

## Лабораторная работа №1

# ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ИНДУКТОРОВ-ИНСТРУМЕНТОВ МАГНИТНО-ИМПУЛЬСНОЙ РИХТОВКИ КУЗОВОВ АВТОМОБИЛЕЙ

### Оборудование для магнитно-импульсной рихтовки

Магнитно-импульсные комплексы для внешнего устранения вмятин (или внешней рихтовки) в повреждённых корпусах транспортных средств, фактически, представляют собой лишь частный случай оборудования для реализации обрабатывающих технологий значительно более общего плана.

Это совокупность технологий с достаточно широким перечнем номенклатурных приложений, объединённых признаком использования энергии электромагнитных полей и получивших название «Магнитно-импульсная обработка металлов» (МИОМ).

В принципиальной схеме оборудования для магнитно-импульсной рихтовки так же, как и в любой системе для магнитно-импульсной обработки металлов, по функциональным признакам можно выделить два основных блока. Это – **высоковольтная** и **индукторная системы**.

Первый блок – **высоковольтная система** – функционально предназначен для накопления электрической энергии и выделения её в индукторной системе.

Второй блок – **индукторная система** – состоит собственно из индуктора – генератора магнитного поля и обрабатываемого листового металла, с поверхности которого удаляется вмятина. Отметим, что особенность магнитно-импульсного метода, обеспечивающего силовое воздействие, состоит в том, что действенность индуктора-инструмента следует рассматривать только в совокупности с обрабатываемым объектом. Этот факт обусловлен физикой процессов, заложенных в принцип действия метода.

Индукторная система представляет собой инструмент магнитно-импульсного метода, функциональное назначение которого состоит в выполнении определённого производственного задания, в рассматриваемом случае – внешней рихтовки металлических элементов кузовных покрытий автомобилей с помощью развиваемых сил притяжения.

Итак, **источник энергии** – это высоковольтная система, которая в технической литературе соответствующего профиля получила название **МАГНИТНО-ИМПУЛЬСНОЙ УСТАНОВКИ**. **Инструмент** – это комплекс «индуктор – металл с вмятиной, подлежащей удалению», называемый **ИНДУКТОРНОЙ СИСТЕМОЙ**.

Таким образом, магнитно-импульсная установка плюс индукторная система есть техническое оборудование для внешней рихтовки поверхностей металлических листов с вмятинами с помощью энергии импульсных магнитных полей.

Для эффективной практической реализации магнитно-импульсных методов необходим индуктор-инструмент (индукторная система), который трансформирует энергию, накопленную в емкостных накопителях магнитно-импульсной установки (МИУ), в энергию импульсного магнитного поля. Эффективность (КПД) данного процесса определяется соотношением электротехнических параметров МИУ и инструмента-индуктора. Наиболее важным из которых является индуктивность. Зная индуктивность индукторов-инструментов, и согласуя их с индуктивностью источника мощности-МИУ, можно добиться эффективного выполнения необходимой производственной операции методами МИОМ

**Цель работы:** экспериментальное измерение основного параметра – индуктивности индукторов-инструментов для магнитно-импульсных методов кузовного ремонта автотранспортных средств.

### Задачи

1. Измерение индуктивности комплекса для имитации процессов в инструментах магнитно-импульсной рихтовки вмятин в элементах автомобильных кузовов.
2. Измерение индуктивности индукционной индукторной системы (ИИС) с массивным дополнительным экраном и цилиндрическим индуктором (рис. 1, а).
3. Измерение индуктивности ИИС с тонкостенным дополнительным экраном и цилиндрическим индуктором (рис. 1, б).
4. Измерение индуктивности ИИС с тонкостенным дополнительным экраном и индуктором прямоугольной формы (рис. 1, в).
5. Измерение индуктивности цилиндрического массивного индуктора, рабочая область которого в сечении имеет форму усеченного конуса (рис. 1, г).
6. Измерение индуктивности ИИС с массивным дополнительным экраном и двухвитковым цилиндрическим индуктором (рис. 1, д).

В перечисленных задачах упоминаются массивный и тонкостенный дополнительный экран. Для большей наглядности поставленных задач следует раскрыть физическую значимость данных определений.

Металлическую заготовку следует считать тонкостенной, если для нее выполняется условие:

$$\omega \cdot \tau \ll 1, \quad (1)$$

где  $\omega$  – угловая частота спектра действующего магнитного поля;  $\tau$  – характерное время диффузии поля в проводящий слой с электропроводностью  $\gamma$  и толщиной  $d$ ,  $\tau = \mu_r \cdot \mu_0 \cdot \gamma \cdot d^2$ .

Для выяснения физического значения условия тонкостенности преобразуем его так, чтобы выделить отношение толщины проводящего слоя –  $d$  к эффективной глубине проникновения поля –  $\delta$ .

После несложных преобразований в выражении (1) получаем эквивалентное неравенство:

$$\left(\frac{d}{\delta}\right) \ll \frac{1}{\sqrt{2}}, \quad (2)$$

где  $\delta = \sqrt{\frac{2}{\omega \cdot \mu \cdot \gamma}}$ ,

$\mu$  – абсолютная магнитная проницаемость среды.  $\mu = \mu_0 \cdot \mu_r$ ,  $\mu_r$  – магнитная проницаемость металла.

Соотношение (2) количественно показывает, что металлическая заготовка является тонкостенной с физической точки зрения, если ее толщина много меньше эффективной глубины проникновения поля в среду с идентичными параметрами.

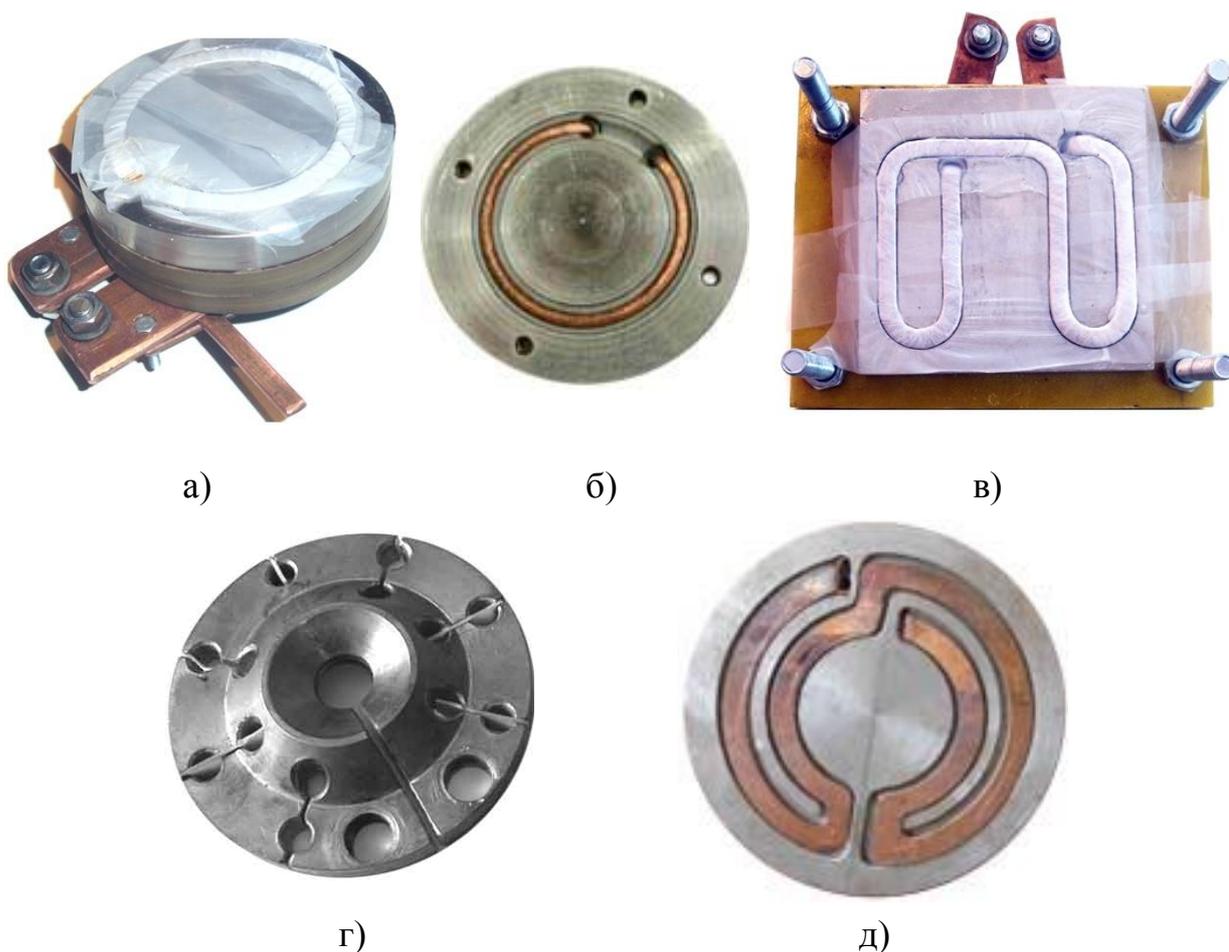


Рис. 1 Исследуемые индукторы-инструменты, а – с массивным дополнительным экраном и цилиндрическим индуктором; б – с тонкостенным дополнительным экраном и цилиндрическим индуктором; в – с тонкостенным дополнительным экраном и индуктором прямоугольной формы; г – рабочая область которого в сечении имеет форму усеченного конуса; д – с массивным дополнительным экраном и двухвитковым цилиндрическим индуктором

### Условия и ход работы

Экспериментальные исследования проводятся на комплексе для имитации и моделирования процессов в инструментах магнитно-импульсной обработки металлов «МАЛЫШ», разработанного в лаборатории электромагнитных технологий ХНАДУ, рис. 2

Технические характеристики комплекса:

- напряжение питающей сети  $\sim U_c = 220$  В;
- напряжение заряда емкостных накопителей  $U_3 = 650$  В;
- ёмкость конденсаторов комплекса  $C = 33$  мкФ;
- частота следования разрядных импульсов  $f_{\text{имп}} = 20$  Гц.
- собственная частота разрядного импульса  $\sim 30$  кГц;
- амплитуда тока в импульсе, при работе на закороченный выход 3000 А;
- разрядный импульс – затухающая синусоида.

Осциллограммы сигналов измеряются в разрядной цепи комплекса с помощью цифрового осциллографа PV6501 через включенный в разрядную цепь шунт с сопротивлением  $R_{\text{ш.}} = 12,5 \cdot 10^{-3}$  Ом.



Рис. 2 Комплекс для имитации и моделирования процессов в инструментах магнитно-импульсной обработки металлов «малыш».

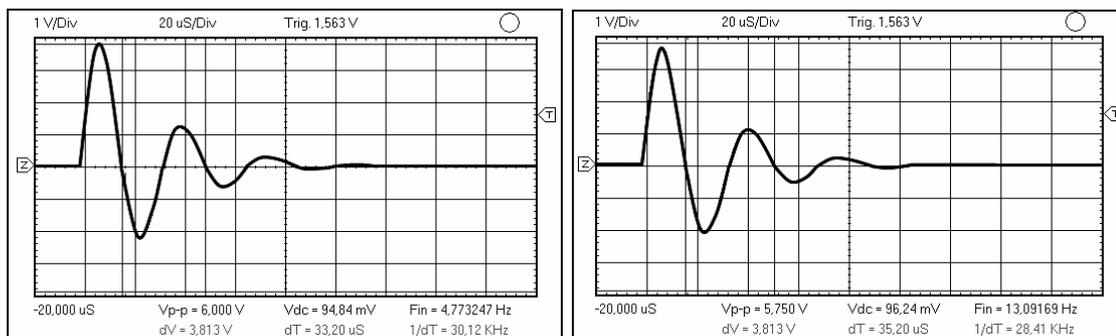
Типовые осциллограммы сигналов, измеренные в соответствии с поставленными задачами, представлены на рис. 3.

Параметр индуктивности  $L$  вычислялся по измеренным осциллограммам по формуле:

$$L = \frac{1}{\omega^2 \cdot C} \quad (3)$$

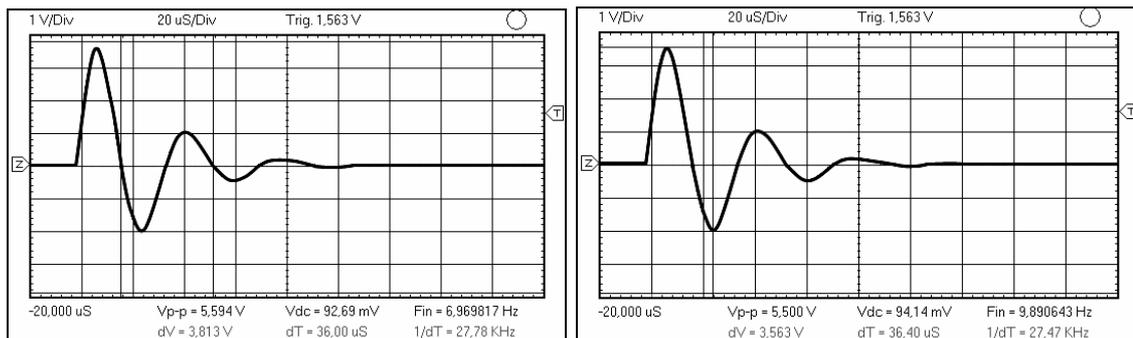
где  $\omega = 2\pi f$  – угловая частота разрядного импульса, рад/с;

$C$  – ёмкость накопителя энергии, Ф.



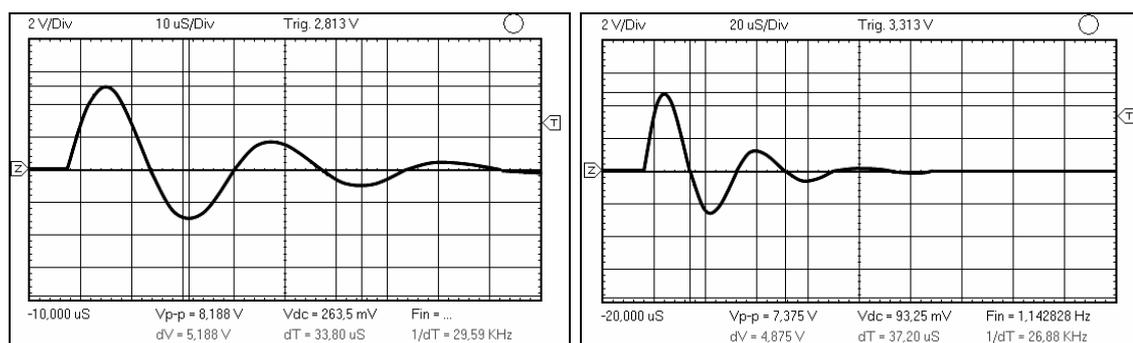
а)

б)



в)

г)



д)

е)

а) собственный разрядный импульс комплекса; б) ИИС с массивным дополнительным экраном и цилиндрическим индуктором; в) ИИС с тонкостенным дополнительным экраном и цилиндрическим индуктором; г)

ИИС с тонкостенным дополнительным экраном и индуктором прямоугольной формы; д) цилиндрический массивный индуктор, рабочая область которого в сечении имеет форму усеченного конуса; е) ИИС с массивным дополнительным экраном и двухвитковой цилиндрическим индуктором

Рис. 3 Осциллограммы разрядных сигналов

Результаты обработки измеренных осциллограмм сводятся в табл.1.

Таблица 1

Обработка экспериментальных исследований индукторов-инструментов

Исследуемое устройство	Частота сигнала, $f$ , кГц	Индуктивность $L$ , нГн
Комплекс для имитации процессов		
ИИС с массивным дополнительным экраном и цилиндрическим индуктором (рис. 1, а)		
ИИС с тонкостенным дополнительным экраном и цилиндрическим индуктором (рис. 1, б)		
ИИС с тонкостенным дополнительным экраном и индуктором прямоугольной формы (рис. 1, в)		
Цилиндрический массивный индуктор, рабочая область которого в сечении имеет форму усеченного конуса (рис. 1, г)		
ИИС с массивным дополнительным экраном и двухвитковым цилиндрическим индуктором (рис. 1, д)		

В соответствии с проведенными исследованиями делаются выводы по работе.

**В отчете по лабораторной работе должны быть отражены следующие вопросы:**

1. Название работы.
2. Цель работы.
3. Задачи проводимых исследований.
4. Характеристики лабораторного оборудования
5. Измеренные осциллограммы в соответствии с поставленными задачами.
6. Ход и результаты численной обработки измеренных осциллограмм. Сводная таблица полученных данных.
7. Выводы по проведенным исследованиям.

#### Вопросы для самопроверки

1. Актуальность разработок технических систем и устройств, позволяющих производить, так называемую, внешнюю рихтовку без разборки корпуса или кузова и без нарушения существующего защитного (возможно лакокрасочного) покрытия, почему?
2. В чём состоит перспективность магнитно-импульсных технологий для современной промышленности и промышленности будущего?
3. Альтернативные методы внешнего устранения вмятин, перечислить?
4. Общая характеристика многократного силового воздействия серией импульсов?
5. Индукционные индукторные системы, схема и принцип действия?

6. Состав и назначение оборудования для магнитно-импульсной обработки металлов.
7. Назначение вспомогательного экрана в индукционной индукторной системе.
8. Какова отличительная особенность полевых методов воздействия является?
9. Где конкретно в технике МИОМ происходит трансформация энергии поля в механическую работу?
10. Что лежит в основе механизма силового воздействия для проводников?
11. Чем является индукторная система в технике МИОМ?
12. Чем определяется индуктивность системы магнитно-импульсной обработки металлов?
13. Какие силы лежат в основе магнитного давления на проводник при МИОМ?
14. Какие силы лежат в основе притяжения обрабатываемого металла в технике МИОМ?
15. Какие основные условия должны быть соблюдены при выполнении операции магнитно-импульсной рихтовки тонкостенного листового металла?
16. В каком случае в технике МИОМ проводник называют «непрозрачным»?