

АГРОИНЖЕНЕРИЯ

Научная статья

УДК 631.53.027.33:621.318.3:633.11+631.53.027.2:631.331.922:632.952

doi: 10.28983/asj.y2023i5pp151-159

**Экспериментальное определение эффективных режимов процесса  
обеззараживания семян комбинированным магнитно-химическим воздействием**

**Владимир Андреевич Максименко, Кирилл Николаевич Буханцов, Наталья Петровна Ватутина**  
СКНИИМЭСХ ФГБНУ «АНЦ «Донской», г. Зерноград, Россия  
e-mail: elektro\_sknimesh.rashn@mail.ru

**Аннотация.** Проанализированы основные причины высокой зараженности производимого в России зерна возбудителями болезней, несмотря на широкое применение в стране химического протравливания семенного зерна. Предложен и экспериментально исследован новый способ обеззараживания семенного зерна комбинированным воздействием низкочастотным магнитным полем и обработкой пониженными относительно нормативной дозировки концентрациями протравителя. В опыте выявлено, что общая зараженность проб зерна на наилучших режимах обеззараживания снизилась с 49 % в контроле до 16–19 % в опыте, то есть содержание в семенах комплекса плесневых грибов и бактерий уменьшилось в 2,6–3,1 раза, при сохранении на высоком уровне посевных свойств семян. Предложенный способ борьбы с зараженностью семенного зерна показал себя как эффективный для ее количественного снижения, позволяет преодолеть резистентность фитопатогенных микроорганизмов зерна к химическим протравителям без увеличения токсической нагрузки на экологию агроценозов и повышает безопасность выращиваемого в стране зерна для здоровья человека, сельскохозяйственных животных и птицы.

**Ключевые слова:** низкочастотное магнитное поле; частота и магнитная индукция; плесневые грибы; общая зараженность; обеззараживание семян; системный фунгицид; пониженная концентрация протравителя; рациональные параметры процесса.

**Для цитирования:** Максименко В. А., Буханцов К. Н., Ватутина Н. П. Экспериментальное определение эффективных режимов процесса обеззараживания семян комбинированным магнитно-химическим воздействием // Аграрный научный журнал. 2023. № 5. С. 151–159. <http://10.28983/asj.y2023i5pp151-159>.

AGRICULTURAL ENGINEERING

Original article

**Experimental testing of the effective modes for the grain disinfection process  
by combined magnetic-chemical influence**

**Vladimir A. Maksimenko, Kirill N. Bukhantsov, Natalya P. Vatutina**

Northern-Caucasian Scientific Research Institute of Mechanization and Electrification of Agriculture Federal State Budgetary Scientific Institution “Agricultural scientific center “Donskoy (NCRIMEA FSBSI “ASC “Donskoy”), Zernograd, Russia,  
e-mail: elektro\_sknimesh.rashn@mail.ru

**Abstract.** The basic causes of grain’s high level infection with agents of diseases in Russia, in spite of wide usage of grain seeds chemical treatment in the country, have been analyzed there. The new method of stock disinfection by combined action of low-frequency magnetic field and protectants concentration that is lower than normative dosage is suggested and experimentally researched. It was found that general infection rate of grain samples at the best disinfection levels decreased from 49 % in control to 16–19 % in test, that is the content of mold fungi and bacteria complex decreased 2.6–3.1 times in grain, while grain sowing behaviors had been kept at the high level. The suggested way of seeds infection control proved its effectiveness for infection quantitative decreasing, it allowed to get over the resistance of phyto pathogenic fungi to the chemical protectants without toxic stress at agroecology ecology and increased safety of growing grain for the people’s health, agricultural animals and birds.

**Keywords:** low-frequency magnetic field; frequency and magnetic induction; mold fungi; general infection; seeds disinfection; systemic fungicide; decreased protectants concentration; reasonable parameters of the process.

**For citation:** Maksimenko V.A, Bukhantsov K.N., Vatutina N.P. Experimental testing of the effective modes for the grain disinfection process by combined magnetic-chemical influence // Agrarnyy nauchnyy zhurnal = The Agrarian Scientific Journal. 2023;(5):151–159. (In Russ.). <http://10.28983/asj.y2023i5pp151-159>.





**Введение.** Россия входит в пятерку стран, которые являются крупнейшими производителями и поставщиками зерна на мировые рынки [1–5]. Гарантиями надежного экспорта зерна являются стабильно высокие урожаи зерновых культур в отечественном АПК в течение ряда лет (с 2013 по 2018 г.) с выраженным ростом валовых сборов, составившим от 70,9 до 135,3 млн т [2, 3], а последние 3 года (2019–2021 гг.) с некоторыми колебаниями установившимися (валовыми сборами) на уровне 120,6–133,5 млн т [1, 4].

Однако для зернового подкомплекса АПК России и эффективной работы всех его субъектов существенные риски несет ухудшение фитосанитарной обстановки в отрасли, происходящее в течение последних 30 лет. По мировым данным, потери зерна только на стадии производства от возбудителей болезней (грибковых и бактериальных) доходят до 12–13 % [6] (то есть при текущем урожае в стране, его недобор составляет 16,4–19,9 млн т зерна), а несвоевременное проведение послеуборочной обработки собранного урожая (очистки, активного вентилирования, сушки) и несоблюдение условий его хранения провоцируют количественные и качественные потери зерновых от 30 % и более [3], вплоть до полной утраты посевных свойств и непригодности использования зерна для продовольственных, кормовых и даже технических целей, что в значительной мере вызвано интенсивным развитием в зерновой массе вредной микрофлоры.

Известно, что основным источником инфицирования зерна нового урожая вредоносными плесневыми грибами и бактериями является семенной материал. Чтобы взять под контроль распространение заражения фитопатогенами и существенно его снизить в посевах зерновых и в урожае в производстве применяют химическое протравливание семенного зерна, до недавнего времени считавшееся наиболее простым, распространенным и эффективным способом снижения его зараженности возбудителями болезней. Однако за последние 15–20 лет эффективность химического метода обеззараживания в зерновой отрасли России и мира неуклонно снижается, даже несмотря на то, что величина протравливания семенного зерна в России перед посевом в последние годы довольно высока и колеблется на уровне 68–89 %.

Снижение эффективности операции химического протравливания в борьбе с возбудителями грибковых и бактериальных инфекций зерна связана с рядом причин:

с выработкой резистентности у вредной микрофлоры зерна на применяемые в производстве пестициды [8], что вызвано отсутствием на рынке фунгицидов препаратов с новыми механизмами ингибирующего, в том числе комплексного, воздействия на фитопатогены, вместо которых сейчас используются в разных сочетаниях смеси коммерческих протравителей с действующими веществами, на которые, согласно известным механизмам возникновения резистентности [9], у возбудителей болезней зерна выработалась устойчивость;

с использованием в составе фунгицидов высокотоксичных отравляющих веществ, вызывающих химические мутации в организмах возбудителей болезней зерна в направлении выделения и отбора из них форм фитопатогенов, устойчивых или невосприимчивых к протравителям данной видовой группы;

в связи с рекомендациями производителей использовать более высокие дозы препаратов в качестве нормативных, чем выявлены при испытаниях фунгицидов, что делается для обеспечения высокой эффективности подавления вредной микрофлоры зерна, но при этом вызывает возникновение устойчивых к химическому обеззараживанию данными препаратами видов плесневых грибов и бактерий, а также приводит к проявлению токсичности у ранее безвредных видов микроорганизмов.

В качестве эффективных способов обеззараживания зерна, альтернативных химическому и способных частично заменить технологическую операцию протравливания в производстве, можно назвать биологические методы обработки семян, но они дорогостоящие, требуют малой удаленности от мест производства и хранения биопрепаратов до мест использования, сложны в реализации, не широко распространены из-за малого количества промышленно выпускаемого оборудования для обработки ими семян и др.

Хорошую результативность по обеззараживанию от возбудителей грибковых и бактериальных болезней зерна показали электрофизические способы, включающие в себя одно воздействие [10, 11], и комбинированные способы обработки [12–15], состоящие из нескольких последовательно или одновременно протекающих воздействий, ингибирующих вредную микрофлору. Но электрофизические методы обеззараживания, в том числе комбинированные, в большинстве своем могут



быть рекомендованы только для обработки продовольственного и кормового зерна перед закладкой его на хранение или перед отправкой на переработку, так как они в полной мере экологически чистые и безопасные для здоровья человека и сельскохозяйственных животных и птиц. Применение для обеззараживания семенного зерна электрофизических и комбинированных способов значительно менее эффективно, чем использование химического протравливания и биологических методов защиты, потому что даже при полной деконтаминации семян от вредных плесневых грибов и бактерий при высеве их в поле происходит вторичное перезаражение семян фитопатогенной микрофлорой из почвы, тем самым нивелируются результаты обеззараживания, поскольку не получается их закрепить на весь период прорастания семени, и вредные микроорганизмы начинают отрицательно влиять на количественные и качественные показатели нового урожая. Для устранения перечисленных недостатков электрофизических методов обеззараживания и химического протравливания зерна в лаборатории био энерготехнологий СКНИИМЭСХ ФГБНУ «АНЦ «Донской» предложен для исследования комбинированный способ, включающий в себя обработку семенного зерна пшеницы низкочастотным магнитным полем, а после этого, нанесение на зерно раствора с пониженной концентрацией коммерческого протравителя [16].

Согласно ранее предложенной гипотезе [14], магнитно-химический способ обеззараживания позволит эффективно бороться с возбудителями грибковых и бактериальных болезней зерна за счет создания комплексного взаимоусиливающего механизма ингибирования их жизнедеятельности, основанного на совмещении явлений аутофагии и классических физиолого-биохимических механизмов летального действия фунгицидов. При этом у вредной микрофлоры зерна не возникнет резистентности к данному способу обеззараживания и применяемым в нем химикатов, так как основной летальный эффект у вредной микрофлоры запускается на клеточном уровне за счет нарушения от воздействия низкочастотным магнитным полем рабочих функций митохондрий, а протравитель только ускоряет и усиливает отмирание фитопатогенных микроорганизмов; использование химических препаратов для протравливания семян хоть и в меньших дозировках, чем рекомендуется производителями, будет препятствовать их (семенам) вторичному перезаражению возбудителями инфекций из почвы; и позволит обеспечить существенный экономический эффект за счет снижения расходов на закупку дорогостоящих системных фунгицидов, поскольку согласно предложенному комбинированному способу, на этапе химического протравливания их потребуется для обеззараживания существенно меньшее количество.

Рассматриваемый способ обеззараживания включает в себя два последовательно проводимых этапа обработки зерна: на первом этапе реализуется поточное воздействие на материал переменным низкочастотным магнитным полем. На втором этапе выполняется протравливание омагниченного зерна водным раствором химического протравителя, содержащим пониженную относительно нормативной дозировки концентрацию действующих веществ препарата, в качестве которого в опыте используется системный фунгицид *Редиго Про*, кс.

Цель исследований – подтвердить эффективность последовательной комбинации низкочастотного магнитного и химического воздействия на обеззараживание зерна от возбудителей грибковых и бактериальных заболеваний и определить возможности снижения концентрации протравителя.

**Методика исследований.** Исследование качества обеззараживания зернового сырья комбинированным магнитно-химическим способом проводится методом однофакторного эксперимента, поскольку технологические режимы обработки низкочастотным магнитным полем были определены ранее [10–12, 16] и для всех вариантов опытов приняты постоянными, а варьирует только концентрация протравителя в рабочем растворе.

При проведении исследований на первом этапе комбинированного способа обеззараживания зерна, включающем в себя обработку проб материала переменным магнитным полем, используется лабораторная установка на базе двухполюсного асинхронного двигателя 4А80А2 мощностью  $N = 1,5$  кВт, схема которой показана на рис. 1 [17].

Перед проведением опытов выполняли подготовку зернового материала путем очистки его от растительных остатков, сорных и минеральных примесей на решетке с круглыми отверстиями диаметром  $d_{\text{решето}}^{\text{отв.}} = 5$  мм и отвеиванием в воздушном потоке от легких растительных остатков, затем осуществляли взвешивание партии зерна, предназначенной для эксперимента.

Из очищенного и взвешенного материала отбирали пробу для определения начальной влажности. Анализ влажности выполняли весовым методом по ГОСТ 13586.5-93 на базе лаборатории

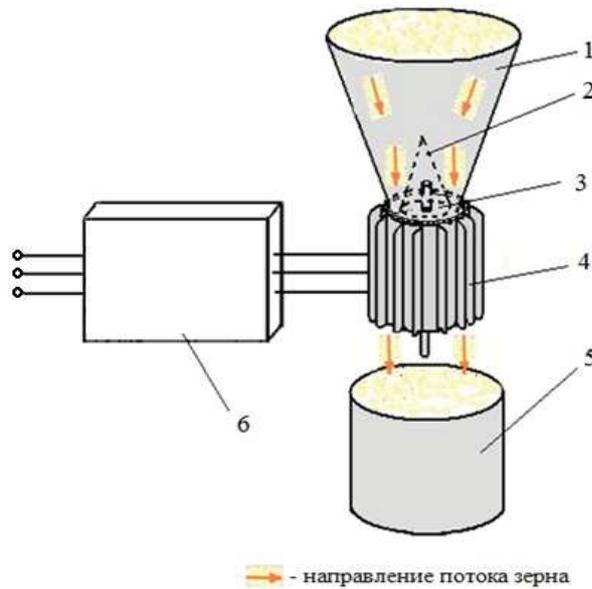


Рис. 1. Конструктивная схема лабораторной установки для реализации этапа магнитного обеззараживания зерна [17]: 1- загрузочный бункер (конус); 2 – обратный направляющий конус; 3 – ротор асинхронного двигателя, уменьшенный в диаметре; 4 – статор асинхронного двигателя; 5 – приёмная ёмкость; 6 – источник питания (преобразователь частоты VED075E23A/43A фирмы Delta Electronics)

биохимической оценки селекционного материала и качества зерна ФГБНУ «АНЦ «Донской».

На следующем этапе определяли количество воды, которую необходимо добавить на зерна и распределить по их поверхности до обеспечения после впитывания влажности материала 14 %, оптимальной с точки зрения эффективности электрофизической обработки и последующего хранения.

Расчет выполняли по формуле [15]:

$$\Delta m_{\text{в}} = \frac{m_{\text{нз}}}{100} \left( \frac{W_{\text{нз}}^{\text{опыт}} (100 - W_{\text{нз}})}{(100 - W_{\text{нз}}^{\text{опыт}})} - W_{\text{нз}} \right), \quad (1)$$

где  $\Delta m_{\text{в}}$  – количество воды, которое необходимо добавить в зерно для получения необходимой влажности материала, кг;  $W_{\text{нз}}^{\text{опыт}}$  – конечная влажность зерна, необходимая для проведения опытов, %,  $W_{\text{нз}}^{\text{опыт}} = 14$  %;  $W_{\text{нз}}$  – начальная влажность зерна, %, по данным лаборатории биохимической оценки селекционного материала и качества зерна ФГБНУ «АНЦ «Донской» для проб зерна пшеницы  $W_{\text{нз}} = 9,88$  %;  $m_{\text{нз}}$  – масса партии зерна с начальной влажностью  $W_{\text{нз}}$ , кг,  $m_{\text{нз}} = 2,0$  кг.

Зная нужное количество воды, партию зерна высыпали на полиэтиленовую пленку относительно ровным слоем и мерным стаканом вместимостью  $m_{\text{м.е.}}^{\text{вода}} = 0,5$  кг отмеряли массу воды, рассчитанную по формуле (1). Жидкость добавляли порционно, тщательно перемешивая материал после добавления каждой порции.

Чтобы влага не испарялась, а равномерно распределялась на заданную глубину в зерновых частицах, увлажненный слой укрывали полиэтиленовой пленкой и выдерживали в течение времени отлежки  $\tau_{\text{от.л.}} = 90$  мин. Периодически через 0,25–0,5 ч проводили перемешивание. В результате зерно приобретало влажность и сыпучесть, необходимую для дальнейших опытов.

Далее осуществлялся рабочий процесс комбинированного обеззараживания подготовленных проб зерна в соответствии с разработанной частной методикой эксперимента. На первом этапе исследуемого способа обработки зерновой материал засыпался в загрузочный бункер 1 (см. рис. 1), откуда он перемещался вертикальным потоком кольцевого сечения, сформированным конусами 1 и 2, и заполнял зазор между статором 4 и ротором 3, подвергаясь при опускании действию обеззараживающего магнитного поля.

Параметры переменного магнитного воздействия на зерно в опыте поддерживались постоянными: частота магнитного поля составляла  $f = 20$  Гц, магнитная индукция  $B = 120$  мТл при токе  $I = 5,4$  А. Расход потока материала через установку магнитной обработки составлял  $Q_{\text{з.м.о.}} = 256$  кг/ч и обеспечивал одинаковое время пребывания зерна в магнитном поле равное  $\tau_{\text{м.о.}} = 1,97$  с, при этом количество пропусков материала через зону магнитного воздействия было однократным



( $K_{пр.} = 1$  раз). Начальная температура зернового материала, поступающего на обработку, имела значение  $t_{з.н.} = 22,5$  °С и в ходе опытов не изменялась.

На втором этапе экспериментально исследуемого комбинированного способа обеззараживания проводилось химическое протравливание путем тщательного перемешивания в замкнутом объеме прошедших магнитное воздействие проб зерна (массой по  $m_{з.протр.} = 1,0$  кг) разбавленным водным раствором системного фунгицида *Редиго Про, кс*, содержащим в своем составе пониженные относительно нормативного значения (рекомендованного производителем) концентрации препарата.

Таким образом, варьируемым в эксперименте фактором являлась концентрация протравителя в рабочем растворе в процентах от его нормативной дозировки (П, %), диапазон которой (концентрации) изменялся в пределах от 0 % (без протравливания) до 50 % с шагом 10 %.

За выходную функцию в опытах принимали суммарный (общий) уровень зараженности зернового материала гифковыми и бактериальными инфекциями после обработки.

В качестве протравителя использовали рабочий раствор препарата *Редиго Про, кс* [протиоконазол (150 г/л) + тебуконазол (20 г/л)]. Разбавление раствора и его внесение в килограммовую пробу зерна делали с помощью 10 мл медицинского шприца.

Распределение раствора низкоконцентрированного протравителя по поверхности зерновых частиц в пробе обеспечивали гравитационным перемешиванием их (частиц) непосредственно в двойном полиэтиленовом пакете, в котором находилось зерно при добавлении в него разбавленного пестицида.

Определение выходной функции составляло отдельный этап исследований. С этой целью упакованные и промаркированные пробы зерна (контрольная [сухая без обработки] и опытные) передавали в фитосанитарную лабораторию отдела испытаний и оценки технологических процессов СКНИИМЭСХ, где проводился анализ на зараженность и лабораторную всхожесть согласно ГОСТ 12044-93 методом проращивания семян в рулонах. Для каждой пробы оформлялось удостоверение с таблицей показателей зараженности. В табл. 1 приведены результаты оценки зараженности контрольной пробы зерна пшеницы.

**Результаты исследований.** Полученные по результатам фитосанитарной экспертизы данные обобщены в табл. 2 и представлены на гистограмме с накоплением, показанной на рис. 2. По ним видно, что в опыте на всех уровнях варьирования концентраций пестицида в рабочем растворе, применяемых на этапе химического протравливания, обеспечивается снижение суммарной (общей) зараженности проб зерна вредной микрофлорой.

Максимальный эффект обеззараживания в исследованном комбинированном способе обработки составляет  $\Delta Z_{з.м.к.}^3 = 33$  % по сравнению с контролем (снижение с 49 до 16 %), который достигается на режимах магнитного воздействия на частоте  $f = 20$  Гц и магнитной индукции  $B = 120$  мТл и при применении на этапе протравливания зерна концентрации пестицида (*Редиго*

Таблица 1

Результаты фитосанитарного анализа контрольной пробы зерна пшеницы

Виды 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		13,0
Гельминтоспориоз ( <i>Cochliobolus sativus</i> )		3,0
Плесневение ( <i>Penicillium roseum</i> , <i>Aspergillus</i> , <i>Trichothecium roseum</i> )		7,0
Септориоз ( <i>Septoria</i> )		12,0
Твердая головня пшеницы ( <i>Tilletia laevis</i> )		Не обнаружено
Фузариоз ( <i>Fusarium</i> )		6,0
Общая зараженность		49,0
Лабораторная всхожесть	95,0	





Про, кс) в рабочем растворе  $\Pi = 20\%$  от нормативной дозировки. Однако, высокий уровень снижения зараженности зерна в этом опыте сопровождается значительным падением показателя всхожести зерна: на  $17\%$  по сравнению с контролем (с  $95$  до  $78\%$ ) согласно данным табл. 2.

Несколько меньшая эффективность обеззараживания пробы зерна  $\Delta Z_{з.м.х}^5 = 31\%$  по сравнению с контролем (снижение с  $49$  до  $18\%$ ), но при сохранении посевных свойств (лабораторной всхожести) на уровне контроля ( $V_{с.к.} = V_{с.5} = 95\%$ ), достигается в опыте, в котором на этапе химического протравливания (2-й этап комбинированного воздействия) зерно обрабатывается раствором пестицида с концентрацией  $\Pi = 40\%$  от нормативной дозировки. Полученное ухудшения посевных свойств зернового материала в опытах по мере снижения концентрации протравителя (Редиго Про, кс) в рабочих растворах, используемых на этапе химического обеззараживания (см. табл. 2), не согласуется с предыдущими экспериментальными данными [18]. В связи с этим утверждать, что режим обработки зерна комбинированным способом обеззараживания из пункта 2 табл. 2 недопустим для практического использования – преждевременно. Для этого необходимо провести его дополнительную экспериментальную проверку по критерию влияния на всхожесть обрабатываемого зерна и тем самым набрать статистику результативности обеззараживания. Повторная проверка влияния режима обеззараживания по пункту 2 на лабораторную всхожесть показала ее снижение по сравнению с контролем на  $6\%$  до  $V_{с.5}^* = 89\%$ .

На данном же этапе, по результатам проведенных экспериментальных исследований можно сказать, что наилучшим по критерию снижения зараженности зерна плесневыми грибами и бактериями, является режим комбинированной обработки, в котором на этапе химического про-

Таблица 2

Зараженность зерна пшеницы при комбинированной обработке проб зерна переменным магнитным полем и пониженными дозами химического протравителя Редиго Про, кс

Режимы этапа магнитной обработки зерна	Концентрация протравителя от нормативной дозировки $\Pi$ , %	Общая зараженность корневыми гнилями $Z$ , %	Лабораторная всхожесть $V_{с.}$ , %
Частота $f = 20$ Гц и индукция $B = 120$ мТл магнитного поля, расход потока зерна $Q_{з.м.о.} = 256$ кг/ч	0 (без протравливания)	32	98
	10	21	94
	20	16	78 (89*)
	30	19	88
	40	18	95
	50	24	95
Контроль	–	49	95

\* Повторно исследованное влияние режима обеззараживания на лабораторную всхожесть.

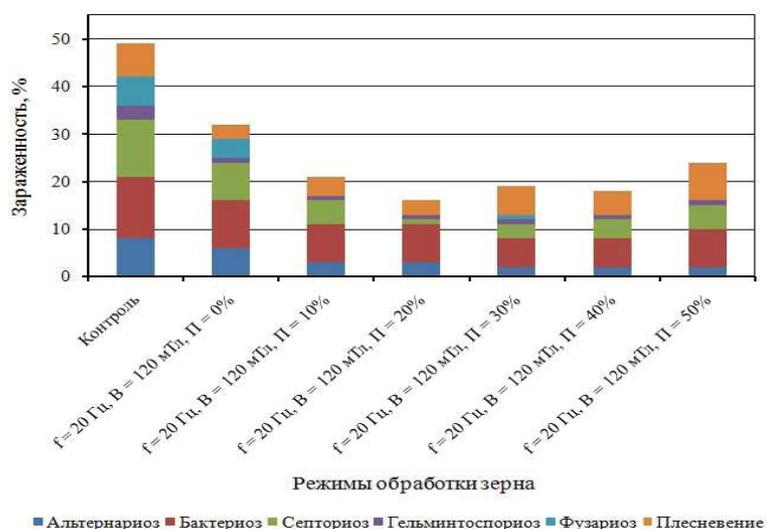


Рис. 2. Зараженность зерна пшеницы при комбинированной обработке переменным магнитным полем (при расходе потока  $Q_{з.м.о.} = 256$  кг/ч) и пониженными дозами химического протравителя Редиго Про, кс.



травливания, используется раствор пестицида (*Редиго Про, кс*) с концентрацией в нем препарата П = 20 % от нормативной дозировки. Однако, учитывая, что разброс конечной зараженности зерна в опытах 3, 4 и 5 (см. табл. 2) незначителен и составляет 1–3 %, то для практического применения можно рекомендовать весь диапазон режимов комбинированных способов обеззараживания, включающих в себя сочетание магнитной обработкой и химического протравливания рабочими растворами пестицида (*Редиго Про, кс*) с концентрацией в них препарата П = 20–40 % от нормативной дозировки.

Кроме того, анализ полученных результатов эксперимента по данным рис. 2 показал, что применение комбинированных способов обеззараживания на режимах химической обработки зернового материала растворами фунгицида с концентрациями в них препарата П = 10–20 % и П = 40–50 % от нормативной дозировки, пробы зерна полностью обезвреживаются от плесневых грибов рода *Fusarium*, которые являются наиболее высокоустойчивыми видами фитопатогенов к чисто химическому протравливанию [19], вызывают интенсивное продуцирование при выращивании и хранении зерна опасных для здоровья людей и животных микотоксинов [20] и провоцируют комплексное нарушение физиологических процессов в растениях и семенах злаковых культур, приводящих к резкому снижению урожайности и качественных характеристик производимого зерна.

Таким образом установлено, что малые дозы ядохимикатов способны усиливать обеззараживающий эффект низкочастотной магнитной обработки. При этом допустимо снижение концентрации фунгицидов до 20–25 % от стандартной (нормативной), что способствует экономии дорогостоящих препаратов, ослабляет их токсикологическое воздействие на окружающую среду, снижает интенсивность выработки резистентных штаммов грибковой микрофлоры и полностью убирает из зерна наиболее опасный по вырабатываемым микотоксинам род плесневых грибов *Fusarium*.

**Заключение.** Комбинированное последовательное воздействие на зерно низкочастотного магнитного поля (НМП) и водного раствора системного фунгицида с пониженной относительно нормативных значений дозировкой препарата обеспечивает высокий уровень подавления грибковой и бактериальной микрофлоры и позволяет использовать метод обеззараживания для предпосевной обработки семян при одновременно снижении вторичного перезаражения их через почву.

На основе анализа данных экспериментальных исследований магнитно-химического способа обеззараживания семян предложены следующие рациональные параметры процесса:

а) режим наиболее высокой эффективности обеззараживания и экономии на расходе химического протравителя:

магнитное поле с частотой 20 Гц, магнитной индукцией 120 мТл при времени пребывания в нем зерна 1,97 с;

водный раствор химического протравителя *Редиго Про, кс* с дозировкой 20 % от нормативной

б) режим высокой эффективности обеззараживания и наилучшего сохранения посевных свойств:

магнитное поле с частотой 20 Гц, магнитной индукцией 120 мТл при времени пребывания в нем зерна 1,97 с;

водный раствор химического протравителя *Редиго Про, кс* с дозировкой 40 % от нормативной.

В области рациональных параметров получен высокий эффект обеззараживания от паразитной микрофлоры, в том числе полное уничтожение высокоустойчивых к химическому протравливанию и активных продуцентов микотоксинов грибов р. *Fusarium*. Преодолевается возникновение резистентности микрофлоры к химическим протравителям за счет явления аутофагии от действия магнитного поля, протравитель только ускоряет и усиливает эффект ингибирования фитопатогенов.

Новый метод обеззараживания снижает токсическую пестицидную нагрузку на экологию и биоценозы АПК

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Петриченко В.В. Октябрьский прогноз урожая зерна 2019 г. – 122,82 млн. т // Хлебопродукты. 2019. № 11. С. 4–7.
2. Петриченко В.В. Июньский прогноз урожая зерна 2018 г. – 115,6 млн. т // Хлебопродукты. 2018. № 7. С. 4–5.



3. Регрессионная математическая модель двухэтапной комбинированной электротехнологии высокотемпературной конвективной сушки и озонородушной обработки зерна / В.И. Пахомов [и др.] // Тракторы и сельхозмашины. 2019. № 1. С. 81–95.
4. Предварительная оценка зернового сезона 2021/22 с.-х. года // Хлебопродукты. 2021. № 12. С. 12–13.
5. Алабушев А.В. Экспортные поставки и современное состояние рынка зерна пшеницы в России и в мире // Достижения науки и техники АПК. 2019. Т. 33. № 2. С. 68–70.
6. Афанасенко О.С. XVIII международный конгресс по защите растений // Защита и карантин растений. 2015. № 12. С. 47–48.
7. Перспективы развития российского зернового рынка в новых условиях 2022 г. // Хлебопродукты. 2022. № 4. С. 26–27.
8. Fisher M.C., Hawkins N.J., Sanglard D., Gurr S.J. Worldwide emergence of resistance to antifungal drugs challenges human health and food security // Science. 2018. Vol. 360. Iss. 6390. P. 739–742.
9. Brent K.J., Hollomon D.W. Fungicide Resistance in Crop Pathogens: how can it be Managed? 2<sup>nd</sup>, revised edition. – Brussels, Belgium: FRAC Monograph No. 1, 2007. 60 p.
10. Результаты исследований по использованию вращающегося магнитного поля для обеззараживания зерна / А.И. Пахомов [и др.] // Хлебопродукты. 2018. № 6. С. 40–43.
11. Экспериментальное определение параметров магнитного обеззараживания зерна / А.И. Пахомов [и др.] // Аграрный научный журнал. 2019. № 3. С. 84–89.
12. Комбинированный конвективно-магнитный метод обеззараживания семенных материалов в АПК / А.И. Пахомов [и др.] // Техника и оборудование для села. 2020. № 3. С. 33–36.
13. Cwiklinski, M., von Horsten, D., Lucke, W., Wolf, G. Alternativen zur chemischen Beizung. Saatgutbehandlung mit Mikrowellen- und Hochfrequenzenergie // Landtechnik. 2001. Br. 56. No. 1. S. 28–29.
14. Патент № 2640288 РФ, МПК А01С 1/00. Способ комбинированного обеззараживания зерна и семян с использованием СВЧ-энергии / В. И. Пахомов, А. И. Пахомов, К. Н. Буханцов, В. А. Максименко; заявитель и патентообладатель: ФГБНУ «АНЦ «Донской». № 2017101178/13; заявл. 13.01.2017; опубл. 11.04.2018, Бюл. № 11. 54 с.
15. Буханцов К.Н. Математическая модель процесса обеззараживания увлажненного водой зерна сочетанием конвективного нагрева и обработки электромагнитным полем сверхвысокой частоты // Электротехнические комплексы и системы управления. 2015. № 1. С. 9–23.
16. Разработать исходные требования на технологическую линию обеззараживания зерна и семян с использованием комбинированных физико-химических методов воздействия: отчет о НИР (промежуточ.): 0706-2018-0025/СКНИИМЭСХ ФГБНУ «АНЦ «Донской»; Рук. Пахомов А.И. зерноград, 2018. 96 с. Рег. № НИОКТР АААА-А17-117062110085-0. Рег. № ИКРБС АААА-Б19-219031890206-1. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=36491107>.
17. Разработка методов применения технологии эффективной обработки сельскохозяйственных материалов с использованием обеззараживающих препаратов и электрофизических воздействий: отчет о НИР (промежуточ.): 0706-2017-0009/СКНИИМЭСХ ФГБНУ «АНЦ «Донской»; Рук. Пахомов А.И. зерноград, 2017. 80 с. №ГР АААА-А17-117062110085-0. Инв. №АААА-Б18-218020290063-1. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=30690028>.
18. Получение новых знаний по агротехнической и энергетической оценке технологии эффективной обработки сельскохозяйственных материалов с использованием обеззараживающих препаратов и комбинированных электрофизических воздействий: отчет о НИР (промежуточный): 0708-2014-0010/ФГБНУ СКНИИМЭСХ Россельхозакадемии; Рук. Пахомов А.И. зерноград, 2016. 62 с. № ГР 114100140065. – Инв. № АААА-Б17-217011270178-7. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=27235951>.
19. Гришечкина, Л.Д. Агробиологическое и экотоксикологическое обоснование формирования ассортимента фунгицидов для защиты пшеницы: автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук: 06.01.07. СПб.: ФГБНУ ВИЗР, 2018. 39 с.
20. Мачихина, Л.И., Алексеева Л.В., Львова Л.С. Научные основы продовольственной безопасности зерна (хранение и переработка). М.: ДеЛи принт, 2007. 382 с.

## REFERENCES

1. Petrichenko V.V. October 2019 grain harvest forecast – 122,82 million tons. *Bakery products*. 2019; 11: 4–7. (In Russ).
2. Petrichenko V.V. June forecast of grain harvest 2018 – 115,6 million tons. *Bakery products*. 2018; 7: 4–5. (In Russ).
3. Pakhomov V. I., Gazalov, V. S., Bukhantsov, K. N. A regression mathematical model of two-stage combined high-temperature convective dryer, using electrical technology, and ozone-air grain treatment.

*Tractors and agricultural machines*. 2019; 1: 81-95. <https://doi.org/10.31992/0321-4443-2019-1-81-95>. (In Russ).

4. Preliminary assessment of the grain season 2021/22 agricultural year. *Bakery products*. 2021; 12: 12–13. (In Russ).

5. Alabushev, A.V. Export Deliveries and the Current State of the Wheat Grain Market in Russia and in the World. *Achievements of science and technology of the AIC*. 2019; 33; 2: 68–74. doi: 10.24411/0235-2451-2019-10216. (In Russ).

6. Afanasenko, O.S. XVIII International Plant Protection Congress. *Plant protection and quarantine*. 2015; 12: 47–48. (In Russ).

7. Prospects for the development of the Russian grain market in the new conditions of 2022. *Bakery products*. 2022; 4: 47–48. (In Russ).

8. Fisher M.C., Hawkins N.J., Sanglard D., Gurr S.J. Worldwide emergence of resistance to antifungal drugs challenges human health and food security. *Science*. 2018; 360; 6390: 739–742.

9. Brent K.J., Hollomon D.W. Fungicide Resistance in Crop Pathogens: how can it be Man-aged? 2nd, revised edition. Brussels, Belgium: FRAC Monograph No. 1, 2007. 60 p.

10. Pakhomov A.I., Maksimenko V.A., Bukhantsov K.N., Vatutina N.P. Results of research of use of the rotating magnetic field for grain disinfection. *Bakery products*. 2018; 6: 40–43. (In Russ).

11. Pakhomov A.I., Maksimenko V.A., Bukhantsov K.N., Vatutina N.P. Experimental characterization of the parameters of grain's magnetic disinfection. *The Agrarian Scientific Journal*. 2019; 3: 84-89. doi: 10.28983/asj.y2019i3pp84-89. (In Russ).

12. Pakhomov, A. I., Maksimenko, V. A., Bukhantsov, K. N., Vatutina, N. P. Combined convective-magnetic method of seeds' material disinfection in AIC. *Machinery and equipment for rural areas*. 2020; 3: 33–36. doi: 10.33267/2072-9642-2020-3-33-36. (In Russ).

13. Cwiklinski, M., von Horsten, D., Lucke, W., Wolf, G. Alternativen zur chemischen Beizung. Saatgutbehandlung mit Mikrowellen- und Hochfrequenzenergie. *Landtechnik*. 2001; 56; 1: 28–29. (in German).

14. Patent №2640288 RF, MPC A01 C1/00. The method of grain and crop seeds disinfection with SHF energy / V.I. Pakhomov, A.I. Pakhomov, K.N. Bukhantsov, V.A. Maksimenko; pat.: FSBSI NCRIMEA; patent holder: FSBSI “ASC “Donskoy”. No. 2017101178/13, pat.:13.01.2017, publ. 11.04.2018. Bull. No. 11. 54 p. (In Russ).

15. Bukhantsov K. N. A mathematical model of moistened grain disinfection process by combination of convective heating and treatment with electromagnetic field of microwave frequency. *Electrotechnical complexes and control systems*. 2015; 1: 9–23. (In Russ).

16. Develop initial requirements for a technological line for the disinfection of grain and seeds using combined physical and chemical methods of exposure: report on research work (interim): 0706-2018-0025/ NCSRIMEA FSBSI «ASC «Donskoy», manag. Pakhomov A.I. Zernograd, 2018. 96 p. Executives: Pakhomov A.I., Maksimenko V.A., Bukhantsov K.N., Vatutina N.P. Reg. No. NIOKTR AAAA-A17-117062110085-0. Reg. No. IKRBS AAAA-B19-219031890206-1. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=36491107>. (In Russ).

17. Development of methods for the application of technology for the effective processing of agricultural materials using disinfecting drugs and electrophysical effects: report on research work: report on research work (interim): 0706-2017-0009/ NCSRIMEA FSBSI «ASC «Donskoy», manag. Pakhomov A.I. Zernograd, 2017. 80 p. Executives: Pakhomov A.I., Maksimenko V.A., Bukhantsov K.N., Braginetz A.V., Vatutina N.P. No. SR AAAA-A17-117062110085-0. Inv. No. AAAA-B18-218020290063-1. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=30690028>. (In Russ).

18. Obtaining new knowledge on agrotechnical and energy assessment of the technology of effective processing of agricultural materials using disinfection preparations and combined electrophysical effects: report on research work (interim): 0708-2014-0010/ FSBSI NCSRIMEA RAAS, manag. Pakhomov A.I. Zernograd, 2016. 62 p. No. SR 114100140065. – Inv. No. AAAA-B17-217011270178-7. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=27235951>. (In Russ).

19. Grishechkina, L.D. Agrobiological and ecotoxicological substantiation of the formation of an assortment of fungicides for wheat protection: Abstract of the thesis. dis. ... Doctor of Agricultural Sciences: 06.01.07. St. Petersburg: FSBSI All-Russian Research Institute of Plant Protection, 2018. 39 p. (In Russ).

20. Machikhina, L. I., Alekseeva L. V., Lvova L. S., Scientific foundations of food grain safety (storage and processing). Moscow, 2007. 382 p. (In Russ).

*Статья поступила в редакцию 3.10.2022; одобрена после рецензирования 22.10.2022; принята к публикации 9.11.2022.*

*The article was submitted 3.10.2022; approved after reviewing 22.10.2022; accepted for publication 9.11.2022.*

