

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ МАГНИТНОГО ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЯ ЗЕРНА

ПАХОМОВ Александр Иванович, СКНИИМЭСХ ФГБНУ «АНЦ «Донской»

МАКСИМЕНКО Владимир Андреевич, СКНИИМЭСХ ФГБНУ «АНЦ «Донской»

БУХАНЦОВ Кирилл Николаевич, СКНИИМЭСХ ФГБНУ «АНЦ «Донской»

ВАТУТИНА Наталья Петровна, СКНИИМЭСХ ФГБНУ «АНЦ «Донской»

Изложены недостатки химического обеззараживания сельскохозяйственных материалов, связанные с выработкой резистентности паразитных микроорганизмов и экологической небезопасностью. Предложен новый метод обеззараживания зерна и семян, не требующий применения ядохимикатов, основанный на воздействии переменного магнитного поля. Отмечено, что наиболее вероятной гипотезой нехимического подавления микроорганизмов является изменение свойств биологической влаги под действием электромагнитных полей, что нарушает трансмембранный перенос в клетках и ведет к их гибели. Для проведения экспериментов разработано специальное устройство-электромагнит и изготовлена лабораторная установка точного действия. Проведен двухфакторный эксперимент при варьировании частоты магнитного поля и магнитной индукции и определении выходной функции по показателю процентной зараженности материала грибковыми и бактериальными инфекциями. Статистическая обработка опытных данных позволила получить графики зараженности и определить область рациональных параметров: для обеззараживания семенного зерна пшеницы – частота магнитного поля 20 Гц, магнитная индукция 100 мТл; для продовольственного зерна – соответственно 50 Гц и 150 мТл. Обеззараживающий эффект в первом случае равен 25 %, во втором – 28 % при большем падении лабораторной всхожести, не имеющем значения для несеменного зерна. В заключении показаны преимущества предлагаемой технологии по сравнению с СВЧ- и другими методами, которые состоят в энергосэкономии, равномерном обеззараживании всего объема материала, компактности и невысокой стоимости оборудования, отсутствии вредных выбросов и излучений.

Введение. Исследования в области обеззараживающих агротехнологий [3–8] показывают, что химическая обработка растениеводческих материалов не является безальтернативной. Стерилизующее действие на зерно и семена способны оказывать электрофизические методы на основе сверхвысокочастотной (СВЧ) энергии, ультрафиолетового (УФ) облучения, ультразвука и др. Их актуальность обусловлена тем, что устраняются недостатки применения ядохимикатов, известные, например, для столь эффективных протравителей, как системные фунгициды.

Системные фунгициды широко используются для предпосевной обработки семян. С момента появления этих синтезированных веществ непрерывно расширялся их ряд, но

вместе с тем нарастали проблемы, связанные с потерей их эффективности из-за приспособительного механизма паразитных микроорганизмов. Изучение этого механизма в фитопатологии показало, что привыкание к фунгицидам протекает двумя путями, которые по аналогии с медициной называли стрептомициновым и пенициллиновым. В первом случае грибковые микроорганизмы сразу приобретают высокий уровень резистентности, который уже больше не растет. Это означает, что одной мутации достаточно для возникновения высокоустойчивых штаммов. Подобную характеристику имеют системные фунгициды бензимидазольной группы – беномил (фундазол), тиофанат-метил и др. Пенициллиновый тип устойчивости вырабатывается постепенно, многоша-





гово, что связано с кумулятивным влиянием на гены таких препаратов, как имидазол, гриазол и других, относящихся к системным и трансламинарным фунгицидам.

Соответственно отличается динамика формирования резистентности. Препараты первой группы после первых же применений уничтожают все чувствительные штаммы, но оставшиеся устойчивые штаммы создают новый пул, причем чем больше проводится химобработок, тем интенсивнее происходит увеличение численности новой популяции [10]. Для препаратов второй группы свойственны постепенные мутации, что приводит к тому же результату – доминированию устойчивых штаммов в патогенном комплексе [11].

Необходимо отметить, что резистентность к фунгицидам первой группы сохраняется даже после прекращения обработок, что объясняется генетической памятью микроорганизмов. Для препаратов второй группы временное прекращение использования фунгицида способствует исчезновению резистентных к нему штаммов, однако при возобновлении обработки повторный рост резистентных штаммов оказывается еще более быстрым, чем первичный.

Таким образом, высокая эффективность того или иного фунгицида в год введения сменяется частичной или полной утратой его эффективности уже через несколько лет [2]. Использование разных фунгицидов и их смесей не решает проблему в полной мере, так как задерживает, но не устраняет накопление резистентных штаммов. Процесс в конечном итоге чреват невозможностью защитить урожай от микрогрибов-мутантов и вырабатываемых ими опасных ядов – микотоксинов. Это дает основания ряду стран ограничивать применение системных фунгицидов [1].

Кроме того, системные фунгициды относятся ко 2-му классу опасности для человека и теплокровных (сильно токсичные вещества) и 3–4-му классу опасности для пчел (умеренно токсичное вещество). Есть сведения об их негативном влиянии на полезную микрофлору почвы [10]. Таким образом, теряя эффективность по основному назначению, эти препараты несут токсикологическую опасность для человека и окружающей среды.

Электрофизические методы не связаны с

внесением в материал инородных и опасных веществ. Наиболее вероятной гипотезой их стерилизующего действия оказывается влияние электромагнитных полей на естественную жидкую среду биоорганизмов – биологическую влагу.

Вода является основой жизнедеятельности всех живых организмов. Молекулы H_2O имеют собственные внутренние колебания атомов. На некоторых частотах, кратных частоте воздействующего поля, возникает резонанс на гармониках [9], что увеличивает кинетическую энергию атомов и приводит к разрыву ковалентных связей между водородом и кислородом. При этом протекает процесс диссоциации (ионизации) воды с образованием активных ионов H^+ и OH^- , что критично для биоорганизмов, так как изменяет значения водородного показателя pH и окислительно-восстановительного потенциала (ОВП) внеклеточной (ОВП₁) и внутриклеточной (ОВП₂) жидкостей (рис. 1).

В состоянии покоя, без внешних возмущающих воздействий, разность потенциалов ОВП₁ – ОВП₂ такова, что обеспечивает необходимый заряд (поляризацию) клеточной мембраны и соответственно электродифузионный перенос ионов через нее. Как только потенциалы ОВП₁, ОВП₂ (см. рис. 1) принимают другие значения, разность ОВП₁ – ОВП₂ искажается и уже не соответствует естественному значению. Трансмембранный перенос замедляется или прекращается, и клетка не может поддерживать гомеостатическое равновесие. В ней нарастают такие деструктивные явления, как разрыв пептидных связей в длинных белковых цепях, нарушение синтеза АТФ и другие, не совместимые с жизненным циклом клетки.

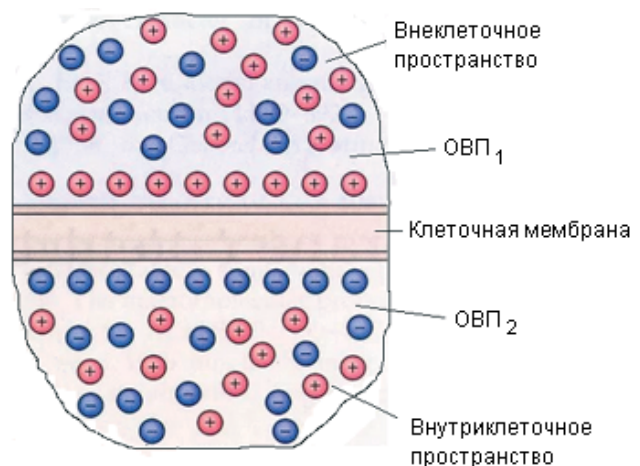


Рис. 1. Электрический заряд клеточной мембраны



Указанные биохимические процессы могут быть инициированы электромагнитными колебаниями разных частот, например, СВЧ. Стерилизующий эффект СВЧ-энергии хорошо известен [3, 5, 8], однако практическая реализация СВЧ-агротехнологий оказывается затратной, так как требует сложного, энергоемкого и дорогостоящего оборудования [8]. Лучшие характеристики по коэффициенту эффективности обеззараживания показывает СВЧ-установка «Сигма-1», использующая комбинированное конвективно-микроволновое воздействие [8]. Дальнейшее увеличение эффективности обеззараживания едва ли возможно из-за ограниченного КПД магнетронов и других особенностей генерации и распространения микроволн. Нужны другие воздействия и методы.

Весьма перспективным является низкочастотное магнитное поле, выгодно отличающееся простотой реализации, высоким КПД электромагнитов, большой проникающей способностью, полностью безопасное для человека и окружающей среды. Некоторые результаты исследований процесса магнитного обеззараживания зерна изложены в [6]. В опытах [6] реализован однофакторный эксперимент при варьировании частоты магнитного поля и нахождении выходной функции в виде общей зараженности материала грибковыми и бактериальными инфекциями. Полученные положительные результаты говорят о перспективе дальнейших исследований в этом направлении и позволяют сформулировать их цель.

Цель исследования – провести двухфакторный эксперимент по определению параметров магнитного поля, обеспечивающих наилучший обеззараживающий эффект, и рекомендовать рациональные параметры магнитной обработки зерна семенного и продовольственного назначения.

Методика исследований. Для проведения исследований разработана и изготовлена экспериментальная установка (рис. 2).

Основная часть установки – электромагнит на элементах 3, 4, выполненный на базе асинхронного двигателя. Статор 4 двигателя используется без изменений, ротор 3 уменьшен в диаметре проточкой до образования воздушного зазора между поверхностями статора и ротора 13 мм. Установлено,

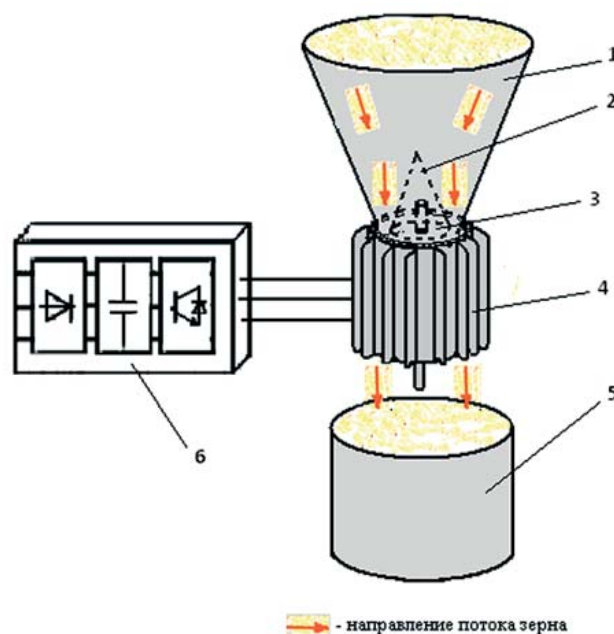


Рис. 2. Конструктивная схема лабораторной установки: 1 – приемный бункер; 2 – обратный направляющий конус; 3 – ротор асинхронного двигателя; 4 – статор асинхронного двигателя; 5 – приемная емкость; 6 – источник питания

что такой зазор достаточен для производительного пропускания потока зерна, и в то же время он не препятствует получению необходимой для обеззараживания магнитной индукции. Подробно конструкция магнитообеззараживающего устройства изложена в работе [4].

Опытный образец устройства изготовлен на базе трехфазного асинхронного двигателя мощностью 1,5 кВт. В качестве источника питания 6 предложен промышленный преобразователь частоты асинхронных электродвигателей. Устройства такого назначения имеют плавную регулировку частоты, выпускаются в широкой номенклатуре мощностей, имеют функции плавного пуска и защиты, что обеспечивает их надежную работу. В данном случае преобразователь используется нестандартно, так как параметры электромагнита отличаются от типовых параметров двигателя, однако штатные возможности электронного устройства допускают такой режим при условии выбора его соответствующей мощности.

Методика проведения опытов состояла в подготовке лабораторной установки и зернового материала, после чего осуществляли рабочий процесс обеззараживания. Он заключался в том, что зерно засыпали в загрузочный бункер 1, откуда оно вертикальным



потоком кольцевого сечения, сформированным конусами 1 и 2, просыпалось в зазор между статором 4 и ротором 3 электромагнита. Цилиндрическое пространство между статором 4 и ротором 3 представляло собой рабочую камеру, проходя через которую, зерно подвергалось действию равномерного магнитного поля. Обработанное зерно накапливалось в приемной емкости 5.

В ходе опытов, изменяя частоту и силу тока в обмотках, варьировали соответственно частоту и индукцию магнитного поля в рабочей камере. С учетом результатов [6] были выбраны следующие диапазоны факторов: частота магнитного поля – 10-50 Гц с шагом 10 Гц, магнитная индукция – 50-150 мТл с шагом 50 мТл.

Выходной функцией служила общая зараженность материала грибковой и бактериальной микрофлорой. Для ее определения зерно в виде проб подвергали фитосанитарному анализу в специализированной лаборатории отдела испытаний СКНИИМЭСХ. Анализ проводили методом проращивания в рулонах и методом смыва спор по ГОСТ 12044-93. Затем для каждой пробы оформлялось удостоверение с таблицей показателей зараженности (см. таблицу).

Результаты исследований. Полученные экспериментальные данные обрабатывали статистическими методами с помощью программы *MsExcel*. Применены встроенные средства аппроксимации и сглаживания

кривых, использованы аппроксимирующие полиномы 3-го порядка. Это позволило получить высокую достоверность кривых по коэффициенту достоверности аппроксимации R^2 (рис. 3, 4).

Как следует из рис. 3, для магнитного поля с индукцией $B = 100$ мТл область минимума зараженности принадлежит частоте 20 Гц. На этой частоте зараженность материала снижается с 53 % (контроль) до 28 %, т.е. обеззараживающий эффект составляет 25 %. При других уровнях магнитной индукции (50 и 150 мТл) область минимума смещается в сторону более низких частот при выраженной тенденции к углублению обеззараживающего эффекта. Так, при индукции 150 мТл обеззараживающий эффект составляет уже 29 % на частоте 18 Гц.

Следует отметить, что кривая 150 мТл расположена ниже других, значит, наблюдается повышенный обеззараживающий эффект во всем частотном диапазоне для этой магнитной индукции. Наибольшее снижение зараженности принадлежит частотам 18 и 50 Гц (см. рис. 3). Частоты выше 50 Гц не исследовались в связи с преимуществом частоты 50 Гц, как сетевой, не нуждающейся в преобразовании. Обеззараживающий эффект на частоте 50 Гц всего на 1 % ниже, чем на частоте 18 Гц, что дает основания считать параметры 50 Гц, 150 мТл рациональными при учете их влияния на растительный организм (см. рис. 4).

Результаты фитосанитарного анализа пробы зерна пшеницы (контроль)

Вид фитопатогенных инфекций	Формы развития возбудителей фитопатогенных инфекций	Количественное содержание фитопатогена (зараженность), %
Альтернариоз (<i>Alternaria</i>)	Споры, жизнеспособный мицелий, конидии, конидиеносцы, гифы и др.	8,0
Бактериоз		16,0
Гельминтоспориоз (<i>Cochliobolus sativus</i>)		5,0
Плесневение (<i>Penicillium roseum</i> , <i>Aspergillus</i> , <i>Trichothecium roseum</i>)		0,0
Септориоз (<i>Septoria</i>)		15,0
Твердая головня пшеницы (<i>Tilletia laevis</i>)		Не обнаружено
Фузариоз (<i>Fusarium</i>)		9,0
Общая зараженность		53,0
Лабораторная всхожесть		93,0

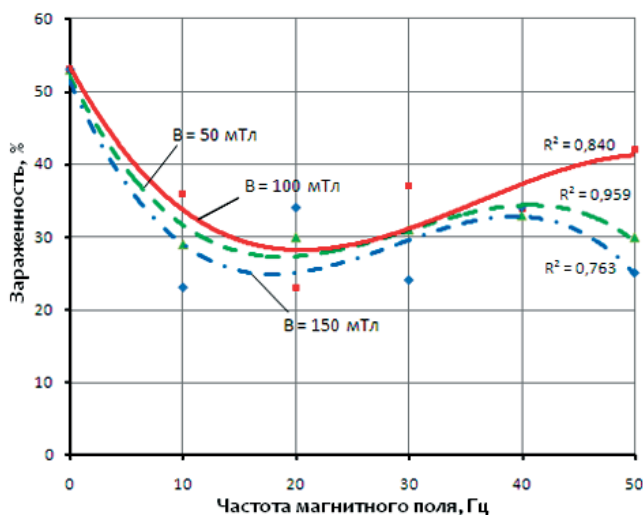


Рис. 3. Зараженность семян пшеницы при обработке магнитным полем

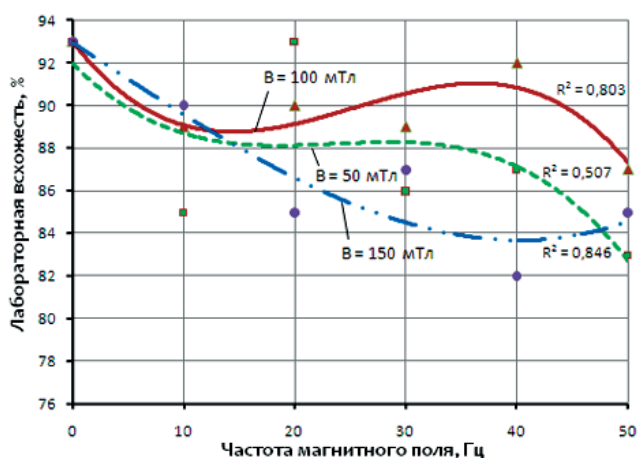


Рис. 4. Лабораторная всхожесть семян пшеницы при обработке магнитным полем

Согласно рис. 4 лабораторная всхожесть семян существенно зависит от параметров магнитного поля, при этом различие в лабораторной всхожести для разных магнитных индукций зависит от частоты. Сопоставляя ход кривых на рис. 3, 4, можно сделать вывод, что при магнитной индукции 100 мТл на частоте 20 Гц (см. рис. 3) удается достичь обеззараживающего эффекта 25 % при падении лабораторной всхожести на 4 % (см. рис. 4). Увеличение магнитной индукции до 150 мТл усиливает обеззараживающий эффект до 27 % на частоте 50 Гц, однако лабораторная всхожесть падает на 8 %.

Закключение. Полученные результаты и их графическая интерпретация подтверждают значимый эффект магнитного обеззараживания и позволяют обосновать область рациональных параметров. Для обеззараживания семенного зерна пшеницы можно рекомендовать частоту магнитного поля 20 Гц и магнитную индукцию 100 мТл. При

этом достигается снижение содержания паразитной микрофлоры в зерне на 25 % при снижении лабораторной всхожести на 4 %.

Если обеззараживанию подвергается зерно продовольственного назначения, рациональными параметрами следует считать частоту 50 Гц и магнитную индукцию 150 мТл. В этом случае обеззараживающий эффект увеличивается до 28 %, а снижение лабораторной всхожести практического значения не имеет. Кроме того, преимуществом частоты 50 Гц является отсутствие необходимости в преобразователях частоты, что упрощает и удешевляет оборудование.

Представленные рекомендации не являются окончательными, возможны их уточнения для других культур и более мощных магнитообеззараживающих устройств, рекомендованных в [4]. Практически важно, что в области рациональных параметров достигим значительный обеззараживающий эффект, сопоставимый или превышающий эффект от СВЧ-обработки [8], при гораздо меньших энергозатратах, равномерном обеззараживании всего объема материала, компактности и невысокой стоимости оборудования, отсутствии вредных выбросов и излучений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Каспаров В.А., Промоненков В.К. Применение пестицидов за рубежом. – М.: Агропромиздат, 1990. – 224 с.
2. Кузьминов Б.П., Никитенко Т.К. Гигиеническое нормирование производных бензимидазола и их биологическая активность. Обзорная информация // Серия «Химические средства защиты растений». – М.: НИИТЭХИМ, 1988. – 39 с.
3. Патент № 2550479 РФ МПК A01C1/00; A01C1/06; A01N25/02 Способ комбинированного обеззараживания зерна и семян с использованием электромагнитного поля сверхвысокой частоты / В.И. Фисинин, Ю.Ф. Лачуга, В.И. Пахомов, А.И. Пахомов, К.Н. Буханцов; заявитель и патентообладатель: ГНУ СКНИИМ-ЭСХ Россельхозакадемии. – №2014100549/13, заявл. 09.01.2014; опубл.10.05.2015, Бюл. №13. – 28 с.
4. Пахомов А.И. Исходные требования к оборудованию магнитного обеззараживания зерна // Тракторы и сельхозмашины. – 2018. – № 4. – С. 4–54.
5. Пахомов А.И. Есть ли альтернатива химическому протравливанию? // Хранение и переработка зерна. – 2016. – № 1 (198). – С. 48–50.

6. Пахомов А.И., Максименко В.А., Буханцов К.Н. Результаты исследований по использованию вращающегося магнитного поля для обеззараживания зерна // Хлебопродукты. – 2018. – № 6. – С. 40–43.

7. Пахомов А.И. Теоретические предпосылки совершенствования процесса электрофизического обеззараживания зерна // Хранение и переработка зерна. – 2017. – №7(215). – С. 49–52.

8. Пахомов А.И. Сравнительный анализ СВЧ-установок для обеззараживания зерна // Тракторы и сельхозмашины. – 2018. – № 1. – С. 21–26.

9. Физическая энциклопедия. – М.: Большая Российская энциклопедия, 1994. – Т. 4. – С. 308–309.

10. Чекмарев В.В. Изменение видового состава грибов р. *Fusarium* под действием протравителей // Защита и карантин растений. – 2012. – № 2. – С. 27–28.

11. Brent K.J., Hollonion D.W. Fungicide Resistance in Crop Pathogens: how can it be Managed. – Brussels, Belgium: FRAC Monograph, 2007. No. 1.

Пахомов Александр Иванович, д-р техн. наук доц., главный научный сотрудник лаборатории биоэнерготехнологий, СКНИИМЭСХ ФГБНУ «АНЦ «Донской», Россия

347740, г. Зерноград, Ростовская обл., ул. им. Ленина, 14

Тел.: 8-918-599-2624.

Максименко Владимир Андреевич, канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник лаборатории биоэнерготехнологий, СКНИИМЭСХ ФГБНУ «АНЦ «Донской», Россия.

Буханцов Кирилл Николаевич, ведущий инженер лаборатории биоэнерготехнологий, СКНИИМЭСХ ФГБНУ «АНЦ «Донской», Россия.

Ватутина Наталья Петровна, инженер-технолог, заведующая отделом испытаний и оценки технологических процессов, СКНИИМЭСХ ФГБНУ «АНЦ «Донской». Россия.

347740, Ростовская область, Зерноградский район, г. Зерноград, ул. Ленина, 14.

Тел.: (863-59) 42-2-80.

Ключевые слова: системные фунгициды; магнитное обеззараживание зерна; трансмембранный перенос; лабораторная установка; эксперимент; рациональные параметры.

EXPERIMENTAL CHARACTERIZATION OF THE PARAMETERS OF GRAIN'S MAGNETIC DISINFECTION

Pakhomov Alexander Ivanovich, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Chief Researcher, Northern-Caucasian Scientific Research Institute of Mechanization and Electrification of Agriculture Federal State Budgetary Scientific Institution "Agricultural research center "Donskoy", Russia.

Maksimenko Vladimir Andreevich, Candidate of Technical Sciences, Leading Researcher, Northern-Caucasian Scientific Research Institute of Mechanization and Electrification of Agriculture Federal State Budgetary Scientific Institution "Agricultural research center "Donskoy", Russia.

Bukhantsov Kirill Nikolaevich, Leading Engineer, Northern-Caucasian Scientific Research Institute of Mechanization and Electrification of Agriculture Federal State Budgetary Scientific Institution "Agricultural research center "Donskoy", Russia.

Vatutina Natalya Petrovna, Industrial Engineer, Northern-Caucasian Scientific Research Institute of Mechanization and Electrification of Agriculture Federal State Budgetary Scientific Institution "Agricultural research center "Donskoy", Russia.

Keywords: systematic fungicides; magnetic disinfection of grain; transmembrane transport; laboratory facility; experiment; rational parameters.

The limitations of agricultural materials' chemical disinfection related with making of the parasitical microorganisms resistance and ecological unsafety

are briefly presented in the article. The new method of seed and grain disinfection is suggested; it doesn't need to use chemical pest-killers and it is based on the influence of magnetic alternating field. It is noted that the most probable hypothesis of the not-chemical microorganisms' neutralization is the change of moisture biological properties under the action of electromagnetic fields; that disrupts transmembrane transport in the cells and leads to their death. A special device – electromagnet – was worked out and the laboratory facility of an assembly line was made for carrying out the experiment. The two-factor experiment was carried out at magnetic field frequency and magnetic induction variations and at the definition of the output function according to the index of infection rate percentage of the material by fungous and bacterial infections. Statistical data manipulation let us to get the infection rate diagrams and to determine the area of the rational parameters: for the wheat grains disinfection magnetic field frequency is 20Hz, magnetic induction is 100 mT; for the food grain – 50Hz and 150 mT correspondingly. The disinfectant effect is 25 % for the first case and 28 % for the second case at the less germinating capacity. In the conclusion we showed the advantages of this technology in comparison with UHF and other methods, such as energy saving, equal disinfection of the whole material, the compactness and low cost of the equipment, absence of harmful emissions and radiation.

