

С.А. АНДРЕЕВ, П.М. УМАНСКИЙ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева»

НОВАЯ ТЕХНОЛОГИЯ СВЧ-ОБРАБОТКИ ПОЧВЫ

В статье изложена новая технология СВЧ-обработки почвы, которая предполагает воздействие СВЧ-энергии в непрерывном режиме. Описываемая технология основана на использовании электрифицированной мобильной установки. В процессе работы установки поверхностный пласт почвы срезается специальной фрезой и подается в бункер-питатель. Из бункера-питателя обрабатываемая почва с помощью шнекового конвейера направляется в рабочую камеру, где подвергается интенсивному воздействию СВЧ-электромагнитного поля. При этом шаг шнека должен определяться как частное от деления его диаметра на сумму единицы и рабочего параметра. Величина рабочего параметра рассчитывается как частное от деления произведения диаметра на коэффициент заполнения поперечного сечения и глубины проникновения СВЧ-энергии в диэлектрик. Обработанная почва из рабочей камеры поступает в бункер-накопитель, где аккумулируется в достаточном количестве и вновь укладывается на поверхность поля посредством механизма выгрузки. В установке предусмотрена автоматизация подачи почвы посредством изменения скорости движения платформы, автоматическое управление толщиной извлекаемого пласта, а также автоматическое управление процессом укладки обработанного материала. Разработанная технология и установка для ее реализации позволяют снизить энергозатраты на 12...15% за счет достижения постоянства плотности почвы в рабочей камере.

Защита растений, почва, семена сорняков, СВЧ-обработка, безопасность, автоматизация.

Введение. Повышение объема производства и качества продукции растениеводства во многом зависит от решения проблемы борьбы с сорняками. Сорняки способны снизить урожай озимой пшеницы и ржи на 55...60%, ярового ячменя – на 40...55%, картофеля – на 40...45%, сахарной свеклы – на 50...80%, кукурузы – на 50...70% и льна – на 35...45% [1]. Современные методы борьбы с сорной растительностью по существу основываются на механическом, химическом или биологическом воздействии. Следует признать, что эти методы лишь частично решают проблему и характеризуются рядом недостатков. При механической обработке активному воздействию подвергается только вегетативная часть растений, причем начиная с определенной стадии развития. При этом покоящиеся семена сорняков продолжают оставаться жизнеспособными. В результате химической обработки покоящиеся семена также не уничтожаются, а используемые гербициды загрязняют почву и выращиваемую продукцию. При использовании биологических методов остается опасность привлечения патогенов, способных повредить другие растения. Биологические методы невозможно применять на ограниченных площадях, поскольку

размножение живых организмов выходит из-под контроля. Кроме того, подбор патогенов является довольно сложной процедурой, а используемые организмы, в свою очередь, могут оказаться уязвимыми к внешним факторам.

Многообещающий, достаточно эффективный и экологически чистый способ борьбы с сорняками основан на обработке почвы потоком электромагнитной энергии сверхвысокой частоты (СВЧ) [2, 3]. На сегодняшний день известны два принципиально различных способа СВЧ-обработки почвы, реализуемых до посева основной культуры:

– способ, основанный на провокационном стимулирующем эффекте малых доз СВЧ-энергии на семена сорных растений, побуждении их к дружному прорастанию и последующем удалении механическими приемами [4];

– способ, заключающийся в интенсивном воздействии на почву больших доз СВЧ-энергии, определяющий ярко выраженный тепловой и специфический эффекты и обусловленную ими гибель семян сорных растений [5].

Ввиду большей изученности и однозначности эффекта наибольшее распространение получил второй способ. На сегодня

установлено, что для успешной СВЧ-обработки почвы с находящимися в ней семенами сорных растений ее следует подвергнуть обработке микроволновой энергией с плотностью потока 200...400 кВт/м². При этом энергозатраты на обработку 1 м² почвы достигают 1...5 МДж [6].

Для обеспечения требуемой дозы воздействия к настоящему времени разработаны две технологии СВЧ-обработки почвы в производственных условиях: непрерывная и порционная. При непрерывной технологии СВЧ-обработка почвы обычно осуществляется с мобильного агрегата, прицепляемого к трактору [7]. На мобильном агрегате монтируется мощный СВЧ-генератор, питаемый от специальной энергетической установки, связанной валом отбора мощности с тяговым двигателем. Полученная таким образом СВЧ-энергия в виде потока направляется к почве посредством волновода. Требуемый режим СВЧ-обработки достигается варьированием мощности потока и скорости движения трактора.

Для достижения требуемой эффективности воздействия напряженность поля в зоне его взаимодействия с почвой должна быть достаточно высокой. В то же время, поверхность поля не является абсолютно ровной: на ней всегда присутствуют локальные выпуклости и углубления, не говоря уже об общих неровностях, обусловленных рельефом. Во избежание механических повреждений установки расстояние между концом волновода и почвой приходится увеличивать. В результате этого мощность СВЧ-генератора может достигать нескольких десятков киловатт, а расстояние от волновода до почвы – 3...15 см. К сожалению, при таком сочетании параметров установки неизбежны значительные потери СВЧ-энергии в направлении, перпендикулярном направлению потока. Последнее не способствует энергосбережению и существенно повышает опасность поражения персонала СВЧ-энергией.

При порционной технологии подлежащая обработке почва предварительно собирается и небольшими порциями загружается в рабочую камеру стационарной СВЧ-установки. Здесь почва подвергается воздействию СВЧ-энергии, а требуемая экспозиция достигается варьированием мощности потока и продолжительности обработки [8]. По окончании обработки почва извлекается из рабочей камеры и вновь укладывается

на поверхность грунта. Порционная технология очень трудоемка и в настоящее время применяется только в сооружениях защищенного грунта.

В работе описана новая технология СВЧ-обработки почвы, исключая перечисленные недостатки непрерывной и порционной технологии.

Целью работы является обоснование новой технологии СВЧ-обработки почвы, заключающейся в механизированном извлечении почвенного пласта при движении прицепного мобильного агрегата, последующего воздействия СВЧ-энергией в непрерывном режиме и укладки обработанного материала на поверхность поля.

Результаты исследований и их обсуждение. Идея обработки сыпучего материала, извлекаемого буквально из-под колес мобильного агрегата, не нова. На этом принципе работают дорожно-строительные машины, осуществляющие плавление, дробление и извлечение старого асфальтового покрытия для последующей переработки и вторичной укладки на основание дорожного полотна. В нашем случае сыпучим материалом является верхний слой почвы, срезаемый специальной фрезой, отправляемый на обработку в СВЧ-камеру и в дальнейшем укладываемый на поверхность грунта [9]. Реализация такой технологии осуществляется на установке для СВЧ-обработки почвы, общий вид которой представлен на рисунке 1, схема узла извлечения почвы – на рисунке 2, блок-схема шнекового конвейера – на рисунке 3 и функциональная схема системы автоматического управления установкой – на рисунке 4.

Установка для СВЧ-обработки почвы содержит смонтированные на общей платформе электропривод, бункер-питатель, а также загрузочное окно и рабочую камеру. Над верхней частью рабочей камеры расположен источник СВЧ-электромагнитных колебаний, представляющий собой СВЧ-генератор на магнетроне. Внутри рабочей камеры, по всей ее длине, установлен шнековый транспортер.

Рабочая камера посредством выгрузочного окна состыкована с бункером-накопителем, который соединен с механизмом выгрузки. Механизм загрузки жестко связан с платформой, а в ее передней части смонтирована фреза с приводом. На оси этой фрезы размещен датчик толщины пласта. Кроме того, в бункере-питателе, над загруз-

зочным окном, один над другим, установлены датчики уровня. Еще один датчик уровня размещен в бункере-накопителе, под выгрузным окном. В состав схемы управления

установкой входят: релейные элементы, логические элементы «И», а также блок многоступенчатого управления регулируемым электроприводом.

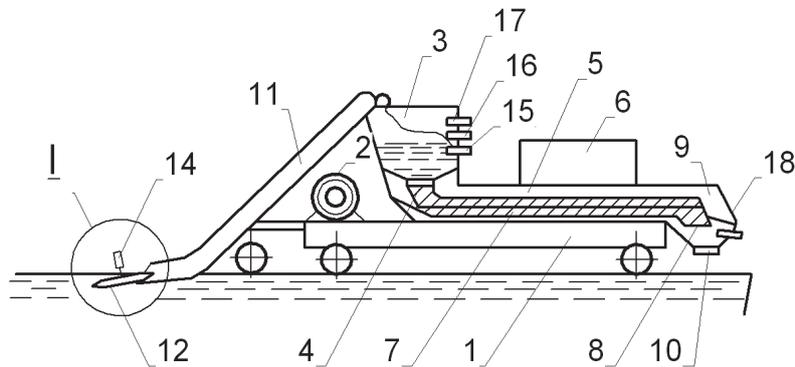


Рис. 1. Общий вид установки для СВЧ-обработки почвы

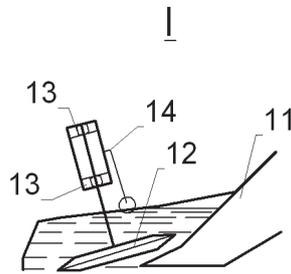


Рис. 2. Схема узла извлечения почвы

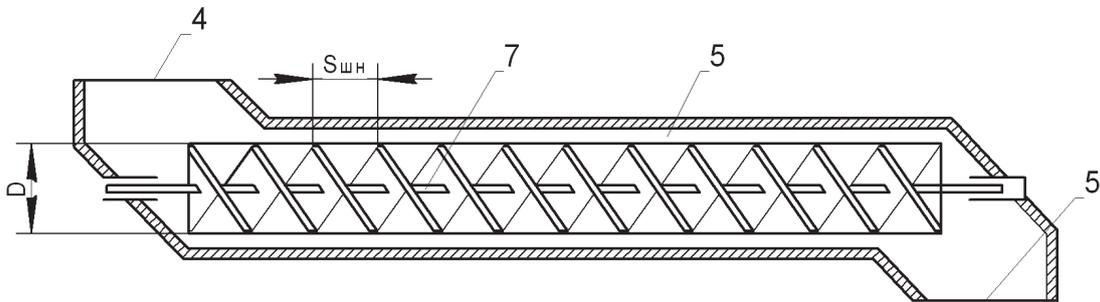


Рис. 3. Блок-схема шнекового конвейера

Датчик одновременно подключен к первому входу блока многоступенчатого управления и к первому входу элемента «И». Другой датчик через релейный элемент, цепь управления электроприводом конвейера и первый вход элемента «И» подсоединен к источнику СВЧ-электромагнитных колебаний. Датчик уровня подключен к релейному элементу, вход которого одновременно связан с механизмом и вторым входом элемента «И». Выход элемента «И» подключен ко второму входу блока многоступенчатого управления. Датчик уровня связан со вторым входом элемента «И», выход которого подключен к третьему входу блока многоступенчатого управления.

Конвейер выполнен в виде шнека с шагом, определяемым соотношением

$$S_{\text{шн}} = \frac{D}{1 + \frac{D\varphi}{\Delta\rho}}$$

где D – диаметр шнека, м; φ – коэффициент заполнения поперечного сечения шнека; $\Delta\rho$ – глубина проникновения СВЧ-электромагнитного поля в диэлектрик, м.

Соблюдение этого соотношения обеспечивает наибольшую эффективность СВЧ-обработки почвы, поскольку при этом достигается равномерность плотности почвы по всему объему и максимальное поглощение подводимой энергии.

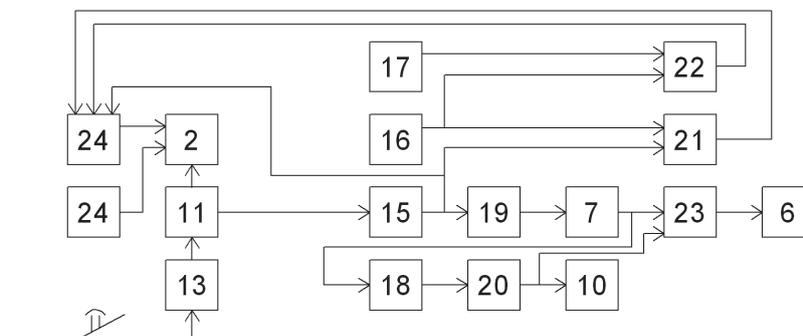


Рис. 4. Функциональная схема системы автоматического управления установкой:

- 1–платформа; 2– электропривод; 3 – бункер-питатель; 4 – загрузочное окно;
 5– рабочая камера; 6 – источник СВЧ-электромагнитных колебаний;
 7 – шнековый транспортер; 8 – выгрузное окно; 9 – бункер-накопитель;
 10 – механизм выгрузки; 11 – механизм загрузки; 12 – фреза; 13 – привод;
 14 – датчик толщины пласта; 15, 16, 17, 18 – датчики уровня;
 19, 20 – релейные элементы; 21, 22, 23 – логические элементы «И»;
 24 – блок многоступенчатого управления.

Установка для СВЧ-обработки почвы работает следующим образом.

В начале процесса последовательно включаются привод фрезы, механизм загрузки срезаемого земляного пласта в бункер-питатель и электропривод несущей платформы. В ходе загрузки датчик уровня смеси в бункере-питателе, по достижении установленного значения через релейный элемент включает шнековый конвейер. Одновременно он формирует команду на увеличение скорости движения платформы через первый вход релейного блока и выдает разрешающий сигнал на первый вход элемента «И». Шнековый конвейер заполняет смесь бункер-накопитель, а по достижении заданного уровня датчик выдает сигнал на релейный элемент.

При срабатывании релейного элемента происходит подача команды на запуск механизма выгрузки почвы и одновременно разрешающий импульс на второй вход элемента «И». После этого происходит включение источника СВЧ-электромагнитных колебаний и начинается интенсивное тепловое (и специфическое) воздействие энергии на проходящую через рабочую камеру почву.

При дальнейшем росте уровня почвенной смеси в бункере-питателе (вызванном ростом скорости движения платформы) срабатывает датчик уровня, подающий сигнал на первый вход элемента «И» и одновременно отправляющий логическую единицу на второй вход элемента «И». В результате с выхода элемента «И» на второй вход блока

подается команда на стабилизацию скорости движения платформы.

При переполнении бункера-питателя на второй вход элемента «И» начинают поступать сигналы от датчика уровня. В этом случае элемент «И» подает команду в виде стандартного сигнала на третий вход блока многоступенчатого блока управления, предписывающую снижение скорости движения платформы. Из бункера-питателя обрабатываемая почва посредством шнекового конвейера через загрузочное окно поступает в рабочую камеру. Здесь почва подвергается воздействию СВЧ-электромагнитной энергии, формируемой источником. Обработанный материал из рабочей камеры поступает в бункер-накопитель, откуда при наличии разрешающего сигнала с датчика уровня вновь укладывается на поверхность поля посредством механизма выгрузки.

Датчик толщины срезаемого пласта действует по принципу копира поверхности. С помощью этого датчика контролируются предельно допустимые минимальные и максимальные слои почвы, требующие СВЧ-обработки.

Например, при выходе фрезы на поверхность или ее недопустимом углублении в грунт происходит замыкание контактов датчика и последующая аварийная остановка платформы через блокирующий вход привода. По мере устранения причины аварии и установке заданной глубины среза производится повторный запуск цепи: привод фрезы, механизм загрузки срезаемого земляного пласта и электропривод платформы.

Выводы

Разработанная технология и установка для ее реализации позволяют снизить энергозатраты на 12...15% за счет достижения постоянства плотности почвы в рабочей камере. Кроме того, при обработке почвы существенно повышается безопасность обслуживающего персонала, так как СВЧ-генератор эксплуатируется в постоянном режиме, а неровности поля и рельеф местности не оказывают влияния на интенсивность излучения СВЧ-энергии в окружающую среду.

Библиографический список

1. **Бездырев Г.И.** Современная концепция борьбы с сорняками в системах земледелия Нечерноземной зоны РСФСР. / Сб. научн. тр. под ред. академика ВАСХНИЛ И.Л. Макарова. – М.: Агропромиздат, 1991. – С. 14-150.
2. **Бородин И.Ф., Шарков Г.А., Горин А.Д.** Применение СВЧ-энергии в сельском хозяйстве. – М.: Госагропром СССР, ВАСХНИЛ, 1987. – 57 с.
3. **Шарков Г.А.** Исследование процесса м разработка устройства для уничтожения сорняков электромагнитным полем СВЧ: диссертация на соискание уч.степени кандидата технических наук: 05.20.02 – М.: 1982. – 199 с.
4. **Матвеев Б.А.** Разработка и исследование СВЧ-метода борьбы с засоренностью посевов семенами нежелательной растительности: диссертация на соискание уч.степени кандидата технических наук: 05.20.02 – Челябинск: 1983. – 245 с.
5. **Горелов В.В.** Повышение эффективности электрифицированной СВЧ-установки для борьбы с семенами сорной растительности: диссертация на соискание уч.степени канд. Техн. наук: 05.20.02 – М.: 1984. – 178 с.

6. **Шустов В.И.** Определение основных параметров мобильной СВЧ-установки для борьбы с сорной растительностью: диссертация на соискание уч.степени канд. Техн. наук: 05.20.02 – зерноград.: 1987. – 208 с.

7. **Полевик Н.Д.** Методы и средства борьбы с сорной растительностью с использованием импульсных СВЧ-излучателей: диссертация на соискание уч.степени канд. Техн. наук: 05.20.02 – Челябинск.: 2007. – 344 с.

8. **Кузнецов С.Г.** СВЧ-установка для подготовки тепличных грунтов в технологии производства рассады: диссертация на соискание уч.степени кандидата технических наук: 05.20.02 – М.: 1988. – 191 с.

9. Авторское свидетельство № 1722227 СССР МКИ А 01 В 47/00 Устройство для стерилизации / Алергант Г.И., Жук З.Я., Кузнецов С.Г., Андержанов А.Л., Горин А.Д., Андреев С.А. – 4783977/15; заявл. 22.12.89; опубл. 30.03.92. Бюл.№ 12.

Материал поступил в редакцию 12.03.2018 г.

Сведения об авторах

Андреев Сергей Андреевич, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой автоматизации и роботизации технологических процессов имени академика И.Ф. Бородина ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева; 125550, г. Москва, Тимирязевская ул. д. 49; тел.: +7(906)7837160, e-mail: asa-finance@yandex.ru

Уманский Петр Михайлович, старший преподаватель кафедры технической эксплуатации, технологических машин и оборудования природообустройства ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева; 125550, г. Москва, Б. Академическая ул. д. 44; тел.: +7(499)9761869, e-mail: UmPM@rambler.ru

S.A. ANDREEV, P.M. UMANSKY

Federal state budgetary educational institution of higher education «Russian state agrarian university RGAU-MSHA named after C.A. Timiryazev», Moscow, Russian Federation

NEW TECHNOLOGY OF SOIL MICROWAVE TREATMENT

The article presents a new technology of the microwave soil treatment which assumes the effect of the microwave energy in the continuous mode. The described technology assumes the use of an electrified mobile plant. During the plant operation the surface layer of the soil is cut by a special cutter and fed into the feed hopper. From the hopper feeder the treated soil is directed to the working chamber by a screw conveyor where it is subjected to the intensive exposure to the microwave electromagnetic field. In this case, the screw pitch must be defined as the quotient of dividing its diameter by the sum of the unit and operating parameter. The value of the operating parameter is calculated as the quotient of the product of the diameter by the coefficient of filling the cross-section and the depth of penetration of the microwave energy into the dielectric. The treated soil from the working chamber enters the hopper-accumulator where it is accumulated in a sufficient

quantity and again is laid on the surface of the field by means of the unloading mechanism. The plant provides automation of soil supply by changing the speed of the platform, automatic control of the thickness of the extracted formation, as well as automatic control over the process of laying the processed material. The developed technology and plant for its implementation allow to reduce power inputs by 12 ... 15% due to the achievement of permanency of the soil density in the working chamber.

Protection of plants, soil, weed seeds, microwave treatment, safety,

References

1. **Bezdyrev G.I.** Sovremennaya kontseptsiya borjby s sornyakami v sistemah zemledeliya Nechernozemnoj zony RSFSR / Sb. nauchn. tr. pod red. akademika VASHNIL I.L. Makarova. – M.: V.O. Agropromizdat, 1991. VASHNIL. – S. 14-150.
2. **Borodin I.F., Sharkov G.A., Gorin A.D.** Primenenie SVCH-energii v seljskom hozyajstve. – M.: Gosagroprom SSSR, VASHNIL, 1987. – 57 s.
3. **Sharkov G.A.** Issledovanie protsessa i razrabotka ustrojstva dlya unichtozheniya sornyakov electromagnitnym polem SVCH: dissertatsiya na soiskanie uch. stepeni kandidata tehnicaskih nauk: 05.20.02 – M.: 1982. – 199 s.
4. **Matveev B.A.** Razrabotka i issledovanie SVCH-metoda borjby s zasorennostyu posevov semenami nezhelatel'noj rastitel'nosti: dissertatsiya na soiskanie uch. stepeni kandidata tehnicaskih nauk: 05.20.02 – Chelyabinsk: 1983. – 245 s.
5. **Gorelov V.V.** Povyshenie effektivnosti elektrifitsirovannoj SVCH-ustanovki dlya borjby s semenami sornoj rastitel'nosti: dissertatsiya na soiskanie uch. stepeni kandidata tehnicaskih nauk: 05.20.02 – M.: 1984. – 178 s.
6. **Shustov V.I.** Opredelenie osnovnyh parametrov mobilnoj SVCH-ustanovki dlya borjby s sornoj rastitel'nostyu: dissertatsiya na soiskanie uch. stepeni kandidata tehnicaskih nauk: 05.20.02 – Zernograd.: 1987. – 208 s.
7. **Polevik N.D.** Metody i sredstva dlya borjby s sornoj rastitel'nostyu s ispolzovaniem impul'snyh SVCH-izluchatelej: dissertatsiya na soiskanie uch. stepeni kandidata tehnicaskih nauk: 05.20.02 – Chelyabinsk: 2007. – 344 s.
8. **Kuznetsov S.G.** SVCH-ustanovka dlya podgotovki teplicnyh gruntov v tehnologii oroizvodstva rassady: dissertatsiya na soiskanie uch. stepeni kandidata tehnicaskih nauk: 05.20.02 – M.: 1988. – 191 s.
9. Avtorskoe svidetel'stvo № 1722227 SSSR MKI A 01 V 47/00 Ustrojstvo dlya sterilizatsii/Alergant G.I., Zhuk Z.Ya., Kuznetsov S.G., Anderzhanov A.L., Gorin A.D., Andreev S.A. – 4783977/15; zayavl. 22.12.89; opubl. 30.03.92. Byul. № 12.

The material was received at the editorial office
12.03.2018 g.

Information about the authors

Andreev Sergej Andreevich, candidate of technical sciences, associate professor, head of the chair of automation and robotization of technological processes named after academician I.F. Borodin FSBEI HE RGAU-MSHA named after C.A. Timiryazev; 125550, Moscow, Timiryazevskaya ul., d.49; tel.: +7(906)7837160, e-mail: asa-finance@yandex.ru

Usmanskij Petr Mikhailovich, senior lecturer of the chair of technical operation, technological machinery and equipment of environmental engineering FSBEI HE RGAU-MSHA named after C.A. Timiryazev; 125550, Moscow, B. Akademicheskaya, d.44; tel.: +7(499)9761869, e-mail: UmPM@rambler.ru