

УДК 622.692.4
DOI 10.56525/JZGR1746

ИССЛЕДОВАНИЕ И ВЫБОР АЛГОРИТМА ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ПРОФИЛЕМЕРА «РЕУД»

О.Ф. Хайитов

Ташкентский государственный университет; Ташкент, Узбекистан
e-mail: o_hayitov@mail.ru

Аннотация: В статье рассматриваются вопросы выбора рационального алгоритма функционирования внутритрубного профилемера «Реуд», предназначенного для диагностики геометрических дефектов нефтепроводов. Проанализированы особенности формирования и обработки диагностической информации при обследовании трубопроводов, включая оценку интенсивности потока данных и объемов регистрируемой информации. Предложен алгоритм первичной обработки, основанный на селективной регистрации сигналов при превышении порогового значения изменения радиуса трубы. Обоснован выбор диагностического параметра и пороговых критериев выявления дефектов. Показано, что применение разработанного алгоритма позволяет существенно снизить избыточность входного потока данных и уменьшить требования к объему памяти прибора. Рассмотрены методы обработки сигналов и принципы распознавания дефектов, обеспечивающие повышение эффективности и точности диагностики технического состояния трубопроводов.

Ключевые слова: профилемер «Реуд», внутритрубная диагностика, нефтепровод, дефекты геометрии труб, асимметрия сечения, алгоритм обработки данных, селективная регистрация, диагностические параметры, изменение радиуса, АЦП, обработка сигналов, техническая диагностика трубопроводов.

Введение

Надёжная эксплуатация магистральных нефтепроводов напрямую зависит от их технического состояния, в частности от отсутствия дефектов геометрии труб. В процессе эксплуатации под воздействием коррозии, механических нагрузок и нарушений технологических режимов в трубопроводах возникают вмятины, овальность, гофры и другие деформации, приводящие к снижению пропускной способности и повышению аварийных рисков.

Одним из наиболее эффективных методов контроля является внутритрубная диагностика с использованием профилемеров, позволяющих выявлять и измерять геометрические отклонения. Однако при обследовании протяжённых участков трубопроводов формируется значительный объём диагностической информации, что создаёт проблему её хранения и обработки.

В связи с этим актуальной задачей является разработка рациональных алгоритмов обработки данных, обеспечивающих снижение избыточности информации при сохранении высокой точности выявления дефектов.

Цель работы - выбор и обоснование рационального алгоритма функционирования профилемера «Реуд» для повышения эффективности обработки диагностической информации.

Материалы и методы. В качестве объекта исследования рассматриваются магистральные нефтепроводы диаметром от 325 до 820 мм, подверженные образованию геометрических дефектов в процессе эксплуатации.

В работе использованы данные, полученные с применением внутритрубных профилемеров «Реуд-300» и «Реуд-500», оснащённых системой датчиков, аналого-цифровым преобразователем и блоком регистрации информации.

Измерение состояния внутренней поверхности трубопровода осуществляется путём регистрации локальных изменений радиуса трубы (ΔR_i) при движении прибора с потоком перекачиваемого продукта.

Методика исследования включает:

- сбор и анализ диагностической информации;
- расчёт интенсивности потока данных на основе параметров системы;
- разработку алгоритма селективной регистрации сигналов;
- выбор порогового критерия выявления дефектов;
- применение методов цифровой обработки сигналов;
- реализацию алгоритма распознавания дефектов.

Дефекты геометрии трубы — это дефекты, связанные с уменьшением проходного сечения трубы вследствие изменения его формы. По степени влияния на несущую способность нефтепровода дефекты классифицируются на опасные и неопасные. Основные причины возникновения отказов – это коррозия, брак строительно-монтажных работ (СМР), несовершенство проектных решений, заводской брак труб, нарушения нормальных условий эксплуатации, под действием рабочих эксплуатационных нагрузок, а также нарушение герметичности нефтепровода сторонними лицами.

Профилемер «Реуд-300» состоит из автономного прибора (АП), пропускаемого внутри обследуемого трубопровода, устройства для перезарядки блока аккумуляторов (ЗРУ) и запасных инструментов и технологических принадлежностей (ЗИП).

Профилемеры «Реуд-300», «Реуд-500» предназначены для выявления, регистрации и определения местонахождения дефектов геометрии, выступающих вовнутрь трубопровода и препятствующих движению очистных и диагностических устройств для трубопроводов диаметром 325, 377, 426 и 530, 720, 820 мм соответственно.

Технология выявления дефектов предусматривает запуск приборов «Реуд» из камеры пуска очистных устройств. Профилемер вместе с присоединенным к нему дополнительной секцией – передатчиком прибора «Поиск МП» перемещается с потоком перекачиваемого продукта со скоростью, не превышающей 2 м/с.

Исследования максимальной интенсивности потока сообщений (I_{\max}), воспринимаемой внутритрубами средствами диагностирования при их движении в трубопроводе, которая определяется по (1) [1, с.79-80], показали, что при обследовании нефтепровода, где скорость потока перекачиваемого продукта может достигать 3 м/с, при опросе даже 30 датчиков с шагом дискретности 10 мм и с разрядностью выходных сигналов аналого-цифрового преобразователя (АЦП) в 8 бит равна 72Кбит/с. А общий объем обрабатываемой прибором информации при этом равна 6 Гбит.

$$I_{\max} = m \cdot n \cdot V_{\max} / \Delta l,$$

где, m - разрядность аналого-цифрового преобразователя;

n - количество опрашиваемых датчиков поисковой системы прибора;

V_{\max} - максимально возможная скорость продвижения АП при его нормальной работе;

Δl - шаг дискретности контроля состояния стенки трубы в направлении ее образующей.

Высокая интенсивность входного потока сообщений, большой объем диагностической информации, воспринимаемой прибором за время обследования протяженного (до 250 км) участка нефтепровода, большие в связи с этим информационная емкость и потребляемая мощность запоминающего устройства, требуемая для регистрации этих данных, диктуют необходимость сокращения избыточности входного потока данных и, следовательно, выбор рационального алгоритма функционирования прибора средства технического диагностирования и обработки полученной диагностической информации.

К средствам диагностирования трубопроводов, предназначенным выявления дефектов геометрии поперечного сечения труб магистральных и промысловых нефтепроводов, относится разработанный в УГНТУ внутритрубный профилемер «Реуд». «Реуд» разработан с учетом изложенных ранее требований и предназначен для выявления таких дефектов геометрии сечения труб нефтепроводов, как вмятины, гофры, овальность и др., а также для измерения их размеров и определения местонахождения вида и формы дефектов. «Реуд» может применяться для обследования нефте- и нефтепродуктопроводов диаметром от 325 мм до 426 мм («Реуд 300») и диаметром от 530 мм до 820 мм («Реуд-500»).

Основной процедурой, используемой в алгоритме первичной обработки информации (в электронном блоке внутритрубного прибора) при обследовании трубопровода для выявления дефектов исходной геометрии трубы, является сравнение измеренных диагностических параметров (в данном случае локальное изменение радиуса ΔR_i), характеризующих исправное состояние и определенные виды неисправных состояний объекта диагностирования [2, С.79-81]. Для исправного (бездефектного) состояния $MH \Delta R_i=0$.

Алгоритм первичной обработки информации базируется на селективной регистрации информации из общего входного потока данных. То есть, регистрация сигналов датчика производится только при превышении величины сигнала датчика дефектов выше предварительно установленного (до заправки прибора в нефтепровод) порогового значения, т.е. при условии, если локальное изменение радиуса трубы больше порогового значения [3, с. 79-80]. Благодаря разработке алгоритма функционирования прибора [4, с.4-7], позволяющего производить такой селективный отбор и последующую регистрацию диагностической информации, требуемый общий объем памяти данных удалось сократить в несколько тысяч раз. Исследования статических данных о дефектах показали, что дефекты геометрии высотой 5 – 10 мм не являются опасными для трубопроводов диаметром 325,377 мм и, следовательно, это значение высоты дефектов может быть принято в качестве критерия (порогового значения параметра ΔR_i) выявления и регистрации дефектов геометрии. Поэтому при разработке алгоритма функционирования прибора пороговое значение высоты дефектов, при которой они регистрируются в блоке памяти, принято равным – 15 мм. Это значение ΔR_i может быть изменена аппаратно перед запуском прибора в нефтепровод.

В алгоритме работы прибора применен следующий подход к решению задачи распознавания дефектов: выявление (измерение) одного диагностического параметра (ΔR_i), позволяющего применить правило распознавания или оценки, полученное с помощью простейших корреляционно-регрессивных зависимостей между параметрами состояний объекта диагностирования и диагностическим параметром ΔR_i .

Разнообразие видов форм выявляемых дефектов геометрии, необходимость измерения радиуса поворота трубы и других параметров трубопровода вынуждает при обследовании нефтепровода проводить следующие виды измерений и последующей обработки сигналов:

- разделение сигналов на компоненты, обусловленные различными факторами;
- линейные и нелинейные преобразования сигналов (нормализация, фильтрация, интегрирование и др.);
- измерение отдельных параметров и характеристик сигналов;
- определение корреляционных характеристик сигналов;
- представление диагностической информации о дефектах и поворотах в графической форме, позволяющей определить не только форму дефекта в сечении, параллельном оси трубы, но и позволяющей определить все линейные размеры дефектов.

Выбор способа обработки информационных сигналов и соответствующей структурной схемы устройства определяется постановкой диагностической задачи, особенностями объекта диагностирования и диагностических параметров и другими факторами. Поэтому алгоритм работы программы расшифровки диагностической информации выбран таким образом, что он, анализируя считываемые из памяти прибора признаки начала дефекта и путевые признаки дефектов (соответственно, признаки начала поворотов и путевые признаки поворотов), систематизирует информацию о дефектах и поворотах и приводит их в соответствие с

информацией о пройденном автономным прибором расстоянии и знаке маркера, т.е. автоматически (по мере преобразования и расшифровки) отпечатывают информацию о дефектах и поворотах с указанием их местоположения в метрах.

Результаты исследования. Установлено, что при внутритрубной диагностике формируется поток данных высокой интенсивности, достигающий нескольких гигабит на участок трубопровода. Это связано с высокой частотой опроса датчиков и малым шагом дискретизации.

Анализ показал, что значительная часть информации является избыточной и не содержит признаков дефектов.

Применение селективного алгоритма регистрации сигналов позволило:

- существенно сократить объём данных;
- сохранить высокую чувствительность к дефектам;
- уменьшить требования к памяти устройства.

Установлено, что использование порогового значения $\Delta R_i = 15$ мм обеспечивает эффективное разделение дефектов на опасные и неопасные, а объём данных сокращается в несколько тысяч раз.

Обсуждение. Полученные результаты показывают, что основным ограничением внутритрубной диагностики является высокая избыточность регистрируемых данных, что приводит к увеличению требований к памяти и усложнению обработки информации.

Применение селективного алгоритма регистрации сигналов на основе порогового значения изменения радиуса трубы (ΔR_i) позволяет существенно сократить объём диагностических данных при сохранении достаточной чувствительности к дефектам геометрии.

Установлено, что пороговое значение $\Delta R_i = 15$ мм является рациональным для рассматриваемых условий эксплуатации и обеспечивает баланс между полнотой выявления дефектов и эффективностью обработки информации.

Сравнение с традиционными подходами показало, что предложенный метод позволяет значительно уменьшить объём регистрируемых данных без потери диагностической информативности и повысить эффективность работы системы.

Выводы. В результате проведённых исследований установлено, что внутритрубная диагностика нефтепроводов сопровождается формированием значительного объёма избыточной информации, что требует оптимизации методов её обработки. Разработанный селективный алгоритм регистрации сигналов на основе порогового значения изменения радиуса трубы (ΔR_i) позволяет существенно снизить объём регистрируемых данных при сохранении достоверности выявления дефектов геометрии.

Показано, что использование порогового значения $\Delta R_i = 15$ мм обеспечивает эффективное разделение неопасных и потенциально опасных дефектов для трубопроводов рассматриваемого диапазона. Применение предложенного подхода повышает эффективность работы внутритрубного профилемера, снижает требования к памяти и упрощает обработку диагностической информации.

Таким образом, разработанный алгоритм является рациональным решением для повышения эффективности внутритрубной диагностики нефтепроводов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Мугаллимов Ф.М., Шумайлов А.С. Автоматизированная система контроля геометрии сечения труб магистральных нефтепроводов // Тезисы докладов 20-й всесоюзной школы-семинара по проблемам трубопроводного транспорта. – Уфа: ВНИИСПТнефть, 1987.
2. Мугаллимов Ф.М. Алгоритм поиска и распознавания дефектов геометрии сечения магистральных трубопроводов // Тезисы докладов 20-й всесоюзной школы-семинара по проблемам трубопроводного транспорта. – Уфа: ВНИИСПТнефть, 1987.

3. Мугаллимов Ф.М., Шумайлов А.С. Автоматизированная система контроля геометрии сечения труб магистральных нефтепроводов // Тезисы докладов 20-й всесоюзной школы-семинара по проблемам трубопроводного транспорта. - Уфа: ВНИИСПТнефть, 1987.

4. Мугаллимов Ф.М. О выборе информативных параметров контроля труб магистральных нефтепроводов при диагностировании дефектов геометрии сечения // Транспорт нефти, защита от коррозии и охрана окружающей среды: ВТИС –М.: ВНИИОЭНГ, 1989.-№9.

"РЕУД" ПРОФИЛЕМЕРІНІҢ ЖҰМЫС ІСТЕУ АЛГОРИТМІН ЗЕРТТЕУ ЖӘНЕ ТАҢДАУ

О.Ғ. Хайитов

Ташкент Мемлекеттік университети, Ташкент, Өзбекстан

e-mail: o_hayitov@mail.ru

Андатпа. Мақалада мұнай құбырларының геометриялық ақауларын диагностикалауға арналған "Реуд" құбырышілік профиломерінің жұмыс істеуінің ұтымды алгоритмін таңдау мәселелері қарастырылады. Деректер ағынының қарқындылығын және тіркелген ақпарат көлемін бағалауды қоса алғанда, құбырларды тексеру кезінде диагностикалық ақпаратты қалыптастыру және өңдеу ерекшеліктері талданады. Құбыр радиусының өзгеру шегінен асқан кезде сигналдарды селективті тіркеуге негізделген бастапқы өңдеу алгоритмі ұсынылған. Диагностикалық параметрді және ақауларды анықтаудың шекті критерийлерін таңдау негізделген. Өзірленген алгоритмді қолдану деректердің кіріс ағынының артықтығын едәуір төмендетуге және құрылғының жад көлеміне қойылатын талаптарды азайтуға мүмкіндік беретіні көрсетілген. Құбырлардың техникалық жағдайын диагностикалаудың тиімділігі мен дәлдігін арттыруды қамтамасыз ететін сигналдарды өңдеу әдістері мен ақауларды тану принциптері қарастырылған.

Түйін сөздер: «Реуд» профиломері, құбырышілік диагностика, мұнай құбыры, құбыр геометриясының ақаулары, қиманың асимметриясы, деректерді өңдеу алгоритмі, селективті тіркеу, диагностикалық параметрлер, радиустың өзгеруі, ADC, сигналдарды өңдеу, құбырлардың техникалық диагностикасы.

RESEARCH AND SELECTION OF THE ALGORITHM FOR THE FUNCTIONING OF THE REUD PROFILER

O.G. Khayitov

Tashkent State University, Tashkent, Uzbekistan

e-mail: o_hayitov@mail.ru

Abstract: The article discusses the issues of choosing a rational algorithm for the functioning of the in-pipe profiler "Reud", designed to diagnose geometric defects in oil pipelines. The features of the formation and processing of diagnostic information during pipeline inspection are analyzed, including an assessment of the intensity of the data flow and the volume of recorded information. A primary processing algorithm is proposed based on the selective recording of signals when the threshold value of the pipe radius change is exceeded. The choice of a diagnostic parameter and threshold criteria for detecting defects is justified. It is shown that the application of the developed algorithm can significantly reduce the redundancy of the input data stream and reduce the memory requirements of the device. Signal processing methods and principles of defect recognition are considered, ensuring an increase in the efficiency and accuracy of diagnostics of the technical condition of pipelines.

Keywords: Reud profiler, in-tube diagnostics, oil pipeline, pipe geometry defects, cross-section asymmetry, data processing algorithm, selective registration, diagnostic parameters, radius change, ADC, signal processing, technical diagnostics of pipelines.