

УДК 620.179

ОЦЕНКА МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ КОМПЛЕКСНОГО УЛЬТРАЗВУКОВОГО КОНТРОЛЯ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

С. С. СЕРГЕЕВ, А. М. НИКЕЕВ, О. С. СЕРГЕЕВА

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

UDC 620.179

ASSESSMENT OF METROLOGICAL POSSIBILITIES OF INTEGRATED ULTRASONIC TESTING OF WELDED JOINTS

S. S. SERGEEV, A. M. NIKEEV, O. S. SERGEEVA

Аннотация. Рассмотрены вопросы совершенствования ультразвукового контроля сварных соединений на основе комплексного применения двух современных технологий на основе фазированных решеток и дифракционно-временного метода (TOFD). Проведены экспериментальные исследования и показаны возможности повышения достоверности контроля и точности определения размеров дефектов за счет одновременного использования двух технологий ультразвукового контроля сварных швов с применением автоматизированного сканера.

Ключевые слова: ультразвуковой контроль, фазированная решетка, дифракционно-временной метод, чувствительность, сканер.

Abstract. The issues of improving the ultrasonic testing of welded joints on the basis of the complex application of two modern technologies based on phased arrays and the Time-of-flight diffraction method (TOFD) are considered. Experimental studies have been carried out and the possibilities of increasing the reliability of testing and the accuracy of determining the size of defects due to the simultaneous use of two technologies for ultrasonic testing of welded seams using an automated scanner are shown.

Key words: ultrasonic testing, phased array, Time-of-flight diffraction method, sensitivity, scanner.

На сегодняшний день значимость неразрушающего контроля сварных соединений различных промышленных объектов постоянно возрастает, так как ужесточаются требования к безопасной эксплуатации этих объектов. Среди большого арсенала методов и средств контроля ведущее место по праву занимают ультразвуковые исследования. И здесь следует отметить, что совершенствование технологий ультразвукового неразрушающего контроля промышленных объектов в современных условиях базируется, как правило, не на новых физических явлениях при взаимодействии акустических полей с материалами и средами, а на использовании новых алгоритмов обработки сигналов с формированием и отображением информации в виде, удобном для восприятия оператора. При этом изображение дефектов различного типа, таких как несплошности и включения в виде неоднородностей, формируется на основе первичных

амплитудно-временных или А-разверток. Если формировать пакеты А-разверток при сканировании объектов по одной или двум взаимно перпендикулярным координатам через определенный шаг, то появляется возможность формирования двумерных или трехмерных изображений элементов структуры объекта на мониторе дефектоскопа. В практике сегодня используются различные технологии ультразвукового контроля сварных соединений, в частности, амплитудные и временные с различными схемами прозвучивания объекта. При этом изображения одних и тех же дефектов на экранах дефектоскопов существенно отличаются и по-разному воспринимаются оператором [1].

Для оценки информационных и метрологических возможностей комплексного ультразвукового контроля сварных швов в данной работе были проведены экспериментальные исследования технологии ФАР и технологии дифракционно-временного метода TOFD. При этом основное внимание уделялось погрешностям при определении размеров различных дефектов. В качестве объектов исследования использовались искусственные отражатели в виде боковых отверстий и пазов, имитирующие объемные и плоскостные дефекты.

Технология на основе TOFD-метода реализуется с использованием пары специальных ультразвуковых преобразователей, расположенных по разные стороны от дефекта. Пучок ультразвуковых лучей, излученных одним преобразователем, взаимодействует с поверхностью дефекта и принимается другим преобразователем. Вторичные волны, получившиеся в результате дифракции на концах дефекта, складываются с обычными отраженными волнами и распространяются от кончиков в виде широких пучков лучей. Время прохождения регистрируемых сигналов является мерой оценки высоты дефектов, тем самым позволяя измерить дефект. Размер дефектов всегда определяется временем прохождения дифракционных сигналов. При этом амплитуда сигнала, как правило, не является информационным параметром.

Технология контроля с использованием в качестве преобразователя линейной фазированной решетки основана на возможности программного управления акустическим полем излучения при сканировании объекта. Преобразователь выполняет функции излучателя с переменным углом ввода, т. е. обеспечивается качание луча в определенном диапазоне углов в вертикальной плоскости. Таким образом, можно сформировать специальную секторную развертку, на которой отображается вертикальное сечение объекта контроля с кодированием амплитуды эхо-сигналов от различных неоднородностей с определенной цветовой гаммой. Кроме возможности секторного сканирования, при неподвижном преобразователе имеется возможность управления диаграммой направленности излучателя, т. е. возможность изменения фокусного расстояния и размеров фокусного пятна [2, 3].

Сегодня на рынке имеется достаточно большое количество различных приборов, которые несущественно отличаются по своим метрологическим и функциональным возможностям. В данном случае для реализации технологии ФАР применялся дефектоскоп SIUI SyncScan (рис. 1, а) с частотой преобразователя 4 МГц и диапазоном углов ввода от 30 до 70°. При контроле эхо-импульсным методом использовался прибор УД4-76 (рис. 1, б) с частотой преобразователя 2,5 МГц и углом ввода 65°. В обоих случаях использовалась схема прозвучивания прямым и однократно отраженным лучом. Контроль дифракционно-временным методом проводился также прибором SIUI SyncScan в TOFD-режиме продольными волнами на частоте 5 МГц при угле ввода 60°, размер дефектов определялся по полученным изображениям.

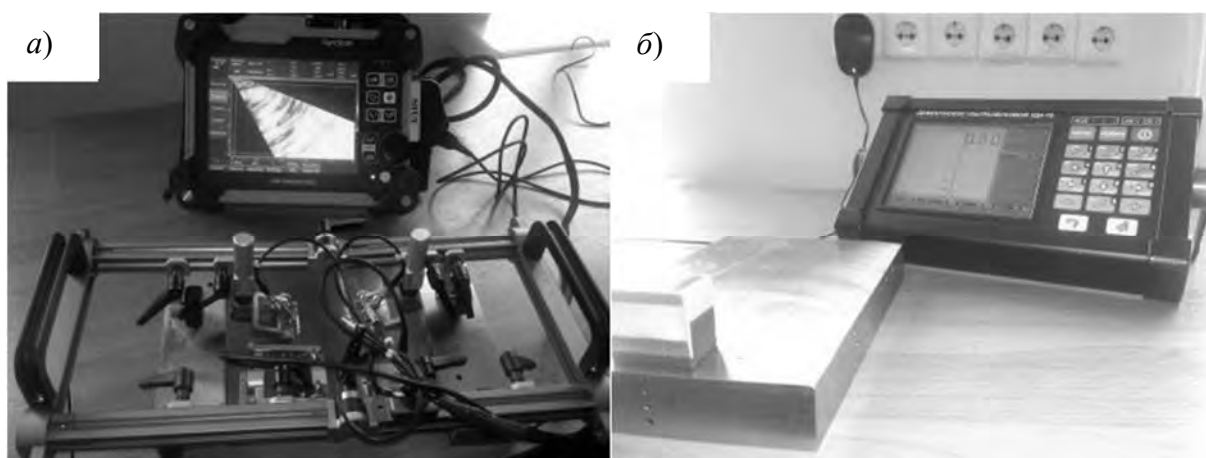


Рис. 1. Оборудование для контроля сварных швов различными методами

Результаты экспериментальных исследований тест-образцов с боковыми отверстиями и вертикальным пазом отображены на графиках (рис. 2 и 3).

Из приведенных графиков видно, что погрешности определения размеров компактных дефектов у технологий ФАР и TOFD сопоставимы и существенно меньше, чем при использовании традиционного эхо-импульсного метода. Кроме того, совершенно очевидно, что при использовании технологии ФАР изображение дефекта на экране дефектоскопа нагляднее и комфортнее по восприятию в сравнении с TOFD и эхо-импульсным методами. Примеры приведены на рис. 4 и 5.

Анализ результатов экспериментов позволяет сделать вывод о том, что технология ФАР обеспечивает высокую достоверность выявления и достаточно высокую точность определения размеров внутренних дефектов типа несплошностей. Однако погрешности измерения размеров дефектов плоскостного типа дифракционно-временным методом существенно меньше, чем фазированными решетками.

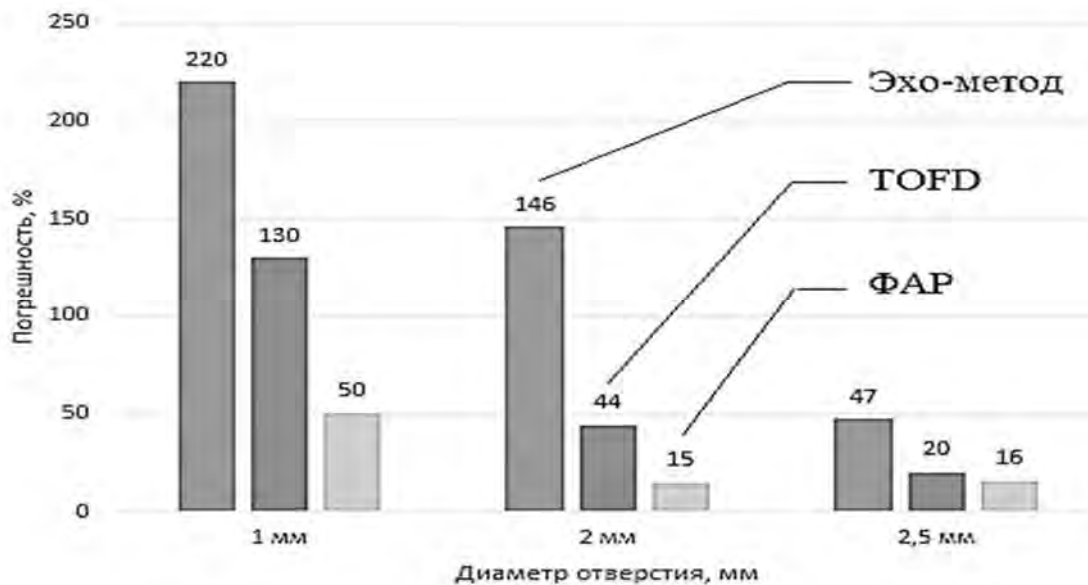


Рис. 2. Погрешность определения размеров бокового отверстия

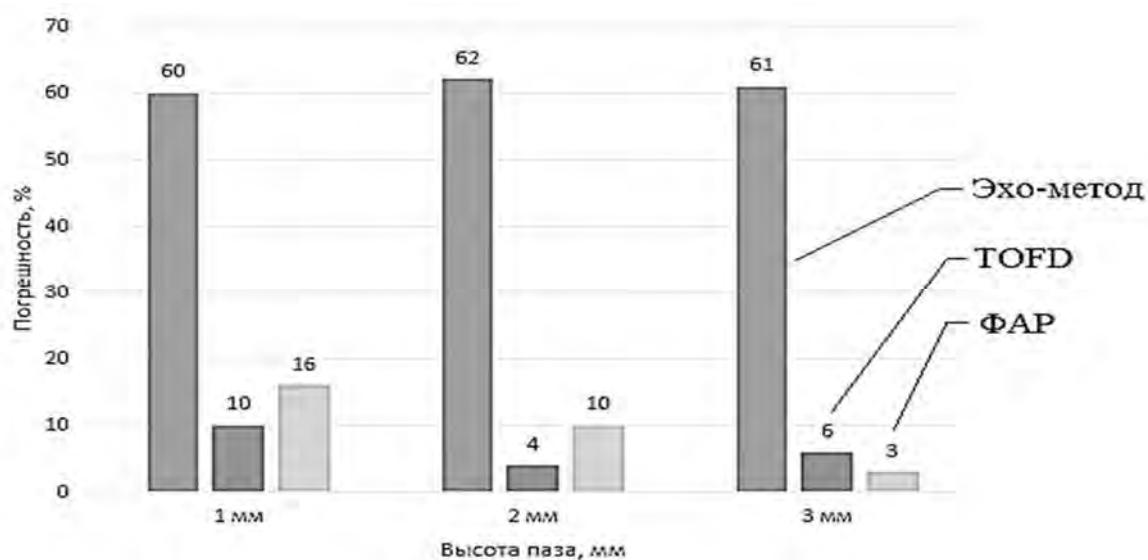


Рис. 3. Погрешность определения высоты паза

Таким образом, можно сделать вывод о том, что высокая достоверность контроля с минимальными погрешностями определения размеров дефектов может быть достигнута при комплексном применении двух современных технологий ультразвукового контроля одновременно. По своей информативности эти технологии дополняют друг друга и облегчают возможности дефектоскопистов при идентификации дефектов и оценке качества сварных швов. Результаты комплексного контроля могут быть положены в основу расчетов на прочность и прогнозирования остаточного ресурса сварных объектов. Таким образом, появляется возможность

объективно определить риск дальнейшей эксплуатации объекта с дефектами и обоснованно разработать программу ремонтных работ.

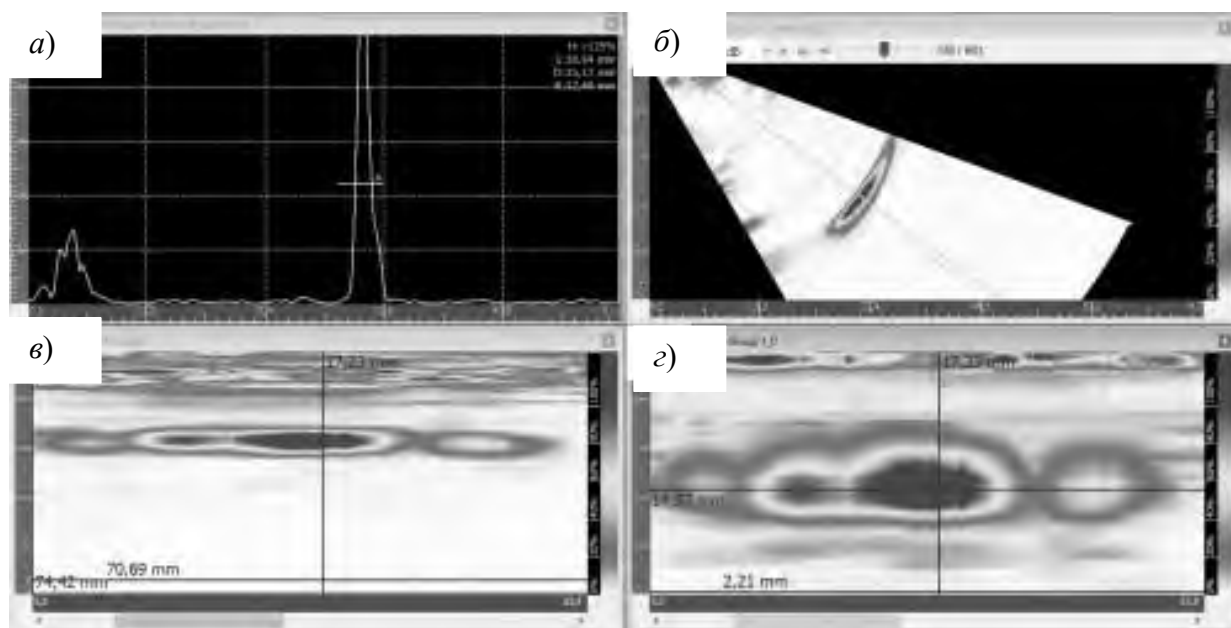


Рис. 4. Отображение дефекта (непровар в корне сварного шва) на экране дефектоскопа SIUI SyncScan ФАР-методом: *a* – A-развертка для стандартного эхо-метода; *б* – вид с торца (S-скан); *в* – вид сверху (C-скан); *г* – вид сбоку (D-скан)

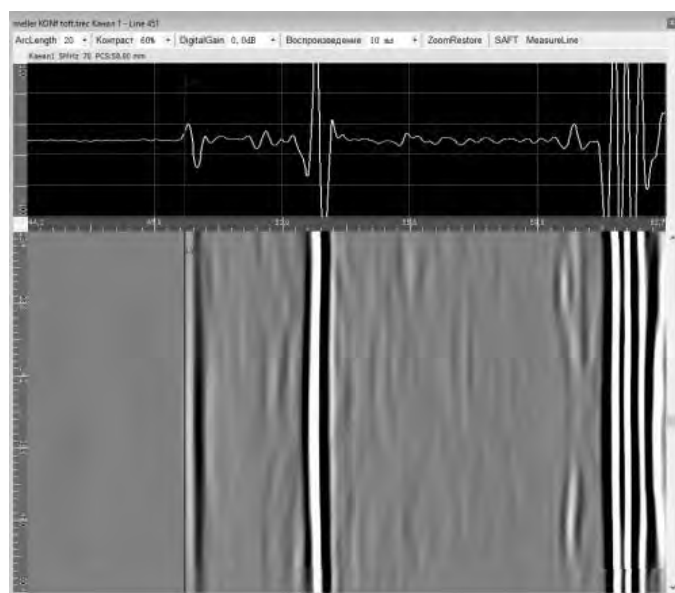


Рис. 5. Отображение дефекта (непровар в корне сварного шва) на экране дефектоскопа SIUI SyncScan дифракционно-временным TOFD-методом

Для автоматизации процесса контроля сегодня часто применяются механизмы сканирования с закрепленной акустической системой (блоком). Рассматриваемые технологии ультразвукового контроля используют продольное сканирование сварного шва, которое проще и надежнее, чем в

системах с возвратно-поступательным сканированием. При этом современные системы оснащаются одноэлементными пьезоэлектрическими датчиками либо многоэлементными датчиками (монолитный корпус с несколькими пьезоэлементами, расположенными под разными углами). Однако в последнее время автоматизированные комплексы стали оснащать блоками с фазированными антенными решетками (ФАР), что значительно повысило информативность проводимого контроля и расширило функциональные возможности таких сканирующих систем, сделав их универсальными.

В данной работе представлено разработанное универсальное переносное сканирующее устройство (рис. 6) для контроля сварных соединений труб, обечаек, цистерн, резервуаров и прочих подобных конструкций.

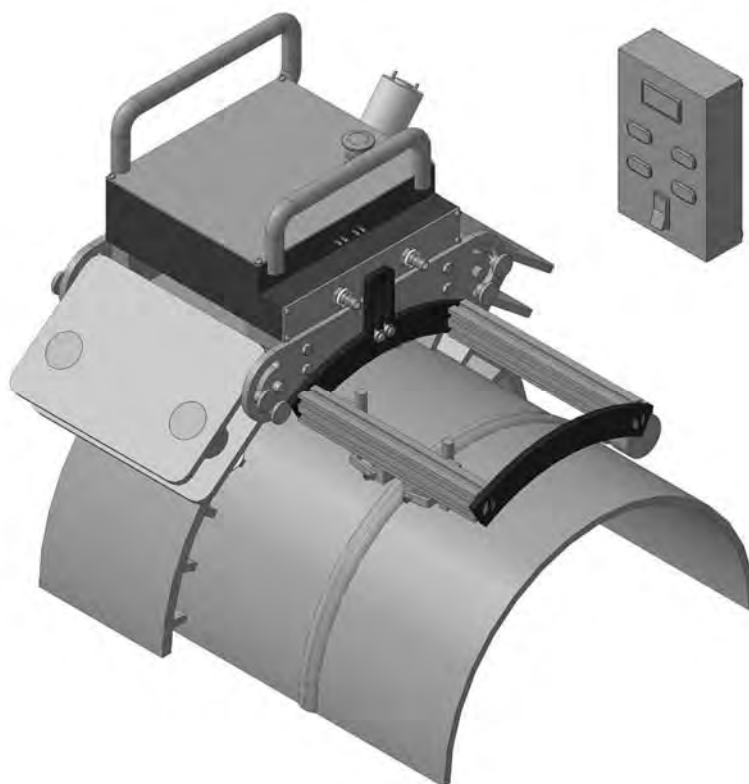


Рис. 6. Универсальное переносное сканирующее устройство

Устройство представляет собой автоматизированную систему, обеспечивающую позиционирование ультразвуковых преобразователей, в том числе и фазированных решеток относительно сварного соединения, прижим ПЭП, перемещение ПЭП вдоль шва.

Структурная схема разработанного сканера обеспечивает перемещение его по заданной траектории вдоль сварного соединения с возможностью регулировки скорости перемещения от 10 до 100 мм/с. При этом в зависимости от выбранных и установленных преобразователей могут быть реализованы одновременно технологии ФАР и TOFD с параллельной

записью результатов контроля. В сканере предусмотрена возможность корректировки положения преобразователей относительно сварного шва, возможность работы на различных типах сварных швов. При этом можно обеспечить заданное позиционирование преобразователей относительно сварного шва и фиксацию координаты перемещения с разрешающей способностью не менее 0,5 мм.

Для эффективной работы сканера необходимо, чтобы блок управления выполнял следующие функции:

- управление шаговым электродвигателем;
- регулирование скорости перемещения сканера;
- возможность дистанционного управления.

Исходя из условия дистанционного управления блок управления состоит из двух частей: блока управления в сканере и пульта управления сканером, соединенных между собой кабелем.

В свою очередь, блок управления состоит из драйвера для контроля электродвигателей, вывода для блока, обеспечивающего питание системы, микроконтроллера управляющий системой (рис. 7).

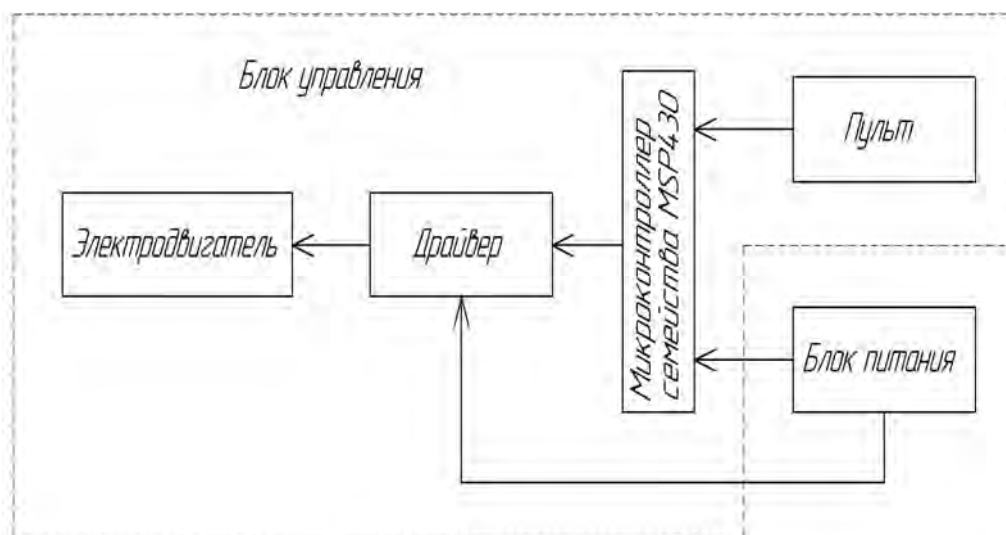


Рис. 7. Структурная схема блока управления

Пульт управления содержит аккумулятор, микроконтроллер, органы управления сканером (кнопки), LCD-дисплей для отображения полезной информации о процессе сканирования, модуль заряда батареи, кнопку выключения (рис. 8).

Разработанный переносной автоматизированный сканер по сравнению с аналогичными устройствами, которые сегодня представлены на рынке, имеет более компактную и удобную форму, возможность модульной замены блоков преобразователей. Конструктивное исполнение обеспечивает возможность контроля более широкого спектра промышленных объектов (сварные кольцевые и продольные швы труб, обечаек, стыковые

соединения пластин и другие объекты сложной формы). Кроме того, следует отметить наличие возможности дистанционного управления с современной следящей системой, а также более приемлемую стоимость по сравнению с подобными устройствами.

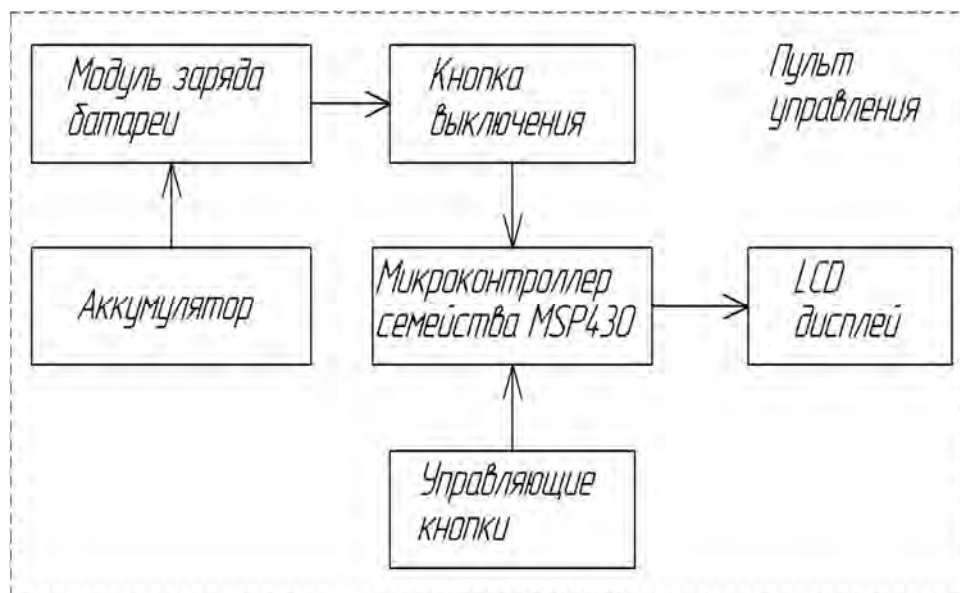


Рис. 8. Структурная схема пульта управления

Разработанное устройство в совокупности с дефектоскопом обеспечивает одновременную реализацию двух эффективных технологий контроля с достаточно высокими метрологическими характеристиками. При этом обеспечивается возможность обнаружения разноориентированных дефектов в сварных соединениях и их распознавания и оценка на новом качественном уровне.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Никеев, А. М.** Сравнительный анализ изображений дефектов при различных технологиях ультразвукового контроля промышленных объектов / А. М. Никеев, С. В. Михеенко // 56-я студ. науч.-техн. конф. – Могилев, 2020. – С. 131.
2. **Мельников, С. Л.** Исследование возможностей технологии фазированных решёток при ультразвуковом контроле сварных соединений / С. Л. Мельников, В. С. Пугачев, С. С. Сергеев // Информационные технологии, энергетика и экономика: тр. XIII Междунар. науч.-техн. конф. – Смоленск, 2016. – С. 324–329.
3. Исследование возможностей TOFD-метода ультразвукового контроля сварных соединений // Информационные технологии, энергетика и экономика: материалы Междунар. науч.-техн. конф. – Смоленск, 2014. – С. 204–207.