

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЦИКЛИЧНОСТИ МАГИСТРАЛЬНОГО НЕФТЕПРОВОДА

Бесеция Д.С.

научный руководитель канд. техн. наук Вансович К.А.

ОАО «Транссибнефть»

Омский государственный технический университет

Система трубопроводного транспорта нефти складывается на протяжении длительного времени, начиная с появления первых предприятий по переработке углеводородного сырья. Она не является законченным объектом, а находится в состоянии постоянного изменения и развития.

В настоящее время объемы перекачки нефти по МН растут, а запас прочности используемых труб сокращается в связи со старением нефтепровода. Всё большая ответственность возлагается на инженеров, обеспечивающих безаварийную и рациональную работу нефтеперекачивающей системы.

Данная работа посвящена исследованию цикличности магистральных нефтепроводов как одного из важнейших элементов прочностной оценки работоспособности нефтеперекачивающей системы.

Целью данной работы является рассмотрение проблем оценки циклической прочности конструкций и сооружений нефтепроводного транспорта в условиях длительной эксплуатации.

Магистральные нефтепроводы в процессе эксплуатации подвергаются воздействию циклически изменяющихся нагрузок, работают в условиях нестабильных режимов, что приводит к усталостным повреждениям.

Одним из наиболее значимых видов усталостного нагружения на магистральных нефтепроводах является малоцикловое воздействие.

Малоцикловое разрушение происходит при значительном количестве перепадов давления или внешней нагрузки (от ста до десятков тысяч). Такое разрушение весьма характерно для длительно эксплуатируемых магистральных нефтепроводов. Причиной малоцикловых разрушений являются перепады давления, наличие дефектов и повреждений, конструктивных концентраторов напряжений.



Рисунок 1 – Критерии безопасной эксплуатации нефтепроводов

Рассмотрим существующие методологические основы определения величины цикличности МН.

Цикличность нагружения участка МН определяется на основе данных по количеству включений насосных агрегатов НПС на технологическом участке и величины изменений (перепадов) внутреннего давления на выходе НПС при этих включениях за последние 3 года работы.

За один цикл нагружения МН внутренним давлением принимается включение любого насосного агрегата на технологическом участке МН. Перепадом внутреннего давления ΔP на выходе НПС при включении агрегата считается разность между

давлением после включения насосного агрегата данной НПС и до его включения, округленная до ближайшего значения, кратного 0,2 МПа.

Годовая цикличность нагружения участка МН приводится к эквивалентному по повреждаемости регулярному нагружению с размахом 2,0 МПа. Приведенная годовая цикличность нагружения участка МН ($N_{прив.}$) определяется суммированием по всем величинам перепадов внутреннего давления по формуле

$$N_{прив.} = \sum_{i=1}^n N_i \cdot \left(\frac{\Delta P_i}{2,0} \right)^{2,2}, \quad (1)$$

где N_i – число включений насосных агрегатов с перепадом внутреннего давления на выходе НПС, равным ΔP_i (ΔP_i – в МПа).

В ряде случаев реальные условия изменения нагрузок, а, следовательно, и определение цикличности представляется возможным схематизировать таким упрощенным методом (1), однако в общем случае закономерности влияния изменения действующих на элементы конструкций нагрузок носят, как правило, более сложный характер.

При сложении перепадов давления, произошедших на линейной части магистрального нефтепровода, необходимо качественно разделять данные изменения давления.

Для качественного разделения свершившихся перепадов давления и количественного их представления необходимо в (1) ввести ряд коэффициентов, обеспечивающих соблюдение критериев безопасной и эффективной эксплуатации магистральных нефтепроводов.

Таким образом, для получения более качественного представления о влиянии каждого отдельно взятого цикла нагружения (перепада давления) трубопровода необходимо учитывать его влияние на прочностные характеристики материала трубопровода, т.е. введение в (1) поправочного прочностного коэффициента:

$$K_{проч.} = \frac{\left[\frac{\sigma_{ae_i}}{\sigma_{a0}} \right]^{1,6} - 1}{\left[\frac{\sigma_{ae}}{\sigma_{a0}} \right]^{1,6} - 1} \right)^{1,875}, \quad (2)$$

где σ_{ae_i} – амплитудные эквивалентные напряжения, МПа;

σ_{a0} – нормативные амплитудные эквивалентные напряжения, МПа, для углеродистых и низколегированных сталей следует принимать 80 МПа;

σ_{ae} – амплитудные эквивалентные напряжения, определяемые при величинах максимального цикла нагружения, МПа.

Влияние скорости изменения давления на прочностную характеристику материала описать однозначно трудно.

Для определения различия величин $K_{скор.}$ предлагается присвоить перепадам давления разряды от 1 до 10, то есть для различных циклов с различной скоростью будет вводиться свой поправочный коэффициент, который будет определяться из условий поставленной задачи для каждого конкретного сегмента трубопровода.

Усталостная прочность – свойство материала не разрушаться с течением времени под действием изменяющихся рабочих нагрузок.

Построение кривых усталости проводится для каждого конкретного типа материала, а методика определения коэффициентов снижения выносливости является одной из основных задач механики разрушения.

То есть, выбирая согласно каталогам коэффициент снижения выносливости и показатель старения ($K_{\text{выносл.}}$) и учитывая его в зависимости определения фактического числа циклов, мы делаем поправку на снижение усталостной прочности.

Предлагаемые поправочные коэффициенты представим в таблице 1.

Таблица 1 – Поправочные коэффициенты приведенной цикличности нагружения

Критерий безопасности	Учитываемые параметры МН	Предлагаемый коэффициент
Прочность	- толщина стенки; - материал; - характер нагружения; - условия эксплуатации; - конструктивные особенности	$K_{\text{проч.}} = \frac{\left[\left(\frac{\sigma_{ae_i}}{\sigma_{a0}} \right)^{1,6} - 1 \right]^{1,875}}{\left[\left(\frac{\sigma_{ae}}{\sigma_{a0}} \right)^{1,6} - 1 \right]}$
Выносливость	- снижение предела выносливости материала	$K_{\text{выносл.}} = \frac{(\lg \sigma_{ae_i} - \lg \sigma_{ae_{i+1}})}{(\lg N_{i+1} - \lg N_i)}$
Скорость изменения давления	$\frac{P_{i+1} - P_i}{t_{i+1} - t_i}$	$K_{\text{скор.}}$

Таким образом, используя коэффициенты, представленные в таблице 1, величину каждого отдельно взятого цикла нагружения (перепада давления) следует определять по формуле:

$$N_{\text{факт.}i} = N_i \cdot K_{\text{проч.}i} \cdot K_{\text{скор.}i} \cdot K_{\text{выносл.}i} \quad (3)$$

Для определения предельного числа циклов нагружения каждого отдельно взятого сегмента трубопровода предлагается зависимость:

$$N_{\text{пред.}i} = \left[\frac{b}{\sum_{i=1}^n \left(\frac{\sigma_{ae_i}}{a} \right)^{1,6} - 1} \right]^{1,875}, \quad (4)$$

где $b = 1200$ (для углеродистых и низколегированных сталей);

σ_{ae_i} - тоже, что и в (2);

$a = 80$ (для углеродистых и низколегированных сталей).

По результатам проведённых расчетов по (3) мы будем точно знать, как в отдельности влияет каждый цикл на состояния металла трубы, но эти результаты еще не дают качественного представления о характере полной картины нагружения, что и является основной задачей расчета на циклическую долговечность.

Для решения поставленной задачи необходимо провести схематизацию случайных процессов нагружения, возникающих в условиях эксплуатации. Это позволит судить об оценке усталостной долговечности сегментов МН, получить сравнительную характеристику процессов нагружения однотипных сегментов МН с целью выявления наиболее нагруженных, а, следовательно, «опасных», смоделировать реальный процесс нагружения путем его схематизации.

Проведению схематизации предшествует дискретное представление процесса нагружения в виде последовательности ординат процесса для ввода цифровой информации.

В работе предлагается проводить дискретизацию по методу пересечений. При использовании данного метода необходимо иметь данные по «истинной» величине

каждого цикла нагружения, рассчитанные по формуле (3), которые наносятся на график.

Схематизация устанавливает правила выделения цикла или полупериода исследуемого процесса нагружения.

В данной работе предлагается схематизировать процесс нагружения магистрального нефтепровода по методу «дождя» («RainFlow»).

Данный метод позволяет вести схематизацию в режиме реального времени. При этом запоминается лишь траектория потоков дождя, а обработку проводят по мере ввода экстремумов дискретизации.

Результатом схематизации нагружения рассчитанных циклов нагружения является таблица, в которой отражается реальная картина нагружения с учетом пересечений влияний различных циклов нагружения, а также суммарного действия всех циклов вместе взятых, которое можно сравнивать с величиной, полученной при расчете формулы (4).

Для обеспечения безаварийной работы МН необходимо выполнение условия для каждого взятого отдельно сегмента трубы:

$$N_{\text{факт. суммарн}i} \leq N_{\text{пред.}i} \quad (5)$$

Поскольку сегментов МН с их индивидуальными характеристиками достаточно много, то для наглядного представления полученных результатов сравнения по условию (5) предлагается графическая интерпретация (рисунок 2).

Анализируя рисунок 2, можно легко найти самые «узкие» места (те места, в которых различие между фактическим и предельным значением величины цикличности минимально или принимает отрицательный характер), рассмотрению которых стоит уделить наибольшее внимание.

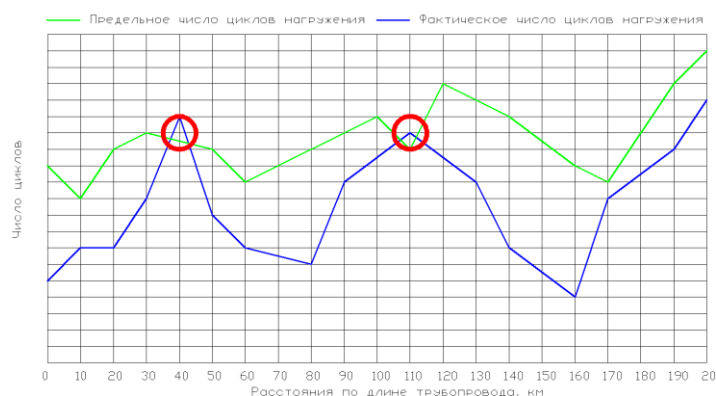


Рисунок 2 – Графическая интерпретация проверки остаточного ресурса сегментов МН

Стоит отметить, что после проведения работ по замене дефектного участка трубопровода, расчёт циклики необходимо проводить сначала, то есть заново определять величину предельного и фактического числа циклов.

Проверка остаточного ресурса сегментов МН по графическим интерпретациям расчета приведенной цикличности нагружения позволяет в «макропонятии» определить слабое место магистрального нефтепровода.

После получения данной информации все «узкие» места предлагается оценивать более детально, используя для этого метод Гудмана, который позволяет отслеживать снижение выносливости сегмента трубопровода и получать наглядные для анализа данные, таким образом получая данные «микроанализа» по остаточному ресурсу магистрального нефтепровода.

Таким образом, для выдачи заключения о надежности рассматриваемого магистрального нефтепровода, возможности безаварийной эксплуатации каждого

отдельно взятого его сегмента на основании анализа величины цикличности нагружения в данной работе предлагается пользоваться блок-схемой, представленной на рисунке 3.

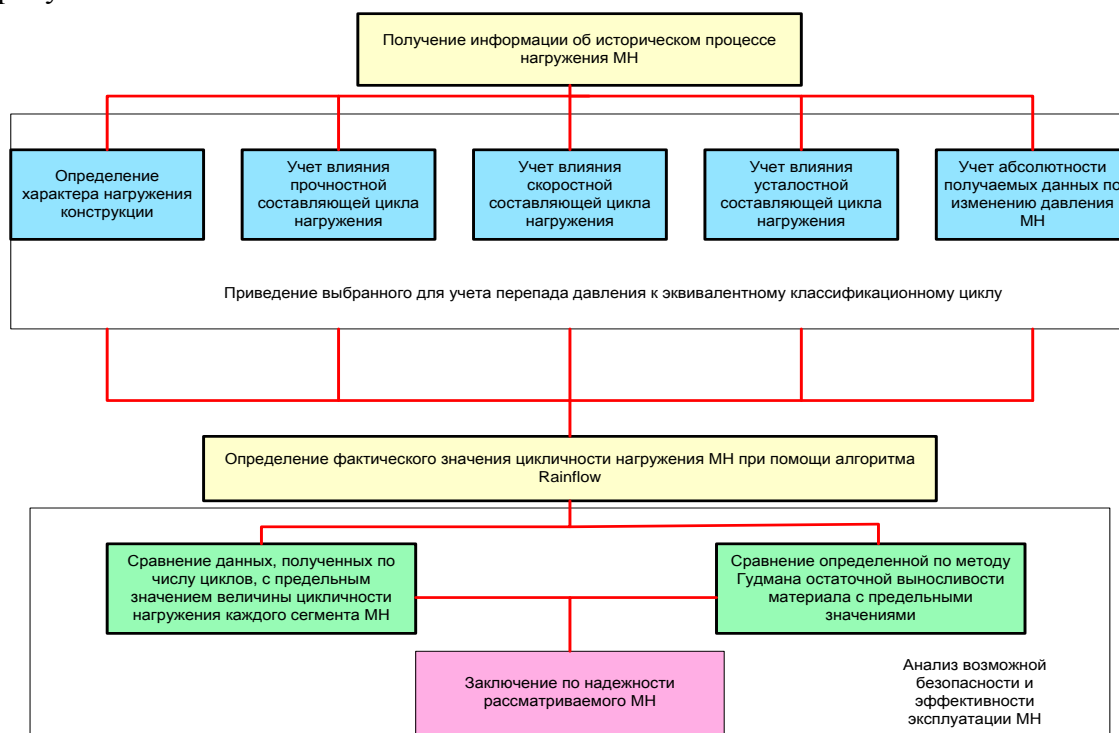


Рисунок 3 – Блок-схема определения цикличности нагружения МН

Предлагаемый в данной работе подход к определению цикличности длительно эксплуатируемого магистрального нефтепровода позволяет:

- структурировать необходимые исходные данные для определения количества циклов нагружения;
- схематизировать процесс нагружения магистрального нефтепровода;
- качественно оценить количество циклов нагружения конструкции;
- получить достоверные данные для определения предельного срока службы каждого сегмента нефтепровода;
- получить наглядные и удобные для анализа конечные выходные данные по остаточному ресурсу.

Список используемой литературы

1. РД-23.040.00-КТН-115-11. Определение прочности и долговечности труб и сварных соединений с дефектами. – М., 2011. – 134 с.
2. Paris, P. C. A rational analytic theory of fatigue, *The Trend in Engineering*. / P. C. Paris, M. P Gomez M. P., W. E. Anderson, 1961 – pp. 9-14.
3. Оценка технического состояния элементов магистральных нефтепроводов // Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов / К. М. Гумеров [и др.]. – Уфа: ИПТЭР, 1996. – Вып. 56. – 97 с.
4. ГОСТ 25.504–82. Расчеты и испытания на прочность. Методы определения характеристик усталости. – М.: Изд-во стандартов, 1982. –80 с.
5. Брок, Д. Основы механики разрушения / Д. Брок. – М.: Высшая школа, 1980. – 368 с.
6. Wells, A. A. Application of fracture mechanics at and beyond general yield, *British Welding Res. Ass. Rept.*, M 13/63, 1963.