

ИСХОДНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К ОБОРУДОВАНИЮ МАГНИТНОГО ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЯ ЗЕРНА

INITIAL REQUIREMENTS FOR MAGNETIC GRAIN DISINFECTATION EQUIPMENT

А.И. ПАХОМОВ, д.т.н.

ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской», Зерноград,
Россия, AlivPx@mail.ru

A.I. PANOMOV, DSc in Engineering

«Agrarian Scientific Center «Donskoy», Zernograd, Russia,
AlivPx@mail.ru

Статья посвящена вопросам обеззараживания зерна и семян сельскохозяйственных растений в АПК. Используемые в этих целях ядохимикаты, системные фунгициды, в частности, ведут к выработке резистентности паразитных микроорганизмов, а также токсикологическим последствиям для окружающей среды и человека. В статье предложен новый метод обеззараживания при помощи переменного магнитного поля низкой частоты. Предметом исследований послужили закономерности процесса магнитного обеззараживания и характеристики технических средств для его реализации. Цель исследований – разработка исходных требований к оборудованию магнитного обеззараживания зерна, конструктивные предложения по созданию такого оборудования. Методы исследований включали анализ внутренних процессов в биоматериалах под действием переменного магнитного поля, анализ параметров устройств, необходимых для создания требуемого поля. На основе аналитических исследований сформулированы исходные требования к магнитообеззараживающему оборудованию и его основной части – электромагниту. Дан пример практической реализации устройства, удовлетворяющего исходным требованиям. Устройство представляет собой электромагнит на базе асинхронного двигателя. Принцип магнитного обеззараживания и предлагаемое устройство проверены экспериментально: для зерна пшеницы с суммарной зараженностью грибковыми и бактериальными инфекциями 41 % (контроль) достиглось снижение этого показателя до 17–12 %. Рассмотрены критичные характеристики асинхронных двигателей и сделан вывод, что определенные типы двигателей в наибольшей степени соответствуют исходным требованиям и, следовательно, являются наилучшей базой для предлагаемого устройства. В общих выводах рекомендованы двигатели 5АИ112МВ8, 5АИ112МВ6 или аналогичные других серий, при этом отмечено, что устройства на их основе могут работать параллельно в общей обеззараживающей установке, чтократно увеличивает производительность. В заключительном выводе показана перспектива новой технологии, связанная с исключением недостатков химического протравливания и преимуществами перед другими электрофизическими методами в равномерности обработки, энергоэкономии, компактности и невысокой стоимости оборудования, отсутствии вредных выбросов и излучений.

Ключевые слова: обеззараживающий эффект, гомеостаз клетки, магнитное поле, асинхронный двигатель, исходные требования.

The article is devoted to the disinfection of grain and seeds of agricultural plants in the agro-industrial complex. The pesticides, systemic fungicides, used for this purpose, in particular, lead to the development of resistance of parasitic microorganisms, as well as toxicological consequences for the environment and humans. The article suggests a new method of decontamination using a variable magnetic field of low frequency. The subject of the research was the regularities of the process of magnetic disinfection and the characteristics of technical means for its implementation. The purpose of the research is the development of initial requirements for the equipment for magnetic disinfection of grain, constructive proposals for the creation of such equipment. Research methods included analysis of internal processes in biomaterials under the influence of an alternating magnetic field, analysis of the parameters of the devices necessary to create the required field. On the basis of analytical studies, the initial requirements for magneto-disinfecting equipment and its main part – the electromagnet are formulated. An example of the practical implementation of a device that meets the initial requirements is given. The device is an electromagnet based on an asynchronous motor. The principle of magnetic decontamination and the proposed device have been tested experimentally: for the wheat grain with a total infection of fungal and bacterial infections 41 % (controlled), the reduction was achieved to 17–12 %. Critical characteristics of asynchronous motors are considered and it is concluded that certain types of engines are most consistent with the initial requirements and, therefore, are the best basis for the proposed device. In general conclusions, the 5AI112MB8, 5AI112MB6 or similar engines are recommended, while it is noted that devices based on them can work in parallel in a general decontamination unit, which multiplies the productivity. The final conclusion shows the perspective of the new technology associated with the elimination of the disadvantages of chemical etching and the advantages over other electrophysical methods in the uniformity of processing, energy efficiency, compactness and low equipment cost, the absence of harmful emissions and emissions.

Keywords: disinfecting effect, cell homeostasis, magnetic field, asynchronous motor, initial requirements.

Введение

Несмотря на повсеместное применение пестицидов, зараженность зерна в РФ остается высокой. Широко используемая операция предпосевного химического протравливания, предназначенная для уничтожения инфекций на семенах, не всегда достигает своей цели из-за высокой приспособительной способности паразитных микроорганизмов. Известно, что микроскопические грибы вырабатывают устойчивость к наиболее эффективным протравителям – системным фунгицидам бензимидазольной группы: беномилу, тиофанат-метилу и др. – за 3–4 года [1]. В течение этого срока стерилизующее действие данных препаратов, заключающееся в прекращении репродуктивной функции микроорганизмов за счет нарушения деления клеточного ядра, утрачивается. Сформировавшаяся резистентная популяция многоклеточных паразитов не реагирует на протравливание, продолжает размножаться и продуцирует в процессе своей жизнедеятельности чрезвычайно опасные органические яды – микотоксины.

В качестве побочного действия протравителей следует указать, что все препараты бензимидазольной группы относятся ко 2-му классу опасности для человека и теплокровных (сильно токсичные вещества) и 3–4-му классу опасности для пчел (умеренно токсичное вещество). Таким образом, теряя эффективность по основному назначению, указанные химикаты несут токсикологическую опасность для человека и окружающей среды. Во многих странах применение системных фунгицидов ограничено [1].

Способ магнитного обеззараживания лишен отмеченных недостатков. Он действует на клеточном уровне и связан со свойствами внутренней естественной среды живых организмов – биологической влаги. Основные биохимические аспекты такого воздействия следующие.

Клетка, как элементарная живая система, существует в гомеостатическом равновесии. Гомеостаз клетки обусловлен двумя основными механизмами: 1) мембранно-транспортными системами; 2) внутриклеточной системой синтеза белков-ферментов.

Оба механизма протекают только в жидкой среде и, безусловно, зависят от ее характеристик: водородного показателя pH и окислительно-восстановительного потенциала ОВП.

Так, мембранно-транспортные системы работают при строго определенных значениях pH и ОВП, отличающихся для внутриклеточной и внеклеточной жидкости. Механизм синтеза ферментов также оптимален при определенных значениях этих параметров, индивидуальных для каждого биоорганизма.

Внешние электрофизические воздействия, электромагнитные поля, в частности, взаимодействуют с молекулой H_2O , имеющей собственные внутренние колебания атомов. На некоторых частотах, кратных частоте воздействующего поля, возникает резонанс на гармониках [2]. Это увеличивает кинетическую энергию атомов и приводит к разрыву ковалентных связей между водородом и кислородом, т.е. диссоциации (ионизации) молекул воды с образованием активных ионов H^+ и OH^- . Подобный процесс весьма критичен для биоорганизмов, поскольку нарушает естественные значения pH и ОВП, что в той или иной мере сказывается на гомеостазе [3].

При интенсивных электромагнитных воздействиях параметры внутриклеточной и внеклеточной жидкостей меняются настолько, что механизмы гомеостаза перестают функционировать. Протекающие при этом биологические явления можно охарактеризовать как оксидантный стресс, нарушение ионного обмена, разрыв пептидных связей в длинных белковых цепях, прекращение синтеза АТФ и другие [4]. В результате клеточная жизнедеятельность становится невозможной, и паразитные микроорганизмы гибнут, причем как одноклеточные (бактерии), так и многоклеточные (грибки).

К особенностям магнитного поля относится его высокая проникающая способность, благодаря чему все указанные явления протекают по всему объему материала, а не только в его поверхностных слоях, как при ультрафиолетовом (УФ) или сверхвысокочастотном (СВЧ) облучении. Подобные характеристики, несомненно, предпочтительны с точки зрения обеззараживания больших масс материала, движущегося, например, в плотном потоке с большим поперечным сечением.

Цель исследования

Разработка исходных требований к магнитнообеззараживающему оборудованию сельскохозяйственного назначения, конструктивные предложения по созданию такого оборудования.

Материалы, методы исследования и обсуждение результатов

Как уже отмечалось, магнитное поле проходит через биологические объекты практически без ослабления. Если поместить биообъект – зерно пшеницы – между полюсами магнита, как показано на рис. 1, равномерное магнитное поле с высокой проникающей способностью будет в равной степени воздействовать на все паразитные микроорганизмы. Благодаря этому вероятность выживания отдельных паразитов с их последующим размножением минимальна.

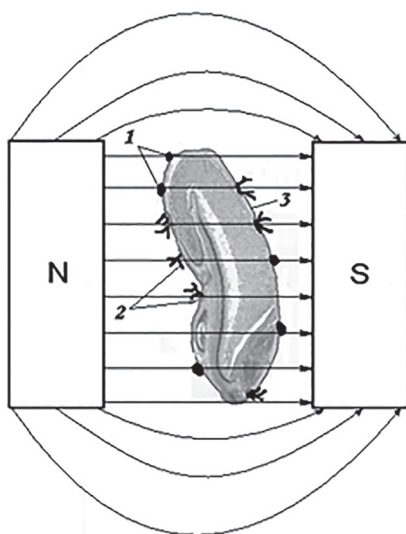


Рис. 1. Биологический объект – зерно пшеницы в равномерном магнитном поле:

- 1 – бактерии; 2 – микроскопические грибы;
3 – поверхностная влага

Обеззараживающий эффект низкочастотного магнитного поля отмечен в работе [5], при этом предлагается использовать переменное магнитное поле частотой 3–30 Гц, магнитной индукцией 0,5–50 мТл и длительностью воздействия 5–120 мин. Эти параметры пригодны для обеззараживания жидких сред (воды), но вместе с тем они могут служить отправной точкой для исследования процесса стерилизации сельскохозяйственных материалов, учитывая общность процессов ионизации молекул H_2O и обусловленных этим биологических явлений.

Естественно, специфика обработки сыпучих сельскохозяйственных материалов требует иной реализации магнитного воздействия и его параметров. Это, в первую очередь касается выдержки времени до 120 мин. [5], которая допустима в стационарном процессе, но малоприменяема для сельскохозяйственных тех-

нологий, не позволяя организовать высокопроизводительную поточную обработку в соответствии с потребностями АПК.

Речь, таким образом, следует вести о магнитном воздействии на поток зерна, что требует существенного усиления магнитного поля, повышения магнитной индукции до значений,кратно превышающих известные при стационарной обработке жидких сред [5]. Это в свою очередь приводит к задаче создания специальных устройств-электромагнитов, генерирующих переменное магнитное поле с высокой индукцией в зоне движения зернового потока. Тогда за малое время, в течение которого зерно проходит зону магнитного воздействия, произойдет «ударная» ионизация внутренней среды паразитных микроорганизмов с их последующей гибелью по описанному выше механизму.

На основании изложенного и принимая во внимание результаты предварительных исследований, сформулированы основные исходные требования к магнитообеззараживающему оборудованию агропромышленного назначения.

1. Магнитообеззараживающее оборудование как комплекс электрических и механических устройств (источников питания, электромагнитов, транспортеров зерна) должно обеспечивать согласованную и надежную работу этих устройств в едином технологическом процессе с результирующим эффектом стерилизации не менее 30 % по суммарному уменьшению содержания паразитной микрофлоры в зерне.

2. Основным устройством рассматриваемого оборудования следует считать один или несколько электромагнитов, на которые возлагается задача создания равномерного магнитного поля с индукцией не менее 100 мТл. Только в этом случае удастся добиться высокоинтенсивного воздействия на паразитную микрофлору и получить требуемый стерилизующий эффект.

3. Конструкция магнитообеззараживающего оборудования должна предусматривать поточную зернообработку с вертикальным самоистечением материала через рабочую камеру. Это упрощает устройство за счет отсутствия механизмов транспортировки зерна через активную зону.

4. Длина рабочей камеры, где действует равномерное магнитное поле, должна быть максимальной в направлении движения потока зерна и составлять не менее 100 мм. В противном случае время воздействия на каждую зер-

новку окажется недопустимо малым, а обеззараживающий эффект незначительным и не соответствующим п. 1.

5. В случае использования многополюсной магнитной системы необходимо принимать меры по равномерности магнитного поля по всему объему рабочей камеры с целью одинакового воздействия на все зерновые частицы.

6. Электромагниты, входящие в состав оборудования, должны выполнять свои функции на частотах от 10 до 60 Гц для выбора оптимальной частоты воздействия, не совпадающей согласно работе [6] с промышленной частотой 50 Гц.

Пункт 1 обладает наибольшей общностью, остальные пункты раскрывают те особенности оборудования, которые направлены на выполнение п. 1. Согласно п. 2 необходимо равномерное магнитное поле с индукцией не менее 100 мТл, причем это поле должно быть создано в значительном промежутке между полюсами электромагнита – воздушном зазоре. Указанный зазор определяет производительность устройства по потоку зерна при его самоистечении под действием силы тяжести (п. 3). Выполнение п. 4 также специфично, поскольку требует большой длины полюсных наконечников, обеспечивающих длину рабочей камеры. В силу этих и других причин задача создания электромагнита, удовлетворяющего исходным требованиям, может быть отнесена к технически сложным.

Теоретически возможно построение электромагнита с необходимыми свойствами на сердечниках прямоугольного сечения (рис. 1). Однако лучшие результаты могут дать магнитопроводы вращающихся электрических машин, в частности асинхронных двигателей. Имея большую длину полюсных наконечников – зубцов статора, ротор соответствующей длины и другие конструктивные особенности, они наилучшим образом подходят для решения поставленной задачи.

Кратко характеризуя предлагаемое решение, можно заметить, что асинхронный двигатель представляет собой, по сути дела, готовый электромагнит неявнополюсной системы с внутренним сердечником-ротором. При штатной работе ротор вращается с асинхронной частотой, преобразуя электрическую энергию в механическую; в случае предлагаемого необычного использования сердечник-ротор неподвижен, а вращающееся с синхронной частотой магнитное поле производит работу по обеззараживанию зерна.

Принцип построения магнитообеззараживающего устройства на базе асинхронного двигателя иллюстрирует рис. 2. На рисунке обозначены размеры устройства, критичные с точки зрения эффективности обеззараживания и выполнения исходных требований.

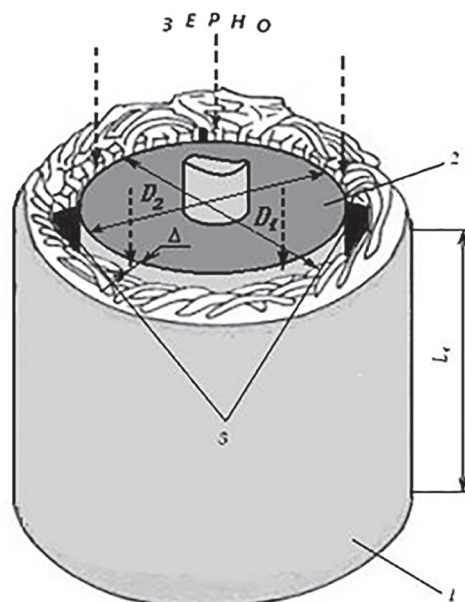


Рис. 2. Магнитообеззараживающее устройство на базе асинхронного двигателя:
1 – статор; 2 – сердечник (ротор);
3 – центрирующие направляющие

Основная часть устройства – статор асинхронного двигателя 1 с обмотками, который используется в готовом виде и не требует переделок. В качестве внутреннего сердечника 2 применим ротор того же двигателя с доработкой, заключающейся в уменьшении его диаметра проточкой до образования требуемого воздушного зазора $\Delta = 12\text{--}14$ мм между поверхностями статора и ротора. Как установлено, такой зазор достаточен для производительного пропускания потока зерна, и при этом, несмотря на увеличение тока намагничивания и ухудшение других электрических характеристик, не препятствует получению необходимой для обеззараживания магнитной индукции.

Сердечник 2 неподвижно закреплен на статоре 1 точно по его оси с помощью центрирующих направляющих 3. Благодаря этому образуется равномерный кольцевой зазор между поверхностями статора и ротора, через который пропускается поток материала. Все цилиндрическое пространство между статором и ротором представляет собой рабочую камеру

устройства, где действует магнитное поле заданных током в обмотках параметров.

Для рабочей камеры кольцевого сечения, о которой идет речь, технологически важными параметрами, влияющими на производительность и обеззараживающий эффект, будут следующие.

Площадь поперечного сечения рабочей камеры:

$$S_k = \frac{\pi(D_1^2 - D_2^2)}{4} = \frac{\pi(D_1^2 - (D_1 - 2\Delta)^2)}{4}, \quad (1)$$

где D_1 – внутренний диаметр статора электродвигателя; $D_2 = D_1 - 2\Delta$ – внешний диаметр сердечника-ротора; Δ – зазор между поверхностями статора и ротора (рис. 2).

Объем рабочей камеры:

$$V_k = S_k \cdot l_1 = \frac{\pi(D_1^2 - (D_1 - 2\Delta)^2)}{4} \cdot l_1, \quad (2)$$

где l_1 – длина статора электродвигателя (рис. 2).

С целью подтверждения высказанных теоретических и практических положений изготовлено опытное магнитообеззараживающее устройство на базе двухполюсного асинхронного двигателя мощностью 1,5 кВт. Эксперименты показали, что настоящее устройство с магнитной индукцией 100 мТл обеспечивает четко выраженный обеззараживающий эффект. Для зерна пшеницы с суммарной зараженностью грибковыми и бактериальными инфекциями 41 % (контроль) достигалось снижение

этого показателя до 17–12 % при нескольких просыпках материала через рабочую камеру [6]. Обеззараживающий эффект, таким образом, равен 24–29 %, что сопоставимо с конвективно-микроволновой обработкой на установке «СИГМА-1» [7], при гораздо более простой конструктивной реализации устройства, его малых габаритах и энергопотреблении.

В опытах также установлено, что лабораторная всхожесть семян не уменьшалась в результате обработки, а в некоторых случаях была выше контроля [6]. Это говорит об отсутствии отрицательных последствий используемого магнитного воздействия для растительного организма.

Не вызывает сомнений, что результаты обеззараживания зависят от конструктивных особенностей устройства-электромагнита, его геометрических и электрических параметров. В этой связи имеет смысл оценить, насколько тот или иной асинхронный двигатель пригоден для магнитообеззараживающего устройства предлагаемой конструкции. С этой целью следует сопоставить известные характеристики двигателей (табл. 1) с исходными требованиями, рассмотренными выше.

Как видно, представленные в табл. 1 двигатели мощностью 1,5–4 кВт обладают весьма существенной магнитной индукцией 0,72–0,96 Тл. Такая индукция, разумеется, не может быть получена в обеззараживающем устройстве из-за повышенного зазора Δ , но, тем не

Таблица 1

Некоторые характеристики асинхронных двигателей серии 5АИ

Тип двигателя	Номинальная мощность, $P_{ном}$, кВт	Синхронная частота вращения, n , об/мин	Максимальная магнитная индукция в зазоре, B , Тл	Длина статора, l_1 , мм	Внутренний диаметр статора, D_1 , мм
5АИ80А2	1,5	3000	0,72	78	74
5АИ80В4		1500	0,82	98	84
5АИ90L6		1000	0,85	110	100
5АИ100L8		750	0,87	120	113
5АИ80В2	2,2	3000	0,73	98	74
5АИ90L4		1500	0,88	100	95
5АИ100L6		1000	0,81	120	113
5И112МА8		750	0,91	100	132
5АИ90L2	3,0	3000	0,68	100	84
5АИ100S4		1500	0,90	100	105
5АИ112МА6		1000	0,89	100	132
5АИ112МВ8		750	0,88	130	132
5АИ100S2	4,0	3000	0,67	100	95
5АИ100L4		1500	0,87	130	105
5АИ112МВ6		1000	0,87	130	132
5АИ132S8		750	0,96	115	158

менее, предпочтительны машины с большей максимальной индукцией для соблюдения п. 1 исходных требований. Это, как правило, более мощные двигатели.

Согласно п. 3 исходных требований нужна значительная длина рабочей камеры, что в данном случае зависит от длины статора l_1 . Среди представленных машин наибольшее значение $l_1 = 130$ мм имеют двигатели 5АИ112МВ8, 5АИ100Л4, 5АИ112МВ6. Важность этого параметра охарактеризована выше. Не менее важный параметр – внутренний диаметр статора D_1 , от которого зависят пропускная способность и объем рабочей камеры. Максимальная величина $D_1 = 132$ мм характерна для двигателей 5АИ112МВ8, АИ112МВ6.

Отмеченные геометрические параметры находятся в зависимости от мощности и высоты оси вращения электрических машин (табл. 1) и определяют конструктивно достижимый объем рабочей камеры. Чем больше объем рабочей камеры, тем большее количество материала подвергается магнитному воздействию в каждый момент времени. Это означает, что требуемый эффект обеззараживания может быть получен при более высокой производительности.

В целом величина обеззараживающего эффекта – процентного уменьшения содержания паразитной микрофлоры в зерне – зависит от ряда факторов, наиболее значимые из которых относятся к характеристикам магнитного поля. Частота и индукция магнитного поля, главным образом, определяют область рациональных параметров, где достигается наибольший обеззараживающий эффект. Характерно, что для устройств с большей рабочей камерой область рациональных параметров приходится на зону высоких производительностей, т.е. возможно сочетание качественных и количественных показателей процесса обеззараживания.

В табл. 2 приведены результаты расчета поперечного сечения камеры S_k и ее объема V_k по формулам (1), (2). Расчет выполнен для двига-

телей 5АИ112МВ8, 5АИ100Л4, 5АИ112МВ6 с длиной статора $l_1 = 13$ см, а также для двигателя 5АИ80А2, имеющего $l_1 = 7,8$ см.

Из табл. 2 следует, что наибольшие S_k и V_k имеют машины 5АИ112МВ8, 5АИ112МВ6. Следовательно, эти двигатели являются наилучшей базой для магнитообеззараживающего устройства. В сравнении с двигателем 5АИ80А2, который аналогичен примененному в опытном образце устройства, рабочая камера указанных двигателей больше по длине в 1,7 раза, по объему – более чем в 3 раза (табл. 2), при этом максимальная магнитная индукция выше в 1,2 раза (табл. 1).

Что касается пунктов 5, 6 исходных требований, они выполняются благодаря самой конструкции асинхронной машины и ее электротехническим материалам, в частности сердечникам статора и ротора из холоднокатаной изотропной стали.

В заключение необходимо подчеркнуть следующее. Согласно проведенным исследованиям опытный образец устройства на двигателе мощностью 1,5 кВт доказывает лишь саму возможность магнитного обеззараживания, подтвержденную экспериментально. Имея малые длину рабочей камеры и ее объем, это устройство требует несколько циклов обработки для получения значимого эффекта стерилизации. В сельскохозяйственном оборудовании целесообразно применять гораздо более эффективные устройства на базе двигателей 5АИ112МВ8, 5АИ112МВ6 или с несколько худшими результатами – 5АИ100Л4. Они полностью удовлетворяют исходным требованиям и способны реализовать процесс обеззараживания с необходимым результатом за один непрерывный цикл обработки.

Общие выводы и рекомендации

1. Разработанные исходные требования позволяют создавать эффективное магнитообеззараживающее оборудование, пригодное для предпосевных и послеуборочных технологий

Таблица 2

Характеристики рабочей камеры магнитообеззараживающего устройства

Тип двигателя	Номинальная мощность двигателя, $P_{\text{ном}}$, кВт	Поперечное сечение рабочей камеры, S_k , см ²	Объем рабочей камеры, V_k , см ³
5АИ80А2	1,5	24,9	194,3
5АИ112МВ8	3,0	48,6	631,9
5АИ100Л4	4,0	37,6	488,5
5АИ112МВ6	4,0	48,6	631,9

АПК. В качестве базы для него рекомендуются асинхронные двигатели средней мощности, что упрощает конструкцию, делает ее недорогой и компактной для сельхозпроизводителей.

2. Анализ параметров асинхронных машин показывает, что в наилучшей степени исходным требованиям удовлетворяют двигатели 5АИ112МВ8, 5АИ112МВ6 (или аналогичные других серий) с максимальной магнитной индукцией 0,87–0,88 Тл. В устройствах на этих двигателях рабочая камера получает значительные размеры: площадь поперечного сечения 49 см², длину 13 см, объем 632 см³, что способствует производительности и качеству обеззараживания.

3. Наибольшая эффективность магнитного обеззараживания достигается в области рациональных параметров, включающих магнитную индукцию и частоту переменного магнитного поля. Полное научное обоснование этих параметров требует отдельных исследований.

4. С целью повышения производительности обеззараживания может быть рекомендована параллельная работа нескольких устройств на базе указанных двигателей. Однотипные магнитообеззараживающие устройства, питаемая от общего трехфазного источника соответствующей мощности, увеличивают производительность техпроцесса в 2 раза при двух устройствах, в 3 раза при трех и т.д., обеспечивая тем самым практически любую производительность в рамках потребностей АПК.

5. Перспектива новой технологии магнитного обеззараживания состоит в том, что она не имеет недостатков химического протравливания и обладает существенными преимуществами перед другими электрофизическими методами, заключающимися в равномерности обработки, энергоэкономии, компактности и невысокой стоимости оборудования, отсутствии вредных выбросов и излучений.

Литература

1. Каспаров В.А., Промоненков В.К. Применение пестицидов за рубежом. М.: Агропромиздат. 1990. 224 с.
2. Физическая энциклопедия. Т.4. М.: Научное издательство «Большая Российская энциклопедия». 1994. С. 308–309.
3. Пахомов А.И. Теоретические предпосылки совершенствования процесса электрофизического обеззараживания зерна // Хранение и переработка зерна. 2017. № 7 (215). С. 49–52.
4. Кузнецов Д.Б. Физико-химические механизмы воздействия крайне-высокочастотного излучения на микроорганизмы // Современные проблемы науки и образования [Электронный ресурс]. 2013. № 1. 8 с. Режим доступа: <http://www.science-education.ru/pdf/2013/1/158.pdf> (дата обращения 28.05.2018).
5. Способ обеззараживания жидких сред: пат. №2188798 РФ, МПК C02F1/48, C02F103:04 / М.Г. Барышев, В.И. Дмитриев; заявитель и патентообладатель: М.Г. Барышев, В.И. Дмитриев. № 2000130866/12; заявл. 08.12.2000; опубл. 10.09.2002, Бюл. № 25. 6 с.
6. Пахомов А.И., Максименко В.А., Буханцов К.Н., Ватутина Н.П. Результаты исследований по использованию вращающегося магнитного поля для обеззараживания зерна // Хлебопродукты. 2018. № 6. С. 40–43.
7. Пахомов А.И. Сравнительный анализ СВЧ-установок для обеззараживания зерна // Тракторы и сельхозмашины. 2018. № 1. С. 21–26.

References

1. Kasparov V.A., Promonenkov V.K. Primenenie pesticidov za rubezhom [Application of pesticides abroad]. Moscow: Agropromizdat Publ. 1990. 224 p.
2. Fizicheskaya ehnciklopediya [Physical encyclopedia]. Vol. 4. Moscow: Nauchnoe izdatel'stvo «Bol'shaya Rossijskaya ehnciklopediya» Publ. 1994, pp. 308–309
3. Pahomov A.I. Theoretical prerequisites for improving of the process of electrolytic grain disinfection. Hranenie i pererabotka zerna. 2017. No 7(215), pp. 49–52 (in Russ.).
4. Kuznecov D.B. Physico-chemical mechanisms for the construction of ultra-high-frequency radiation on microorganisms. Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya [Elektronnyj resurs]. 2013. No 1. 8 p. (in Russ.) URL: <http://www.science-education.ru/pdf/2013/1/158.pdf> (accessed 28.05.2018).
5. Sposob obezzarazhivaniya zhidkih sred [Disinfection of liquid media]: pat. No 2188798 RF, MPK C02F1/48, C02F103:04. / M.G. Baryshev, V.I. Dmitriev; zayavitel' i patentoobladatel': M.G. Baryshev, V.I. Dmitriev. No 2000130866/12; zayavl. 08.12.2000; opubl. 10.09.2002, Byul. No 25. 6 p.
6. Pahomov A.I., Maksimenko V.A., Buhancov K.N., Vatutina N.P. Results of studies on the use of a rotating magnetic field for grain disinfection. Hleboprodukty. 2018. No 6, pp. 40–43 (in Russ.).
7. Pahomov A.I. Comparative analysis of microwave installations for grain disinfection. Traktory i sel'hozmashiny. 2018. No 1, pp. 21–26 (in Russ.).