. Полученные текущие и будущие риски эксплуатации ЛЧ МГ позволяют узнать объем и первоочередность выделения средств для своевременных ремонтно-восстановительных работ, по капитальному ремонту, переизоляции и плановой замене труб участков ЛЧ МГ.

Литература:

1. Варламов Д.П., Канайкин В.А., Матвиенко А.Ф. Мониторинг дефектности магистральных газопроводов. Екатеринбург: УрО РАН, 2008. 120 с.
2. Варламов Д.П., Канайкин В.А., Матвиенко А.Ф., Стеклов О.И., Бабкин С.А. Анализ стресс-коррозионной дефектности магистральных газопроводов. Екатеринбург: Уральский центр академического обслуживания, 2010. 190 с.
3. Варламов Д.П., Канайкин В.А., Матвиенко А.Ф., Стеклов О.И. Мониторинг дефектности и прогноз состояния магистральных газопроводов России. Екатеринбург: Уральский центр академического обслуживания, 2012. 250 с.

тел.: (3412) 567-719, 44-51-50 • udmpk.ru, [udmpk.pf](mailto:udmpk@pf)



**ВНУТРЕННЯЯ ИЗОЛЯЦИЯ
СТАЛЬНЫХ
ТРУБОПРОВОДОВ
И НКТ**

426039, г. Ижевск, Воткинское шоссе, д. 170