

М. П. САВИЧЕВ^{1,2}

В. В. АТРОЩЕНКО^{1,2}, д-р техн. наук, проф.

Ю. В. ЛОГАЧЁВ¹

А. Н. ПАУТОВ²

¹ООО «Головной аттестационно-сертификационный центр Республики Башкортостан» (Уфа, Россия)

²Уфимский университет науки и технологий (Уфа, Россия)

УЛЬТРАЗВУКОВОЙ КОНТРОЛЬ ТОЧЕЧНОЙ СВАРКИ, ВЫПОЛНЕННОЙ МЕТОДАМИ КОНТАКТНОЙ И ЛАЗЕРНОЙ СВАРКИ

Аннотация. Рассмотрены вопросы ультразвукового контроля сварных соединений, полученных методами контактной и лазерной точечной сварки, актуальные для производства автомобильных кузовов. Установлены характерные ультразвуковые сигнатуры для разных типов дефектов. Показано, что признаки дефектов при контроле лазерной и контактной точечной сварки схожи, а значит, для оценки качества соединений, выполненных обоими методами, могут применяться единые критерии.

Ключевые слова: ультразвуковой контроль, контактная точечная сварка, точечная лазерная сварка

Цель данной работы — выделить и систематизировать основные признаки эхо-сигналов, характеризующих некачественную сварную точку, при ультразвуковом контроле (УЗК) контактной точечной и лазерной сварки.

При производстве кузовов автомобиля выштампованные листы соединяются точечной контактной сваркой. А с недавнего времени — также лазерной точечной сваркой и лазерной пайкой. К примеру, на одном только «Тигуане» насчитывается 5166 сварных точек (рис. 1). Обычно при производстве кузовов автомобилей используются стальные листы (в том числе оцинкованные) из углеродистой стали по ГОСТ 9045 – 70, с содержанием углерода не более 0,08% (Сталь 08Ю, Сталь 08Фкп, Сталь 08 кп) [1, 2]. Толщины листов: 0,8 мм; 0,9 мм; 1,0 мм; 1,5 мм; 1,75 мм; 2 мм; 2,25 мм; 2,5 мм; 5 мм. Диаметр сварной точки определяется исходя из толщины самой тонкой пластины по следующей формуле:

$$D = 4\sqrt{d1},$$

где $d1$ – толщина тонкого листа.

Целостность соединений, выполненных методом точечной сварки, является определяющим фактором надежности автомобилей. Каждая сварная точка проходит контроль качества, который включает визуально-измерительный контроль (ВИК) (выполняемый чаще всего роботами, оборудованными фотоэлементами), а также выборочный УЗК. На настоящий момент нет нормативного документа, регламентирующего УЗК контактной точечной сварки и существует несколько вариантов применимого для этой задачи оборудования:

1) обычный дефектоскоп и датчик с линией задержки или с водяным столбом, при этом дефектоскопист на основе анализа А-скана [3] принимает решение о браке (рис. 2, б);

2) специализированное оборудование ScanMaster UT/mate, которое отличается автоматическим анализом и архивированием полученных А-сканов (рис.2, в) [4];

3) ультразвуковая антенная решетка с линией задержки (С-скан), в том числе С-скан, полученный при перемещении датчика по спиральной траектории [4-7].

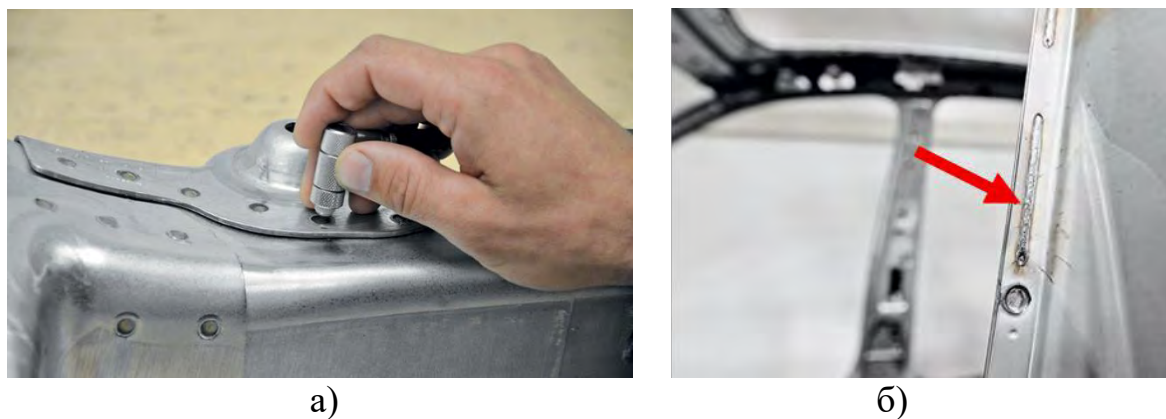


Рис. 1. Пример сварных соединений кузова автомобиля: а) контактная точечная сварка; б) лазерная сварка на боковине кузова кроссовера «Tiguan»

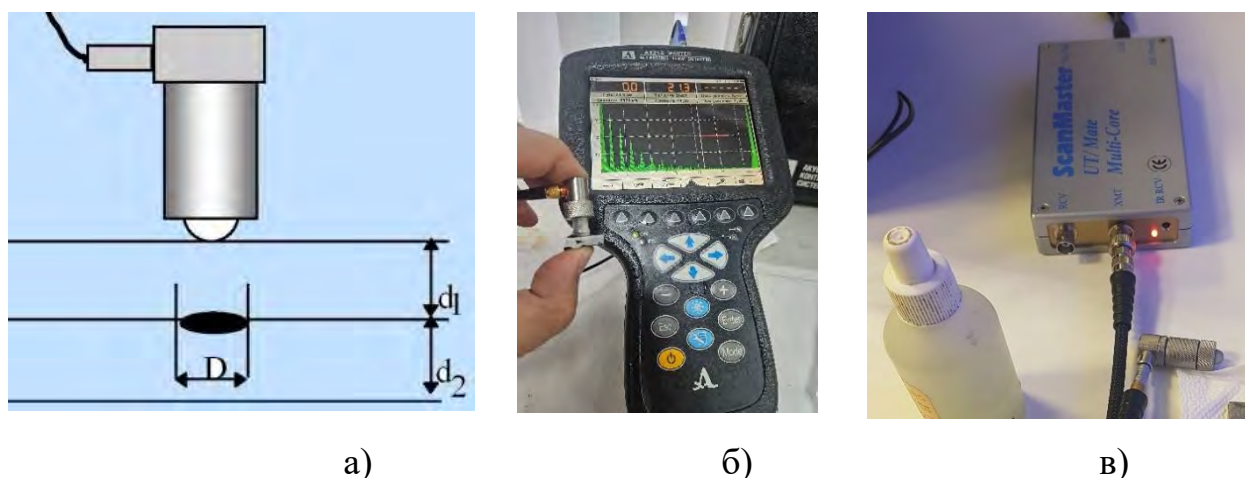


Рис. 2. УЗК контактной точечной сварки: а) схема контроля преобразователем с линией задержки: D- диаметр ядра: d1 – толщина наиболее тонкого листа; б) дефектоскоп A1212 «Мастер»; в) дефектоскоп «ScanMaster UT/mate»

Рабочая частота (F) датчика, необходимая для контроля пластины заданной толщины (d1) при скорости продольных ультразвуковых волн (с), приблизительно дается формулой:

$$F > 3 \times c / d1.$$

В ходе данной работы сваривались внахлест две пластины толщиной 1,5 мм из стали СтЗсп на машине контактной точечной сварки МТП-150-7 (рис. 3) и на ручном лазере Deonix Apollo LWD-2000 (рис. 4). Сварку производили на разных режимах для получения как качественных, так и дефектных точек. Качество сварной точки на каждом режиме оценивалось по макрошлифам. При толщине 1,5 мм + 1,5 мм диаметр сварной точки должен быть 5 мм, а частота необходимого ультразвукового датчика (ПЭП) свыше 11 МГц.

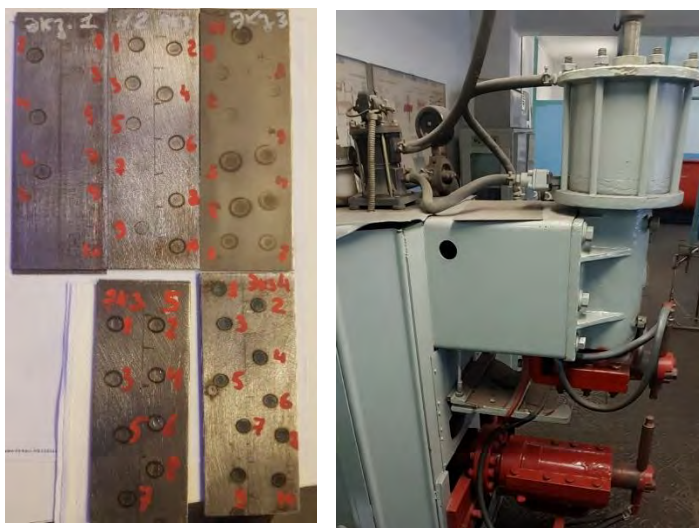


Рис. 3. Точечная контактная сварка пластин

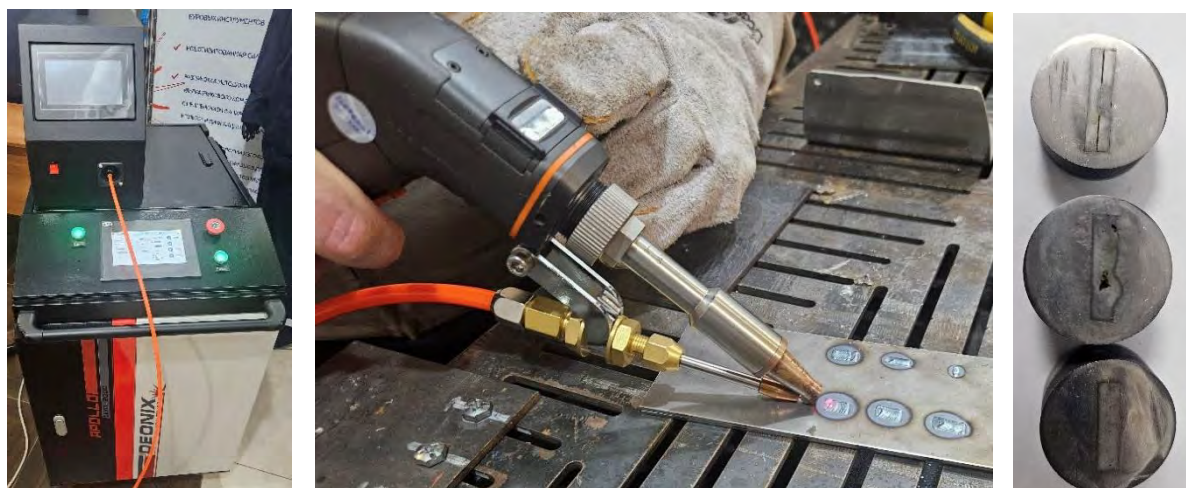


Рис. 4. Точечная лазерная сварка пластин и полученные макрошлифы

В ходе эксперимента ультразвуковой контроль сварных точек, полученных обоими способами сварки, производился на дефектоскопе A1212 «Мастер» с использованием преобразователя DL15P6 (15 МГц) со сменной линией задержки KL13-4R ($h=13\text{мм}$) (рис. 2, б). Также в работе приведены результаты УЗК, полученные ранее на дефектоскопе «ScanMaster UT/mate» для контактной точечной сварки (рис. 2, в).

В результате эксперимента были выделены основные признаки сигналов от качественных и дефектных сварных точек. Для обоих способов сварки (контактной и лазерной) данные признаки оказались схожими. Так, ультразвуковую сигнатуру качественного точечного сварного соединения можно описать следующим образом (рис. 5):

- отчетливо видны не менее 6 повторяющихся эхо-сигналов с амплитудой выше уровня шумов. При этом амплитуда первого эхо-сигнала в опытах устанавливалась равной 80% от высоты экрана, а уровень фонового шума составлял около 10% высоты экрана. Ослабление амплитуды (коэффициент

затухания) определяется структурой зерен металла сварной точки, коррелирует с качеством сварки и для лазерной сварки происходило быстрее;

– расстояние между последовательно повторяющимися сигналами соответствует совокупной толщине двух сваренных пластин (3 мм).

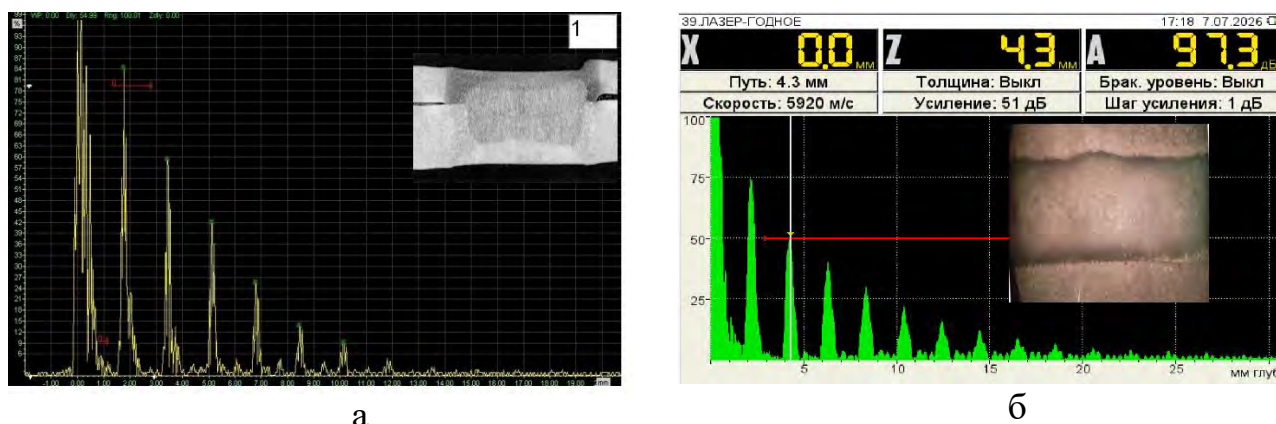


Рис. 5. Ультразвуковая сигнатура качественного сварного соединения: а) контактной точечной сварки; б) лазерной сварки

При наличии несплавления (рис. 6) характерен повторяющийся рисунок эхо-сигналов, расстояние между которыми соответствует толщине верхней пластины (1,5 мм). Ослабление амплитуды (коэффициент затухания) в данном случае отличается, т.к. определяется структурой основного металла верхней пластины (ввиду отсутствия сварной точки).

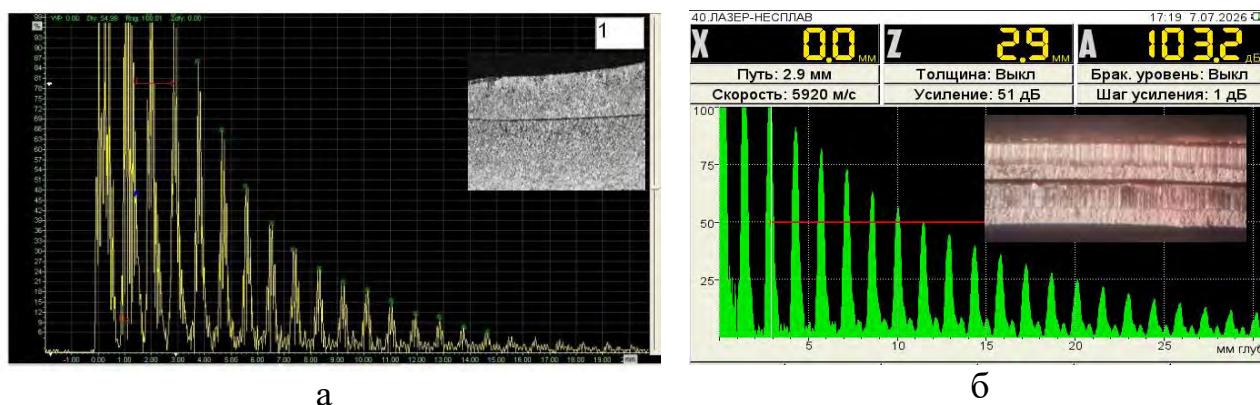


Рис. 6. Ультразвуковая сигнатура несплавления (отсутствия соединения): а) контактной точечной сварки; б) лазерной сварки

Для сварного соединения с малым размером сварной точки основная последовательность эхо-сигналов аналогична той, которая характерна для качественной сварки (рис.7). Но так как размер пьезоэлемента выбирается по диаметру сварной точки и в данном случае выходит за ее границы, то появляются эхо-сигналы от верхней пластины. Огибающая промежуточных эхо-сигналов при этом будет иметь максимум амплитуды в центре А-скана. По этому признаку можно отличить малый размер сварной точки от дефектов типа непровара (рис. 8) или дефектов в самой сварной точке (рис.9).

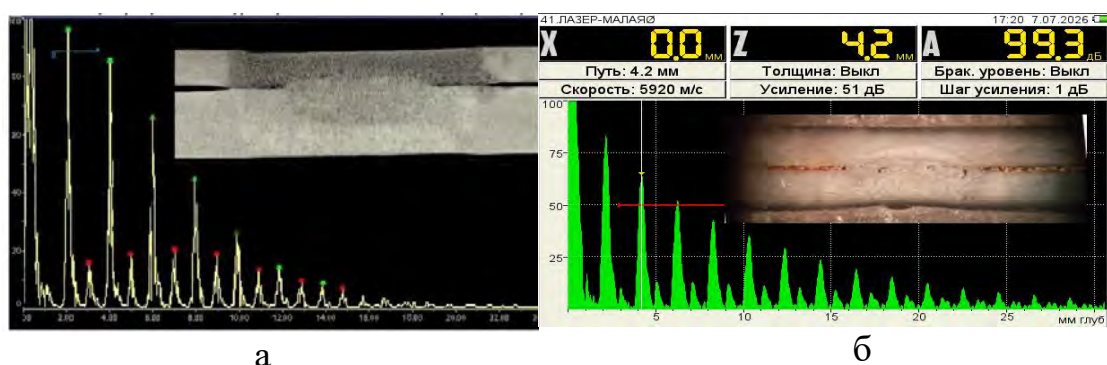


Рис. 7. Ультразвуковая сигнатура сварного соединения с малым размером сварной точки: а) контактной точечной сварки; б) лазерной сварки

У непроваренного соединения (когда свариваемые поверхности сблизались, но сварная точка не образовалась) (рис. 8). характерно меньшее ослабление амплитуды (коэффициента затухания) по сравнению с качественной сваркой. А также наблюдается эхо-сигнал от задней стенки верхней пластины.

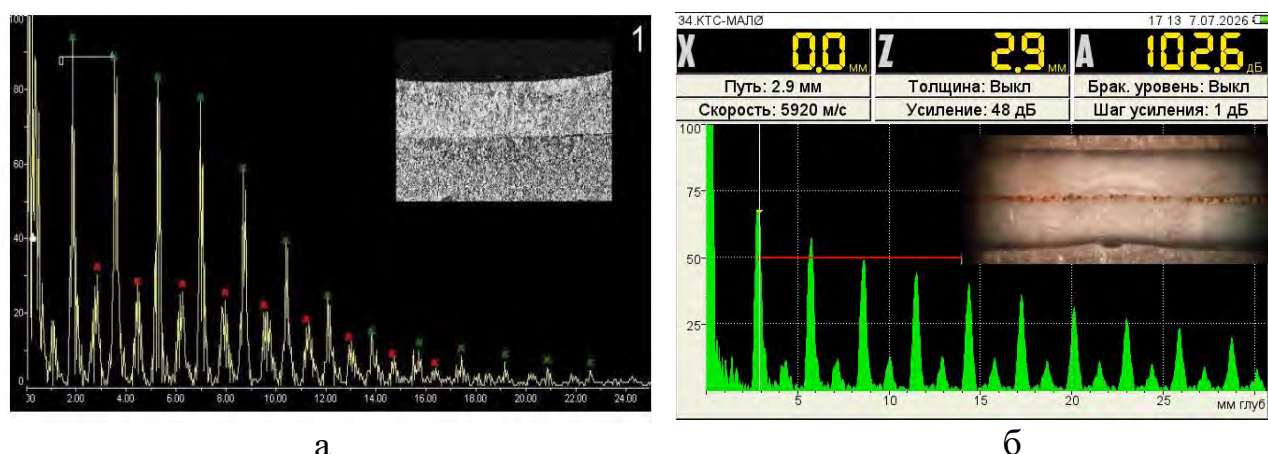


Рис. 8. Ультразвуковая сигнатура сварного соединения с непроваром: а) контактной точечной сварки; б) лазерной сварки

Основной рисунок эхо-сигналов от сварного соединения с дефектами сварной точки аналогичен тому, который характерен для качественной сварки (рис. 9). С расстоянием между основными эхо-сигналами, равным удвоенной толщине. Однако, так как первый (зондирующий) ультразвуковой сигнал частично отражается от пор (дефектов) сварной точки, то это вызывает быстрое затухание последующих эхо-сигналов до уровня шумов (наблюдается менее 6 эхо-сигналов). При этом характерно присутствие промежуточных эхо-сигналов, соответствующих глубине расположения дефекта от поверхности.

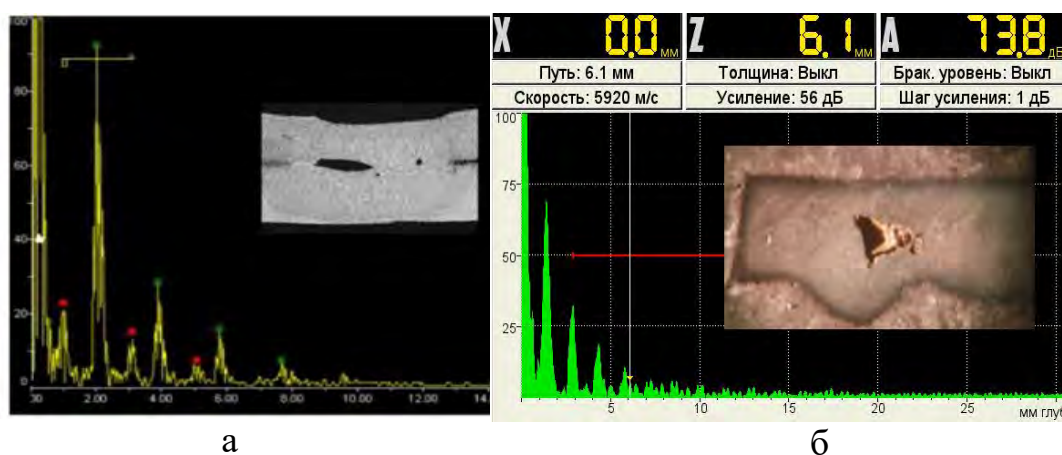


Рис. 9. Ультразвуковая сигнатура сварного соединения с дефектами сварной точки: а) контактной точечной сварки; б) лазерной сварки

Выводы. Основными признаками, позволяющими выявить дефектную сварную точку, являются: изменение коэффициента затухания и совокупной длины последовательности повторяющихся эхо-сигналов; изменение расстояния между последовательно повторяющимися эхо-сигналами (не соответствие расстояния общей толщине конструкции); появление промежуточных эхо сигналов с амплитудой выше фоновое шума.

При этом для оценки ультразвуковой сигнатуры точечной лазерной сварки могут быть применены те же критерии, что и для контактной точечной сварки.

Список литературы

1. Обзор способов сварки элементов кузовов автомобилей В.М. Мещеряков, Е.Е. Косенко, В.В. Косенко, В.С. Крымский. Электронный научный журнал «Инженерный вестник Дона», №1 (2018) ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2018/4702.
2. Что может лазер: сварка VW Polo в Калуге [Электронный ресурс] // 5 Колесо. — URL: (дата обращения: 01.07.2026).
3. Roberts D., Mason J., Lewis C. Ultrasonic spot weld testing with automatic classification // Science and Technology of Welding and Joining. 2002. Т. 7. № 1. С. 47-50.
4. Ambroziak A. Ultrasonic quality control methods for spot-welded joints // Welding International. 2011. Т. 25. № 12. С. 927-932.
5. Reverdy F. Inspection of Spot Welds Using an Ultrasonic Phased Array // AIP Conference Proceedings. : AIP, 2004. С. 801-808.
6. Liu J. и др. Ultrasonic C-scan Detection for Stainless Steel Spot Welds Based on Signal Analysis in Frequency Domain // ISIJ International. 2014. Т. 54. № 8. С. 1876-1882.
7. Takada H. и др. Ultrasonic Method for Testing Spot-Welds // Journal of the Japan Institute of Metals. 2012. Т. 76. № 9. С. 555-562.

Контакты:

savichevmax@mail.ru (Савичев Максим Павлович);
 91250@mail.ru (Атрощенко Валерий Владимирович);
 logachev.sts@mail.ru (Логачёв Юрий Владимирович);
 njkzytrol@inbox.ru (Паутов Анатолий Николаевич).