

ОПТИМИЗАЦИЯ АППАРАТНЫХ И ПРОГРАММНЫХ ЗАТРАТ КОМБИНИРОВАННОЙ КОМПЬЮТЕРИЗОВАННОЙ СИСТЕМЫ ОБНАРУЖЕНИЯ ДЕФЕКТОВ ПРОТЯЖЕННОГО ТРУБОПРОВОДА

Национальный авиационный университет

Рассмотрены задачи обнаружения сквозных дефектов продуктопровода с помощью комбинированной компьютеризованной системы, в состав которой входят стационарная и мобильная подсистемы. Предложен упрощенный метод оптимизации аппаратных и программных затрат при обеспечении требуемой точности. Сделан вывод о целесообразности применения комбинированной системы обнаружения, в состав которой входят стационарная и мобильная подсистемы.

Введение

Современные автоматизированные и компьютеризованные системы обнаружения сквозных дефектов (свищей) в продуктопроводах являются неотъемлемой частью общей системы управления транспортом жидких и газообразных сред, находящихся под давлением [1]. Через свищ происходит утечка перекачиваемой жидкости (газа). Объемы утечек могут быть достаточно высокими. Растут потери перекачиваемого продукта, расходы на компенсацию ущерба окружающей среде и др.

Для построения быстродействующей и высокоточной системы обнаружения утечек (СОУ) необходимо оптимизировать параметры и структуру по критерию эффективность – стоимость. В данной работе рассмотрен вариант построения комбинированной СОУ, в состав которой входят стационарная и мобильная подсистемы. Предложен функционал оптимизации аппаратных и программных компонентов системы, который представляет собой свертку критериев.

Структура комбинированной системы обнаружения утечек

Как показано в работе [1], для информационно-вычислительной подсистемы СОУ целесообразно выбирать иерархическую трехуровневую структуру с линейным расположением сетевых архитектурных модулей “клиент-сервер”.

Первый (нижний) уровень делится на два подуровня: полевой подуровень или подуровень объекта и подуровень контроллеров. На полевом подуровне проводится сбор данных и выполняются команды управления. На втором

подуровне осуществляется распределение данных между вычислителями текущих параметров продуктопровода, в частности, место положения свищей, которые возникли на тех или других участках продуктопровода.

Второй уровень – сетевой (или уровень передачи данных). В качестве транспортной сети наиболее приемлемой является двухволоконная оптическая линия, проложенная вдоль продуктопровода.

Третий (верхний) уровень или уровень обработки данных и принятия решений. На нем расположены операторские станции, системные серверы, серверы баз данных, автоматизированные рабочие места (АРМ) операторов. Таким образом, иерархическая многоуровневая система представляет собой симбиоз централизованной и децентрализованной систем.

На стадии проектирования сети передачи данных и в процессе ее развития очень важным является задача рационального выбора общего числа датчиков на всей длине продуктопровода и, соответственно, среднего расстояния между ними. Формально все расстояния между датчиками должны быть одинаковыми. Это упрощает задачу выбора числа каналов многоканального коррелятора или числа точек быстрого преобразования Фурье. Однако на практике, очевидно, удовлетворить это требование вряд ли возможно, в первую очередь из-за сложной геометрической структуры самого продуктопровода (поворотов трубы, изгибов в вертикальной плоскости и тому подобное). Поэтому нужно выбирать число точек вычисления по соображениям приемлемой точности локализации при наиболее неблагоприятных конфигурациях трубопроводной транспортной системы.

В свою очередь, точность определения местоположения дефекта зависит от точности измерительного прибора (датчика), характеристик распространения волны давления и от расстояния между датчиками. От выбора расстояния между датчиками в наибольшей степени зависит не только точность и скорость определения местоположения дефекта, но и общая стоимость СОУ [2]. Например, датчики СОУ, описанной в [2], расположены через 15 км, а в СОУ "Wave Control" [3] расстояние между датчиками может достигать 50 км.

Установлено [2], что суммарная ошибка СОУ обычно составляет около 1 % расстояния между датчиками. При этом используемое в существующих СОУ оборудование имеет высокую стоимость. Поэтому рекомендация по повышению точности путем уменьшения погрешностей измерения скорости распространения волн давления по продуктопроводу, данная в [2], не всегда приемлема, особенно для трубопроводов промышленных предприятий

(большое количество разветвленных трубопроводов при небольшой протяженности).

Поэтому целесообразно применять комбинированные СОУ: сочетание стационарной измерительной подсистемы с датчиками, расположенными на расстояниях до нескольких десятков километров, и мобильной подсистемы, предназначенной для уточнения местоположения утечки после приближенного определения. Для магистральных трубопроводов акустические датчики стационарной подсистемы размещаются вблизи технологических узлов. Мобильная акусто-эмиссионная подсистема доставляется к месту предварительного определения района утечки, и с ее помощью уточняется местоположение свища. Расстояние между датчиками мобильной подсистемы выбирается таким, чтобы гарантированно перекрыть район утечки (например, по правилу трех сигма). На рис. 1 изображена функциональная схема мобильной подсистемы.

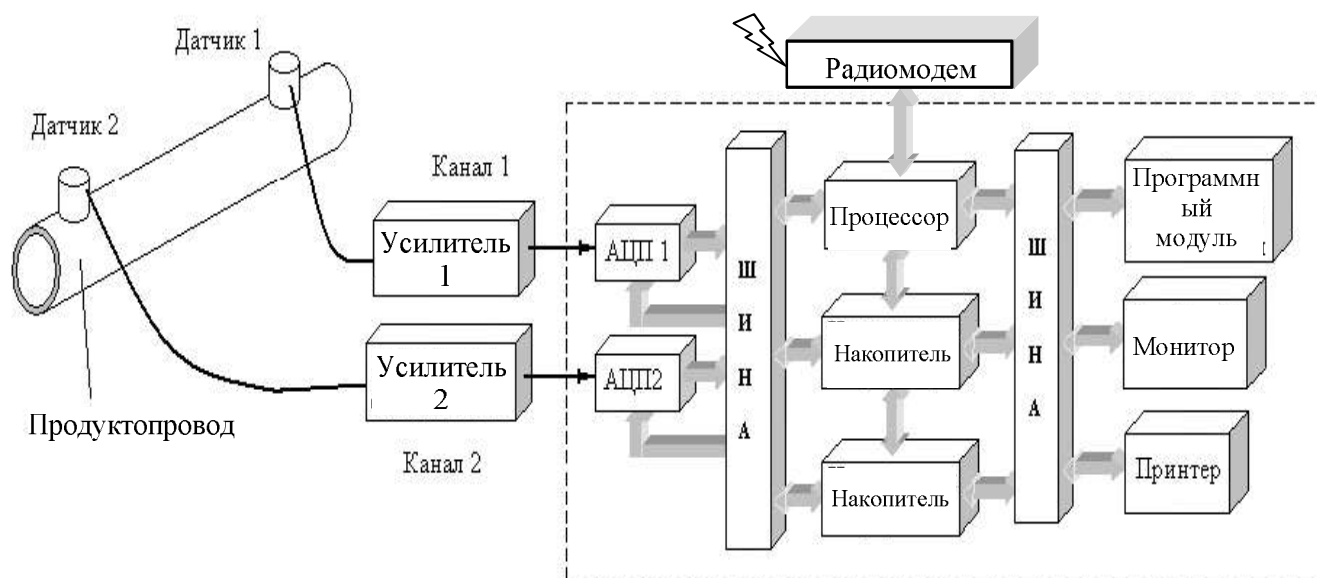


Рис. 1. Функциональная схема мобильной подсистемы обнаружения утечки

Построение функционала оптимизации затрат

Считая, что условие перекрытия района утечки выполняется по умолчанию, поставим задачу выбора числа датчиков по критерию минимума аппаратных и программных затрат. Под аппаратными затратами понимаем число датчиков, вычислителей второго уровня иерархии и сетевых узлов. Под программными

затратами понимаем объем вычислений, в частности, число точек БПФ по условиям необходимой точности.

Таким образом, строгая постановка задачи минимизации аппаратных и программных затрат – это многокритериальная оптимизация по нескольким критериям, часть которых содержит противоречие друг с другом. Для упрощения задачи ограничимся лишь важнейшими требованиями.

Точность вычислений местоположения дефекта трубы зависит от расстояния между датчиками. Максимальное расстояние между ними (обозначим его d_{max}), очевидно, ограничивается минимально допустимым отношением сигнал/помеха. Тогда, если допустимая среднеквадратическая ошибка вычислений есть σ_a , то число точек БПФ $N_{FFT} = 2d_{max}/\sigma_a$ (двойное число точек вытекает из условия теоремы Котельникова). Например, если $d_{max}=1000$ м, а $\sigma_a = 1$ м, то необходимое число точек $N_{FFT} \approx 2048$. Такое требование к процессору БПФ не представляется слишком высоким. Современные специализированные процессоры БПФ могут вычислять 2048-точечное преобразование Фурье за единицы микросекунд [4].

В работе [5], приведены зависимости стоимости программных продуктов от длины трубопровода, степени его разветвленности (количество ответвлений) конфигурации (среднее число изгибов, поворотов на единицу длины) и пр.. По этим данным построена кривая регрессии стоимости на длину трубопровода (рис. 2). Видно, что стоимость программных продуктов для систем обнаружения дефектов трубопроводов – течей, свищей – имеет ярко выраженную зависимость от длины трубопро-

вода. Поэтому целесообразно решать задачу минимизации общей стоимости системы с учетом стоимости аппаратной части нижнего уровня (датчиков, сетевых узлов физического уровня) и стоимости аппаратно-программной части среднего уровня (процессоры БПФ, коммутаторы и другие сетевые узлы канального уровня).

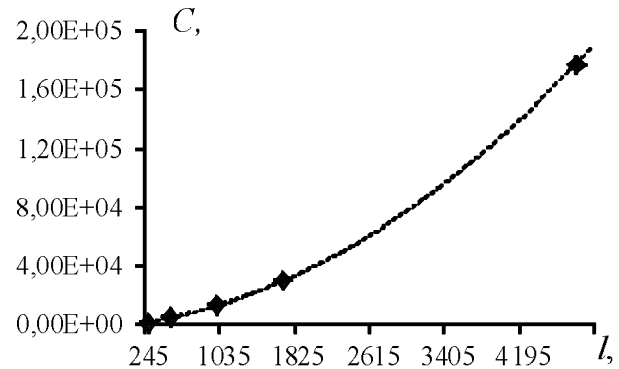


Рис. 2. Кривая регрессии относительной стоимости программного обеспечения на длину трубопровода

Таким образом, мы приходим к задаче минимизации функционала аддитивной меры множества аппаратно-программных средств нижнего и среднего уровней трехуровневой информационно-вычислительной системы обнаружения дефектов в продуктопроводах:

$$\Psi[d_{max}, M_s, N_{FFT}, f(s, h)] = \min_{\mathbf{V}_\Psi} \sum_{k=1}^K w_k c_k, \quad \sigma \leq \sigma_a, \quad (1)$$

где M_s – среднее число датчиков на единицу длины продуктопровода; $f(s, h)$ – пропускная способность линии передачи данных от датчика s до сетевого узла h нижнего уровня; $\mathbf{V}_\Psi^T = [d_{max}, M_s, N_{FFT}, f(s, h)]$ – вектор параметров, по которым минимизируется функционал Ψ ; T – символ транспонирования; c – общая стоимость обнаружения свища; c_k – стоимость функционирования каждого из компонентов системы; w_k – коэффициенты нормировки.

Нормировка параметров осуществляется относительно максимально допустимых значений, которые находят расчетным путем. В частности, максимальное число отсчетов БПФ выбирается, исходя из вида корреляционной

функции и разрешающей способности, а также от расстояния между датчиками, как это показано выше.

Без потери общности логично принять условие нормировки вида $\sum_{k=1}^K w_k = 1$. Задача

решается при ограничениях на максимально допустимую среднеквадратическую ошибку расчета местоположения свища $\sigma \leq \sigma_a$. Рассмотрим характер изменения отдельных составляющих функционала (1).

Пропускная способность линии передачи от датчика до сетевого узла нижнего уровня (концентратора или коммутатора), является практически линейно возрастающей функцией длины продуктопровода. В то же время число датчиков при заданном числе точек БПФ может быть как возрастающей, так и убывающей

функцией. Ясно, что все функции – компоненты вектора параметров – являются монотонными (возрастающими или убывающими – не имеет значения). Тогда можно утверждать, что функционал (1) является моноэкстремальным на интервале $[d_{\min}, d_{\max}]$. Следовательно,

но, выбор метода оптимизации на основе свертки частных критериев является обоснованным.

На рис. 2. изображены графики частных критериев и результирующего функционала потребных ресурсов системы.

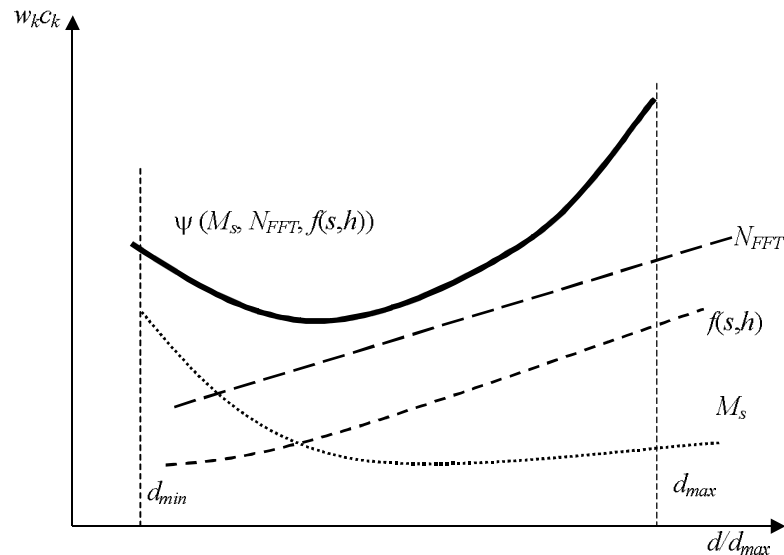


Рис. 3. Общий вид функционала потребных ресурсов системы

Конкретные расчеты достаточно просто выполняются с использованием экспериментальных и справочных данных о технических характеристиках сетевых и терминальных узлов, цифровых устройств и элементов системы [2, 3, 5].

Выводы

При построении систем обнаружения утечек необходимо учитывать множество факторов влияния на результирующую точность определения местоположения дефекта (свища). Для трубопроводов промышленных предприятий с большим количеством ответвлений при сравнительно малой общей протяженности можно ограничиться одной или несколькими мобильными СОУ. Для безопасной эксплуатации протяженных продуктопроводов, предназначенных для транспортировки жидкостей или газов на расстояния в тысячи километров, необходимо применять комбинированные СОУ со стационарной и мобильной подсистемами.

Список литературы

1. Пономаренко А.В. Рациональный выбор параметров и структуры корпоративных информационно-вычислительных сетей для трубопроводных систем // Проблемы інформатизації та управління. 2010. – № 3 (31). – С. 132-138.
2. «WaveControl®» Автоматическая система обнаружения повреждений трубопроводов // <http://www.grouplb.com/solutions/leakage/>.
3. Система обнаружения утечек и ударов для трубопроводов LDS // www.procofrance.com/rus/lds.html.
4. Солонина А.И., Улахович Д.А., Яковлев Л.А. Алгоритмы и процессоры цифровой обработки сигналов. – СПб.: БХВ-Петербург, 2001. – 464 с.
5. ОТЧЕТ № 64/1-1 об определении рыночной стоимости программного продукта системы диагностики утечек из магистральных нефтепроводов для участка нефтепровода Помары-Ужгород // ЗАО "ПРОФЕССИОНАЛЬНЫЙ ЦЕНТР ОЦЕНКИ И ЭКСПЕРТИЗ", 113054, г. Москва, ул. Дубининская, д. 35, тел. / факс 953-3533, 951-3952, e-mail: centozen@cea.ru, Лицензия МЛП № 000013. – Москва, 2001. – 32 с.