

Из полученной зависимости видно, что активизация процессов старения металла происходит при нагрузках, составляющих порядка 30%  $\sigma_{0,2}$  для используемых образцов, что соответствует современным представлениям о природе старения стали [2].

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Александров, Ю. В. Неразрушающая диагностика деградиционных процессов в металле газопроводов / Ю. В. Александров, Р. В. Агинеи, А. Ю. Михалев // Газовая промышленность. – 2011. – № 6 (660). – С. 60–63.

2. Нохрин, А. В. Старение сталей труб магистральных газопроводов / А. В. Нохрин, В. Н. Чувильдеев // Вес. Нижегород. ун-та им. Н. И. Лобачевского. – 2010. – № 5 (2). – С. 171–180.

**УДК 621.6.01**

### **СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ РАСЧЕТА НА ПРОЧНОСТЬ МАГИСТРАЛЬНОГО ТРУБОПРОВОДА И ОПТИМИЗАЦИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ ТРАНСПОРТА НЕФТИ**

**Е. И. Тарновский, А. М. Ширяев**

*ОАО «АК«Транснефть», г. Москва, Российская Федерация  
ООО «Научно-исследовательский институт транспорта  
нефти и нефтепродуктов», г. Москва, Российская Федерация*

Для систем транспорта газожидкостных углеводородных смесей характерной особенностью является неустановившийся процесс течения. Неоднородная по составу и условиям транспортировки углеводородная смесь за счет разделения по фазам при наличии ретроградной и дифференциальной конденсации, температурных отклонений и т. п. приводит к изменению режимов работы всей системы транспорта. В результате трубопроводы работают в неустановившемся режиме с фазовыми переходами, приводящими к образованию паровых и парогазовых объемов различного масштаба. Различия в механизмах выделения и растворения газовых компонентов приводит к режимам течения с неполным заполнением трубы при давлениях, существенно превышающих давление насыщенных паров жидкости. В этом случае для прогнозирования процессов, происходящих при транспортировке углеводородной смеси, уже необходимо знать неравновесный компонентный состав фаз, а последующее трансформирование компонентного состава газопаровой фазы необходимо рассматривать в рамках неравновесной схемы фазовых переходов.

В данной работе предполагается, что в трубопроводе имеются напорные участки, заполненные жидкостью целиком, а также участки, заполненные лишь частично, давление на которых равно давлению в парогазовой фазе.

Рассматривается случай изотермического течения вязкой сжимаемой жидкости, когда давление в парогазовой фазе может отличаться от давления насыщенных паров жидкости. Система уравнений для средних гидродинамических величин, выражающая балансовый закон сохранения массы и количества движения фаз, представлена следующим образом:

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t} \rho_i F_i + \frac{\partial}{\partial x} \rho_i u_i F_i &= \chi (\alpha_i \rho_i^0 V_{ij} - \alpha_j \rho_j^0 V_{ij}); \\ \rho_i &= (1 - \alpha_j) \rho_i^0; \quad (i \neq j = 0, 1); \\ \frac{\partial}{\partial t} \rho_i u_i F_i + \frac{\partial}{\partial x} F_i (\beta_i \rho_i u_i^2 + p) &= p \frac{\partial F_i}{\partial x} - F_i \rho_i g \left( \frac{dz}{dx} + \frac{\partial}{\partial x} \left\{ h \sqrt{1 - \left( \frac{dz}{dx} \right)^2} \right\} \right) - \\ &- \int_{\chi_i} \tau_{0i} d\chi_i + \chi (\alpha_i \rho_i^0 V_{ij} u_i - \alpha_j \rho_j^0 V_{ij} u_i), \end{aligned}$$

где  $\rho_i$  – средняя по сечению кажущаяся плотность  $i$ -той фазы (включающей дисперсную часть  $j$ -той фазы – газопаровая фаза с каплями жидкости или жидкая фаза с пузырьками пара);

$F_i$  – часть поперечного сечения трубы, занятая соответствующей фазой;

$u_i$  – средняя по поперечному сечению трубы скорость  $i$ -той фазы;

$\beta_i$  – коэффициент, характеризующий поправку на количество движения потока жидкости;

$\tau_{0i}$  – величина силы трения, действующая на единицу площади боковой поверхности трубы;

$p$  – давление, которое предполагается одинаковым на границе раздела обеих фаз;

$x, z$  – горизонтальная и вертикальная координаты;

$t$  – время.

Для замыкания системы используется уравнение состояния Пенга-Робинсона.

Массовая концентрация  $C_{ki}$  определяется из уравнений сохранения массы компонент:

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t} \rho_i C_{ki} F_i + \frac{\partial}{\partial x} \rho_i u_i C_{ki} F_i &= (-1)^i \chi \left( \alpha_0 \rho_0^0 V_0 \frac{x_{k1} M_{k1}}{M_0} - \alpha_1 \rho_1^0 V_1 \frac{x_{k0} M_{k0}}{M_1} \right); \\ &(i \neq j = 0, 1), \end{aligned}$$

где  $M_{ki}$  – молекулярный вес  $x_k$  компонент  $i$ -той фазы;

$M_i$  – молекулярный вес вещества дисперсных включений соответствующей фазы.

В зависимости от вида возмущений на границах течения вводятся соответствующие начальные и граничные условия при решении конкретной задачи: заполнение трубопровода, свободное истечение, аварийное истечение через боковую поверхность, пуск и останов транспортировки углеводородной смеси.

Для численного расчета течений газожидкостной углеводородной смеси как на полностью заполненных участках трубопровода, так и на заполненных лишь частично, используется метод распада произвольного разрыва [С. К. Годунов, 1959].

На основе численного эксперимента по расчету течения многокомпонентной смеси в трубопроводе сделаны следующие выводы:

- структура течения многокомпонентной углеводородной смеси определяется профилем трубопровода и не зависит от начальных условий;
- противоточные течения возникают на нестационарной стадии на восходящих участках при заполнении трубопровода углеводородной смесью;
- количественный состав дискретной фазы определяет вид структуры потока. Концентрация компонент в непрерывных фазах является доминирующим фактором в образовании структуры потока;
- формирование дисперсно-кольцевого режима течения на нестационарной стадии происходит при однонаправленности скорости течения непрерывных фаз в трубопроводе.

В работе дана формулировка и результаты расчета задачи упругого деформирования трубопровода под действием динамических нагрузок со стороны транспортируемой жидкости.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Бекман, В. Катодная защита от коррозии : пер. с нем. / В. Бекман, В. Швенк. – М. : Металлургия, 1984. – 496 с.

**УДК 622.691.4**

### **УНИКАЛЬНЫЙ ОПЫТ ЦИКЛИЧЕСКОЙ ПЕРЕКАЧКИ НЕФТИ ПО «ГОРЯЧЕМУ» МАГИСТРАЛЬНОМУ НЕФТЕПРОВОДУ «ОЗЕК-СУАТ-ГРОЗНЫЙ»**

**И. М. Тугунова, Н. А. Гаррис**

*Уфимский государственный нефтяной технический университет,  
г. Уфа, Российская Федерация*

С каждым годом в России и других странах увеличивается добыча высоковязких нефтей, которые составляют 80% мировых запасов.

Хорошо зарекомендовал себя способ перекачки нефти с подогревом. Но при недогрузке трубопроводов неизбежно встает вопрос о выборе