



ИНТЕГРИРОВАННАЯ СИСТЕМА ОБНАРУЖЕНИЯ УТЕЧЕК И НЕСАНКЦИОНИРОВАННЫХ ОТБОРОВ СТАБИЛЬНОГО КОНДЕНСАТА ИЗ КОНДЕНСАТОПРОВОДОВ

Тевяшев А.Д., Лукьянчик В.И.

Проблема обнаружения утечек и несанкционированных (криминальных) отборов углеводородного сырья (УС) из магистральных трубопроводов в режиме реального времени является одной из наиболее актуальных проблем, стоящих перед энергетическими компаниями (ЭК), добывающими, транспортирующими и поставляющими УС потребителям. Решение этой проблемы обеспечивает резкое снижение рисков материальных и финансовых потерь, предупреждение вероятных техногенных катастроф и образование зон экологического бедствия. В настоящее время разработано достаточно большое количество систем обнаружения утечек (СОУ), использующих различные принципы и методы обнаружения утечек [1,2,3,4,5]. Однако, проблема оказалась столь сложной, что ни один из используемых методов не позволил получить её системное решение. В докладе рассматривается системное решение проблемы обнаружения утечек и несанкционированных отборов углеводородного сырья из магистральных трубопроводов. В интегрированную СОУ включены следующие проверенные и подтвердившие свою эффективность, методы:

- метод статического баланса (СБ);
- метод динамического баланса (ДБ);
- метод акустической эмиссии (АЭ);
- метод профилей (МП);
- метод волны (МВ);
- метод инфразвуковых колебаний (ИК).

Метод статического баланса основан на контроле изменения массы (нормального объема) аккумулярованного УС на участке магистрального трубопровода между двумя замерными узлами (ЗУ) с закрытыми задвижками с обеих сторон, обусловленного изменениями его температуры и давления через заданный интервал времени. Если на участке магистрального трубопровода между ЗУ нет утечки, то падение давления и температуры на этом участке связано только с процессом теплообмена УС с внешней средой через стенки трубопровода. Если оценки градиентов давления и температуры на заданном интервале времени превышают установленные пороги, то это означает, что на контролируемом участке имеет место либо утечка, либо переток УС через закрытую задвижку (дефект задвижки), что является основанием для проверки соответствующей гипотезы. Этот метод является наиболее чувствительным и, при достаточно большом времени выдержки, позволяет определить даже «капельные» утечки.

Метод динамического баланса основан на анализе величины оценки дисбаланса массы (нормального объема) углеводородного сырья на участке магистрального трубопровода между двумя ЗУ на его входе и выходе и



изменении массы (нормального объема) аккумулированного УС, обусловленного изменениями его температуры и давления через заданный интервал времени. Масса (нормальный объем) аккумулированного УС на участке магистрального трубопровода между ЗУ в соответствующие моменты времени вычисляется исходя из геометрических размеров труб на этом участке, физических характеристик материала трубопровода (стали) и значений распределения давления и температуры УС по участку магистрального трубопровода между ЗУ. Оценка дисбаланса массы (нормального объема) рассматривается, как случайная величина, статистические свойства которой определяются статистическими свойствами ошибок измерений (расхода, давления, температуры и плотности) в ЗУ. Если величина оценки дисбаланса превышает установленный порог, то проверяется гипотеза о наличии утечки на участке трубопровода между этими ЗУ.

Метод акустической эмиссии основан на регистрации и анализе акустических волн, возникающих в процессе пластической деформации и разрушения (роста трещин) контролируемых объектов. Другим источником акустических волн является процесс истечения УС вследствие утечки или врезки в трубопроводе. Для идентификации акустических волн применяются пьезодатчики или высокоскоростные датчики давления, снимающие показания с частотой 1000 раз в секунду. Характерной особенностью метода АЭ является возможность обнаружения и регистрации не только развивающихся дефектов, но и факт контакта трубопровода с внешним источником (открытие/закрытие крана, сверление, удары и т. п). Кроме того, метод АЭ позволяет определить образование свищей, сквозных трещин, протечек в уплотнениях, заглушках и фланцевых соединениях. Существенным недостатком метода считается трудность выделения сигналов АЭ из помех. Это объясняется тем, что сигналы АЭ являются шумоподобными, поскольку АЭ есть стохастический импульсный процесс. В интегрированной СОУ эта проблема успешно решается методом выравнивания спектра.

Метод профилей основан на анализе фактических и моделируемых профилей распределения давления, расхода и температуры УС по каждому участку трубопровода между ЗУ. При появлении утечки, расход на участке до места утечки становится больше первоначального расхода на этом участке, а расход на участке после места возникновения утечки становится меньше первоначального расхода. Поэтому перепад давления на участке до места утечки увеличивается, а после утечки уменьшается, что приводит к появлению излома в приведенном профиле давления. Температура УС до места утечки увеличивается, а после утечки уменьшается. Метод эффективно работает в стационарных и квазистационарных режимах и совместно с другими методами.

Метод волны (МВ). При возникновении утечки или открытия крана в трубопроводе возникает волна давления, которая распространяется по трубопроводу в обеих направлениях и регистрируется в ЗУ. Волна распространяется по трубопроводу со скоростью звука в УС (около 1000



м/сек). Для обнаружения волны давления в ЗУ используются цифровые фильтры, корреляционный анализ, метод обобщённого отношения правдоподобия.

Метод инфразвуковых колебаний (ИК) основан на регистрации и анализе инфразвуковых колебаний, которые, как показали исследования, распространяются внутри трубопровода на большие расстояния. Благодаря слабому затуханию инфразвуковых волн, этот метод позволяет обнаружить утечку из трубопровода, механическое воздействие на стенку трубы, источники "шума", формирующиеся на значительном удалении от места регистрации.

В докладе приводится структура технических средств, математического, алгоритмического и программного обеспечения интегрированной системы обнаружения утечек и несанкционированных отборов углеводородного сырья из магистрального трубопровода, а также результаты исследований эффективности обнаружения утечек и несанкционированных отборов для магистрального конденсатопровода протяжённостью 152 км с пятью ЗУ.

1. Обзор технологий обнаружения утечек на трубопроводах / Джун Жанг, Энди Хофман, Киф Мерфи, Джон Люис, Майкл Твуми // ATMOS International: доклад на конференции PSIG 2013, Прага, 2013.

2. Патент на винахід № 103512 Спосіб виявлення витоків і кримінальних відборів рідких вуглеводів з магистральних трубопроводів. Тевяшев А.Д.и др.

3.Тевяшев А.Д., Киба О.І., Кобилінский К.В.,Котелевцев О.В., Лук'янчик В. І., Михайлів В.Й., Пристай О.Л., Сандул С.В., Синюк Б.Б., Струпов А.М. Розрахунок та чисельний аналіз балансу стабільного конденсату. Стандарт організації України. Магістральні трубопроводи. СОУ 11.2-30019775-094:2006. // Харків: ХНУРЕ - 2006.-18с.

4.Тевяшев А.Д., Киба О.І., Кобилінский К.В., Котелевцев О.В., Лук'янчик В.І., Михайлів В.Й., Пристай О.Л., Сандул С.В., Синюк Б.Б., Струпов А.М. Визначення систематичних похибок вимірювання масової витрати та густини стабільного конденсату СОУ 11.2-30019775-095:2006. Стандарт організації України. Магістральні трубопроводи. // Харків: ХНУРЕ - 2006.-35с.

5. А.Д. Тевяшев, К.В. Кобылинский Интеллектуальная система обнаружения криминальных отборов из продуктопроводов // Всероссийский научный семинар "Математические модели и методы анализа и оптимального синтеза развивающихся трубопроводных и гидравлических систем", Санкт-Петербург, 16-19 мая 2006 г. –С.57-59.

6.Соломахин А.Ю. Методы обнаружения утечек из магистральных трубопроводов, их возможности в автоматических системах контроля транспорта нефти / А. Ю. Соломахин // Труды выпускников аспирантуры ТУСУРа. - Томск: ТУСУР, 2005. - С. 142-149.