

*А.А. Джумабаев*

## О КРИТЕРИЯХ ОЦЕНКИ СОПРОТИВЛЯЕМОСТИ МАГИСТРАЛЬНЫХ ГАЗОПРОВОДОВ ПРОТЯЖЕННЫМ РАЗРУШЕНИЯМ

Трубопроводный транспорт находит все более широкое применение в народном хозяйстве как экономичный способ перемещения сырья от мест добычи или производства до потребления. К наиболее распространенному виду этого транспорта относятся магистральные трубопроводы.

Условия эксплуатации трубопроводов весьма разнообразны. Помимо высокого давления перекачиваемого продукта и связанных с этим высоких номинальных рабочих напряжений, безотказной службе материала труб препятствуют низкая температура эксплуатации, воздействие динамических нагрузок, наличие концентраторов местных напряжений, воздействие коррозионно-активной среды. Все это указывает на необходимость наряду с традиционными методами оценки прочности трубопроводов, разрабатывать и применять новые методы оценки предельного состояния трубопроводов по критериям трещиностойкости.

Практическая механика разрушения для оценки сопротивления материалов предлагает три группы критериев:

- силовые критерии – коэффициент интенсивности напряжений ( $K$ );
- энергетические критерии – энергия продвижения трещины ( $G$ ),  $J$ -интеграл Райса ( $J$ );
- деформационные критерии – раскрытие в вершине трещины ( $\delta$ ), размер пластической зоны ( $r$ ).

Наиболее полно теоретически разработанным является критерий – коэффициент интенсивности напряжений ( $K$ ), который применяется в условиях хрупкого и квазихрупкого разрушения. Параметры  $J$ -интеграла и величина раскрытия в вершине трещины ( $\delta$ ) применимы как при хрупком, так и при вязком разрушениях.

Условия начала разрушения при этом записываются в виде:  $K \geq K_c$ ;  $J \geq J_c$ ;  $\delta \geq \delta_c$  и отражают ситуацию, когда расчетные значения критериев разрушения ( $K, J, \delta$ ) превышают свои критические значения ( $K_c, J_c, \delta_c$ ).

Однако указанные критерии применимы лишь для оценки трещиностойкости материала труб. До сих пор не ясен вопрос о правомерности использования указанных подходов для создания расчетных методов оценки сопротивляемости газопроводов разрушениям.

На практике широко используется метод расчетной оценки сопротивляемости газопроводов протяженному разрушению, впервые предложенный в работе [1] и впоследствии видоизмененный в вид:

$$a_p \leq a_y - a_k \quad (1)$$

Согласно указанной методике, при разрушении часть энергии упругой деформации переходит в кинетическую энергию движения берегов трещины  $a_k$  и распространение трещины возможно лишь в случае выполнения условия (1).

В условии (1)  $a_y$  - удельное значение энергии упругой деформации, отнесенные к единице площади поверхности излома:

$$a_y = \frac{\sigma_p l}{2E}, \quad (2)$$

где  $l$  - длина пластины;  $E$  - модуль упругости материала;  $\sigma_p$  - разрушающие напряжения.

Удельные затраты энергии на продвижение трещины  $a_p$  характеризует сопротивляемость материала распространению трещины и является характеристикой материала.

Условие (1) нельзя считать достаточно строгим. Так величина сопротивляемости материала распространению трещины  $a_p$  определяется независимо от скорости распространения трещины  $v_p$ . Хотя результаты исследований [2,3] свидетельствуют о влиянии скорости разрушения на изменение сопротивляемости материала разрушению.

Вместе с тем, кинетическая энергия движения берегов трещины зависит от скорости развития трещины  $v_p$ . Увеличение скорости развития трещины приводит к росту энергии движения берегов трещины. По мере уменьшения скорости развития трещины  $v_p$  уменьшается и  $a_k$ , стремясь к нулю. Уменьшение  $a_k$  приводит к росту правой части уравнения (1), и при некотором значении  $v_p$  выражение (1) снова может удовлетвориться. Следовательно, кинетическая энергия движения берегов трещины не определяет условия разрушения газопровода. Иначе говоря,  $a_k$  является следствием кинетики разрушения, но отнюдь не главной причиной, обуславливающей условия разрушения.

Известно, что скорость трещины разрушения является важной характеристикой, которая воздействует на длину разрушения и определяет его характер. Вместе с тем, протяженность разрушения в значительной мере зависит от соотношения между скоростью разрушения и скоростью декомпрессии перекачиваемого по трубопроводу продукта. Так нефть, обладает высокой скоростью декомпрессии – порядка 1100-1150 м/с. При возникновении разрушения в нефтепроводе наблюдается быстрое уменьшение напряжений в вершине трещины, вследствие высокой скорости декомпрессии. Такое разрушение быстро и непротяженно останавливается.

В случае разрушения газопровода скорость декомпрессии газа составляет около 400 м/с. Относительная низкая скорость декомпрессии природного газа способна привести к протяженным разрушениям, не встречающимся в других конструкциях.

В связи с вышеотмеченным и учитывая особенности разрушения газопроводов больших диаметров, предлагается в качестве дополнительного критерия протяженного разрушения применительно к газопроводам использовать скорость распространения трещины разрушения  $v_p$ .

Согласно методике для газопроводов существует допускаемое значение скорости распространения трещины по трубопроводу  $[v_p]$ , выше которого процесс разрушения становится безостановочным, а ниже которого – трещина разрушения не развивается.

Указанное условие запишем в нижеследующем виде:

$$v_p \leq [v_p^c], \quad (3)$$

В выражении (3) допускаемая скорость развития трещины разрушения  $[v_p^c]$  в инженерных расчетах может быть выражена через критическое значение скорости распространения трещины в виде:

$$[v_p^c] = \frac{v_p^c}{k_s} \quad (4)$$

где  $v_p^c$  - критическое значение скорости распространения трещины разрушения;  $k_s$  - коэффициент запаса.

Критерии (3) является дополнительным критерием к существующим критериям и применимы для магистральных газопроводов или сосудов и аппаратов, работающих под высоким внутренним давлением.

В качестве основного критерия может быть использован один из силовых, энергетических или деформационных критериев механики разрушения.

На начальном этапе проверяется выполнение основного условия. При ее соблюдении проверяется условие (3). Если условие (3) не соблюдается, то применяется технологические и конструктивные мероприятия по остановке и локализации разрушения газопроводов.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Лившиц Л.С. Расчет устойчивости трубопроводов против хрупких разрушений // Строительство трубопроводов. - 1968.- №3. – С. 18-22.
2. Воловик А.Я., Пашков Ю.И. Исследование влияния податливости нагружения на критическую длину трещины при хрупком разрушении / Качество, надежность и долговечность в машиностроении. – Красноярское книжное издательство. 1966.
3. Иванцов О.М., Харитонов В.И. Надежность магистральных трубопроводов. – М.: Недра, 1978, - 276 с.

УДК 622.691.4.053: 539.421

*Джумабаев А.А.* **О расширении критериев оценки сопротивляемости магистральных газопроводов протяженным разрушениям** - Механика и моделирование процессов технологии. 2009, №1, с.

В статье обсуждается необходимость расширения критериев оценки сопротивляемости магистральных газопроводов разрушению с учетом особенностей их эксплуатации и работы. Предложено дополнительно проверять условие превышения скорости распространения трещины разрушения с допускаемой величиной скорости.

ӘОК 622.691.4.053: 539.421

*Жұмабаев А.Ә.* **Магистральды газ құбырларының созылмалы қирауға қарсыласуын бағалау критерилерін кеңейту** - Механика және технология процесстерін үлгілеу. 2009, №1, п.

Мақалада магистральды газ құбырларының жұмыс және пайдалану ерекшеліктерін ескере олардың қирауға қарсыласу қабілетін бағалау критерилерін кеңейту қажеттілігі қарастырылған. Қирау жарықшасының өсу жылдамдығы мен рұқсат етілген жылдамдықты қосымша салыстыру ұсынылған.