

## АНАЛИЗ ПАРАМЕТРОВ МАГНИТНЫХ ИНДУКТОРОВ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ЗЕМЛЯНИКИ САДОВОЙ

*Хорт Д.О., Филиппов Р.А., Кутырёв А.И.*

**Ключевые слова:** магнитно-импульсная обработка, плоская спиральная катушка, моделирование, облучение растений, автоматизированный агрегат.

**Аннотация.** Выявлено, что для проведения технологической операции магнитно-импульсной обработки (МИО) в полевых условиях наиболее подходящим является использование плоской спиральной катушки. Анализ диаграмм со стендовых испытаний показал, что для соблюдения режимов МИО растений с частотой следования импульсов 8-32 Гц и мощностью излучения 0,3-5 мТл необходимо обеспечить расстояние между разработанными рабочими органами автоматизированного агрегата магнитно-импульсной обработки и растениями 10-250 мм.

## ANALYSIS PARAMETERS OF MAGNETIC INDUCTORS FOR TREATING STRAWBERRIES

*Khort D.O., Filippov R.A., Kutyrëv A.I.*

**Keywords:** magnetic-pulse processing, a planar spiral coil, modeling, irradiation plants, automated assembly.

**Abstract.** It is revealed that for carrying out technological operation of magnetic pulse treatment (MPT) in field conditions the use of a flat spiral coil is most suitable. Analysis of the diagrams from bench tests showed that to obtain the maximum effect MPT of plants with a pulse repetition rate of 8–32 Hz and a radiation power of 0,3-5 mT, it is necessary to ensure the distance between the working bodies of the automated magnetic-pulse processing unit and the plants of 10-250 mm.

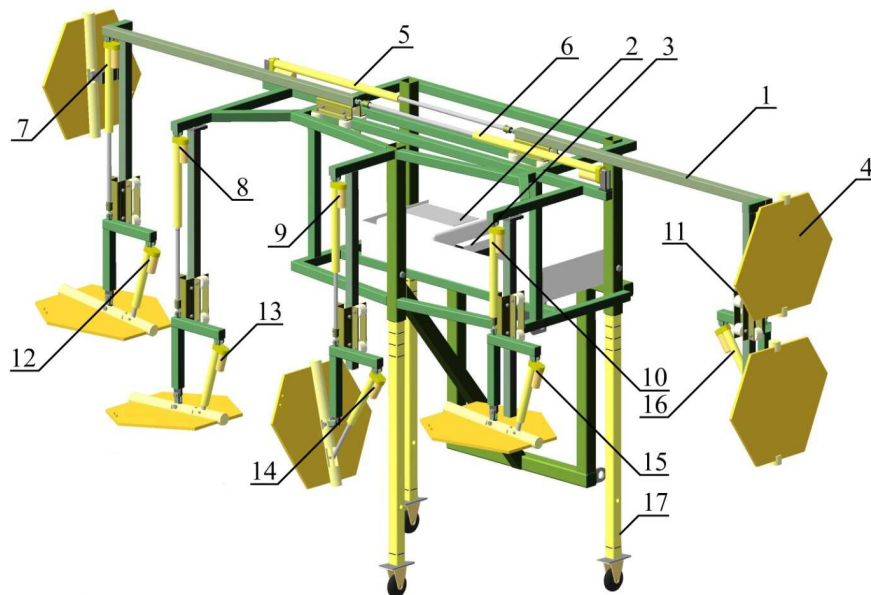
Эффективность воздействия на растения магнитно-импульсной обработки зависит как от свойств облучаемого объекта, так и от параметров воздействия [1].

Используя методы математического моделирования теоретической механики и оптимального проектирования, в САПР «КОМПАС-3D v17» разработан комплект конструкторской документации автоматизированного агрегата [2] и визуализирована 3D модель (рис. 1). Для разработки рабочих органов агрегата и создания в зоне облучения растений необходимого значения МП [5,6] проведено компьютерное моделирование различных вариантов катушек индуктивности. В качестве основного инструмента для решения указанных задач использован САЕ-программный комплекс Elcut 6.3 Professional конечно элементного моделирования.

В осесимметричной постановке (цилиндрическая симметрия) модуля магнитостатики Elcut изображены геометрические 2D модели верхней части сечения катушек и построена сетка конечных элементов. Заданы граничные условия области расчёта и их физические свойства.

Воздух и медные витки с магнитной проницаемостью  $\mu = 1$ , источник поля  $i = 1$  А и граница с магнитным потенциалом  $A = A_0$ . Проведено моделирование и анализ распределения магнитного поля одновитковых катушек, плоских спиральных катушек (рис. 2), катушек Гельмгольца,

Максвелла, Брукса, многовитковых катушек (соленоид). Задан контур вдоль оси, получены графики распределения магнитной индукции вдоль оси и спектр картины поля.



1 – рама автоматизированного агрегата; 2 – Блок управления аппарата МИО растений; 3 – инвертор; 4 – рабочие органы (индукторы); 5,6 – электроцилиндры изменения ширины захвата агрегата; 7,8,9,10,11 – электроцилиндры поддержания заданного расстояния между индукторами и растениями; 12,13,14,15,16 – электроцилиндры изменения угла наклона; 17 – съемные колеса

Рис. 1. 3D модель автоматизированного агрегата магнитно-импульсной обработки растений

Анализ распределения МП различных катушек индуктивности показал, что наиболее подходящим является использование плоской спиральной катушки. В результате теоретических и экспериментальных исследований установлены рациональные параметры плоской спиральной катушки для выполнения технологической операции МИО в полевых условиях: 48 витков одножильного кабеля, сечение кабеля 2,5 мм<sup>2</sup>, наружный диаметр катушки 400 мм, внутренний диаметр катушки 30 мм, индуктивность 373 мкГн. Данная катушка удовлетворяет требованиям по уровню магнитной индукции, проста по устройству и позволяет получить достаточно однородное поле, используя меньше обмотки.

По результатам моделирования распределения МП разработан магнитный индуктор из плоской катушки. Для подтверждения результатов конечно-элементного моделирования МП и создания в зоне обработки растений МП, соответствующего выбранным параметрам на изготовленном лабораторном стенде с помощью миллитесламетра ТПУ проведено измерение распределения магнитного поля, генерирующего блоком управления аппарата МИО [3] на различных режимах.

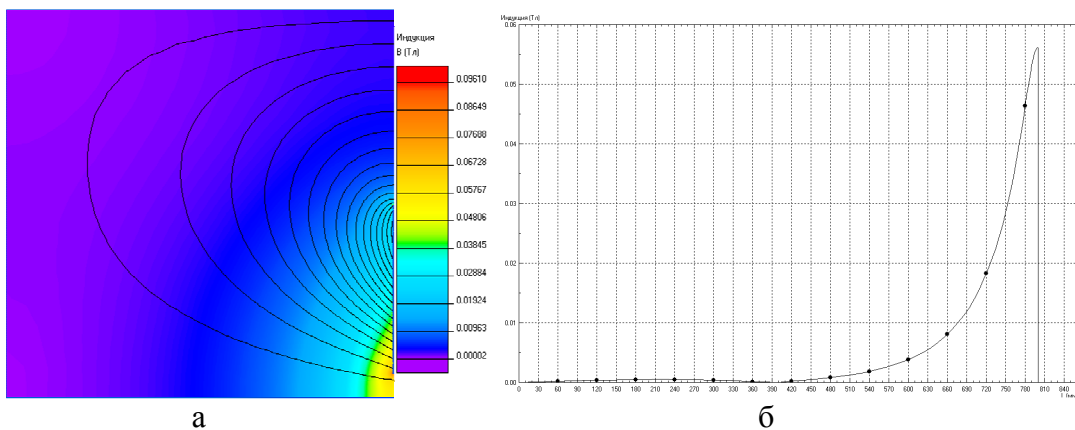


Рис. 2. Моделирование и анализ распределения магнитного поля плоской спиральной катушки: а – спектр картины поля, б – распределение значений магнитной индукции плоской спиральной катушки

В ходе проведенных экспериментов были получены параметры магнитного поля в ближней зоне плоской спиральной катушки. Установлено, что распределение силовых линий при моделировании в программном комплексе Elcut 6.3 Professional и эксперименте идентично (рис. 3).

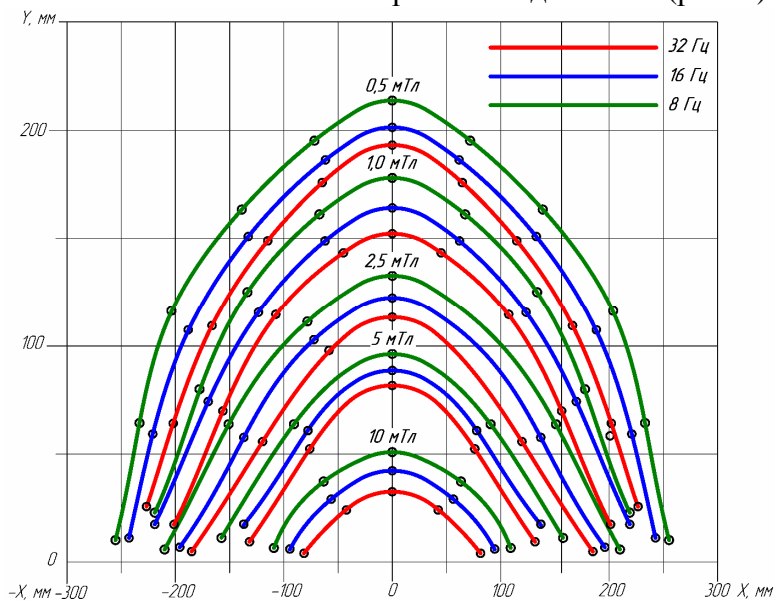


Рис. 2. Результаты замеров на стенде распределения индукции импульсного магнитного поля, создаваемого индуктором при различных режимах блока управления, частота следования импульсов 8, 16, 32 Гц

Корректность результатов моделирования многократно подтверждена экспериментально. Анализ диаграмм со стендовых испытаний блока управления МИО с индукторами показал, что для соблюдения режимов МИО растений с частотой следования импульсов 8-32 Гц и мощностью излучения

0,3-5 мТл необходимо обеспечить расстояние между рабочими органами автоматизированного агрегата МИО и растениями 10-250 мм.

### Список литературы

1. Смирнов И.Г., Хорт Д.О., Филиппов Р.А., Кутырёв А.И., Артюшин А.А. Автоматизированный агрегат для магнитно-импульсной обработки растений в садоводстве // Вестник Мордовского университета. – 2018. – Т.28. – № 4. – С. 624-642.
2. Кутырёв А.И., Хорт Д.О., Филиппов Р.А., Смирнов И.Г., Вершинин Р.В. / Система автоматизированного управления параметрами агрегата магнитно-импульсной обработки растений в садоводстве // Сельскохозяйственные машины и технологии. – 2018. – Т. 12. – № 1. – С.16.
3. Кутырёв А.И., Хорт Д.О., Филиппов Р.А. Обоснование параметров аппарата для магнитно-импульсной обработки растений // Вестник аграрной науки Дона. – 2018. – Т. 1. – № 41. – С. 32-38.

### References

1. Kutyrev A.I., Khort D.O., Filippov R.A., Smirnov I.G., Vershinin R.V. / System for automated control aggregate parameters of magnetic-pulse processing of plants in gardening // Agricultural machines and technologies. - 2018. - V. 12. - № 1. - P. 16.
2. Kutyrev A.I., Khort D.O., Filippov R.A. Justification of the parameters of the apparatus for magnetic-pulse processing of plants // Bulletin of Agrarian Science Don. - 2018. - V. 1. - No. 41. - P. 32-38.
3. Smirnov I.G., Khort D.O., Filippov R.A., Kutyrev A.I., Artyushin A.A. Automated unit for magnetic-pulse processing of plants in horticulture // Bulletin of Mordovia University. - 2018. - V. 28. - № 4. - P. 624-642.

<b>Хорт Дмитрий Олегович</b> – кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, vim_sad@mail.ru	<b>Khort Dmitry Olegovich</b> – candidate of agricultural sciences, leading researcher, vim_sad@mail.ru
<b>Филиппов Ростислав Александрович</b> – кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, rostislav-filippov@yandex.ru	<b>Filippov Rostislav Aleksandrovich</b> – candidate of agricultural sciences, leading researcher, rostislav-filippov@yandex.ru
<b>Кутырёв Алексей Игоревич</b> , младший научный сотрудник	<b>Kutyrev Alexey Igorevich</b> , Junior researcher
ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», г.Москва, Россия	Federal research center of agricultural engineering VIM, Moscow, Russia

*Received 04.02.2019*