

При изменении  $h_1 / H$  от 0 до 0,25 дебит скважины увеличивается с 46,57 м<sup>3</sup>/сут до 49,29 м<sup>3</sup>/сут. Однако при других значениях параметров изменение дебита может быть более существенным, поэтому положение интервала перфорации при решении данной задачи желательно учитывать.

**Заключение.** Получено стационарное аналитическое решение задачи притока жидкости к несовершенной скважине. Данное решение не накладывает ограничений на количество интервалов перфорации и их расположение на стволе скважины. Показано, что при фиксированной перфорированной толщине максимальный дебит жидкости достигается при положении интервала перфорации посередине между кровлей и подошвой пласта.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Маскет М. Течение однородных жидкостей в пористой среде. М.: ИКИ, 2004. 640 с.
2. Кошляков Н.С., Глинер Э.Б., Смирнов М.М. Уравнения в частных производных математической физики. М.: Высшая школа, 1970. 712 с.

**Олег Николаевич КУЗЯКОВ** —  
зав. кафедрой кибернетических систем,  
доктор технических наук  
[kuzakov@tsogu.ru](mailto:kuzakov@tsogu.ru)

**Владимир Николаевич СЫЗРАНЦЕВ** —  
зав. кафедрой «Машины и оборудование  
нефтяной и газовой промышленности»,  
доктор технических наук  
[v\\_syzrantsev@mail.ru](mailto:v_syzrantsev@mail.ru)

**Алексей Михайлович МАРГОЛИН** —  
ассистент кафедры кибернетических систем  
[alex\\_meta@mail.ru](mailto:alex_meta@mail.ru)

Тюменский государственный  
нефтегазовый университет

УДК 681.3.01.002.5

## СИСТЕМА СБОРА И АНАЛИЗА ДАННЫХ

## С ДАТЧИКОВ ДЕФОРМАЦИЙ ИНТЕГРАЛЬНОГО ТИПА

## INTEGRAL TYPE STRAIN GAUGES DATA CAPTURE AND ANALYSIS SYSTEM

**АННОТАЦИЯ.** Произведен обзор методов оценки реакции датчиков деформации интегрального типа, позволяющих оценить нагруженность и усталостные изменения конструкций, приведена структура разработанной системы сбора первичных данных, а также алгоритмы работы комплекса на этапах начальной настройки и последующих измерений.

**SUMMARY.** A survey of assessment methods for the reaction of integral type strain gauges which allow to estimate loading and fatigue changes of constructions has been conducted. The author gives the structure of a developed system for primary data capture as

*well as the algorithm of the system's work at the stages of basic setting and any subsequent changes.*

*КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА. ДДИТ, усталостные изменения, система, сбор данных.  
KEY WORDS. ITSG, fatigue changes, system, data capture.*

Нефтегазовое оборудование, как правило, проектируется на длительный срок эксплуатации и имеет высокую стоимость. Его преждевременная замена экономически невыгодна, в то же время накопление усталостных повреждений при эксплуатации оборудования может приводить к авариям и катастрофам. Их предсказание и предотвращение неразрывно связано с разработкой систем мониторинга технического состояния по усталости нефтегазового оборудования, основой которого являются различные методы неразрушающего контроля. Среди них перспективными являются методы диагностики нагруженности и оценки накопленных усталостных повреждений, основанные на обработке информации, получаемой при помощи датчиков деформаций интегрального типа (ДДИТ). Технология изготовления ДДИТ и методики их применения для решения различных задач рассмотрены в работах [1], [2]. Основной проблемой использования датчиков является сложность оперативной фиксации с них информации и ее представление в виде, необходимом для реализации методик применения ДДИТ. Регистрация реакции ДДИТ на амплитуду циклических деформаций и величину накопленных усталостных повреждений может выполняться различными методами: по моменту появления первых «темных пятен»; по первым зернам измененной структуры; по измерению микротвердости датчика; по изменению отражающей способности поверхности датчика; по величине относительной площади «темных пятен» на основе компьютерной обработки цифровых фотографий реакции ДДИТ; по результатам статистического анализа цифровых фотографий реакции ДДИТ. Среди перечисленных наиболее перспективными являются последние два метода, поскольку они позволяют оценивать нагруженность конструкций и прогнозировать остаточный ресурс не только на этапе конструкторской доработки, но и в процессе эксплуатации. Это достигается тем, что методы регистрации и оценки структурных изменений на основе определения относительной площади «темных пятен» и статистических характеристик изображения поверхности ДДИТ позволяют не только фиксировать на ДДИТ появление внешней реакции, но и осуществлять количественную оценку накопленных усталостных повреждений (через оценку динамики роста «темных пятен»). Кроме того, отмеченные методы позволяют использовать автоматизированные комплексы сбора и анализа данных, что в свою очередь снижает влияние «человеческого фактора».

Тем не менее, метод оценки на основе определения относительной площади «темных пятен» имеет и ряд недостатков [3]. Для определения относительной площади измененной структуры необходимо произвести подсчет пикселей изображения, соответствующих области пятен. Это само по себе является непростой задачей, так как цвет таких областей отличается от цвета основного фона лишь на несколько десятков процентов, в результате велика вероятность ошибки отнесения к области «темного пятна» пикселя, к нему не относящегося, и наоборот. Подобные сложности возникают и с пикселями,

находящимися на границе «темных пятен». Дополнительную погрешность могут вносить царапины и риски, появляющиеся на поверхности ДДИТ в процессе его изготовления (полирования). Для их устранения необходимо производить вычитание исходного снимка из снимка, где датчик наработан и уже есть реакция в виде «темных пятен» (для получения «чистого эффекта»). В общем случае, ввиду смещения и поворота снимков, реализация процесса вычитания требует наличия для снимков реперов привязки и соответствующих геометрических преобразований.

Метод оценки реакции ДДИТ, основанный на статистическом анализе цифровых фотографий «темных пятен» на поверхности датчиков в процессе их работы на исследуемом оборудовании, лишен перечисленных выше недостатков.

На рис. 1 представлена структура предложенной нами системы сбора и анализа данных [3], позволяющей получить первичные данные с ДДИТ, произвести первоначальную обработку информации и представить ее в виде, необходимом для оценки накопленных усталостных повреждений и прогнозирования остаточного ресурса в соответствии с методиками [1], [2].

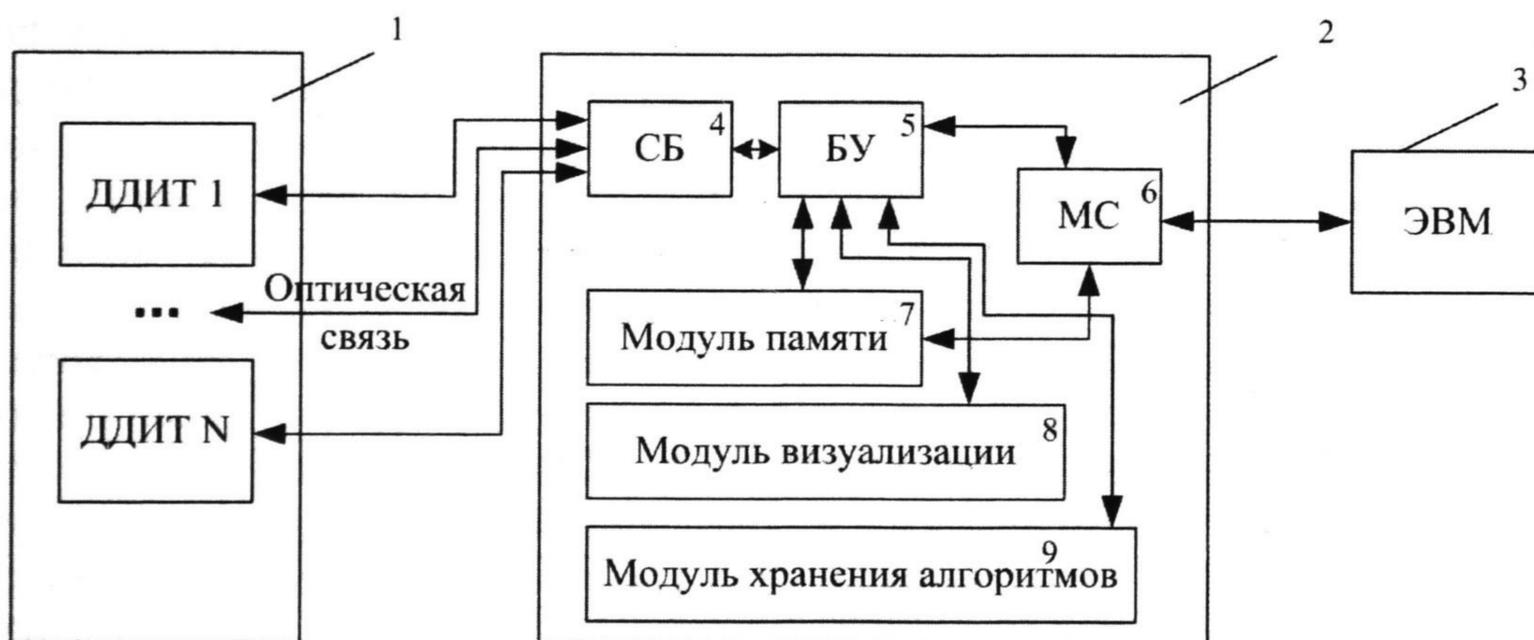


Рис. 1. Структура системы сбора и анализа данных

Система включает в себя переносное устройство для съема данных 2, имеющее оптическую связь с ДДИТ, закрепленным на исследуемом объекте 1 и связанное с системой анализа изображений, представленной электронной вычислительной машиной (ЭВМ) 3, в качестве которой могут быть использованы персональный компьютер, ноутбук или карманный персональный компьютер. Переносное устройство для съема данных 2 состоит из сенсорного блока (СБ) 4, в качестве которого может быть использована, например, матрица цифрового фотоаппарата, блока управления (БУ) 5, в качестве которого может быть использован микропроцессорный модуль, модуля связи (МС) 6, модуля памяти 7, модуля визуализации 8 и модуля хранения алгоритмов 9. Под исследуемым объектом 1 понимается конструкция, на которой закреплен по меньшей мере один ДДИТ, и данные об усталостных повреждениях которой требуется получить. В качестве модуля связи 6 могут быть использованы как проводные, так и беспроводные средства сопряжения,

например Wi-Fi приемо-передатчик. Модуль визуализации 8 может быть представлен жидкокристаллическим дисплеем.

В свою очередь, сенсорный блок 4, представленный на рис. 2, состоит из сенсорного элемента 10, системы призм 11, системы линз 12, состоящей по меньшей мере из двух линз, блока выравнивания света 13, источника света 14, блока регулировки четкости изображения 15 и блока регулировки освещенности 16. Блок регулировки освещенности 16 имеет электрическую связь с блоком управления 5, источником света 14 и автономным источником питания и предназначен для изменения величины светового потока от источника света 14 путем увеличения или уменьшения напряжения, поступающего на него от автономного источника питания. Источник света 14 соединен оптически через блок выравнивания света 13 с системой призм 11, которая, в свою очередь, имеет оптическую связь с системой линз 12 и сенсорным элементом 10. Блок выравнивания света 13 предназначен для получения равномерного рассеянного света, а система линз 12 — для получения увеличенного изображения исследуемого объекта. Блок регулировки четкости изображения 15 имеет электрическую связь с блоком управления 5 и механическую связь с системой линз 12. Под механической связью понимается возможность осуществить перемещение линз внутри системы линз 12 относительно друг друга с целью изменения фокусного расстояния.

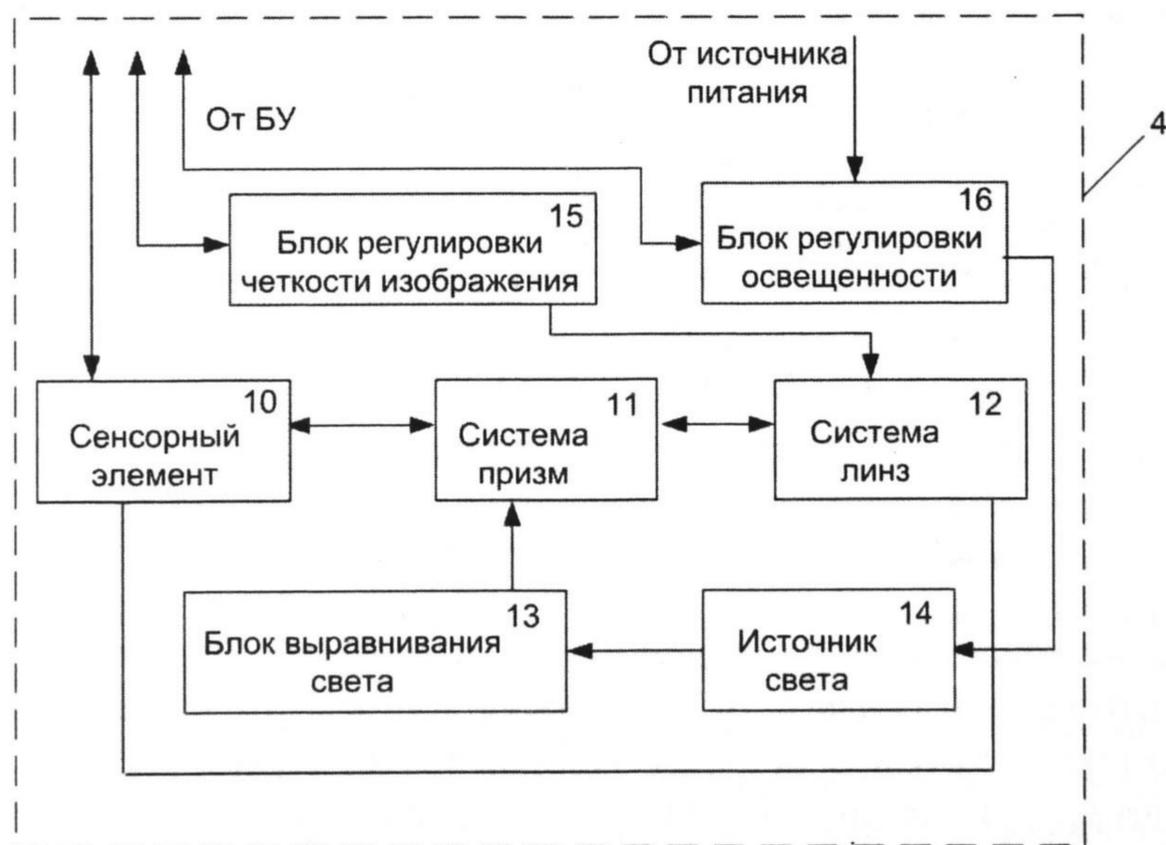


Рис. 2. Структура сенсорного блока

**Принцип работы комплекса.** ДДИТ, закрепленный непосредственно на исследуемом объекте 1, соединен оптически с сенсорным блоком 4. Перед началом измерения, по заранее заложенному алгоритму, сохраненному в модуле хранения алгоритмов 9 или при помощи ручной настройки, осуществляемой оператором с использованием модуля визуализации 8, производится задание требуемой для данного ДДИТ величины освещенности его поверхности. Непосредственное изменение величины освещенности поверхности

ДДИТ осуществляется блоком регулировки освещенности 16, путем увеличения или уменьшения напряжения питания, поступающего на источник света 14, а также за счет увеличения или уменьшения чувствительности матрицы сенсорного элемента 10.

Сенсорный блок 4 построен таким образом, что свет от источника света 14, пройдя через блок выравнивания света 13, систему призм 11 и систему линз 12, падает на поверхность ДДИТ перпендикулярно, а отраженный свет, пройдя также через систему призм 11 и систему линз 12, воспринимается сенсорным элементом 10, размещенным параллельно поверхности ДДИТ, и преобразуется в электрическую форму, получая, таким образом, фронтальный увеличенный снимок поверхности. Далее, электрический сигнал считывается с сенсорного элемента 10 блоком управления 5, преобразуется в цифровую форму и сохраняется в модуле памяти 7. Блок управления 5 производит первичную обработку данных и отображает результат при помощи модуля визуализации 8. В случае, если результат отвечает предъявляемым требованиям, производится передача информации через модуль связи 6 на ЭВМ 3 для дальнейшей обработки.

Формирование алгоритма задания величины освещенности поверхности ДДИТ производится по следующей схеме: после установки оптической связи между ДДИТ и автономным комплексом сбора информации об усталостных повреждениях конструкций с регулируемым освещением объекта и получения оператором на дисплее ЭВМ 3 изображения поверхности ДДИТ, оператор через модуль связи 6 посылает команду блоку управления 5 на увеличение или уменьшение освещенности поверхности ДДИТ. Данное изменение осуществляется за счет изменения напряжения питания, подаваемого на источник света 14, а также за счет увеличения или уменьшения чувствительности матрицы сенсорного элемента 10. При достижении требуемого для данного типа поверхности значения освещенности оператор посылает команду сохранения соответствующего значения напряжения питания и чувствительности матрицы в модуле хранения алгоритмов 9. В случае проведения серии измерений при количестве ДДИТ более одного, для каждого измерения могут быть отдельно сохранены указанные величины. При повторном проведении данной серии измерений, для каждого измерения из серии будут выбраны сохраненные ранее значения.

Описанный комплекс позволяет осуществлять фиксацию и первичную обработку данных с ДДИТ в процессе их калибровки и в ходе использования ДДИТ при решении конкретных задач экспериментального исследования нагруженности и долговечности нефтегазового оборудования. На этапе настройки и «обучения» комплекса производится позиционирование устройства сбора данных над каждым из ДДИТ, настройка освещенности и занесение этих показателей в память устройства. Также на данном этапе получается эталонная фотография поверхности ДДИТ и снимаются ее статистические характеристики. Алгоритм выполнения настройки и обучения комплекса представлен на рис. 3. Он выполняется последовательно такое количество раз, сколько требуется произвести измерений с различных ДДИТ.

Алгоритм проведения измерений с помощью ДДИТ в процессе эксплуатации оборудования представлен на рис. 4. Он включает в себя позициони-

рование подвижного элемента над ДДИТ, установку заданных параметров освещенности поверхности, получение снимка поверхности и вычисление статистических характеристик изображения. Алгоритм повторяется последовательно столько раз, сколько имеется различных датчиков.

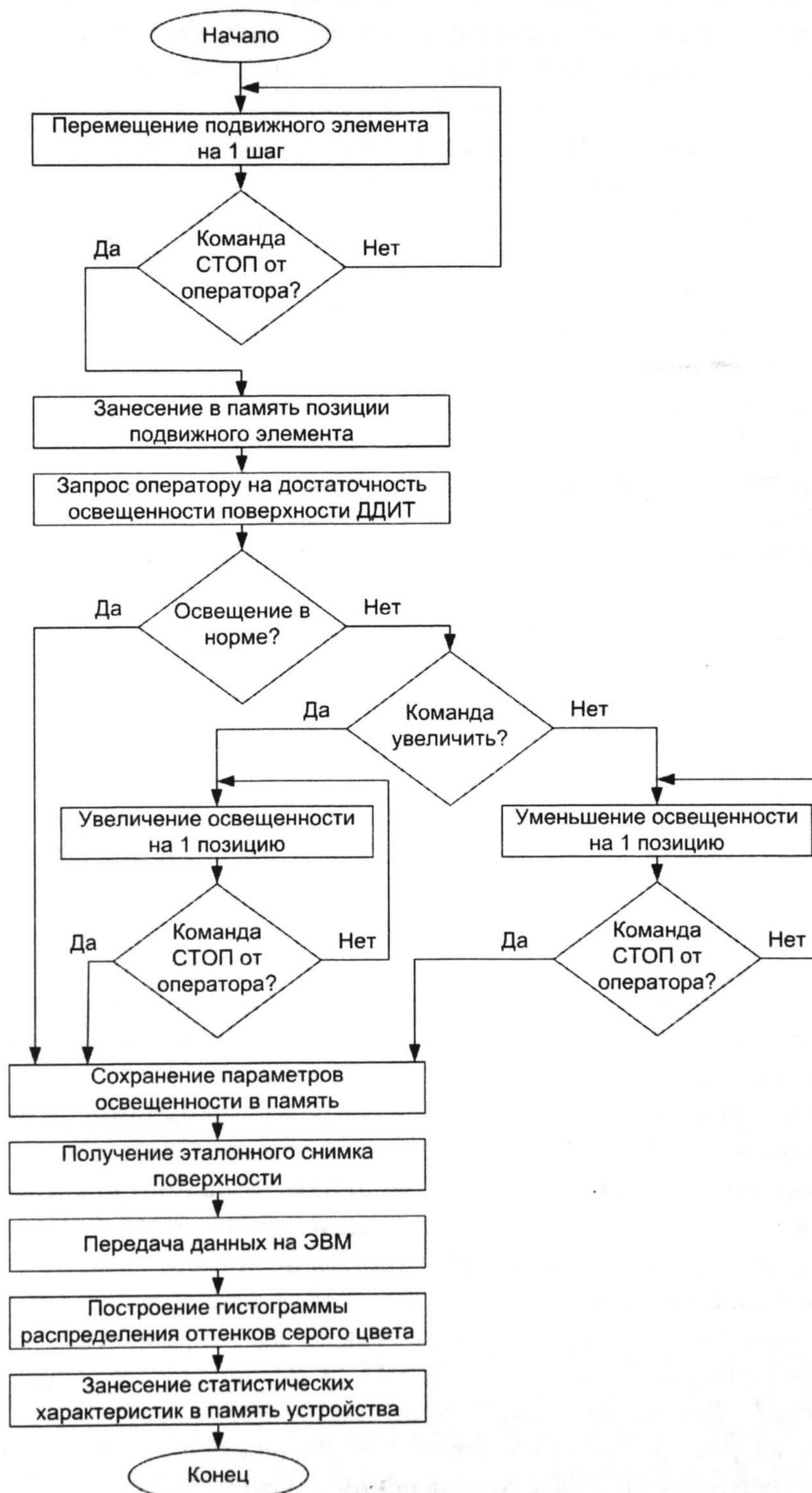


Рис. 3. Алгоритм настройки комплекса сбора данных

Последний этап — это анализ полученных данных на ЭВМ. Он включает в себя сравнение статистических характеристик текущего и эталонного изображений отдельно для каждого ДДИТ. По результатам данного сравнения определяется величина изменения реакции ДДИТ, позволяющая в соответствии с методиками [1], [2] оценить либо действующие напряжения в исследуемой конструкции, либо накопленные усталостные повреждения и рассчитать остаточный ресурс.

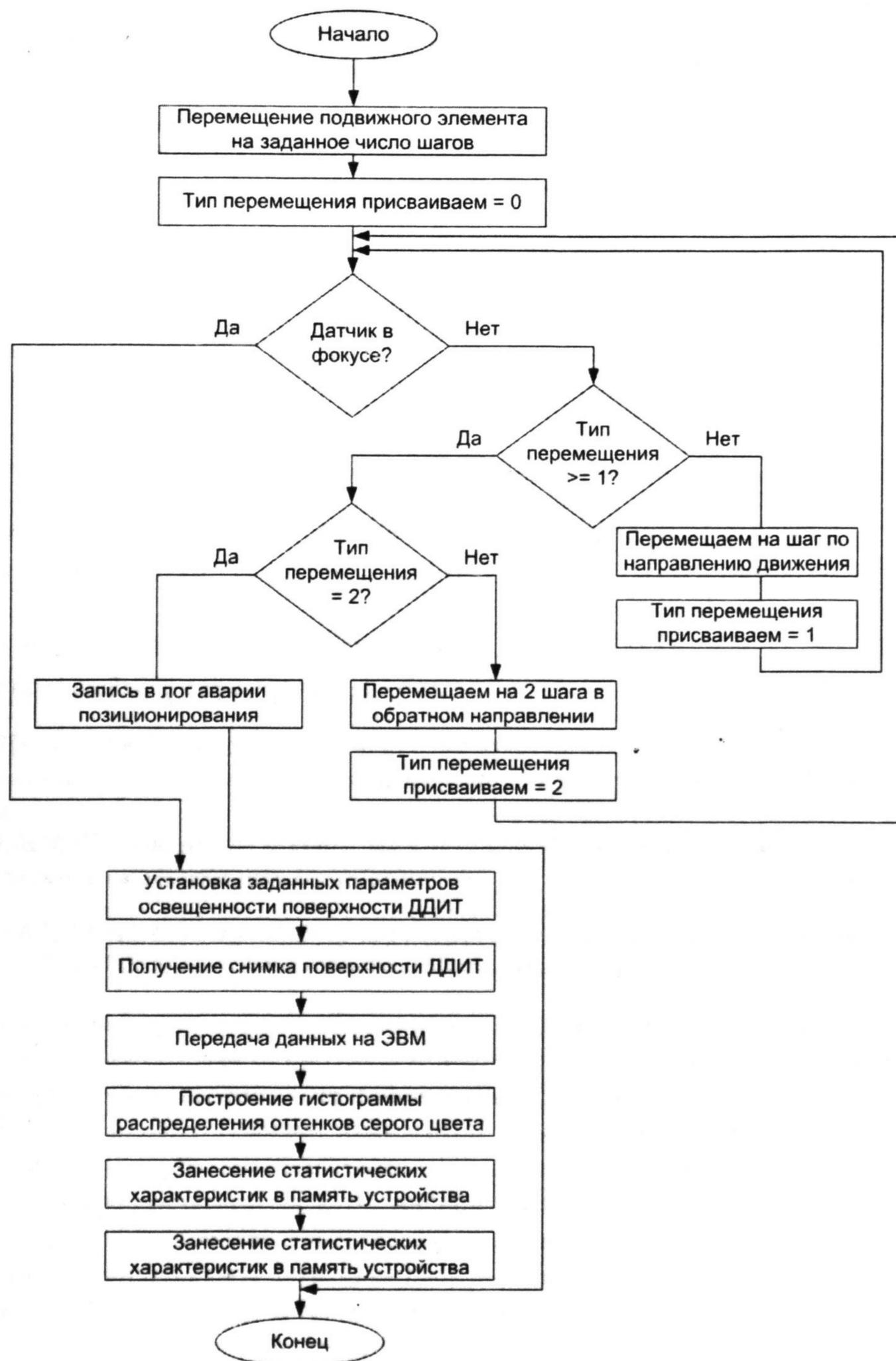


Рис. 4. Алгоритм проведения измерений

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Сызранцев В.Н., Голофаст С.Л. Измерение циклических деформаций и прогнозирование долговечности деталей по показаниям датчиков деформаций интегрального типа. Новосибирск: Наука, 2004. 206 с.

2. Сызранцев В.Н., Голофаст С.Л., Сызранцева К.В. Диагностика нагруженности и ресурса деталей трансмиссий и несущих систем машин по показаниям датчиков деформаций интегрального типа. Новосибирск: Наука, 2004. 188 с.

3. Марголин А.М., Сызранцев В.Н., Кузяков О.Н. Применение датчиков деформации интегрального типа для оценки усталостных изменений оборудования // Известия вузов. Нефть и газ. 2008. № 6. С. 51-58.