

5º CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EM PETRÓLEO E GÁS



TÍTULO DO TRABALHO:

Sistema de Detecção de Vazamento em Dutos de Petróleo

AUTORES:

Pedro Lucio Stefani Colombaroli, Edson da Costa Bortoni, Helga Gonzaga Martins

INSTITUIÇÃO:

Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI

Este Trabalho foi preparado para apresentação no 5º Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Petróleo e Gás- 5º PDPETRO, realizado pela a Associação Brasileira de P&D em Petróleo e Gás-ABPG, no período de 15 a 22 de outubro de 2009, em Fortaleza-CE. Esse Trabalho foi selecionado pelo Comitê Científico do evento para apresentação, seguindo as informações contidas no documento submetido pelo(s) autor(es). O conteúdo do Trabalho, como apresentado, não foi revisado pela ABPG. Os organizadores não irão traduzir ou corrigir os textos recebidos. O material conforme, apresentado, não necessariamente reflete as opiniões da Associação Brasileira de P&D em Petróleo e Gás. O(s) autor(es) tem conhecimento e aprovação de que este Trabalho seja publicado nos Anais do 5ºPDPETRO.

SISTEMA DE DETECÇÃO DE VAZAMENTO EM DUTOS DE PETRÓLEO

Abstract - This paper describes the main methods for leak detection in oil pipelines, comparing and highlighting the advantages and disadvantages of each other. Acoustic method has been showing to be the most reliable and applied method due to its cost-benefit relationship, and capability of detecting leakage in real time, with a low rate of false alarms, fast detection with location capabilities. In addition, the paper presents a simulation software of acoustic detection of oil leakage in pipelines.

Introdução

A primeira linha de dutos de que se tem registro no Brasil data de 1942. Esta ligava a Refinaria Experimental de Aratu ao Porto de Santa Luzia, na Bahia. Nesta época os dutos eram feitos de cobre e tinha pouca resistência à corrosão. Entretanto, a evolução da tecnologia metalúrgica tem permitido o desenvolvimento de tubos à base de aços especiais, com maior resistência e menor peso. Assim sendo, o desgaste do material destes dutos mais antigos, associado a possíveis problemas advindos do meio externo, como erosão e colapso do terreno onde estão situados, podem provocar danos à tubulação, resultando em vazamentos de óleo, o que torna a atividade de transporte petrolífero uma fonte de graves impactos ambientais [1].

Acidentes ocorrem constantemente na atividade petrolífera, tais como o ocorrido em 4 de junho de 2003 em um dos terminais da Petrobrás no Litoral do estado de São Paulo. Este vazamento mobilizou o trabalho de 500 pessoas na contenção de manchas. Pelo menos 15 mil litros de petróleo vazaram no canal de São Sebastião. O acidente ocorreu durante o descarregamento do produto do navio norueguês Nordic Marita no píer Sul do Tebar (Terminal Marítimo Almirante Barroso), da Petrobrás/Transpetro. A quantidade de produto vazado ficou estimada entre 40 e 60 mil litros de óleo. A razão do acidente se deu devido a problemas na conexão do braço de carregamento entre o navio e os tanques do terminal. A operação foi interrompida no momento do incidente.

Outro acidente ocorrido em 4 de novembro de 2000, quando uma falha de manobra provocou o rompimento no casco do navio Vergina II, vazando 86 mil litros de óleo, as manchas de óleo atingiram 21 praias do Litoral Norte do estado de São Paulo. [2]. Os desastres relacionados com vazamentos de óleo são responsáveis por gastos de milhões de reais na remediação, além de degradarem o meio ambiente. Por isso, quando ocorre um vazamento num duto, o mais importante é sua imediata detecção e alarme. A parada de bombas e o fechamento rápido de válvulas de bloqueio é que evitarão o desastre, sendo o tempo de detecção do vazamento um fator de fundamental relevância.

Neste contexto, este trabalho apresenta alguns métodos de detecção de vazamentos em dutos de petróleo, enfatizando o *Método Acústico de Detecção de Vazamento*, que foi considerado o método mais eficiente em relação à taxa de alarmes falsos e tempo de detecção, segundo o Pipeliner Journal de Julho de 1999 [3].

Principais Métodos de Detecção de Vazamentos

Métodos acústicos

Os sensores acústicos detectam vazamentos através da energia acústica gerada pelo escape do fluido. Porém, a detecção de sinais é afetada pela interferência de ruídos acústicos gerados por válvulas e compressores. Devido à limitação da escala de detecção, geralmente os sensores acústicos (microfones) são instalados ao longo da tubulação [4].

Métodos que utilizam sensores infravermelho

Alguns vazamentos podem ser detectados através da identificação de mudanças de temperatura em torno da tubulação. São utilizados sensores remotos que monitoram metano e etano na atmosfera através de seu espectro infravermelho. Este método pode ser usado com patrulha em veículos, helicópteros ou sistemas portáteis, podendo serem usados para cobrir vários quilômetros da tubulação em um dia [5].

Método de pressão negativa

Os sensores de pressão são usados para detectar vazamentos usando os métodos de ondas de pressão negativa e de gradiente de pressão. Quando ocorre um vazamento uma queda de pressão no local é gerada uma onda de pressão negativa que se propaga a montante e a jusante do local do vazamento. Teoricamente, esta onda viaja com a velocidade do som, apresentando apenas uma diminuição gradual ao se propagar, devido ao atrito. Usualmente são utilizados dois transdutores de pressão instalados nas extremidades das seções para calcular a posição do vazamento com razoável precisão. Em cada seção, observa-se uma queda da pressão, que é o reflexo da passagem da onda, que pode ser seguida de uma recuperação parcial, ou seja, um transitório. Neste tipo de detecção deve-se ter o cuidado de filtrar os dados porque alguns procedimentos normais da operação da tubulação, bombas e fechamento de válvulas podem gerar uma onda de pressão negativa. O método de ondas de pressão negativa também é conhecido como método de transitório de pressão [6].

Balanço de volume ou massa

Esta técnica consiste em realizar a medição do volume/massa que entra no duto e subtrair o volume/massa que sai dele, se esta diferença atingir um valor maior que uma determinada tolerância estabelecida (2% para líquidos e 10% para gases), será gerado um alarme de vazamento. Os alarmes falsos podem ocorrer devido à dependência da taxa de fluxo com os parâmetros do fluido (temperatura, pressão, densidade e viscosidade), para aumentar a eficiência do sistema são realizadas medições regulares das variáveis ao longo da tubulação ou podem ser previstas por um modelo de cálculo. Este método não fornece a localização do vazamento ele apenas indica a presença ou ausência do vazamento.

Mudanças de pressão ou fluxo

Nesta técnica, uma combinação das duas anteriores, assume-se que a ocorrência do vazamento está ligada a uma alta taxa de mudança da pressão e do fluxo a montante e a jusante. Se em determinado período a taxa de variação for maior que um padrão definido, o alarme de vazamento será acionado. Este método pode ser aplicado apenas ao escoamento de fluidos incompressíveis em estado estacionário, caso contrário pode levar a alarmes falsos. Somente vazamentos maiores são detectados [7].

Sistemas baseados em modelagem matemática

Esta técnica modela matematicamente o fluxo do fluido na tubulação. Para realizar a modelagem são utilizadas as equações de conservação de massa, conservação de momento, conservação de energia e as equações de estado do fluido. Este grupo de equações diferenciais não lineares é resolvido através de técnicas computacionais, entre essas técnicas temos diferenças finitas, elementos finitos, método das características, reposta em frequência e discretização espacial. O método requer que fluxo, pressão e temperaturas sejam medidos a montante e a jusante da tubulação e usa estes valores como condição de contorno para estimar valores dessas variáveis ao longo da tubulação. Os vazamentos são detectados pelas discrepâncias entre as variáveis calculadas e as medições reais.

O vazamento é detectado através de análise estatística de medidas de pressão e fluxo. Se a queda no valor médio de uma medida for maior que um nível definido o alarme é ativado. O ATMOS PIPE é um sistema estatístico de detecção de vazamentos desenvolvido pela Shell. Este sistema detecta mudanças no fluxo e na pressão da tubulação através de medidas disponíveis e calcula a probabilidade de vazamento, seu tamanho e localização aproximada. É realizado um registro das variações causadas por mudanças operacionais e com isto a taxa de alarmes falsos é baixa, pois o mesmo será gerado apenas quando um determinado padrão de mudanças de fluxo e pressão ocorrer. O sistema monitora constantemente a tubulação e adapta-se a essas mudanças nos instrumentos de medida através de sua capacidade de aprendizado [8].

Comparação entre os principais métodos de detecção de vazamentos

Na prática o desempenho de cada método varia dependendo das condições de operação, projeto da tubulação e da qualidade disponível da instrumentação do sistema. Em tubulações de alta importância é aplicado mais de um método de detecção de vazamento. A Tabela 1 mostra que a taxa de alarmes falsos é um problema comum para maioria dos métodos.

Tabela 1 – Comparação entre os Métodos de detecção de Vazamentos

Método	Sensibilidade a Vazamentos	Estima Localização	Funcionamento sob Mudanças Operacionais	Disponibilidade (24h)	Taxa de Alarmes Falsos	Especialização da Manutenção	Custos (Implantação /operação)
Acústico	Boa	Sim	Não	Sim	Baixa	Média	Médio
Infravermelho	Boa	Sim	Sim	Não	Média	Média	Alto
Pressão Negativa	Boa	Sim	Não	Sim	Alta	Média	Média
Balanço de Volume /Massa	Pequena	Não	Não	Sim	Alta	Baixa	Baixa
Mudança de Pressão ou Fluxo	Pequena	Não	Não	Sim	Alta	Baixa	Baixa
Modelagem	Boa	Sim	Sim	Sim	Baixa	Média	Médio

Realizando uma comparação entre os métodos indiretos de detecção observa-se que os métodos de mudança de fluxo ou pressão e balanço de massa/volume não exigem muita especialização

para manutenção e os custos são relativamente baixos, mas estes métodos não são capazes de localizar a posição do vazamento e não trabalham sob mudanças operacionais na tubulação.

O método baseado na modelagem possui a capacidade de localização e trabalha sob mudanças operacionais, porém é necessário uma manutenção muito especializada e seu custo é alto. Observa-se que o modelo estatístico tem um bom desempenho, possuindo uma baixa taxa de alarmes falsos e exige uma manutenção menos especializada que o método da modelagem e um custo também menor para implantação e operação. Porém o método de detecção acústico de vazamentos aliado a técnicas de monitoramento que utilizam o GPS é o método que atualmente possui uma taxa menor de alarmes falsos e também um menor tempo de detecção em relação aos outros métodos.

Através da comparação das técnicas verificou-se que um inconveniente é a alta taxa de alarmes falsos e a maioria delas não atende bem a todos os fatores de desempenho. Por isso uma ênfase maior será dada a seguir ao Sistema Acústico de detecção de Vazamentos por ele ser um sistema mais robusto e de custo-benefício melhor que os demais métodos, além de possuir uma baixa taxa de alarmes falsos.

Sistema Acústico de Detecção de Vazamentos

O Sistema acústico de detecção de vazamentos é um sistema de detecção e localização de vazamentos que usa a própria onda de som originada pelo vazamento para detectá-lo e localizá-lo, como mostrado no diagrama da Figura 1.

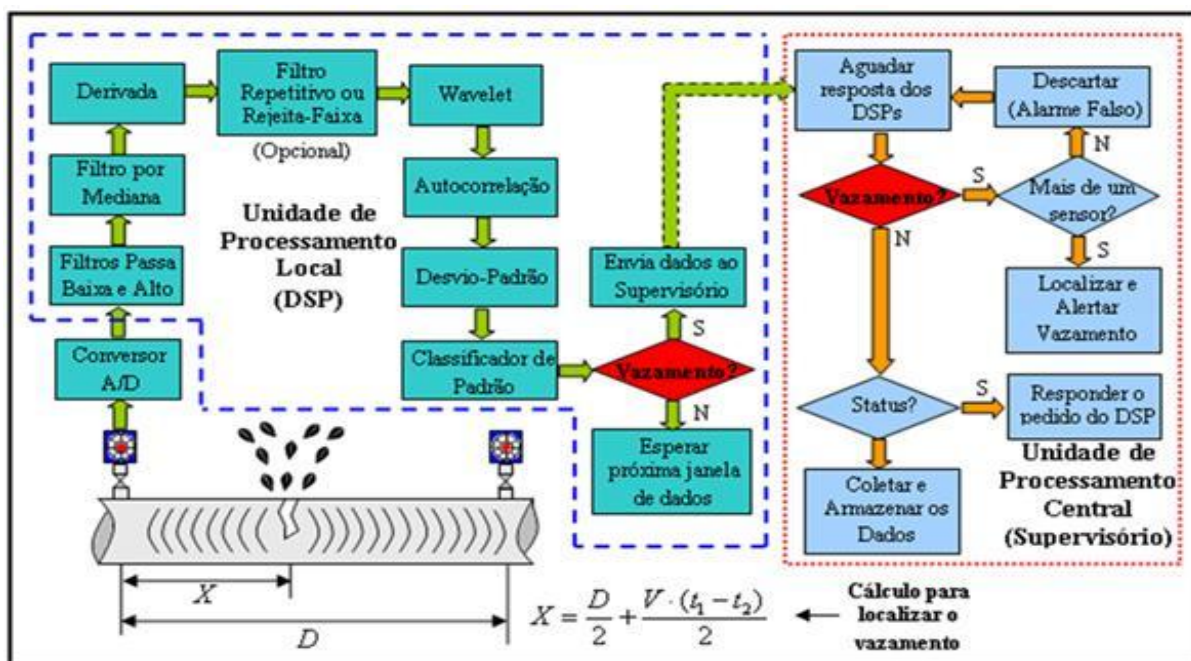


Figura 1 – Funcionamento do sistema acústico de detecção de vazamentos (Martins, 2006).

Na Figura 1 pode-se observar a onda de som propagando-se através do fluido até os sensores acústicos instalados no duto. Esta onda foi gerada pelo vazamento, que consiste em uma diferença de pressão entre a pressão interna do duto e a pressão atmosférica externa. A onda sonora é detectada pelos sensores acústicos e processada pelas unidades remotas mais próximas, que, por sua vez, enviam esse sinal por qualquer meio de comunicação (rádio, satélite, fibra ótica, ethernet) ao PC do sistema acústico de detecção de vazamentos na sala de controle.

Esta tecnologia pode ser aplicada em dutos que transportam fluidos em qualquer estado físico, sejam líquidos, gases ou multifásicos, podendo detectar a ocorrência e localizar vazamentos em dutos aéreos, subterrâneos ou submarinos. Esta uma de suas vantagens em relação aos outros sistemas de detecção de vazamentos. As ondas sonoras em frequências baixas possuem uma potência maior e por isso podem viajar por dezenas de quilômetros. O Sistema acústico de detecção de vazamentos utiliza frequências subsônicas, abaixo de 3 Hz, nas quais estão contidas ondas de som distintas dos ruídos espúrios de um duto, que poderiam ser confundidos com um vazamento, gerando um alarme falso.

Quando há uma ruptura ou falha no duto isto provoca um vazamento e as forças atuantes no escoamento provocam um gradiente de pressão, que gera uma onda de som no sistema. Esta onda sonora viajará por todo o sistema à velocidade do som para o fluido transportado. Num duto, essas ondas de pressão são guiadas pelas paredes do mesmo, em ambas as direções, a partir do ponto do vazamento até os locais de detecção [4].

A contagem dos tempos de viagem das ondas sonoras do ponto do vazamento até os sensores localizados em pontos estratégicos no sistema determina a posição do vazamento. Utilizando o GPS (Sistema de Posicionamento Global), obtém-se uma boa precisão de localização. A tecnologia de detecção acústica permite detectar os vazamentos em tempo real. A utilização desta técnica reduz drasticamente e significativamente, a ocorrência de alarmes falsos, com sensibilidade e precisão da localização do vazamento. Essa tecnologia é uma das poucas que permitem que o sistema seja utilizado, não somente para monitorar o duto, mas também para o fechamento automático de válvulas de bloqueio, quando da detecção do vazamento [4].

Simulador de Detecção Acústica de Vazamentos Proposto

Foi desenvolvido um programa com o intuito de simular a aplicação do sistema de detecção acústica de vazamento em dutos de petróleo. Este programa foi desenvolvido na linguagem VB.NET. O programa simula o monitoramento de um trecho retilíneo de um duto, onde são colocados dois sensores acústicos de alta sensibilidade. Na Figura 2 é mostrado um layout do duto a fim de ilustrar o monitoramento de um vazamento.

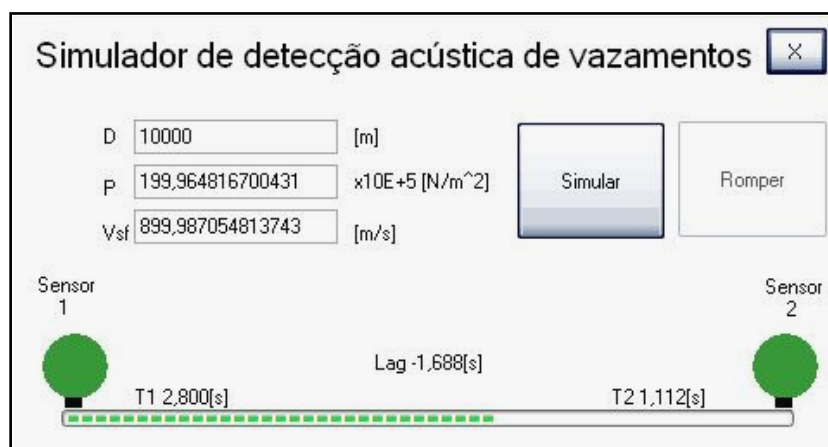


Figura 2 – Interface do programa

As variáveis do algoritmo proposto são: D, que corresponde ao tamanho do duto que está sendo monitorado, em [m], P, que corresponde à pressão interna do escoamento em [atm] e V_{sf} que corresponde à velocidade média do som no fluido, em [m/s]. Inicialmente, o algoritmo considera um vazamento em uma posição aleatória no duto.

Neste simulador, para que ocorra a detecção de um vazamento, são considerados dois momentos. Sendo que no primeiro momento o tempo considerado é aquele que o sinal requer para ir do ponto do vazamento ao ponto onde está instalado o sensor acústico mais próximo. Esse período de tempo é igual à distância entre o local de vazamento e os sensores adjacentes localizados à montante/jusante, divididos pela velocidade do som no fluido transportado no duto, conforme a equação (1).

$$S = \frac{D}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot (t_1 - t_2) \cdot V_{sf} \quad (1)$$

Onde t_1 é o tempo que a onda sonora leva para ir do local de vazamento até o sensor mais próximo; t_2 é o tempo que a onda sonora leva para ir do local de vazamento até o sensor que está mais distante do vazamento; S indica a distância, em metros, do sensor mais próximo ao local onde ocorreu o vazamento.

Exemplo de detecção:

Considerando uma tubulação retilínea de comprimento igual a 20 Km, similar a da figura 2, e a velocidade média do som no fluido, que está sendo monitorado neste escoamento, $V_{sf}=1800$ [m/s]. Sabe-se que existe um sensor sônico no começo do duto e outro no fim do duto, e com isso deseja-se saber o local do vazamento S . Do processador local situado junto ao sensor 1 foi detectado um sinal às 15:30:00h e no processador local situado junto ao sensor 2 foi detectado um sinal 500 [ms] depois.

Da equação (1) tem-se que: t_1 corresponde ao horário que o sensor um registrou quando ele foi acionado, ou seja, quando ele detectou a alteração da frequência monitorada por ele, e t_2 corresponde ao horário que o sensor dois registrou quando ele foi acionado, ou seja, quando ele detectou a alteração da frequência monitorada por ele. Como mencionado anteriormente, esta frequência é menor que 3[Hz] e por isso não podem ser confundidas com ruídos espúrios do processo. Portanto, o vazamento ocorreu a 9,55 [km] do sensor um, que foi tomado como referência pelo programa.

O segundo momento é o tempo requerido para o computador do sistema de vazamento acessar todos os processadores de campo e calcular a localização do vazamento. Esse tempo inclui retardos, como por exemplo, o tempo de chaveamento do rádio. O programa leva em consideração o atraso no processamento da informação, porém este atraso não corresponde ao atraso real, mas simula em 20% de um processamento em campo.

Por exemplo, em um processamento em campo para quatro locais monitorados, com uma distância máxima de 19,6 [km] entre os processadores locais, com uma velocidade do som no fluido de 980 [m/s], uma taxa de varredura de 0,25 [s] por processador local e um retardo de tempo de 3,0 [s] para computação, o tempo máximo para detecção será:

Máximo tempo de detecção: $(19600 \text{ m} / 980 \text{ m/s}) + (2 \text{ varreduras} \times 4 \text{ Processadores Locais} \times 0,25 \text{ segundos}) + 3,0 \text{ segundos} = 25 \text{ segundos de atraso.}$

A pressão de escoamento influencia na velocidade do som no fluido [4], quanto maior a pressão maior será a velocidade de som no fluido e com isso menor será o tempo de detecção.

Escoamentos com baixas pressões têm um tempo de detecção de vazamentos relativamente longo em relação a escoamentos com pressões maiores. Estas variações em torno do set point colocado pelo usuário no simulador servem para aproximar o sistema simulado de um sistema real. Visto que nestes sistemas os dados não são constantes e sempre variam em torno de certo valor. A pressão influencia na velocidade do som no fluido percentualmente, porém este valor foi estimado pelo programador e não corresponde ao valor de um caso real.

O programa simula também o tempo de detecção de vazamentos através do módulo *Romper*. Durante uma simulação, quando o módulo *Romper* for acionado um local aleatório é sorteado, dentro dos limites do duto simulado pelo usuário, e a partir dos valores dos tempos t_1 e t_2 calcula-se este local. O simulador apresenta um atraso antes de mostrar a resposta para o usuário. Este atraso é determinado através dos cálculos de tempo de detecção comentado neste item.

Assim, o Simulador de Detecção Acústica de Vazamentos simula o monitoramento de um duto em tempo real, o atraso no tempo de detecção e calcula o local do vazamento tendo como referência o sensor 1. Além disso, ele apresenta estes valores para o usuário

Conclusões

Este artigo apresenta uma ferramenta no suporte ao operador para atuar no monitoramento de vazamento de um sistema dutoviário. Esta ferramenta baseada na técnica detecção acústica de vazamento em dutos em tempo real opera continuamente na monitoração do duto, limitando uma pequena quantidade de perda do fluido transportado. O sistema acústico de detecção de vazamentos é robusto a maioria dos ruídos, pois possui filtros específicos que permitem eliminar erros e falsos alarmes. Seu grande diferencial é a detecção do vazamento em menor tempo que os outros sistemas de detecção. Assim sendo, pode-se afirmar que na ocorrência de um vazamento num duto monitorado com a aplicação da tecnologia acústica, tanto os danos ambientais, quanto as perdas materiais para a empresa que transporta seus fluidos através deste duto serão minimizados. As utilizações de algoritmos complementares aos usuais fazem com que as principais desvantagens do sistema acústico de detecção sejam compensadas e aumentam a qualidade e confiabilidade do sistema de detecção de vazamentos, não importando o local onde o duto esteja instalado, podendo ele estar na terra ou no mar.

Como trabalhos futuros sugerem-se tratar dinamicamente os fluidos (Vários tipos de Gases e Petróleo), incrementando, assim, a análise de detecção acústica de vazamentos em dutos.

Agradecimentos

Os autores agradecem o PRH16-ANP – Programa de Recursos Humanos da Agência Nacional do Petróleo, pelo suporte fornecido a este trabalho.

Referências Bibliográficas

- [1] Glória, K.S. “Metodologias alternativas para detecção e localização de vazamentos”. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Boletim técnico PETROBRAS, Rio de Janeiro: abr./jun., 2002
- [2] <http://jornal.valeparaibano.com.br/2003/06/04/lit/derra1.html> acessado em 18/03/2009
- [3] Pipeliner Journal de Julho de 1999.
- [4] Martins, J.C. “Sistema Sônico de Detecção e Localização de Vazamentos (SLDS)”. Asel-Tech Tecnologia e Automação Ltda.

- [5] Camerini, D.; Oliveira, F.; Camerini, C.; Von der Weid, J.P.; Silva, J.A.; Freitas, M.; “Pig detector térmico de vazamentos em gasodutos” Instituto Brasileiro de Petróleo e Gás – IBP, Rio Pipeline Conference & Exposition 2007.
- [6] <http://www.mecatronicaatual.com.br/secoes/leitura/216> acessado em 10/09/2008
- [7] Wike, A. “Liquid pipelines can use many varieties of SCADA-based leak detection Systems”. Pipeline & Gas Journal (1986).
- [8] ZHANG, “Designing a cost effective and reliable pipeline leak detection system”. Pipeline Reliability Conference, Houston, EUA (1996).