

УДК 681.5:622.692

АНАЛИЗ МЕТОДОВ ОБНАРУЖЕНИЯ УТЕЧЕК, ПРИМЕНЯЕМЫХ В ПАРАМЕТРИЧЕСКИХ СОУ

Хасенова Д.Ф.

научный руководитель канд. техн. наук Крец В.Г.

Национальный исследовательский Томский Политехнический Университет

Учитывая тот факт, что общая протяженность, находящихся в эксплуатации стальных нефтегазопродуктопроводов, на территории России приближается к одному миллиону километров (980 тысяч км), и при этом нефтегазотранспортная система России в настоящее время продолжает интенсивно развиваться, задача надежной и безопасной эксплуатации представляет первостепенное значение. В связи с этим было создано значительное количество **систем обнаружения утечек** из трубопроводов (СОУ). Физическая основа построения СОУ может быть различной. Перечень наиболее известных существующих методов обнаружения утечек приведен в таблице.

Таблица. Методы обнаружения утечек из трубопроводов.

	Обнаружение утечки по технологическим параметрам перекачки (с использованием средств АСУ ТП и КИП)	Обнаружение утечки на основе других физических параметров (с использованием дополнительных аппаратных средств)
Методы постоянного контроля	<ul style="list-style-type: none">▪ Метод гидравлической локации утечки;▪ Метод сравнения расходов;▪ Метод сравнения скорости изменения расходов;▪ Метод материального баланса;▪ Метод отрицательных ударных волн;	<ul style="list-style-type: none">▪ Волоконно-оптический метод (на основе решеток Брэгга);▪ Волоконно-оптический метода (на основе рефлектометрического принципа);▪ Метод акустической эмиссии;
Методы периодического контроля	<ul style="list-style-type: none">▪ Метод гидравлических испытаний (опрессовка);▪ Метод дифференциальных давлений.	<ul style="list-style-type: none">▪ Методы визуального контроля;▪ Акустический метод;▪ Радиоактивный метод;▪ Лазерный газоаналитический метод;▪ Ультразвуковой (зондовый) метод;▪ Методы внутритрубной

		инспекции; ▪ Аэрокосмический мониторинг.
--	--	---

Наибольшее распространение в силу экономичности и минимального количества дополнительных измерительных устройств в настоящее время получили так называемые параметрические СОУ. Согласно **РД-13.320.00-КТН-223-09 параметрическая система обнаружения утечек** – это система обнаружения утечек, функционирующая на основе использования поступающих в систему диспетчерского контроля и управления (СДКУ) технологических данных о параметрах работы нефтепровода и применения математической модели нефтепровода для принятия решения о наличии утечки.

Наиболее простым методом данной группы является **метод материального баланса**, основанный на законе сохранения массы. Метод учитывает поправку, обусловленную колебаниями давления и температуры, которые вызывают изменение объема, измеряемого расходомером. То есть вводятся поправки на приращение плотности за счет изменения температуры и давления, а так же на приращение объема участка трубопровода, т.е.:

$$\Delta\rho = \rho_0 \left(-\xi \cdot \Delta T + \frac{\Delta P}{K} \right),$$

где ΔT – изменение температуры;

ΔP – изменение давления;

ξ – коэффициент объемного расширения;

K – модуль упругости продукта;

ρ_0 – плотность продукта при известной температуре.

$$\Delta V_p = V_0 \cdot \frac{D_0}{E \cdot \delta} \cdot \Delta P,$$

где ΔP – изменение давления;

E – модуль Юнга материала трубы;

V_0 – объем при известных параметрах.

$$\Delta V_T = V_0 \cdot \alpha \cdot \Delta T,$$

где ΔT – изменение температуры;

α – коэффициент объемного расширения материала трубы.

Точность метода зависит от погрешности расходомеров, при этом важна не абсолютная величина ошибки измерения, так как она компенсируется, а только относительная погрешность приборов (один относительно другого). Относительно погрешности определения изменения количества продукта в трубопроводе за счет изменения давления, то она зависит от точности измерения давления, т.е. от класса точности манометров.

Другим довольно распространенным методом в СОУ является **метод гидравлической локации места утечки нефти** или метод, заключающийся в анализе профиля давления (оценивается параметр $\frac{\partial P}{\partial x}$). Измеряется манометрическое давление на концах двух специально выбранных базисных сегментах, находящихся вблизи перекачивающих станций. Если в некоторой точке возникает утечка, то линия гидравлического уклона становится ломаной. Однако данный метод основан на уравнении установившегося режима эксплуатации изотермического трубопровода, характеризуется низкой чувствительностью, ложным срабатыванием системы вследствие большей чувствительности алгоритма к изменениям площади проходного сечения трубопровода. Чтобы показать данную зависимость запишем уравнение Дарси-Вейсбаха:

$$h_T = \lambda \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{\omega^2}{2g} = 0,083 \cdot \lambda \cdot \frac{l}{d^5} \cdot Q^2,$$

где $\lambda = f(Re, \epsilon)$ – коэффициент гидравлического сопротивления;

l – длина трубопровода;

d – диаметр трубопровода;

ω – линейная скорость продукта;

Q – объемный расход.

При этом формула для гидравлического уклона будет иметь вид:

$$i = 0,083 \cdot \lambda \cdot \frac{1}{d^5} \cdot Q^2.$$

Для сравнения чувствительности данного метода в зависимости от производительности и изменения проходного сечения трубопровода возьмем следующие частные производные:

$$\delta i = \left(\frac{\partial i}{\partial Q} \right) \delta Q = 2 \cdot 0,083 \cdot \lambda \cdot \frac{1}{d^5} \cdot Q \cdot \delta Q;$$

$$\delta i = \left(\frac{\partial i}{\partial d} \right) \delta d = -5 \cdot 0,083 \cdot \lambda \cdot \frac{1}{d^6} \cdot Q^2 \cdot \delta d.$$

Далее приравниваем полученные приращения δi , в результате чего имеем:

$$\frac{\delta Q}{Q} = -\frac{5}{2} \cdot \frac{\delta d}{d}.$$

Таким образом, полученное уравнение показывает, что изменение диаметра проходного сечения трубопровода вызывает в 2,5 раза большее изменение гидравлического уклона, чем колебания объемного расхода.

Метод отрицательных волн давления (оценивается параметр $\frac{\partial P}{\partial t}$) основан на явлении возникновения волны разряжения в момент появления утечки. Волны разряжения распространяются по обе стороны от места утечки и регистрируются аппаратурой. Точность метода сильно зависит от гидродинамических шумов в нефтепроводе, от величины утечки. Так же при разрывах сплошности потока или наличии газовых пузырей скорость распространения волны давления разряжения снижается, вследствие чего сигнал будет блокирован или будет нести недостоверную информацию.

Таким образом, можно сказать, что все существующие параметрические СОУ не лишены недостатков. Принимая во внимания современные требования безопасности, использование только лишь параметрических СОУ компаниями, занимающимися

транспортировкой нефти, газа и нефтепродуктов является недостаточным. Соответственно, главным требованием к СОУ является ее точность, обеспечиваемая комплексным подходом, т.е. использованием группы методов обнаружения утечек, основанных на различных физических принципах, причем методов как периодического, так и непрерывного контроля.