

В данной статье представлены некоторые аспекты применения метода «стресс-теста» для реабилитации газопроводов при их капитальном ремонте [1].

ТЕХНОЛОГИЯ ИСПЫТАНИЙ ДЛЯ РЕАБИЛИТАЦИИ МАГИСТРАЛЬНЫХ ГАЗОПРОВОДОВ ПОСЛЕ РЕМОНТА

Б.Н. АНТИПОВ

В.М. ПОНОМАРЕВ

А.С. ВЯТИН

В.Г. ДУБИНСКИЙ

А.Г. ЩЕРБАКОВ

генеральный директор ДОО «Оргэнергогаз»

директор ИТЦ по ИТ ДОО «Оргэнергогаз»

главный инженер ИТЦ по ИТ ДОО «Оргэнергогаз»

зам. главного инженера ИТЦ по ИТ ДОО «Оргэнергогаз»

начальник отдела Новых технологий ИТЦ по ИТ ДОО «Оргэнергогаз»

г. Москва

Реабилитация газопровода – это частичное или полное восстановление его несущей способности. После реабилитации газопровода обеспечивается транспортировка газа с проектным давлением и производительностью.

Несущая способность – это свойство газопровода воспринимать эксплуатационные нагрузки, не превышающие минимальное временное сопротивление труб, при сохранении допустимого запаса пластичности.

Способ реабилитации основан на результатах исследований влияния «стресс-теста» на элементы газопроводов с дефектами под напряжениями.

Весь комплекс работ для реабилитации газопровода условно можно разделить на пять этапов.

На первом этапе анализируют результаты диагностики технического состояния труб в процессе эксплуатации, включая внутритрубную диагностику с данными приборного обследования дефектов в шурфах и электрометрии. Оценивают техническое состояние труб на участке с определением возможности и целесообразности их ремонта или замены, определяют приоритетность участков МГ для ремонта и ранжируют их по категориям ремонта.

На втором этапе выбирают контрольный участок и нагружают его давлением воды до разрыва трубы. Определяют разрушающие

нагрузки и устанавливают параметры реабилитации газопровода после ремонта.

На третьем этапе выполняют переизоляцию газопровода с обязательной наружной дефектоскопией труб в процессе производства ремонтных работ.

На четвертом этапе производят ремонт труб в полевых условиях или на ремонтных заводах в зависимости от вида и размеров дефектов.

На пятом этапе выполняют испытания и реабилитацию газопровода методом стресс-теста, назначают срок безопасной эксплуатации газопровода.

Отличия методологии испытаний с применением «стресс-теста» от традиционных испытаний (однократное нагружение в упругой зоне деформирования труб) заключается в том, что первоначально путем ступенчатого подъема давления с определенной скоростью создают напряжения, превышающие ▶

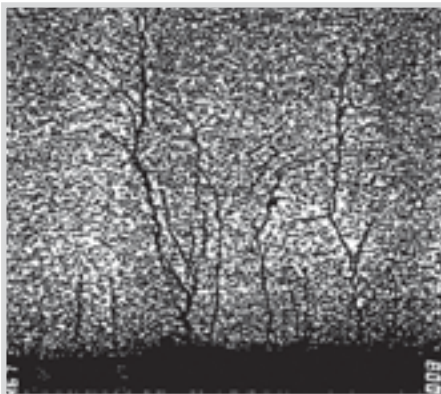


Рис. 1 Трещины в металле трубы до испытаний.



Рис. 2 Микропластические деформации в вершинах трещин после испытаний методом «стресс-теста».

«Несущая способность» – это свойство газопровода воспринимать эксплуатационные нагрузки, не превышающие минимальное временное сопротивление труб, при сохранении допустимого запаса пластичности

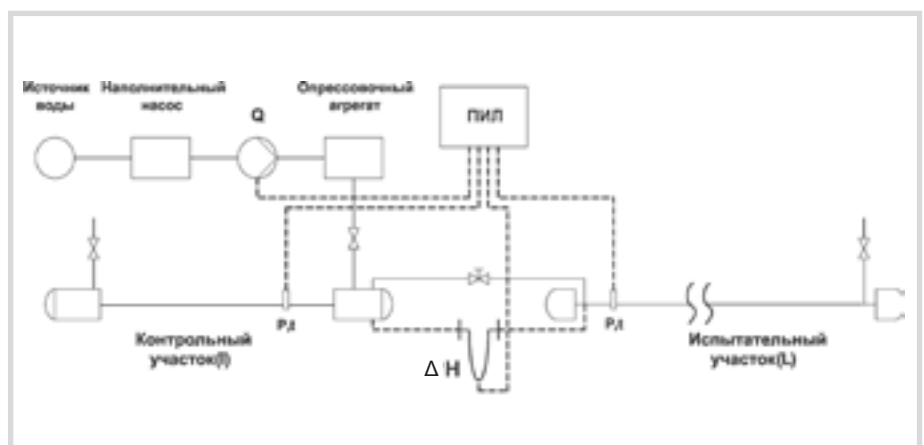


Рис. 3 Схема испытаний при ремонте участка газопровода

ТРУБОПРОВОД / ТРУБЫ

предел текучести в дефектных зонах металла, затем путем сброса давления в зонах пластической деформации создают напряжения сжатия, а при последующем подъеме давления дефектная зона металла уже будет находиться в упругой зоне деформирования.

Для того чтобы не превысить допустимые пределы остаточной деформации, например для стали класса прочности Х65 – $0,014\% < \epsilon_{ост} < 0,08\%$, проводят ступенчатый подъем давления с эффектом тренинга.

Многочисленный циклический тренинг по сравнению с однократным подъемом давления приводит к снижению деформаций (эффект Баушингера).

На рис. 1 и 2 представлены фотографии микрошлифов образцов с дефектами до и после испытаний. На рис. 2 четко видно, что после гидравлического испытания методом стресс-теста на острие трещин возникает пластическая зона, которая препятствует дальнейшему росту трещин при рабочих нагрузках.

Таким образом, результаты экспериментальных исследований, проведенных на образцах труб, подтверждают, что испытания газопроводов методом стресс-теста после их ремонта позволят обеспечить снижение уровня напряжений в металле труб, локализацию микродефектов и ограничение их перерастания в трещины критических размеров.

Особенности технологии стресс-теста газопровода при капитальном ремонте, в отличие от аналогичных испытаний нового газопровода, заключаются в следующем:

- участок газопровода смонтирован из труб с различным качеством ремонта: ремонт в заводских условиях, ремонт в полевых условиях, замена труб на новые. Кроме того, имеются трубы с выявленными дефектами, не отбракованные по результатам дефектоскопии;
- указанные трубы обладают различными деформационными свойствами и уровнем остаточных напряжений.

Поэтому предъявляются дополнительные требования к технологии испытаний, заключающиеся в том, чтобы обеспечить в процессе испытаний нагружение газопровода повышенным давлением с упруго-пластическим деформированием труб и с гарантированным запасом их пластичности.

Для практической реализации указанных требований необходимо:

- определить фактические разрушающие нагрузки и соответствующие этим нагрузкам минимальное давление (P_{min}) и максимальное испытательное давление (P_{max}), создающие в стенках труб напряжения от $0,85\sigma_{02}$ до $1,1\sigma_{02}$;
- после заполнения испытательного участка водой до минимального давления (P_{min}) обеспечить приращение объема воды в строгом (точном) количестве, необходимом для упруго-пластического деформирования участка газопровода при его нагружении от P_{min} до P_{max} .

Соблюдение указанных требований при испытаниях реально позволит выявить дефекты труб (различных категорий ремонта),

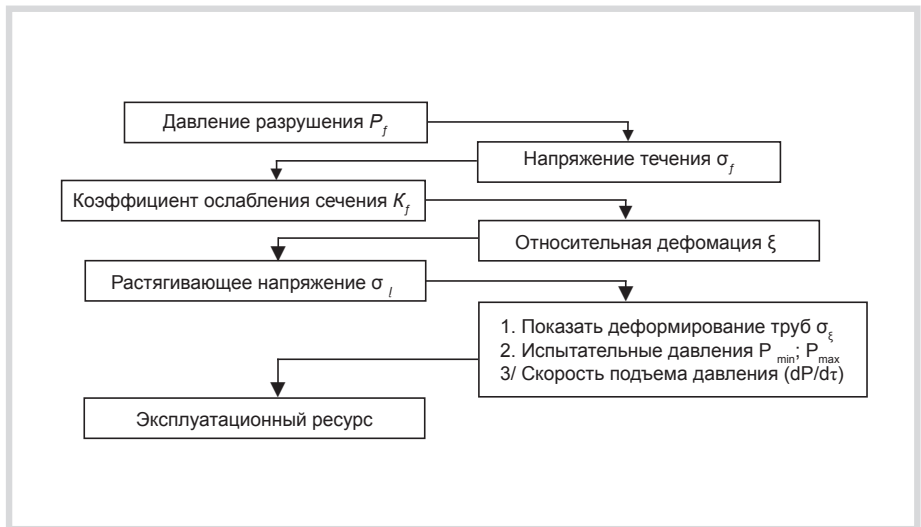


Рис. 4 Блок-схема определения параметров нагружения труб и эксплуатационного ресурса газопровода для его реабилитации в процессе ремонта.

выполнить стресс-тест и исключить при этом всякую возможность разрушения трубопровода по причине отклонения параметров испытаний от установленных допусков.

Предлагается применить способ, по которому испытания и реабилитацию газопровода рекомендовано проводить в следующей последовательности [1]:

- трубопровод разделяют на два участка – контрольный и основной (рис. 3).

Контрольный участок отделяют от основного участка и приваривают заглушки или камеры. Участки объединяют между собой посредством байпаса. Первоначально контрольный участок испытывают на прочность водой, доводя его до разрыва. В процессе испытания фиксируют скорость подъема давления, давление, а также приращение объема воды на контрольном ▶

Таким образом результаты экспериментальных исследований, проведенных на образцах труб, подтверждают, что **испытания газопроводов методом стресс-теста после их ремонта позволят обеспечить снижение уровня напряжений в металле труб, локализацию микродефектов и ограничение их перерастания в трещины критических размеров**

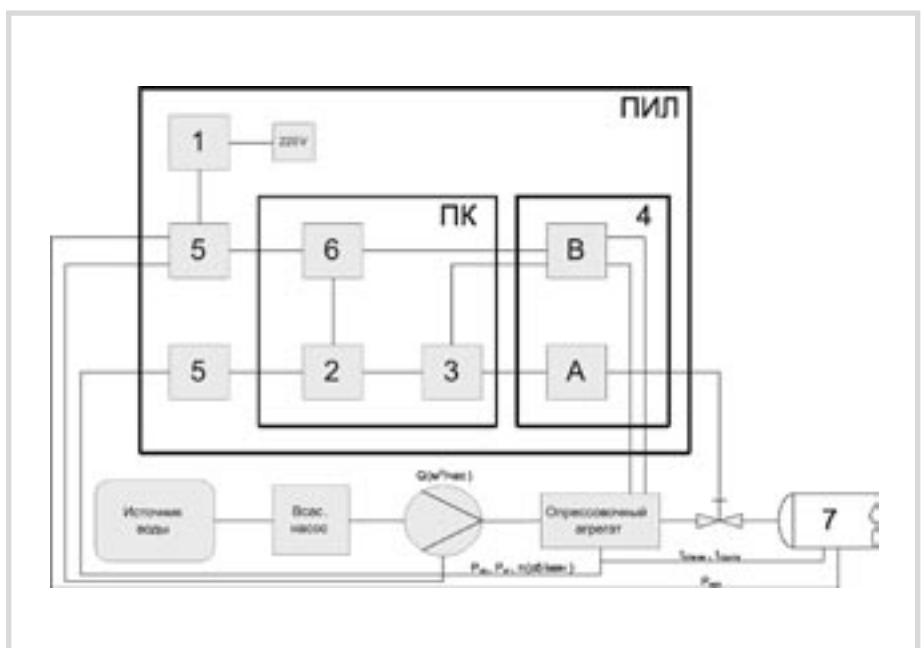


Рис. 5 Блок-схема устройства для испытаний трубопроводов

участке трубопровода и соответствующее приращение давления, а также фиксируют величину давления, при котором произошло разрушение контрольного участка трубопровода;

- производят ремонт контрольного участка в местах разрыва труб и проводят повторное испытание на прочность. С учетом давления разрыва труб контрольного участка рассчитывают минимальное и максимальное испытательные давления, а также параметры нагружения основного участка;
- основной участок газопровода испытывают на прочность методом стресс-теста. Контроль герметичности осуществляют по изменению дифференциального давления между основным и контрольным участками.

При испытании контрольного участка газопровода фиксируют давление разрушения, вызывающее критические растягивающие усилия в дефектных сечениях труб.

Давление разрушения в ослабленном дефектном сечении трубы с наработкой $t = T$ определяют по формуле:

$$(P_{i,T}) = (\sigma_i) \times \frac{\delta}{R} \times K_f, \quad (1)$$

где:

- P_f – давление разрушения трубы, МПа;
- σ_f – напряжение течения металла трубы, МПа;
- δ – толщина стенки трубы, мм;
- R – внутренний радиус трубы, мм;
- K_f – коэффициент ослабления сечения трубы.

Физический смысл K_f состоит в том, что он определяет потерю металла на дефектной поверхности трубы по отношению к первоначальной площади данной поверхности (как для новой трубы, так и для отремонтированной). При известном давлении разрушения трубы использование этого коэффициента позволяет оценивать механические свойства труб без измерения размеров дефекта.

На рисунке 4 представлена блок-схема определения параметров нагруженности труб и эксплуатационного ресурса трубопровода [2].

В качестве меры дефекта труб приняли комплексный параметр – показатель деформирования труб $(\sigma_{\xi}^-)_T$, характеризующий фактическую среднюю удельную нагрузку, вызывающую изменение относительной деформации в металле ослабленного сечения трубы на 1% при ее нагружении в упругопластической области.

Значение показателя деформирования труб определяют по формуле:

$$\frac{\sigma_{\xi}^-}{\xi} = \frac{\sigma_f - 0,5 \times (\sigma_{02} + \sigma_f)}{\xi}, \quad (2)$$

где:

σ_{02} – предел текучести металла труб.

Для принятого показателя, характеризующего меру дефекта, критерием долговечности труб служит показатель деформирования труб $(\sigma_{\xi}^-)_{заб}$, соответствующий нормативной средней удельной нагрузке, вызывающей изменение на 1% относительной деформации бездефектной трубы данного сортамента при ее нагружении в

упругопластической области.

Причем параметры, определяющие величину $(\sigma_{\xi}^-)_{заб}$, установлены заводами-изготовителями в сертификатах на трубы.

Показатели σ_{ξ}^- и $(\sigma_{\xi}^-)_{заб}$ заложены в основу методики для определения эксплуатационного ресурса трубопровода после ремонта.

Разработка математических моделей для процессов реабилитации газопроводов реализуется по двум направлениям:

- создание устройства для моделирования, которое также выполняет функции лаборатории контроля параметров, диагностики и управления режимами испытаний (рис. 5);
- разработка математических моделей и программного обеспечения.

На рисунке 6 показаны направления разработки математических моделей.

Решение комплекса задач, приведенных в данной статье, позволит решить основную задачу реабилитации газопровода: на отремонтированном участке обеспечить приблизительно равные деформационные свойства труб и достаточную фиксацию газопровода. ■

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. «Способ испытаний трубопроводов и устройство для его осуществления». Патент RU № 2296310, 14.09.2005г.
2. «Способ реабилитации и определения эксплуатационного ресурса магистрального трубопровода, осуществляемого при нагружении повышенным давлением в полевых условиях». Патент RU № 2324160, 29.03.2007г.

Решение комплекса задач, приведенных в данной статье, позволит решить основную задачу реабилитации газопровода: на отремонтированном участке обеспечить приблизительно равные деформационные свойства труб и достаточную фиксацию газопровода

№	Назначение	Применение	Критерий оценки
1	Определение параметров нагруженности труб с выявленными дефектами по результатам ВТД и наружной дефектоскопии.	Распределение труб по категориям ремонтов.	- коэффициент интенсивности напряжений (КИН); - коэффициент ослабления сечения K_f - показатель деформирования труб σ_{ξ}^-
2	Отбор отремонтированных труб по величинам максимальных испытательных давлений.	Раскладка труб по трассе.	Энтропийный интервал значений P_{max} в диапазоне напряжений $85\% \sigma_{02} - 110\% \sigma_{02}$, где σ_{02} – предел текучести металла.
3	Расчет параметров стресс-теста, построение теоретического графика нагружения газопровода.	Программное обеспечение блока 6 устройства для испытаний газопровода.	$\frac{dV}{dt} = \frac{dV}{dt} \cdot \frac{dP}{dV} = \left(\frac{dV}{dt} \right) \cdot \left(\frac{dP}{dV} \right)$, где: V – объем воды, закачанной в трубопровод; P – давление; t – время.
4	Имитация стресс-теста (моделирование процесса) с применением генератора электрических импульсов.	Блок 1. Программное обеспечение для имитатора нагрузки устройства для испытаний МГ.	F – частота прохождения импульсов, пропорциональная производительности опрессовочного агрегата.
5	Расчет фактических параметров испытаний, сопоставление их с теоретическим графиком стресс-теста для управления процессом нагружения газопровода.	Программное обеспечение блока 2.	Сглаженные за промежутки времени между измерениями величины давления и объема: $P(t); V(t)$
6	Расчет параметров управления стресс-тестом.	Программное обеспечение блока 3.	P_{max} (максимальное давление испытания) $\left[\frac{dP}{dV} \right]$

Рис. 6 Направления разработки математических моделей для процессов реабилитации газопроводов