

РАЦИОНАЛЬНЫЙ ВЫБОР ПАРАМЕТРОВ И СТРУКТУРЫ КОРПОРАТИВНЫХ ИНФОРМАЦИОННО-ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ ТРУБОПРОВОДНЫХ СИСТЕМ

Рассмотрены задачи построения корпоративных вычислительных сетей, предназначенных для обслуживания трубопроводных транспортных систем (газо-, нефте- и продуктопроводов). Обоснованы структура и параметры топологии сети. Предложен усовершенствованный метод обнаружения и локализации повреждений продуктопровода на основе замены прямого вычисления корреляционных функций повторным применением прямого и обратного преобразований Фурье

Введение

Автоматизация процессов функционирования трубопроводного транспорта, обеспечение безопасности, надежности и эффективности производственных процессов невозможны без повсеместного внедрения средств вычислительной техники, организации сбора и передачи данных по каналам различной физической природы [1,2]. Необходим системный подход к проблеме создания автоматизированной системы управления транспортом жидких и газообразных сред, находящихся под давлением, по продуктопроводам, в том числе управления надежностью и безопасностью трубопроводного транспорта [3].

Традиционно системы автоматизации (а затем – компьютеризации) продуктопроводов строились по так называемому «островному» принципу [1,4]: в рамках большого предприятия трубопроводного транспорта, состоящего из различных по специфике деятельности подразделений, протяженного трубопровода, проходящего иногда по нескольким регионам, существуют свои функциональные требования к системам автоматизации и телемеханизации, применяются свои, часто узкоспециализированные информационные технологии и системы. Кроме того, часто отдельные структурные подразделения предприятия обладают большой степенью самостоятельности и решают задачи автоматизации и компьютеризации по своему выбору, не согласовывая принимаемые решения с другими подразде-

лениями. В результате в рамках предприятия функционирует множество информационных систем разного масштаба и назначения, с оборудованием разных производителей. Вследствие этого возникают трудности согласования параметров систем, интерфейсов и протоколов обмена информацией. Остается необходимость ручной обработки информации на промежуточных этапах и на завершающем этапе, что приводит к повышению трудоемкости и к дополнительным ошибкам и искажениям.

В данной статье сделана попытка найти решение поставленной задачи и дать ответы на некоторые частные вопросы построения информационных систем продуктопроводов, в первую очередь – систем управления безопасностью, обнаружения и локализации повреждений: сквозных дефектов или свищей.

Основные принципы функционирования единой информационной системы

Согласно принятой при эксплуатации продуктопроводов двухступенчатой структуре диспетчеризации [4], система управления подразделяется на службы центрального и районного диспетчеров. Соответственно, разработка средств автоматизации, телемеханики и вычислительной техники для магистральных трубопроводов проводится в двух направлениях: создание инфраструктуры районных диспетчерских служб и создание инфраструктуры центральной диспетчерской службы. Также необходимо иметь систе-

мы передачи и обработки данных: узлы и линии связи. Они служат для обмена данными между районными и центральной диспетчерскими службами. Кроме того, для обеспечения безопасности транспортировки жидких и газообразных сред, находящихся под давлением, необходимо иметь дополнительный, нижний уровень инфраструктуры: сеть датчиков для обнаружения и локализации повреждений (сквозных дефектов, свищей) в продуктопроводе.

Исходя из приведенных соображений, можно сделать вывод, что единая информационная система управления продуктопроводом должна иметь три уровня: традиционные центральный и районные диспетчерские службы и более низкий (эксплуатационный) уровень сбора и обработки информации о состоянии собственно продуктопровода, в частности, его целостности и отсутствия локальных повреждений. В соответствии с логикой работы система должна иметь архитектуру «клиент – сервер», однако, с учетом большого пространственного разнесения отдельных объектов управления эта архитектура также должна быть распределенной и, в известной степени, децентрализованной, т.е. иметь несколько равноправных серверов. Число серверов зависит как от физического размера (протяженности) продуктопровода, так и от круга решаемых задач на каждом участке продуктопровода. На рис. 1 представлена гипотетическая архитектура трехуровневой информационно-управляющей системы.

Сигналы от датчиков через концентраторы или сетевые адаптеры поступают на компьютеры (клиенты) районной диспетчерской службы. После обработки информация о состоянии участков продуктопровода поступает через коммутаторы на районные серверы, где накапливается в модулях распределенной базы данных и знаний. В случае необходимости информация о состоянии одного из участков продуктопровода поступает на другой районный сервер. При выявлении аварий-

ной ситуации информация об аварии поступает на сервер центральной диспетчерской службы. Для связи центрального сервера с районными серверами и для отделения телефонного трафика от трафика данных и от трафика других видов целесообразно использовать маршрутизатор или программный коммутатор (*Softswitch*).

Физическая и логическая топология компьютерной сети продуктопровода

Для данной задачи существует не так уж много вариантов топологии сети. На первый взгляд, наиболее логично использовать топологию «общая шина» вследствие ее простоты и достаточной надежности. Линия передачи данных проходит параллельно продуктопроводу, процесс съема информации с датчиков достаточно прост. Однако для конкретных условий применения это решение вряд ли будет самым удачным. При серьезных повреждениях продуктопроводов вероятность обрыва линии передачи достаточно высока.

На наш взгляд, при использовании физической топологии «общая шина» целесообразно применять логическую топологию «кольцо», как это изображено на рис. 2.

В качестве линии передачи, с помощью которой замыкается кольцо, можно использовать канал радио-, радиорелейной или космической связи. Выбор конкретного варианта зависит от размеров и конфигурации продуктопровода и внешних факторов (например, наличия радиорелейной линии вдоль всей трассы продуктопровода). Целесообразно проложить вдоль продуктопровода двухволоконную оптическую линию передачи. При разрыве одного волокна автоматически включается второе волокно, и функциональность системы сохраняется. При обрыве обоих волокон (например, между узлами *C* и *D*, как показано на рисунке) осуществляется логическая реструктуризация сети: коммутаторы узлов *C* и *D* замыкают линии между собой,

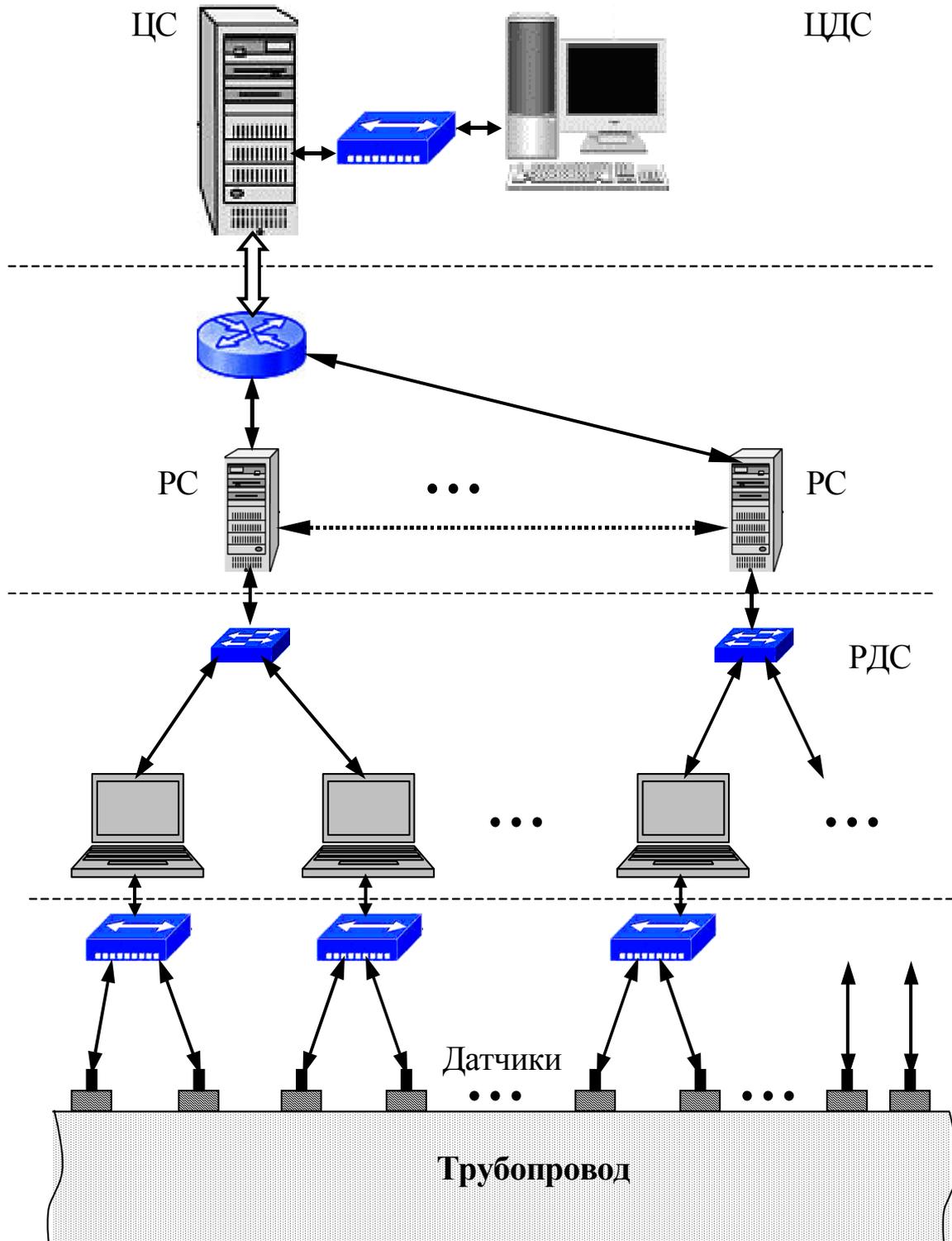


Рис. 1. Трехуровневая архитектура единой информационно-управляющей системы продуктопровода. ЦДС – центральная диспетчерская служба; ЦС – центральный сервер; РДС – районная диспетчерская служба; РС – районные серверы.

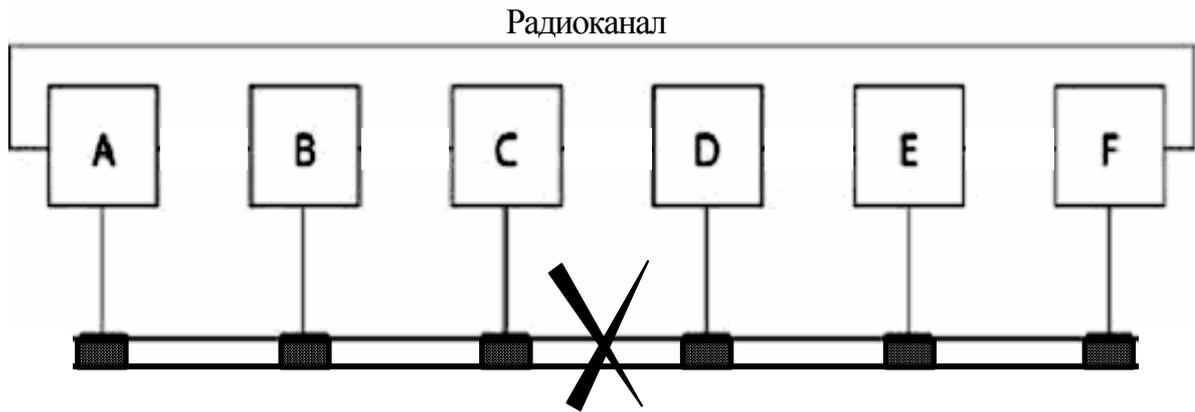


Рис. 2. Применение логической топологии «кольцо» с физической топологией «общая шина».

и данные от узла *C* к узлу *D* по кольцу, образованному двумя волокнами и радиоканалом.

Метод локализации сквозных дефектов продуктопровода

В работе [5] предложен метод определения местоположения сквозного дефекта по временной задержке прихода сигналов на датчики. В основу метода положен расчет взаимнокорреляционной функции (ВКФ) акустических сигналов, которые поступают на датчики, между которыми возник дефект. Расчет ВКФ осуществляется с помощью многоканальных корреляторов, которые реализуются программно или аппаратно. Технически такая реализация довольно сложна.

Число умножений, необходимых для вычисления ВКФ сигнала, содержащего *N* выборок, равно N^2 . Число сложений также равно N^2 . Если в вычислителе умножение заменяется многократным сложением, то при большой разрядности вычислителя (число разрядов $B > 8 \dots 16$) вычислительными затратами на сложение можно пренебречь.

$$r_s(t) = \int_{-\infty}^{\infty} s_1(v) s_2(t - v) dv = \int_{-\infty}^{\infty} s_1(t - v) s_2(v) dv = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} S_1(\omega) S_2(\omega) \exp(j\omega t) d\omega. \tag{3}$$

Левый интеграл в (3) – не что иное как ВКФ. Правый интеграл – обратное преобразование Фурье от произведения

Можно значительно упростить метод расчета ВКФ, если заменить прямой расчет ВКФ применением преобразования Фурье. Теоретической основой такой замены является теорема Хинчина [6]:

$$r(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} G(\omega) \exp(j\omega\tau) d\omega, \tag{1}$$

следовательно, $G(\omega)$ есть обычное преобразование Фурье для корреляционной функции $r(\tau)$, т.е. спектральная плотность сигнала:

$$G(\omega) = \frac{1}{\pi} \int_{-\infty}^{\infty} r(\tau) \exp(-j\omega\tau) d\tau. \tag{2}$$

Пара преобразований (1–2) называется уравнениями Винера – Хинчина. Применим свойство преобразования Фурье, по которому произведению двух спектров $S_1(\omega)$ и $S_2(\omega)$ соответствует функция времени $r_s(t)$, являющаяся сверткой сигналов $s_1(t)$ и $s_2(t)$, прошедших на датчики:

спектров сигналов. Следовательно, чтобы получить ВКФ функцию сигналов $s_1(n)$

и $s_2(n)$, нужно выполнить такую последовательность действий.

1. Вычислить спектры сигналов демодулятора, т.е. выполнить прямое дискретное преобразование Фурье (ДПФ).

2. Перемножить полученные результаты, в результате чего получим взаимный спектр сигналов.

3. Путем применения обратного ДПФ к взаимному спектру вычислить ВКФ сигналов.

Для вычисления прямого и обратного преобразований Фурье дискретных последовательностей целесообразно применить алгоритм быстрого преобразования Фурье (БПФ) в одной из его многочисленных модификаций [7,8]. Как показано в работе [7], выигрыш в уменьшении числа операций при использовании БПФ в сравнении с обычным ДПФ определяется отношением $N^2/(N \log_2 N)$. Уже при

$N = 128$ выигрыш составляет более 32, а при $N = 512$ он достигает почти 60. Кроме того, при использовании вместо универсальных ЭВМ специализированных процессоров БПФ будет достигнут еще больший выигрыш, причем как в тре-

буемом количестве операций, так и в аппаратных затратах [9].

Для сравнительного анализа методов прямого вычисления ВКФ и вычисления с применением прямого и обратного преобразований Фурье были смоделированы псевдослучайные стационарные сигналы с кратковременной функцией корреляции вида $\sin(x)/x$. В качестве датчика случайных чисел (ДСЧ) использовался генератор равномерно распределенных на интервале $[0,1]$ псевдослучайных чисел *URAND*, принятый в качестве стандарта Американского национального института стандартов *ANSI* [10].

На рис. 3 изображен график ВКФ сигнала, вычисленный прямым методом (методом свертки). При вычислении БПФ использовался стандартный 512-точечный алгоритм с прореживанием во времени. Недостающие отсчеты заполнялись нулями. При выборе числа точек алгоритма руководствовались следующими соображениями. Для максимального упрощения алгоритма целесообразно выбирать число точек, кратное степени 2. При этом длина массива спектральных отсчетов должна быть больше длины массива временных

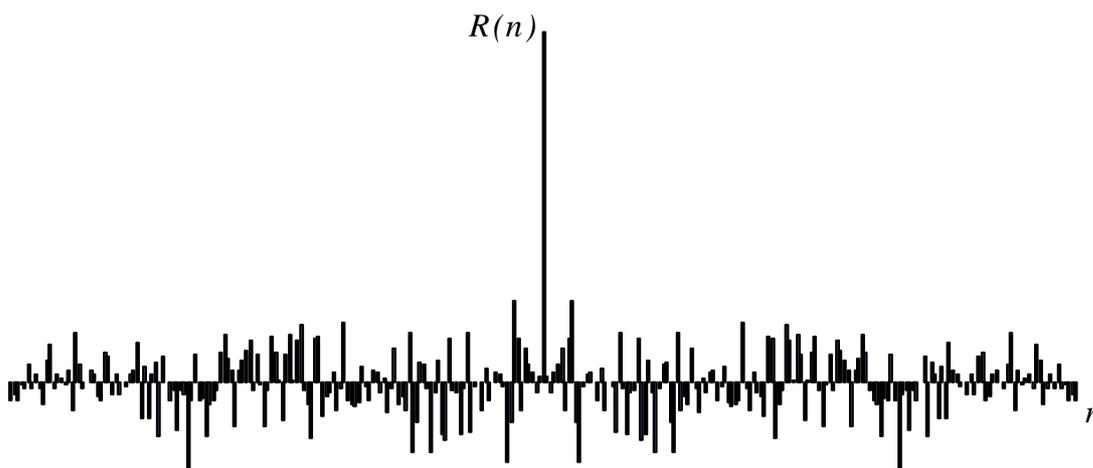


Рис. 3. ВКФ, вычисленная прямым методом

отсчетов во избежание наложения частот (*aliasing*) и, соответственно, искажений результирующей ВКФ.

На рис. 4 и 5 изображены графики вещественной и мнимой частей спектра

периодограммы. Отметим симметрию выборки вещественных составляющих и антисимметрию выборки мнимых составляющих спектра.

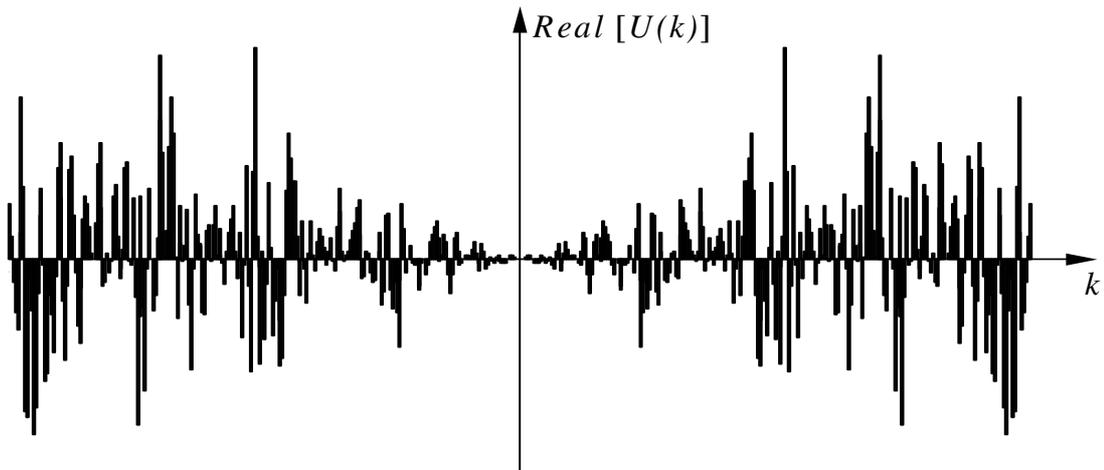


Рис. 4. Вещественная часть спектра периодограммы

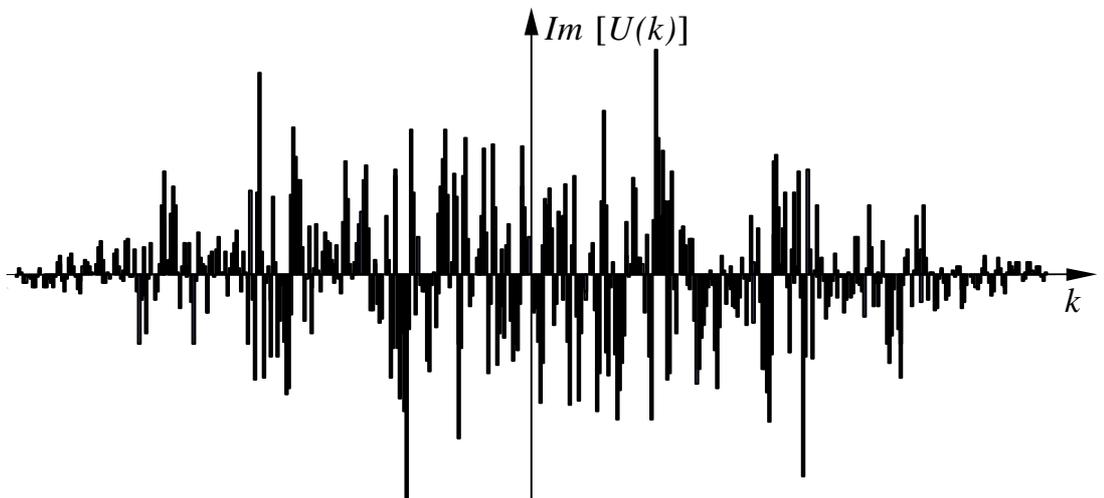


Рис. 5. Мнимая часть спектра периодограммы

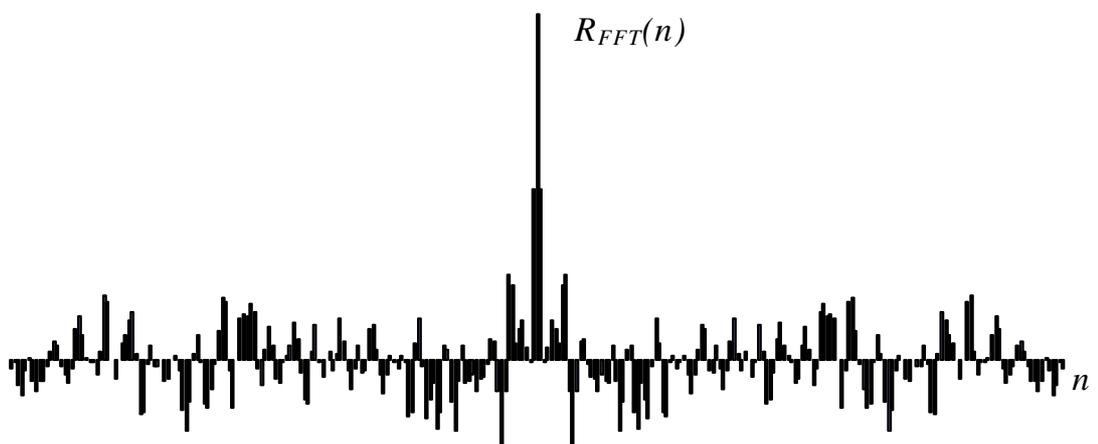


Рис. 6. ВКФ, вычисленная путем двукратного применения БПФ.

Затем полученные выборки возводились в квадрат, после чего выполнялось обратное БПФ. На рис. 6 изображен график рассчитанной данным методом автокорреляционной функции.

Сравнивая графики ВКФ на рис. 3 и 6, легко заметить, что тонкая структура ВКФ, особенно вблизи основного лепестка, практически одинакова. Следовательно, для решения задачи оптимального обнаружения и локализации сквозных дефектов такой подход эффективен и целесообразен.

Выводы

При разработке современных автоматизированных и компьютеризированных информационно-управляющих систем для продуктопроводов большой протяженности необходимо учитывать специфику продуктопровода как объекта управления: большую протяженность, разнородность оборудования, трудность доступа к трубе, удаленность от диспетчерских пунктов и пр. Для управления надежностью и безопасностью функционирования продуктопроводов, быстрого поиска и локализации повреждений, в частности, сквозных дефектов, необходимо применять высоконадежные топологические структуры сети с возможностями логической реструктуризации, совершенствовать алгоритмы обнаружения повреждений путем ускорения расчетов ВКФ акустических сигналов.

В дальнейшем планируется рассмотреть задачу рационального размещения сетевых узлов на уровне районных диспетчерских служб, поскольку точность расчетов, от которой зависит общая эффективность управления надежностью продуктопровода, и стоимость аппаратуры и программных продуктов могут колебаться в широких пределах.

Список літератури

1. Зырин Н.В., Кашапов И.Г. Автоматизация: от «островковой» к «материковой» // Трубопроводный транспорт [Теория и практика] № 1(3), 2006. – С. 093 – 096.

2. Башлыков А.А., Белозеров В.В., Кропотова И.И. Организация производственно-технологической связи в ЕСУ ТС ВСТО // Трубопроводный транспорт [Теория и практика] № 2(12), 2008. – С. 054 – 096.

3. Карабалин У.С. Методы ликвидации и предупреждения аварийных ситуаций при освоении месторождений углеводородного сырья. – Алма-Ата, 2008. – 185 с.

4. Котляр И.Я., Пиляк В.М. Эксплуатация магистральных газопроводов. – Л.: Недра, 1971. – 248 с.

5. Луцкий М.Г., Пономаренко А.В., Филоненко С.Ф. Обработка сигналов акустической эмиссии при определении положения сквозных дефектов. – К.: НАУ. – 345 с.

6. Харкевич А.А. Спектры и анализ. – М.: ГИФМЛ, 1962. – 236 с.

7. Рабинер Л., Гоулд Б. Теория и применение цифровой обработки сигналов. Пер. с англ. – М.: Мир, 1978. – 848 с.

8. Блейхут Р. Быстрые алгоритмы цифровой обработки сигналов. Пер. с англ. – М.: Мир, 1989. – 448 с.

9. Солонина А.И., Улахович Д.А., Яковлев Л.А. Алгоритмы и процессы цифровой обработки сигналов. – СПб.: БХВ-Петербург, 2001. – 464 с.

10. Форсайт Дж., Малькольм М., Моулер К. Машинные методы математических вычислений. Пер. с англ. – М.: Мир, 1980. – 279 с.

Подано до редакції 21.09.2010