

РАСЧЕТ МАКСИМАЛЬНО ДОПУСТИМОГО РАБОЧЕГО ДАВЛЕНИЯ ПРИ ДЛИТЕЛЬНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ МАГИСТРАЛЬНЫХ НЕФТЕПРОДУКТОПРОВОДОВ

Рассмотрены вопросы прочностных расчетов магистральных нефтепроводов, прочностных характеристик дефектных участков труб, дефектов стенки труб их геометрии. Разработана автоматизированная программа расчета несущей способности магистрального нефтепродуктопровода с построением эпюры несущей способности участка с линией гидравлического уклона, определяющего максимально допустимое по прочностным показателям рабочее давление на выходе нефтеперекачивающей станции.

The article studies issues of oil-trunk pipeline strength calculation, determination of strength characteristics of defective pipe sections, defects in pipe walls and their geometry. Automated software was developed to calculate bearing capacity of main oil-products pipelines with computer assisted construction of the bearing capacity diagram for sections with hydraulic grade line which limits the maximum output operating pressure at the booster stations permissible according to the strength characteristics.

Эксплуатация обширной сети магистральных трубопроводов ОАО «АК «Транснефтепродукт» требует внимания в вопросах безопасной эксплуатации, надежности и экологии. Учитывая то, что значительная часть участков трубопроводов работает более 30 лет, решение задач безопасной и надежной эксплуатации становится в настоящее время основной и требует особой технической стратегии.

Кроме постоянно проводимой диагностики трубопроводов и замены дефектных участков, важными являются разработка и применение нормативно-технической документации по оценке и анализу надежности действующих нефтепродуктопроводов. В 2002 г. Институтом проблем транспорта энергоресурсов (ИПТЭР) разработан РД 153-39.4Р-134-2002 «Методика расчета максимально допустимого рабочего давления при эксплуатации магистрального нефтепродуктопровода с учетом старения стальных труб, циклической долговечности и данных технической диагностики».

Первые пробные расчеты несущей способности участка МНПП «Унеча-Дисна» (1-189 км), проведенные в ОАО «Юго-Запад

ТНП» в соответствии с указанным РД, по результатам внутритрубной диагностики показали, что прочностные расчеты несущей способности трубопровода, проводимые в соответствии с данным РД, позволяют определить предельно допустимое рабочее давление на участке с учетом изменения механических свойств и износа металла труб и без учета дефектов по соответствующей формуле СНиП 2.05.06-85 с введением в нее понижающих коэффициентов K_δ и m_y :

$$P(T_3) = \frac{2\delta R_1^H m K_\delta m_y}{n D_{\text{вн}} K_1 K_H},$$

где δ – номинальная толщина стенки трубы, мм; R_1^H – временное сопротивление разрыву металла трубы, кг/мм²; m – коэффициент категорииности трубопровода; K_δ – коэффициент, учитывающий коррозионный износ стенок трубы; m_y – коэффициент, учитывающий усталость, деформационное старение и концентрацию напряжений в металле труб; n – коэффициент надежности по нагрузке; $D_{\text{вн}}$ – внутренний диаметр трубопровода, мм; K_1 – коэффициент надежности

по материалу; K_n – коэффициент надежности по назначению трубопровода.

Кафедрой трубопроводного транспорта СамГТУ на основании данного РД разработана автоматизированная программа расчета несущей способности магистрального нефтепродуктопровода с автоматизированным выполнением графической части расчета, т.е. построением эпюры несущей способности всего участка с линией гидравлического уклона, определяющего максимально допустимое по прочностным показателям рабочее давление на выходе нефтеперекачивающей станции.

Для проведения расчетов на данной программе необходимо введение следующих исходных данных: раскладка труб по трассе магистрального нефтепровода; категоричность, километраж и пикетаж участков трубопроводов; количество и наименование нефтеперекачивающих станций; высотные отметки трассы трубопровода и некоторые другие.

На основании «Методики определения опасности повреждений стенки трубопроводов по данным обследования магнитными дефектоскопами, ультразвуковыми дефектоскопами и профиломерами» разработаны расчетные программы определения прочностных характеристик дефектных участков труб, дефектов стенки труб и дефектов их геометрии. Разработанные программы производят расчет величины разрушающего давления трубы с дефектом и определяют допустимое рабочее давление в дефектном участке трубопровода. Например, автоматизирован расчет разрушающего давления трубы с дефектом стенки, определяемого по формуле:

$$P_f = \frac{\sigma_f \eta - \frac{\eta ER}{\eta_k \rho} \sin^2 \beta}{\cos^2 \beta + \mu \frac{\eta}{\eta_k} \sin^2 \beta} \frac{t}{R n_1 n_2 k},$$

где R – номинальный радиус трубы; t – толщина стенки трубы; n_1 – коэффициент, учитывающий тип дефекта; n_2 – коэффициент, учитывающий опасность последствий разрушения; k – коэффициент, учитывающий различные условия нагружения; E – модуль упругости металла; ρ – радиус упругого изгиба трубопровода; μ – коэффициент, учитывающий соотношение продольных и окружных напряжений в трубе; β – угол наклона оси дефекта к оси трубы;

$$\sigma_f = \frac{\sigma_B}{1,15}; \quad \eta = \left[\frac{A_o - A_d}{A_o - \frac{A_d}{M}} \right]; \quad \eta_k = \left[\frac{A_o - A_d}{A_o - \frac{A_d}{N}} \right];$$

$$M = \left[1 + 0,2625 \frac{L^2}{Rt} \right]^{0,5}; \quad N = \left[1 + 0,041 \frac{L^2}{Rt} \right]^{0,5};$$

σ_B – предел прочности материала трубы; A_d – замеренная или аппроксимированная площадь сечения дефекта; $A_d = \frac{2}{3} Ld$; A_o – площадь сечения сквозного дефекта; $A_o = Lt$.

Допустимое рабочее давление для трубы с опасным дефектом определяется по формуле $P_d = K_p P_{max}$, где P_{max} – нормативное рабочее давление трубы; K_p – коэффициент снижения рабочего давления.

Выполнен расчет по программе с ручным вводом в графическую часть значений несущей способности дефектных мест.

Учитывая большую протяженность магистральных нефтепродуктопроводов (19 тыс.км) и длительные сроки их эксплуатации (30-40 лет), на кафедре в настоящее время прорабатывается вопрос создания программного обеспечения мониторинга магистральных нефтепродуктопроводов в направлении их безаварийной и безотказной эксплуатации.