

ПОВЫШЕНИЕ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ АЛГОРИТМОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ УТЕЧКИ В НЕФТЕПРОВОДЕ

Мамонова Т.Е.

научный руководитель канд. техн. наук Шкляр В.Н.

Томский политехнический университет

Наиболее эффективным средством транспортировки нефти и нефтепродуктов в настоящее время является трубопроводный транспорт, поэтому проблема обнаружения утечек в нефтепроводах является особо актуальной и проблематичной. Самыми распространёнными причинами возникновения утечек в нефтепроводах являются порывы сварочных швов, несанкционированные врезки и коррозия металла, являющиеся в основном малыми утечками. В работе Шкляра В.Н., Мамоновой Т.Е. «Алгоритмы определения утечки в нефтепроводе с учётом его геометрического профиля», опубликованного в электронном ресурсе «Вестник науки Сибири», получены и исследованы алгоритмы определения параметров утечки (координаты и массового расхода) по гидродинамическим процессам, протекающим в трубе, в том числе при учёте геометрического профиля трубы. Данные алгоритмы получены на основе решения гидродинамической модели, описывающей процессы утечки в трубопроводе в виде дифференциального уравнения в частных производных и граничных условий с учётом геометрического профиля трубопровода, и имеют вид:

$$\xi = \frac{P_2 - P_H + \rho g(z_2 - z_H) - \frac{x_1}{l - x_2}(P_K - P_2) - \frac{\rho g x_1}{l - x_2}(z_K - z_2)}{\frac{1}{x_1}(P_1 - P_H) + \frac{\rho g}{x_1}(z_1 - z_H) - \frac{1}{l - x_2}(P_K - P_2) - \frac{\rho g}{l - x_2}(z_K - z_2)}, \quad (1)$$

$$G_T = \frac{\pi d^2}{8} \sqrt{\frac{dg}{2\lambda} \left(\sqrt{\frac{P_H - P_1 + \rho g(z_H - z_1)}{\rho g x_1}} - \sqrt{\frac{P_H - P_K + \rho g(z_H - z_K)}{\rho g l}} \right)},$$

где ξ – координата места утечки, G_T – массовый расход утечки, $z(x)$ – геометрический профиль трубопровода [м], ρ – плотность транспортируемой жидкости [кг/м³], g – ускорение свободного падения [м/с²], l , d – длина и внутренний диаметр трубопровода, C – скорость распространения волны давления, λ – коэффициент сопротивления трубопровода; w – скорость движения нефтепродукта, P_H и P_K – давления, соответственно, в начале и на конце участка трубопровода [Па], P_1 и P_2 – давление на первом и втором датчиков, расположенных по длине трубопровода [Па].

Алгоритмы (1) были проверены на адекватность в пакете COMSOL Multiphysics 3.5. с помощью математических пакетов MathCAD и визуального приложения Simulink пакета MatLab.

В представленной работе предлагается усовершенствование полученных алгоритмов в целях повышения их чувствительности к малым утечкам. Суть состоит в модификации метода гидравлической локации места утечки с сохранением всех характеристик указанных выше алгоритмов. Метод гидравлической локации места утечки основан на измерении гидравлических уклонов на двух специально выбранных базисных сегментах, находящихся вблизи перекачивающих станций. Задача состоит в том, чтобы указать место утечки нефти и оценить ее интенсивность по изменению гидравлических уклонов на этих сегментах. Основным недостатком метода является низкая чувствительность, зависящая от расположения дефектного участка.

Модифицированный метод гидравлической локации места утечки заключается в следующем. Вдоль трубопровода располагаются специальные устройства, на который в

настоящее время получен патент № 2426080 «Способ измерения изменения давления в трубопроводе транспортировки жидкости и устройство для его осуществления» авторов Степанченко Т.Е., Шкляр В.Н., от 10.08.2011. Данные устройства измеряют изменения давления в трубе от времени $\Delta P(t)$. При значении $\Delta P(t) \geq 1,2$ кПа, что соответствует уровню шумов в трубопроводе при перекачивании нефти и нефтепродуктов, имеет место утечка на участке трубопровода, пролегающего между двумя перекачивающими станциями. При этом параметры утечки (координата ξ и массовый расход G_T) рассчитываются по формулам:

$$\xi = \frac{x_1 \Delta P_2}{(l - x_2) \Delta P_1 + x_1 \Delta P_2}, \quad (2)$$

$$G_T = \pi \frac{d^2}{8} \sqrt{\frac{dg}{2\lambda} \left[\sqrt{\frac{\Delta P_1 (l - x_2) + x_1 \Delta P_2}{\Delta P_2 l}} - \sqrt{\frac{(z_H - z_K) \rho g + (P_H - P_K)}{\rho g l}} \right]},$$

где ΔP_1 и ΔP_2 – изменение давления в местах установки датчиков по длине трубопровода по координатам x_1 и x_2 соответственно [Па].

Исследование алгоритмов (2) было выполнено в математическом пакете COMSOL Multiphysics 3.5. В указанном пакете были смоделированы масштабированные трубопроводы различных геометрических профилей: прямолинейный горизонтальный, прямолинейный наклонный, сигмоидальный со следующими параметрами трубопровода и жидкости: $l=100$ м., $d=0,1$ м., $P_H=1$ МПа, $P_K=0,7$ МПа, $\rho=817$ кг/м³, $w=1,2$ м/с, $\nu=55 \cdot 10^{-6}$ м²/с, $C=975$ м/с. При этом скорость звука C зависит от толщины стенок трубопровода, принятой 0,005 м. Результаты исследования приведены в таблице 1.

Таблица 1. Расчёт параметров утечки

№	Геометрический профиль трубы	Заданные значения в COMSOL Multiphysics		Рассчитанные значения по алгоритмам (1)		Погрешности расчёта	
		ξ , м	G_T , кг/с	ξ , м	G_T , кг/с	δ_ξ , %	δ_{G_T} , %
1	Прямолинейный без наклона	55,000	6,460	55,279	7,021	0,279	8,684
2	Прямолинейный с наклоном	55,000	6,460	57,337	7,263	4,249	12,430
3	Сигмоидальный	55,000	10,462	59,340	9,054	7,891	13,458

Проведённые эксперименты показали, что полученные алгоритмы для расчёта параметров утечки (массового расхода и координаты) из трубопровода с геометрическим профилем по изменению давления в трубопроводе от времени дают результат с погрешностью не более 7,891% для координаты утечки и 13,458% для массового расхода. Данные результаты доказывают адекватность алгоритмов определения координаты утечки (2) для различных геометрических профилей трубопровода и представленного метода обнаружения параметров утечки.

Следует также отметить, что в пакете моделирования COMSOL Multiphysics задание массового расхода производится посредством задания диаметра условной утечки и получение значения давления в месте, с координатой условной утечки. Тогда как расчёт массового расхода происходит по показаниям датчиков давления, установленных в начале, в конце и по длине трубопровода, а также с учётом геометрического профиля z_ξ , зависящего от найденной координаты утечки. Также необходимо учитывать, что алгоритмы (2) имеют нелинейный характер. Совокупность перечисленных факторов ведёт к значительному повышению погрешности расчёта массового расхода утечки по алгоритму (2) в отношении к полученным в указанном пакете моделирования значениям массового расхода.