

ANALYSE VON LECKERKENNUNGSSYSTEMEN AN ÖLROHRFERNLEITUNGEN

M.A. Bukhovskiy

Wissenschaftliche Betreuerin Dozentin N.A. Antropova

Nationale Wissenschaftliche Tomsker Polytechnische Universität, Tomsk, Russland

Im Rahmen dieser Arbeit werden durchgehende Systeme für die Überwachung (Leckerkennungssysteme LES) des technischen Zustandes untersucht. Diese lassen sich in zwei Gruppen aufteilen: Systeme, die technologische Kenngrößen überwachen, sogenannte Softsensoren (Die Veränderungen in hydraulischen Kenngrößen werden mithilfe von einem Prozessmodell analysiert.); 2) Systeme, die eine Überwachung von zusätzlichen Kenngrößen gewährleisten, sogenannte Hardsensoren (z.B. Brillouin-Streuung, akustische Emission).

Softsensoren beziehen Verfahren ein, die sich auf der Messung von verschiedenen Kenngrößen basieren wie Druck, Durchflussmenge, Temperatur sowie Mengenvergleichsverfahren, Mengenänderungsverfahren, Mengendifferenzierungsverfahren, Druckfallverfahren, Druckwellenverfahren usw. [1, 2]

Das Mengenvergleichsverfahren vergleicht die Fördermengen, die in einem Leitungsabschnitt eingebracht werden $\rho_1 Q_1$, mit denen, die in diesem Leitungsabschnitt entnommen werden $\rho_2 Q_2$. Dabei entsprechen ρ_1 und ρ_2 , Q_1 und Q_2 der Dichte und dem Volumenstrom des Ein- und Ausgangs der Pipeline.

Das Mengenänderungsverfahren beschreibt die Situation, bei der angenommen wird, dass die Durchflussmenge bei einem Leck an einer stromaufwärts gelegenen Messstelle entsprechend der Pumpenkennlinie und durch den Spannungseffekt des Lecks zunehmen und sich an einer stromabwärts gelegenen Messstelle verringern wird. Diese Mengenänderungen zieht man mit Hilfe von oberen und unteren Grenzwerten zur Leckerkennung heran.

Das Mengendifferenzierungsverfahren berechnet die Differenz der Summe der einem Leitungssystem entnommenen Mengen bzw. Massen und der Summe der in das Leitungssystem zugeführten Mengen oder Massen. Diese Differenz wird nach der Zeit differenziert:

$$\Delta M = \int_0^{\Delta t} [\rho_1(t)Q_1(t) - \rho_2(t)Q_2(t)]dt$$

Wenn sich die Differenz verändert, wie dies beispielweise bei einer Leckage auftritt, weicht das Differenzierungsergebnis momentan stark vom stationären Wert ab. Diese Abweichung führt dann zu einer Alarmgabe.

Beim Druckfallverfahren misst man den statischen Druck an mehreren Messstellen (z. B. an Verdichter- bzw. Pumpstationen, Übergabe- und Streckenschieberstationen). Die Abweichungen vom stationären Fördergradienten, die durch das Leck entstehen, führen zur Alarmgabe.

Das Druckwellenverfahren beschreibt ein Verfahren, bei dem berücksichtigt wird, dass die Druckabsenkung, die bei einem Leck am Leckort entsteht, sich als negative Druckwelle stromaufwärts und stromabwärts mit Schallgeschwindigkeit ausbreitet. Das Leck wird dann durch die Erfassung der negativen Druckwelle mittels geeigneter Einrichtungen ermittelt. Die Geschwindigkeit kann wie folgt berechnet werden:

$$c = \frac{1}{\sqrt{\frac{\rho_0}{k} + \frac{\rho_0 d}{\delta E}}}$$

Dabei entsprechen:

E – Elastizitätsmodul der Leitung;

δ – Wanddicke;

k – Elastizitätsmodul des Fluidums

d – Durchmesser. [1]

Die Daten zu Druck, Durchfluss und Temperatur kommen zur Feldstation, wo sie akkumuliert und ausgewertet werden und dann durch Prozessleitungssysteme auf den Server übertragen werden. Im Server lassen sich diese Daten analysieren. Inzwischen wird ein Prozessmodell (mithilfe von einer Kombination der oben erwähnten Verfahren und gemessenen Werten) hergestellt. Weiterhin wird der Vergleich von Messwerten und berechneten Werten analysiert. Im Falle eines Ölaustritts erfolgt eine Alarmierung. Die entsprechende Leckrate und der Leckort werden im Computer beim Operator angezeigt.

Das infraakustische Überwachungssystem gehört zu den Hardsensoren und benutzt die akustische Emission um ein Nutzsignal zu senden. (Es wird durch einen Durchbruch in der Rohrleitung als Folge eines Leck Eintritts oder einer mechanischen Einwirkung auf die Leitungsoberfläche hervorgerufen und breitet sich stromauf- sowie abwärts aus.) [3] Der Aufbau dieses Systems hat drei Levels. Das erste Level enthält Hydroantennen, die an der Rohrleitung angebracht sind und das Signal empfangen. Das zweite Level wertet die Daten aus und sendet sie an den Computer, wo auf dem dritten Level die Ergebnisse angezeigt werden.

Das auf dem Lichtwellenleiter LWL basierte System kann sowohl Leckagen als auch nicht genehmigte Eingriffe durch Dritte erkennen. Das erfolgt mithilfe von den zu messenden Kennwerten wie geometrische Ausdehnung des LWL, akustische Schwingungen oder Umgebungstemperatur. [4] Der zuletzt erwähnte Kennwert wird für die Leckerkennung benutzt und steht für Veränderungen in Streuung von Licht im des LWL durch Temperaturveränderungen (Brillouin-Streuung). Der LWL wirkt als Sensors und wird in der Nähe der Pipeline verlegt, nicht weiter als einem Meter von der Pipelinewand entfernt.

Im Laufe der Arbeit wurden die Werte für die Feststellbarkeitsgrenze hinsichtlich drei verschiedener Leckerkennungssysteme untersucht (Tabelle).

Tabelle

Analyse von technischen Werten dreier Leckerkennungssysteme

Funktion	Parameter	Softsensor LES	Lichtwellenleiterbasiertes LES	Infraakustisches Überwachungssystem
Leckerkennung	Leckerkennungsgrenze	ab 1,0 % der Durchflussgrenze	0,1 %	0,4 %
	Ortungsge- nauigkeit	100 m	5 m	9 m
	Erkennungs- zeit	bis 5 min	weniger als 1 min	von 1 bis 6 min
Molchverfol- gung	Betrieb	-	permanent	permanent
	Genauigkeit	-	10 m	100 m
Feststellung von Schacht- bzw. Baggerarbeiten	Genauigkeit	-	Bewegungen und Arbeiten von Baumaschinen in 150 m Entfernung vom Kabel	60 m an der Pipeline entlang
			Registrierung von Fußgängerbewegungen und Grabungen per Hand in 10 m Entfernung vom Kabel	
	Erkennungs- zeit	-	von 2 bis 6 s	1-2 min
Betriebsinspek- tion	Art von Defekten	-	Pipelineverformung	Geometrische Defekte der Pipelinewanddicke
	Genauigkeit	-	1 m	± 10 cm

Schlussbetrachtungen

Die Analyse der technischen Werte oben genannter Systeme zeigt, dass Leckerkennungssysteme, die technologische Kenngrößen ermitteln, die Erkennung von größeren Leckagen sicherstellen, die von einer Drucksenkung begleitet werden. Die Leckerkennungsgrenze liegt bei über einem Prozent der Durchflussmenge. Dabei werden Leckagen mit geringerer Intensivität (kleiner als 1 %) nicht registriert. Weiterhin können diese Leckerkennungssysteme nur die Funktion der Leckerkennung erfüllen, während das infraakustische bzw. lichtwellenleiterbasierte System außerdem die Aktivitätskontrolle, Molchlokalisierung und die Erkennung von Deformationen bzw. Defekten übernehmen können. Daraus lässt sich rückschließen, dass Hardsensoren, die auf dem akustischen Emissionsprinzip bzw. dem Lichtwellenprinzip aufbauen, vorzuziehen sind. Sie weisen weniger Nachteile auf und erfüllen in größerem Maße die Anforderung, die in dieser Arbeit gestellt wurden. Ausgehend von dieser Analyse, die ausschließlich technische Werte widerspiegelt, lässt sich das Fazit ziehen, dass das lichtwellenleiterbasierte Leckerkennungssystem das genaueste, empfindlichste und operativste ist.

References

1. Bezirksregierung Köln: Verfahren zum Feststellen von austretenden Stoffen. Bekanntmachung der Technischen Regel für Rohrfernleitungen nach § 9 Absatz 5 der Rohrfernleitungsverordnung (AfR), Köln, März 2010, URL: http://www.bezreg-koeln.nrw.de/brk_internet/leistungen/abteilung05/54/rohrfernleitungen/trfl.pdf, Stand: 31.01.2017.
2. Geiger G.: State-of-the-Art in Leak Detection and Localisation. Pipeline Technology Conference 2006, Hannover, April 2006, URL: <https://www.pipeline-conference.com/sites/default/files/papers/321%20Geiger.pdf>, Stand: 31.01.2017.
3. Gluškov E., Kizina I., Gajnullin D., Ivanov V. (2011): Erfahrungen der OAO „Nefteavtomatika“ bei der Ausarbeitung und Einführung von Leckerkennungssystemen. Moskau, 2010.
4. Forschungs- und Produktionsgesellschaft TORI: Sicherheit des Pipelinetransports von Kohlenwasserstoffen. Mineralische Ressourcen Russlands: Wirtschaft und Management, 6:51-54, 2007, URL: <http://www.torinsk.ru/publication/25-mpp2007.html>, Stand: 31.01.2017.
5. Niklesa M., Vogelb B., Briffoda F. et. al.: Leckerkennung mithilfe von Lichtwellenleiter für Temperaturüberwachung. 11th SPIE Annual International Symposium on Smart Structures and Materials, 7:18-25, 2004.