

УДК 631.331.922:621.385.6:631.53.027.3:632.952:  
632.931: 581.48:633.854.78

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЯ СЕМЯН ПОДСОЛНЕЧНИКА СОРТА ФЛАГМАН ОТ ПЛЕСНЕВЫХ ГРИБОВ *PHOMOPSIS HELIANTHI MUNT. CVET. ET AL.* В ЭЛЕКТРОМАГНИТНОМ ПОЛЕ СВЕРХВЫСОКОЙ ЧАСТОТЫ**

Буханцов Кирилл Николаевич  
младший научный сотрудник отдела электроэнергетики

Парапонов Андрей Александрович  
младший научный сотрудник отдела электроэнергетики

*Государственное научное учреждение Северо-Кавказский научно-исследовательский институт механизации и электрификации сельского хозяйства Российской академии сельскохозяйственных наук (ГНУ СКНИИМЭСХ Россельхозакадемии), г. Зерноград Ростовская область, Россия*

В статье описаны негативные хозяйственные последствия от использования в качестве посевного материала семян подсолнечника зараженных плесневыми грибами *Phomopsis helianthi Munt. Svet. et al.* Объяснена необходимость поиска альтернативных химическому обеззараживанию способов инактивации данного вида возбудителей грибковых инфекций и описаны преимущества использования для этих целей электрофизических способов обработки семян, и частности электромагнитного поля (ЭМП) сверхвысокой частоты (СВЧ). Показана конструкция лабораторной экспериментальной установки, на базе которой исследуется процесс обеззараживания семян подсолнечника сорта Флагман ЭМП СВЧ, и описана методика проведения на ней опытов. Исследуемый посевной материал подсолнечника с начальной зараженностью фомопсисом 22% обрабатывается с разной продолжительностью в электромагнитном поле СВЧ, находясь при проведении опытов в стационарном или непрерывно перемещающемся слое. В результате экспериментов выявлены отдельные режимы обработки, обеспечивающие полное обеззараживание семян подсолнечника от плесневых грибов *Phomopsis helianthi Munt. Svet. et al.* и объяснены обнаруженные противоречия в результатах опытов

Ключевые слова: СЕМЕНА ПОДСОЛНЕЧНИКА, ПЛЕСНЕВЫЕ ГРИБЫ, ЗАРАЖЕННОСТЬ МАТЕРИАЛА, ПРОЦЕСС ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЯ, ВОЗДЕЙСТВИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМ ПОЛЕМ СВЕРХВЫСОКОЙ ЧАСТОТЫ, ПЕРЕМЕЩЕНИЕ СЕМЯН НЕПРЕРЫВНЫМ ПОТОКОМ, ТЕМПЕРАТУРА НАГРЕВА, ВОЛНОВОД, РАСХОД СЕМЯН

UDC 631.331.922:621.385.6:631.53.027.3:632.952:  
632.931:581.48:633.854.78

**THE RESEARCH OF THE DISINFECTION PROCESS OF SUNFLOWER SEEDS OF FLAGMAN VARIETY FROM MOLDS OF *PHOMOPSIS HELIANTHI MUNT. CVET. ET AL.* IN THE ELECTROMAGNETIC FIELD OF MICROWAVE FREQUENCY**

Bukhantsov Kirill Nikolaevich  
junior researcher of electro-energy department

Paraponov Andrey Aleksandrovich  
junior researcher of electro-energy department

*State Scientific institution North-Caucasus research institute of mechanization and electrification of agriculture Russian Academy Agriculture Sciences (SSI NCRIMEA Rosagroacademy), Zernograd, Rostov region, Russia*

The negative economic consequences of using sunflower seeds infested by molds *Phomopsis helianthi Munt. Svet. et al.* as inoculums are described in the article. The necessity of finding the ways of these molds inactivation alternative to the way of chemical disinfection, and the advantages of usage of electro-physical ways of seeds' treatment for this purpose and in particular electromagnetic field (EMF) of microwave frequency (MWF) are explained. The construction of the laboratory experimental setup is shown, on the bases of which the process of Flagman variety of sunflower seeds disinfection EMF MWF is researched. The testing technique is described too. The observable sowing sunflower with the starting infection rate by phomopsis at 22% is treated for different durations in the EMF MWF, being in either static or continuously moving layers. As result of these experiments the particular rates of treatment providing the total disinfection of sunflower seeds from molds *Phomopsis helianthi Munt. Svet. et al.* are revealed and the discovered contradictions in the experiments' results are explained

Keywords: SUNFLOWER SEEDS, MOLDS, INFECTION RATE, PROCESS OF DISINFECTION, AN INFLUENCE BY ELECTROMAGNETIC FIELD OF MICROWAVE FREQUENCY, CONTINUOUSLY MOVING OF SEEDS, TEMPERATURE OF HEATING, WAVE GUIDE, SEEDS CONSUMPTION

Одной из наиболее остро стоящих перед современным российским АПК проблем, связанных с производством подсолнечника, является высокая поражаемость его семян и растений разнообразными возбудителями микозов, которые вызывают существенное снижение урожайности культуры, интенсивное разрастание инфицированности посевов плесневыми грибами в полевых условиях и через зараженный семенной материал, уменьшение масличности семян при выращивании, ухудшение их посевных свойств, увеличение количественных и качественных потерь урожая при хранении [1-5].

Из всего комплекса болезней, поражающих подсолнечник, наиболее распространенными и вредоносными являются: ложная мучнистая роса, белая, серая, сухая и пепельная гниль, альтернариоз, вертициллез, фомоз, фомопсис, фузариоз, макрофомина и некоторые другие [1, 3, 5, 6]. Наносимый этими микробиологическими инфекциями урон производству подсолнечника в стране и высокая стоимость мероприятий по обеззараживанию его в сельском хозяйстве уже снизили удельный вес этой культуры в структуре посевов в большинстве традиционных регионов ее возделывания с 25-30% до 10-15%, особенно в Ростовской области, что не может не беспокоить семеноводческие хозяйства из-за уменьшения объемов продаж их продукции, у переработчиков маслосемян из-за количественного сокращения доступной для них сырьевой базы, а у населения из-за резкого повышения цен на продукты питания и др. потребительские товары, получаемые из подсолнечника.

Существенно осложняет борьбу с плесневыми грибами и способствует их быстрому распространению на посевах подсолнечника в условиях сельскохозяйственных предприятий то, что большинство производителей маслосемян по разным хозяйственно-экономическим причинам систематически нарушают рекомендованные *технологии выращивания* (увеличивают удельный вес подсолнечника в севооборотах, не соблюдают сроки сева и

уборки, используют непротравленный семенной материал или применяют семена, пораженные вредной микрофлорой, а в период вегетации практически не обрабатывают системными фунгицидами) и *технологии послеуборочной обработки и хранения зерна* (не проводят очистку и санитарную обработку складского инвентаря, средств механизации и хранилищ перед закладкой в них семян, не ведут на постоянной основе контроля за зараженностью, используют непригодные для хранения зерна помещения, допускают неизолированное размещение друг от друга чистых и пораженных микробиотой партий подсолнечника в процессе хранения, не проводят своевременную очистку и сушку свежесобранного сельхозсырья, а также не протравливают его перед размещением на хранение в случае повышенной зараженности), а это вызывает резкое ухудшение фитосанитарной обстановки в растениеводстве страны и увеличивает микробиологическую зараженность производимой в нем продукции.

Заболевания семян и сельскохозяйственных растений, вызываемые плесневыми грибами, наиболее трудно уничтожаются еще и потому, что их возбудители имеют высокую устойчивость и быстро адаптируются к разным химическим, биологическим и физическим ингибирующим воздействиям (операциям обработки), применяемым в сельском хозяйстве.

Существующее разнообразие микроорганизмов, вызывающих микозы, их биологические и физиологические особенности, в том числе связанные с гидротермическим условиям окружающей среды, оптимальными для развития каждой из инфекций, формируют у грибков, поражающих подсолнечник, способность к взаимозамещению друг друга в агроценозах, которая выражается в том, что в годы неблагоприятные по погодно-климатическим условиям для развития одних видов паразитической микрофлоры, на посевах начинают доминировать другие, не менее вредоносные для подсолнечника, разновидности и штаммы плесеней, для жизнедеятельности которых текущие климатические условия являются наиболее комфортными [1, 5].

Названные свойства грибковых заболеваний относятся к числу наиболее неблагоприятных для практики сельскохозяйственного производства.

Отсутствие у большинства из фитопатогенных инфекций четко выраженной органотропной специализации поражающего воздействия [7], характерная для многих из них универсальность по отношению к поражаемым видам растений и способность грибов развиваться не только на культурных, но и на сорных дикорастущих растениях (резерваторах инфекции) [4, 6], все это также не позволяет добиться полного уничтожения существующего комплекса возбудителей микозов на посевах подсолнечника, применяемыми в АПК методами обеззараживания.

Наименее изученным из перечисленных заболеваний подсолнечника является фомопсис, возбудители которого – плесневые грибы *Phomopsis helianthi* Munt. и др. Актуальность исследования и разработки новых технологий и технических средств, предназначенных для борьбы именно с фомопсисом, связана с тем, что несмотря на применяемые в сельском хозяйстве меры химической защиты растений и семян в Ростовской области в течение последних 3-5 лет ежегодно по результатам контрольных проверок, проводимых Россельхознадзором, фиксируются массовые вспышки этого вредоносного карантинного заболевания на посевах подсолнечника, а также в партиях семян каждого нового урожая и отправляемых на экспорт [3, 8, 9].

В первую очередь опасность заражения подсолнечника грибом *Phomopsis helianthi* Munt. Svet. et al. заключается в том, что инфекция вызывает потерю урожая от 46-50% и более. Одним из основных способов распространения фомопсиса, наравне с ветровым переносом его сумкоспор, является передача возбудителя инфекции посредством семян [4-6, 10, 11]. Большинство мер борьбы с патогеном носят профилактический характер, но как показывает практика из-за нерегулярности и несистемности применения санитарных обработок и нарушения технологий возделывания при-

меняемые способы оказываются малоэффективными. В современных условиях российского сельского хозяйства, несмотря на рекомендации микологов, производители подсолнечника часто используют для посева уже зараженные фомопсисом семена, против которых химические способы в ряде случаев не работают. К тому же дальнейшее увеличение химической нагрузки на природу может быть чревато сильным ухудшением экологической обстановки в АПК, что окажет негативное влияние на здоровье населения, поэтому необходим поиск альтернативных химическим методам обеззараживания средств борьбы с фомопсисом, как в прочем и с другими грибковыми инфекциями.

Нами предлагается использовать для уничтожения грибка *Phomopsis helianthi* Munt. Cvet. et al. в семенном материале электромагнитное поле сверхвысокой частоты. В рамках исследования необходимо опытным путем проверить обеспечивает ли предлагаемый экологически чистый способ обработки семян подсолнечника, имеющих кондиционную влажность и пораженных плесневым грибом *Phomopsis helianthi* Munt. Cvet. et al., полное обезвреживание от указанного вида возбудителя инфекций.

Гипотеза об эффективности использования предлагаемого способа СВЧ-обеззараживания сухих семян подсолнечника от фомопсиса строится на том, что в организме рассматриваемого патогена при его низкой начальной влажности сохраняется определенное количество подвижной воды, которая изолирована в клеточных структурах грибковой инфекции с высоким содержанием липидов и недоступна для влияния большинства внешних технологических воздействий [12], за исключением электромагнитных полей сверхвысокой частоты. Поскольку наличие этой воды является одним из необходимых условий сохранения жизнеспособности вредной микрофлоры [12], то применение СВЧ-обработки, тепловые и нетепловые эффекты которой проявляются прежде всего во влажных зонах облучаемых объектов, вызывает в организмах плесневых грибов *Phomopsis*

*helianthi Munt. Cvet. et al.* нарушение или прекращение процессов метаболизма разной природы, достаточные, чтобы ингибировать их развитие и привести к гибели.

**Условия, материалы и методы.** Эксперименты по обеззараживанию семян подсолнечника от фомопсиса проводились в апреле 2010 года в отделе электроэнергетики ГНУ СКНИИМЭСХ Россельхозакадемии.

Объектом исследования являлся процесс теплового обеззараживания семян подсолнечника с низкой начальной влажностью от возбудителей фомопсиса в электромагнитном поле сверхвысокой частоты.

В опытах использовались семена подсолнечника первой репродукции среднеспелого высокомасличного сорта Флагман, селекции ВНИИ масличных культур им. В.С. Пустовойта Россельхозакадемии, урожая 2009 года, выращенные на полях компании ООО «АгроСоюз», расположенной в Кагальницком районе Ростовской области, с содержанием жира в отобранных для опытов партиях семян  $j_{с.н.}^{жир} = 45,7\%$ , начальной влажностью  $W_{с.н.}^H = 7,4\%$  и искусственно обсемененных плесневыми грибами рода *Phomopsis helianthi Munt. Cvet. et al.* (возбудителями фомопсиса) до уровня начальной зараженности  $Z_{с.н.}^H = 22\%$ .

Поточную и в стационарном слое обработку семян подсолнечника электромагнитным полем (ЭМП) сверхвысокой частоты (СВЧ) проводили на базе лабораторного модуля (рис. 1а), представляющего собой составной элемент конструкции промышленной установки непрерывного действия и позволяющего выполнять исследование процесса обеззараживания в условиях идентичных производственным, но при гораздо меньших объемах сельскохозяйственного материала, используемого в опытах.

Экспериментальный модуль (рис. 1а) состоит из проточной рабочей камеры 1, являющейся в разработанной конструкции СВЧ-системы основным волноводом и имеющей поперечное сечение размерами  $h \times l = 45 \times 90$  мм

(рис. 1б); дополнительного прямоугольного волновода 2 с короткозамкнутой стенкой, соединяющегося с основным волноводом по его широкой стенке 1 по типу  $E$ -тройника (в плоскости силовых линий электрического поля) [13, 14] и располагающегося к этой стенке под углом  $\alpha = 30^\circ$ , по этому волноводу СВЧ-энергия передается электромагнитной волной типа  $H_{10}$  от генератора СВЧ к материалу, перемещающемуся в рабочей камере; магнетрона *OM75S* фирмы *Samsung* ( $N_{\text{ном.}} = 1$  кВт,  $f_{\text{ЭМП СВЧ}} = 2450$  МГц) 3, согласованного посредством волновода 2 с камерой 1 [15]; перфорированной стенки 4 рабочей камеры, через которую удаляются пары воды, выделяющиеся из материала при СВЧ-обработке; диэлектрической (фторопластовой) прокладки 5, прикрепленной к широкой стенке рабочей камеры и закрывающей доступ обрабатываемого материала в волновод 2 не вызывая при этом на себе потерь СВЧ-энергии; центробежного вентилятора 6 среднего давления *RFE 120 MKU* ( $Q_{\text{ном.}} = 250-300$  м<sup>3</sup>/ч), обеспечивающего эффективное охлаждение магнетрона [16]; гибкого рукава 7 для направленной подачи охлаждающего воздуха от вентилятора к тепловыделяющим поверхностям магнетрона; выпускной лепестковой заслонки 8 (рис. 1б-1д), предназначенной для регулирования расхода материала через рабочую камеру; загрузочного бункера материала 9; оптического датчика наличия материала в установке на входе 10 и на выходе 11 из рабочей камеры; термопары 12, контролирующей температуру нагрева колбы магнетрона; упруго-гибкого подвижного «лепестка» 13, с помощью изменения положения которого, вместе с др. лепестками, в дозирующей заслонке 8 регулируется размер выпускного отверстия (рис. 1г, 1д).

Особенностью описанной лабораторной СВЧ-установки является то, что технологическая камера и согласующий ее с источником СВЧ-энергии волновод при совместном рассмотрении представляют собой  $E$ -тройник с внесенными в его устройство небольшими конструктивными изменениями, которые повышают эффективность выполнения процесса поточной

тепловой обработки сельскохозяйственных материалов, увеличивают срок службы и надежность работы оборудования СВЧ-блока и обеспечивают безопасность экспериментального модуля по нормам охраны труда и экологическим требованиям.

Обычно *E*-тройники применяются для распределения сверхвысоко-частотной энергии между различными потребителями или для подключения нескольких источников к одной нагрузке, при этом внутреннее пространство прямоугольных полых волноводов, образующих тройник, остается незаполненным, а дополнительный волновод располагается по отношению к основному под углом  $\alpha = 90^0$  [13, 14]. Графически механизм передачи электромагнитной волны в *E*-тройнике из дополнительного волновода в основной волновод показан в [13], при этом, согласно известным расчетам [14], фазы волн, возбуждаемых в плечах основного волновода (по обе стороны от дополнительного волновода), сдвинуты на  $180^0$ , а СВЧ-энергия, поступающая от магнетрона через дополнительный волновод, делится пополам между плечами основного волновода. Однако, при использовании *E*-тройников в технологических установках для тепловой обработки сыпучих сельскохозяйственных материалов, как, например, в лабораторном модуле, применяемом нами в опытах (рис. 1а), в условиях, когда основной волновод 1 является технологической камерой, в которой обрабатываемое зерно непрерывно перемещается в плотном слое, расположение дополнительного волновода 2 под углом  $\alpha = 90^0$  к основному волноводу нежелательно. Причина этого в том, что при передаче СВЧ-энергии из волновода 2 в заполненную рабочую камеру 1 происходит отражение довольно большой части электромагнитной волны от слоя материала обратно в волновод 2 и из него в магнетрон, а для последнего это означает резкое ухудшение условий эксплуатации и ускоренный выход его из строя.

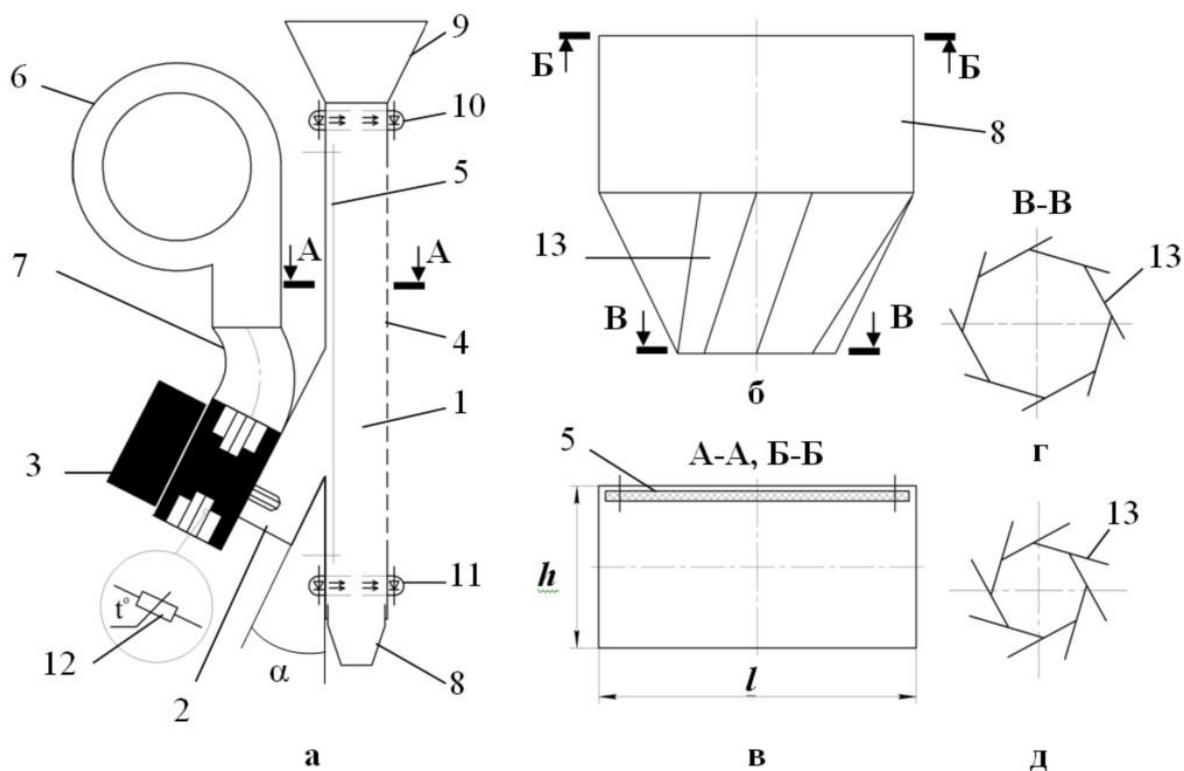


Рисунок 1 – Схема лабораторной установки (а) для исследования процесса поточного обеззараживания семян подсолнечника от фомопсиса ЭМП СВЧ и устройство выпускной лепестковой заслонки, регулирующей расход семян через установку (б-д): б – вид заслонки спереди со стороны широкой стенки  $l$ , в – сечение Б-Б заслонки (фторопластовой пластины нет) в зоне ее стыковки с рабочей камерой, г – сечение В-В заслонки в зоне выпускного отверстия, образованного дозирующими лепестками, д – вид поперечного сечения выпускного отверстия заслонки, уменьшенного по сравнению с «г» за счет изменения расположения (сжатия) лепестков (пример способа регулирования расхода материала в опытах) [наименование остальных позиций – в тексте].

Наклон дополнительного волновода 2 под острым углом к рабочей камере 1, который в нашей лабораторной установке составляет  $\alpha = 30^{\circ}$ , а вообще его величина может колебаться в диапазоне от  $10-11^{\circ}$  [17] до  $30-35^{\circ}$ , обеспечивает неоднократное переотражение волны, отраженной от

зернового материала, происходящее от участка поверхности внутренней широкой стенки волновода 2, находящейся напротив входного отверстия в камеру 1. То есть, благодаря угловому расположению волновода 2, происходит многократный возврат и при каждом из них повторный ввод непоглощенной части электромагнитной СВЧ-энергии в слой материала, обеспечивающий практически полную ее передачу в рабочую зону установки, в которой выполняется обработка зернового сырья. Кроме того, расположение волновода 2 под острым углом к основному волноводу 1 обеспечивает направленную подачу СВЧ-энергии вертикально вверх, в слой материала, находящийся в зоне СВЧ-обработки, что увеличивает технологический участок микроволнового воздействия на зерновое сырье за счет многократных отражений электромагнитной волны от стенок рабочей камеры и предотвращает утечки электромагнитного поля через выпускное отверстие установки в зону, где находится обслуживающий персонал, а также позволяет добиться приемлемого согласования волноводов по коэффициенту стоячей волны напряжения (КСВН).

Как показывают известные исследования [18-22], эффективность процесса обеззараживания зерновых материалов от грибковых и бактериальных инфекций, зависит в первую очередь от температуры нагрева зерна в ЭМП СВЧ, по величине которой можно судить об уровне теплового воздействия на возбудителей микозов и бактериозов зернового сырья, обеспечивающем их уничтожение.

Поскольку в проводимых нами опытах начальная влажность семян подсолнечника оставалась постоянной (на уровне кондиционной), не регулировалась также и мощность, излучаемая магнетроном, поэтому изменение температуры нагрева материала в эксперименте производилось за счет варьирования продолжительности периода его обработки в СВЧ-поле.

В опытах, в которых исследование процесса обеззараживания семян подсолнечника от фомопсиса в электромагнитном поле СВЧ проводили в

плотном вертикально перемещающемся в рабочей камере слое материала, регулирование продолжительности обработки происходило за счет изменения размера выпускного отверстия (пример на рис. 1г, 1д) в специально разработанной дозирующей лепестковой заслонке (рис. 1б). Дополнительно также проводились опыты, в которых семена подсолнечника в процессе СВЧ-воздействия находились в рабочей камере в плотном стационарном слое, при этом продолжительность обеззараживания задавалась периодом включения в работу магнетрона, а неподвижность материала обеспечивалась полным закрытием выпускного отверстия лепестковой заслонки.

Первоначально на описанной конструкции лабораторной установки (рис. 1а) провели предварительные опыты, на основе которых определили наибольший размер выпускного отверстия лепестковой заслонки 8 (рис. 1б-1д), при котором достигается минимальная технологически необходимая для проявления начальных признаков обеззараживания температура нагрева материала ( $\Delta t_{\text{СВЧ}}^{\text{min}} \geq 5 \text{ } ^\circ\text{C}$ ). В рамках этих же опытов определяли также наименьший размер выпускного отверстия заслонки, при котором обеспечивалось равномерное истечение семян подсолнечника из рабочей камеры без риска возникновения зависания материала на выходе из ее узкой конусной части.

Исследование процесса обеззараживания семян подсолнечника в поточном режиме СВЧ-обработки происходило следующим образом. На лепестковой дозирующей заслонке устанавливали размер выпускного отверстия, соответствующий исследуемому уровню варьируемого в опытах фактора ( $\tau_i$ , табл. 1), после чего заслонку закрепляли на установку (рис. 1а), а ее выпускное отверстие закрывали колпачком-заглушкой (на рис. 1 не показан). Затем из большой партии семян подсолнечника с исходной зараженностью фомопсисом  $Z_{\text{с.н.}}^{\text{н}} = 22\%$  отбирали пробу материала массой  $m_{\text{с.н., } i}^{\Sigma} = 4,5 \text{ кг}$ , которая засыпалась в рабочую камеру 1 установки и загрузочный бункер 9 над

ней. Запас семян в бункере обеспечивал постоянную заполненность проточной технологической камеры микроволновой обработки в опыте, что является обязательным для выполнения требованием к СВЧ-оборудованию, позволяющим сохранять работоспособность и эксплуатационную надежность генератора ЭМП СВЧ, входящего в состав установки. Непосредственно эксперимент начинали с подачи высоковольтного напряжения питания на магнетрон 3, и с выдержки промежутка времени равного  $\Delta t_{\text{н. генер.}}^{\text{магн.}} = 8\text{с}$ , который необходим для прогрева рабочих элементов устройства и запуска в нем процесса генерации СВЧ-энергии, после чего открывалось выпускное отверстие лепестковой заслонки, и поток семян начинал высыпаться с определенной скоростью из установки, задавая непрерывное перемещение материала в рабочей камере. С этого момента начинался отсчет продолжительности опыта на исследуемом режиме обработки. Измерение и контроль времени в экспериментах выполняли с помощью секундомера марки «Слава».

Практически одновременно с генератором ЭМП СВЧ (с небольшим лишь опережением) в работу включался обеспечивающий его охлаждение вентилятор 6, который снижал температуру тепловыделяющих поверхностей магнетрона на протяжении не только всего опыта, но и в течение  $\Delta t_{\text{доп. охл.}}^{\text{магн.}} = 5-10$  мин. после его завершения, последнее необходимо было для ускорения подготовки установки к следующему этапу исследования.

Обрабатываемые в ходе эксперимента семена подсолнечника, в процессе высыпания их непрерывным потоком из рабочей камеры установки собирали в специальную емкость, после заполнения которой выпускное отверстие лепестковой заслонки закрывали и отключали питающее напряжение, подаваемое на магнетрон. Сразу после завершения опыта в течение первых 20-30с проводили измерение температуры материала в нескольких точках, равномерно распределенных по площади и глубине слоя семян, находящегося в мерной емкости, по которым рассчитывали среднюю тем-

пературу нагрева материала за опыт  $t_{с.п.}^{ср.}$ , после этого измеряли установившуюся температуру нагрева семян  $t_{с.п.}^{уст.}$  и массу обработанной пробы  $m_{с.п., i}$  (табл. 1). В каждом опыте из общего количества материала, прошедшего обеззараживание, отбирали навеску семян массой  $m_{с.п., i}^{зараж.} = 2,0$  кг для проведения микологической экспертизы на зараженность фомопсисом (плесневым грибом рода *Phomopsis helianthi* Munt. Svet. et al.).

Таблица 1 – Значения уровней варьируемого в опытах фактора при обеззараживании подсолнечника от фомопсиса в ЭМП СВЧ для разных состояний слоя обрабатываемого материала

№ опыта	Продолжительность опыта (обработки), $\tau_i$ , с	Масса семян обрабатываемых за опыт, $m_{с.п.}$ , кг	Расход материала в опыте, $Q$ , кг/ч	Состояние слоя обрабатываемого материала
1	30	3,1	372,0	плотный вертикально перемещающийся
2	45	3,0	240,0	
3	75	3,2	153,6	
4	105	3,2	109,7	
5	30	0,6	–	плотный стационарный
6	60	0,5	–	

Эффективность режимов обеззараживания оценивали не по наибольшей зафиксированной  $t_{с.п.}^{max}$  или средней  $t_{с.п.}^{ср.}$  температуре нагрева материала в опытах, а по его установившейся величине нагрева  $t_{с.п.}^{уст.}$ , которую определяли следующим образом. Массу обработанных в ЭМП СВЧ семян подсолнечника, предварительно выполнив в ней замеры температур для определения  $t_{с.п.}^{ср.}$ , перемешивали, после чего выдерживали в течение 50-60с при постоянном наблюдении за температурой материала до достижения ее ближайшего стабилизовавшегося во времени значения. Необходимость использования величины  $t_{с.п.}^{уст.}$  для оценки результативности

опытов связана с особенностями нагрева семян подсолнечника (избирательностью, саморегулируемостью и др. [23]) в электромагнитном поле СВЧ, из-за которых выделение тепловой энергии в объеме сухого семени происходит неравномерно, и в основном локализуется в зонах, где сосредоточена влага, необходимая для процессов жизнедеятельности организма семени. Поэтому после обработки проб подсолнечника с целью выравнивания в них температуры по объему отдельных семян, и получения ее (температуры) установившегося значения необходимо выполнять в течение некоторого времени выдержку материала, зависящую от особенностей строения семени подсолнечника, и в частности, от наличия в нем воздушной полости и плодовой оболочки, обуславливающих ухудшение теплопроводности при перераспределении тепловой энергии, выделившейся от ЭМП СВЧ, и возникновение в связи с этим более высокой инерционности (продолжительности) выхода температуры материала на установившийся уровень.

Опыты, в которых обработку семян подсолнечника электромагнитным полем СВЧ выполняли в плотном стационарном слое, по порядку проведения незначительно отличались от тех, где исследование процесса обеззараживания происходило в плотном непрерывно перемещающемся слое материала. Разница между ними состояла в том, что для СВЧ-обработки семян в неподвижном слое, достаточно, чтобы массы пробы хватало для заполнения рабочей камеры установки, вместимость которой в разработанной нами конструкции лабораторного модуля (рис. 1а) составляет  $m_{с.л., 5,6}^{\Sigma} = 0,5-0,6$  кг. Отсчет продолжительности опыта осуществлялся по секундомеру и начинался также как и при поточной обработке проб подсолнечника в ранее проведенных экспериментах после включения в работу магнетрона и его системы охлаждения и выдержки промежутка времени до начала устойчивой генерации СВЧ-энергии ( $\Delta t_{\text{доп. охл.}}^{\text{магн.}}$ ), только при этом колпачек-заглушка, устанавливающийся на выходе из лепест-

ковой заслонки, в процессе обработки не снимался, что как раз и обеспечивало неподвижность слоя семян в рабочей камере. Для выгрузки обработанных семян подсолнечника заглушенную лепестковую заслонку снимали с установки, освобождая выход из рабочей камеры, из которой вся масса пробы высыпалась в специальную емкость для зерна. После этого выполняли измерения температуры семян, которые проводились также как и в опытах по исследованию поточного процесса СВЧ обеззараживания. Масса навесок подсолнечника, которые обрабатывали в электромагнитном поле СВЧ в стационарном слое и направляли на карантинную экспертизу, принималась равной  $m_{с.п., 5,6}^{\Sigma} = m_{с.п., 5,6}^{\text{зараж.}}$ .

Эксперименты на каждом уровне варьируемого фактора ( $\tau_i$ , см. табл. 1) проводились в однократной повторности.

Измерения температуры нагрева семян подсолнечника в контроле и в опытах выполняли хромель-копелевой термопарой (L-термопарой) в составе мультиметра токовые клещи *M266C* фирмы *MASTECH*.

Оценку зараженности семян подсолнечника плесневыми грибами *Phomopsis helianthi* Munt. Svet. et al. в контрольных и опытных пробах проводили на базе лаборатории Ростовского филиала ФГБУ «Всероссийского центра защиты растений Россельхознадзора».

**Результаты и обсуждение.** По данным проведенного однофакторного эксперимента определена продолжительность опытов и соответствующие им расходы семян через рабочую камеру лабораторной установки в процессе СВЧ-обработки (на режимах поточного обеззараживания), а также выбрана продолжительность опытов для микроволновой обработки проб подсолнечника в стационарном слое, и эти полученные сведения обобщены и представлены в таблице 1. Результаты измерений температуры обеззараживаемого материала, полученные на разных режимах обработки ЭМП СВЧ и

зависящие от варьируемой в эксперименте продолжительности опыта и состояния слоя, объединены и показаны в таблице 2.

Экспериментальные данные об эффективности СВЧ обеззараживания семян подсолнечника от фомопсиса в зависимости от продолжительности обработки и обусловленных ей температурных режимов воздействия на материал для опытов, в которых материал находится в плотном перемещающемся и стационарном слое, показаны на рисунках 2 и 3 соответственно.

Анализ результатов эксперимента при поточной СВЧ-обработке проб подсолнечника (рис. 2) показал, что последовательное увеличение установившейся температуры нагрева сухих семян в опытах с 11 до 21 °С обеспечивает снижение зараженности грибами *Phomopsis helianthi* Munt. Svet. et al. с 22% в контроле до нуля. Резкое уменьшение содержания возбудителей фомопсиса в материале наблюдается уже при минимальном в опыте приросте температуры семян от теплового СВЧ-воздействия равном  $\Delta t_{\text{СВЧ}, 1} = 7 \text{ } ^\circ\text{C}$ , однако полное уничтожение вредоносного плесневого грибка в пробе наблюдается на режиме 3, при котором время обработки составляет  $t_3 = 75\text{c}$ , а прирост температуры от ее начального значения –  $\Delta t_{\text{СВЧ}, 3} = 10 \text{ } ^\circ\text{C}$ , что соответствует  $t_{\text{с.п.}, 3}^{\text{уст.}} = 21 \text{ } ^\circ\text{C}$ .

Таблица 2 – Температурные режимы опытов по обеззараживанию семян подсолнечника от фомопсиса в ЭМП СВЧ в зависимости от продолжительности обработки и состояния слоя обрабатываемого материала

№ опыта (режим)	Начальная температура семян подсолнечника, $t_{\text{с.п.}}^{\text{н}}, \text{ } ^\circ\text{C}$	Средняя температура нагрева семян за опыт, $t_{\text{с.п.}}^{\text{ср.}}, \text{ } ^\circ\text{C}$	Установившаяся температура нагрева семян после обработки, $t_{\text{с.п.}}^{\text{уст.}}, \text{ } ^\circ\text{C}$	Прирост температуры от воздействия ЭМП СВЧ до установившегося значения, $\Delta t_{\text{СВЧ}}, \text{ } ^\circ\text{C}$
1	11	18,6	18,0	7,0
2	11	18,8	18,5	7,5
3	11	23,7	21,0	10,0
4	11	35,6	34,0	23,0
5	12	49,6	24,5	12,5
6	12	51,0	33,0	21,0

Полное обеззараживание проб подсолнечника от фомопсиса достигается также и при подводе к ним СВЧ-энергии в плотном стационарном слое на режиме 5 (рис. 3), при котором продолжительность обработки имеет значение  $t_5 = 30\text{с}$ , прирост температуры материала –  $\Delta t_{\text{СВЧ}, 5} = 12,5^\circ\text{С}$ , а установившаяся температура его нагрева –  $t_{\text{с.п.}, 5}^{\text{уст.}} = 24,5^\circ\text{С}$ .

Противоречием в ряду полученных экспериментальных данных на первый взгляд является режим 4 (рис. 2) и режим 6 (рис. 3), в которых более жесткие по сравнению с предыдущими опытами тепловые воздействия на материал ( $t_{\text{с.п.}, 4}^{\text{уст.}} = 34^\circ\text{С}$  и  $t_{\text{с.п.}, 6}^{\text{уст.}} = 33^\circ\text{С}$  соответственно) вызывают меньшее снижение зараженности фомопсиом, чем более мягкие по величине нагрева режим 3 (рис. 2) и режим 5 (рис. 3).

По данным существующих исследований известно, что среди режимов обеззараживания зерновых материалов от плесневых грибов электромагнитным полем СВЧ имеются промежуточные значения температур нагрева материала, охватывающие диапазон приблизительно от  $30^\circ\text{С}$  до  $45\text{--}60^\circ\text{С}$ , при которых происходит либо стимулирование развития возбудителей инфекций, приводящее к увеличению зараженности зерна, превышающей начальную [24], либо эффект уничтожения грибков (микозов) все-таки наблюдается, но он по величине получается значительно ниже, чем в соседних, как в сторону большего так и меньшего нагрева материала, режимных областях обработки [19, 20]. Как видно из опытов (рис.2 и 3), полученные технологические параметры и результаты процесса СВЧ- обеззараживания семян подсолнечника от плесневых грибов рода *Phomopsis helianthi* Munt. Cvet. et al., хоть и являются новыми, но подтверждают ранее выявленную на зерне злаковых [19, 24] и крупяных культур [20] сложную закономерность влияния разных режимов микроволновой обработки на количественное содержание фитопатогенной микрофлоры в зерновом сельскохозяйственном сырье.

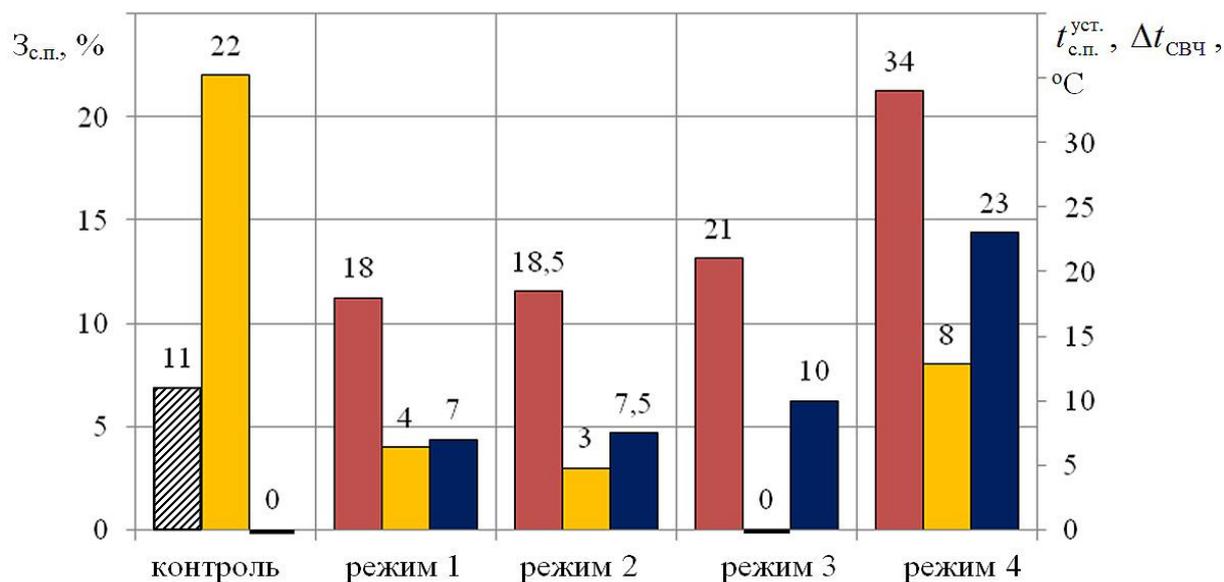
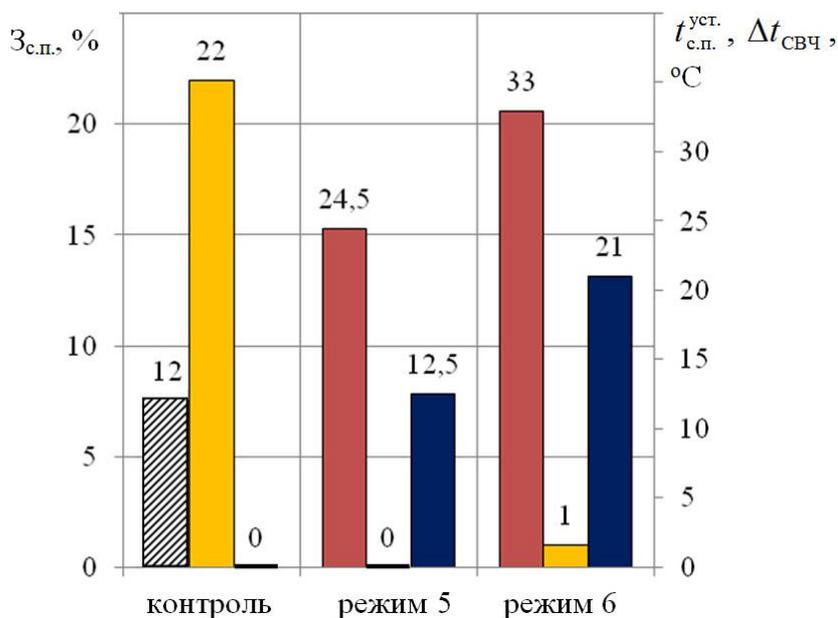


Рисунок 2 – Результаты и температурные режимы опытов по обеззараживанию семян подсолнечника от фомопсиса в условиях поточной СВЧ-обработки: режим 1 –  $t_1 = 30с$ ; режим 2 –  $t_2 = 45с$ ; режим 3 –  $t_3 = 75с$ ; режим 4 –  $t_4 = 105с$ ; – начальная температура семян  $t_{с.п.}^н$ ; – зараженность семян подсолнечника фомопсисом  $Z_{с.п.}$ ; – установившаяся температура семян в опыте  $t_{с.п.}^{уст.}$ ; – прирост температуры семян от СВЧ-обработки  $\Delta t_{СВЧ}$ .



Рисисунок 3 – Результаты и температурные режимы обеззараживания семян подсолнечника от фомопсиса в плотном стационарном слое ЭМП СВЧ: режим 5 –  $t_5 = 30с$ ; режим 6 –  $t_6 = 60с$  (остальные обозначения см. на рис. 2)

Остается открытым вопрос о физических причинах ингибирующего воздействия ЭМП СВЧ на возбудителей фомопсиса в пробах подсолнечника при невысоких установившихся температурах их нагрева ( $t_{с.п.}^{уст.} < 30^{\circ}C$ ).

Согласно известным исследованиям [23], при СВЧ-обработке угнетение паразитирующих на зерне биообъектов (плесневых грибов, бактерий, дрожжей, насекомых-вредителей и др.) может происходить в результате денатурации в них белков при сравнительно невысоких скоростях нагрева материала – 0,5-0,8 °С/с и удельной мощности энергоподвода 0,09-0,3 кВт/кг зерна, а при увеличении интенсивности нагрева до 1,2-1,6 °С/с, за счет диэлектрического разрушения клеток живой ткани. Перечисленные технологические факторы, и обусловленные ими причины, обеспечивающие уничтожение вредной микрофлоры в сельскохозяйственном сырье в процессе микроволнового обеззараживания, в производственных условиях искусственно усиливают, за счет применения увлажнения зерна и семян водой, водными растворами химических протравителей, минеральных солей, стимуляторов или др. веществ и проведения после него отлежки, что обеспечивает насыщение организмов возбудителей фитопатогенных инфекций зерна влагой и концентрирует в них тем самым активное выделение тепловой энергии от действия СВЧ-поля [18-20]. Более редко описанные режимы борьбы с микробиотой зерна и зернопродуктов используются для обработки сухих сельскохозяйственных материалов, однако это нежелательно из-за того, что при низкой влажности требуется повышение уровня температур нагрева обеззараживаемых продуктов для обеспечения летального эффекта у содержащихся в них возбудителей болезней, а это увеличивает риск снижения качества обрабатываемого зернового сырья [19, 21, 22].

К тому же весь ряд полученных экспериментальных данных, показывающий снижение в разной степени зараженности проб подсолнечника от возбудителей фомопсиса, объяснить механизмом диэлектрического разрушения клеток инфекции или денатурацией в ее организме белков в пол-  
<http://ej.kubagro.ru/2013/07/pdf/22.pdf>

ной мере нельзя, так как эти ингибирующие эффекты достигаются при более высоких, чем в проведенных нами опытах (рис. 2 и 3) температурах нагрева обеззараживаемых семян. Особенно сложно на основе этих механизмов объяснить ухудшение в опытах результатов конечной зараженности семян контролируемым патогеном после более жестких режимах тепловой СВЧ-обработки в сравнении с более мягкими режимами.

Известно также, что подавление грибковой инфекции *Phomopsis helianthi* Munt. Svet. et al. на семенах подсолнечника при обработке их СВЧ-энергией может обуславливаться не только температурным фактором. Ряд режимов ингибирования возникает в связи с нетепловыми эффектами воздействия электромагнитного поля СВЧ на вредную микрофлору, проявляющимися на клеточном и молекулярном уровнях [25, 26].

Активные действующие (движущие) силы процесса, обеспечивающие обеззараживание зерна и семян сельскохозяйственных культур в области технологических параметров, не зависящих от температуры нагрева материала, по своему составу на разных этапах этого режимного диапазона неодинаковы. Часть из них возникает в рамках механизма ингибирования, инициированного микроволновым излучением, незадолго до начала денатурации белков в патогенных микроорганизмах и действует в этот период некоторое время независимо от других факторов (режим 4 – рис. 2 и режим 6 – рис. 3), хотя в дальнейшем, с увеличением температур нагрева материала эта часть нетепловых эффектов подавления инфекций работает на качественное выполнение процесса параллельно с денатурационными явлениями. Сущность механизма в этой части режимного диапазона, не связанного с температурным уничтожением микробиоты зерна, состоит в том, что при обработке клеток вредной микрофлоры электромагнитным полем СВЧ на их цитоплазматической мембране появляется электрическая напряженность, значительно превышающая величину напряженности на клетке. Она увеличивает электропроводность натриевых и калиевых каналов мембраны и при определенных ее значениях приводит к биоэлектрическому пробоем мембраны

без образования сквозного электроискрового канала, который вызывает угнетение и гибель биологической клетки и биоорганизма в целом [26].

Другая часть нетепловых эффектов обеззараживания семян от возбудителей инфекций связана с нарушением или прекращением в клетках микрофлоры ионного обмена, составляющего основу процессов метаболизма, протекающих внутри каждой клетки и между клеткой и окружающей средой и обеспечивающих их жизнедеятельность [25]. Сбой или, тем более, остановка этих процессов, провоцируемых СВЧ-обработкой, вызывает угнетение и гибель организма патогена [25] в разных фазах его жизненного цикла (*a* -, *b* - и аскоспоры, мицелий, пикниды [4, 6]). В большинстве проведенных опытов (режимы 1-3 на рис. 2, режим 5 на рис. 3) ингибирование возбудителей фомопсиса в пробах подсолнечника происходит за счет последнего описанного механизма обеззараживания, а разная величина снижения содержания грибковой инфекции в материале связана со степенью необратимости поврежденных процессов ионного обмена в клетках организма вредной микрофлоры после проведения микроволновой обработки, и чем она больше, тем эффективнее уничтожение рассматриваемого фитопатогена.

Ухудшение результатов обезвреживания семян от грибка *Phomopsis helianthi* Munt. Cvet. et al. в опытах (режимы 4 на рис. 2, режим 6 на рис. 3) можно объяснить наличием одновременно действующих: эффекта стимулирования развития возбудителей фомопсиса, вызванного механизмом, связанным с ионным обменом, и эффекта ингибирования, возникающего за счет электрического пробоя мембран в клетках микрофлоры. Согласно известным исследованиям [20, 24], диапазоны режимов СВЧ-обработки семян, вызывающие активный рост в них микроорганизмов, а также подавляющие жизнеспособность инфекций, обычно чередуются друг с другом, однако при обеззараживании семян подсолнечника нами выявлено совмещения этих противоположных биологических процессов, связанных с вли-

янием ЭМП СВЧ на развитие плесневых грибов с доминированием среди них ингибирующей составляющей механизма воздействия.

Полное уничтожение возбудителей фомопсиса на режиме 4 (рис. 2) и режиме 6 (рис. 3) не происходит из-за того, что толщина мембран у клеток фитопатогена на разных фазах его развития отличается по величине, в связи с чем режимы технологического воздействия, при которых на каждом линейном размере мембран возникнет электрический пробой, вызывающий гибель клеток и организма плесени, колеблется в широком диапазоне значений, на большинстве из которых (режимов) небольшая часть возбудителей инфекций остается на семенах и сохраняет свои репродуктивные функции. Поэтому снижение зараженности в пробах подсолнечника до нулевого уровня обеспечивается при гораздо более высоких напряженностях поля на мембране клеток плесневых грибов и при сопутствующих им более жестких по температуре нагрева тепловых воздействиях, чем те которые используются в наших опытах (рис. 2 и 3). Как раз за счет сохранившихся жизнеспособность форм возбудителя фомопсиса, простимулированных СВЧ-полем, происходит довольно существенное увеличение содержания этого гриба в семенах подсолнечника, обработанных на режиме 4 (рис. 2), по сравнению с семенами, облученными на режимах 1-2 (рис. 2).

Среди полученных результатов опытов в объяснении нуждается также то, почему у режима 4 (рис. 2) и режима 6 (рис. 3), обеспечивающих практически одинаковую установившуюся температуру нагрева проб материала при СВЧ-обеззараживании, имеет место большая разница в значениях конечной зараженности семян фомопсисом, которые составляют  $Z_{с.н., 4}^к = 8 \%$  и  $Z_{с.н., 6}^к = 1 \%$ .

Очевидным ответом на это является то, что при обработке в ЭМП СВЧ температура нагрева семян подсолнечника, находящихся в рабочей камере установки во время опытов в стационарном слое, колеблется в ши-

роком диапазоне:  $t_{c.n., 6}^k = 26... 73$  °С, который охватывает тепловые режимы всех ранее перечисленных механизмов ингибирования грибковой инфекции, связанные и с диэлектрическим разрушением организма фитопатогена, и с денатурацией в нем белков и с нарушением ионного обмена в клетках плесени, благодаря чему в пробе выживает и стимулируется меньше возбудителей фомопсиса. В отличие от эксперимента, в котором обеззараживание происходит при поточном перемещении материала (режим 4 на рис. 2) и разброс температур нагрева получается значительно меньше ( $t_{c.n., 4}^k = 29... 42$  °С).

Проведенные опыты показали, что исследуемый процесс борьбы с грибом *Phomopsis helianthi* Munt. Cvet. et al. на семенах подсолнечника с использованием электромагнитного поля СВЧ может эффективно осуществляться (режим 3 на рис. 2) в разработанном нами элементе конструкции установки (рис. 1а) при непрерывной подаче обрабатываемого материала через его рабочую камеру. Это позволит предлагаемый поточный способ обеззараживания семян сельскохозяйственных культур СВЧ-энергией использовать в производственных условиях, легко включая его в существующие технологические линии послеуборочной и предпосевной обработки зерна. При этом недостаток, связанный с малой пропускной способностью (табл. 1) единичного лабораторного модуля, используемого в опытах (рис. 1а), устраняется путем организации параллельной работы нескольких его рабочих камер в составе конструкции промышленной СВЧ-установки. Нарращиванием количества этих элементарных технологических модулей (рис. 1а) обеспечивается получение необходимой для практического использования максимальной производительности оборудования для обеззараживания, а изменением в процессе работы установки количества одновременно функционирующих камер СВЧ-обработки выполняется регулирование ее производительности. Следует также отметить, что предлагаемая многоканальная конструкция промышленного СВЧ-модуля для снижения микробиологической зараженности зерна и семян

с индивидуальным для каждой рабочей камеры СВЧ-энергоподводом и потоком, пропускаемого материала, обеспечивает повышение эксплуатационной надежности магнетронов, работающих в составе установки [27], чем способствует более широкому практическому использованию исследованного способа СВЧ-обеззараживания сельскохозяйственных культур и разрабатываемых технических средств для его осуществления. Кроме того, реализация процесса сверхвысокочастотной дезинфекции семян в плотном перемещающемся слое (режим 3 на рис. 2) предпочтительнее для производства, чем в плотном стационарном (режим 5 на рис. 3), потому что последний вариант обработки показал значительную неравномерность нагрева материала, о которой свидетельствует большая разница между средней ( $t_{c.n., 5}^{cp.}$ ) и установившейся ( $t_{c.n., 5}^{ycm.}$ ) температурой нагрева семян в опыте (табл. 2). Еще одним недостатком является то, что локальные участки в неподвижном слое материала нагреваются на режиме 5 до очень высокой температуры, максимумы которой достигают 64-85<sup>0</sup>С, то есть все они превышают предельно-допустимую температуру нагрева семян подсолнечника, установленную для тепловых процессов послеуборочной и предпосевной обработки –  $t_{c.n.}^{пл} = 55$  °С [28], а это вызывает существенное ухудшение технологических и посевных свойств обеззараживаемого материала, что недопустимо.

**Выводы.** Таким образом, способ СВЧ-обработки, предложенный для обеззараживания семян подсолнечника с низкой начальной влажностью (близкой к кондиционной) от возбудителей фомопсиса, показал свою высокую эффективность, снизив содержание фитопатогена в материале от начального значения  $Z_{c.n.}^H = 22\%$  до нуля. Найденные в эксперименте технологические режимы, обеспечивающие полное обезвреживание проб подсолнечника от грибка *Phomopsis helianthi* Munt. Cvet. et al., при поточной обработке семян в рабочей камере лабораторной установки включают установившуюся температуру нагрева  $t_{c.n., 3}^{ycm.} = 21$  °С, расход материала  $Q_{c.n., 3} = 153,6$

кг/ч и продолжительность обработки пробы  $t_3 = 75$ с, а при проведении опытов в стационарном слое –  $t_{c.n., 5}^{yem.} = 24,5^0$ С и  $t_5 = 30$ с.

Физический механизм, способствующий гибели рассматриваемого вида вредной микрофлоры, паразитирующей на семенах, состоит в необратимом нарушении процессов ионного обмена, являющихся основой процессов метаболизма, протекающих в клетках организма возбудителей фомопсиса на разных фазах их развития. Причем, в полученных нами рациональных режимах обработки действующий механизм обеззараживания связан с нетепловыми эффектами ингибирования жизнеспособности инфекции, которые инициируются микроволновым воздействием.

Для выполнения облучения семян подсолнечника ЭМП СВЧ в опытах применяется специально разработанная конструкция лабораторной установки с проточной рабочей камерой волноводного типа (Е-волновод), в которой при непрерывном перемещении материала в плотном слое обеспечивается высокая равномерность его нагрева, в то время как при проведении процесса обеззараживания семян в плотном стационарном слое равномерность нагрева семян существенно ухудшается.

Использование нескольких таких параллельно функционирующих рабочих камер с индивидуальными источниками СВЧ-энергоподвода позволяет создавать промышленные СВЧ-установки непрерывного действия любой производительности, в которых обеспечивается повышение эксплуатационной надежности генераторов электромагнитного поля сверхвысокой частоты, что будет способствовать более широкому практическому использованию исследованного способа обеззараживания и технологического оборудования для его реализации.

### **Литература**

1. Сибикеева, Ю.Е. Особенности распространения и развития микозов подсолнечника/ Ю.Е. Сибикеева // Защита и карантин растений. – 2013. – №1. – С.19-21
2. Трисвятский, Л.А. Хранение зерна/ Л.А. Трисвятский. – 5-е изд., перераб. и доп. – М.: Агропромиздат, 1985. – 351с.
3. Грибные болезни подсолнечника (по материалам журнала «Защита и карантин растений») от 22.02.2012г. // Агро Корзина. Материалы аграрной тематики [Электрон-

ный ресурс]. – Электрон. дан. [М]: runet, сор. 2011-2013. – Режим доступа: <http://agrocart.com/853/gribnye-bolezni-podsolnechnika> (дата обращения 13.02.2013г.)

4. Долженко, Е.Г. Биология гриба *Phomopsis Helianthi* и меры борьбы с ним в условиях Краснодарского края: автореф. дис. ... канд. биол. наук: 06.01.11. – Краснодар: ВНИИМК им. В.С. Пустовойта, 2000. – 25с.

5. Шипиевская, Е.Ю. Разработка биологического метода защиты подсолнечника от фомопсиса: автореф. дис. ... канд. биол. наук: 06.01.11. – Краснодар: ВНИИМК им. В.С. Пустовойта, 2006. – 26с.

6. Фомопсис подсолнечника - *Phomopsis helianthi* Munt./ Ростовский референтный центр Россельхознадзора [Электронный ресурс]. – Электрон. дан. [Ростов-на-Дону]: runet, сор. 2001-2012. – Режим доступа: [http://referent61.ru/index.php?option=com\\_content&task=view&id=552&Itemid=43](http://referent61.ru/index.php?option=com_content&task=view&id=552&Itemid=43) (дата обращения 24.01.2013г.)

7. Антонова, Т.С. Методика оценки устойчивости подсолнечника к фомопсису/ Т.С. Антонова, Н.М. Арасланова, С.Н. Орлова, Н.И. Бочкарев// Современная микология в России: 1-й съезд микологов России: тез. докладов. – М.: Нац. акад. микологии, 2002. – С.172

8. Заражение подсолнечника фомопсисом – Россия (Ростовская область)/ Сводки с эпидемического фронта Medical News. Выпуск №1099/572 от 25.03.2010 [Электронный ресурс]. – Электрон. дан. [UA]: runet, сор. 1999-2010. – Режим доступа: [http://www.medicalnews.in.dn.ua/issues/sef/2010/issue\\_1100.htm](http://www.medicalnews.in.dn.ua/issues/sef/2010/issue_1100.htm) (дата обращения 13.02.2013г.)

9. Носулина, Ю. Опасное заболевание подсолнечника выявлено в ростовском хозяйстве/ Ю. Носулина// РИА Новости [Электронный ресурс]. – Электрон. дан. [М.]: runet, сор. 2012. – Режим доступа: <http://ria.ru/eco/20130213/922675664.html#ixzz2KmJ2nR8l> (дата обращения 13.02.2013г.)

10. Пути распространения фомопсиса подсолнечника/ В. Коцур// Чувашская республика. Официальный портал органов власти [Электронный ресурс]. – Электрон. дан. [Чебоксары]: runet, сор. 2012. – Режим доступа: <http://gov.cap.ru/hierarchy.asp?page=/83405/119188/119192/120882> (дата обращения 13.02.2013г.)

11. Болезни сельскохозяйственных культур: *Diaporthe helianthi* Munt. – Cvetk., Mihaljc. & M. Petrov. – Серая пятнистость стеблей подсолнечника (рак стеблей, фомопсис)/ В.И. Якуткин// Агроэкологический атлас России и сопредельных стран: экономически значимые растения, их болезни, вредители и сорные растения [Электронный ресурс]. – Электрон. дан. [М.]: runet, сор. 2003-2009. – Режим доступа: [http://www.agroatlas.ru/ru/content/diseases/Olee/Olee\\_Phomopsis\\_helianthi/](http://www.agroatlas.ru/ru/content/diseases/Olee/Olee_Phomopsis_helianthi/) (дата обращения 13.02.2013г.)

12. Горячев, С.Н. Изучение состояния воды у микроорганизмов с малой влажностью: автореф. дис. ... канд. биол. наук: 03.00.02. – М.: МГУ им. М.В. Ломоносова, 1979. – 21с.

13. Фогельсон, Б.А. Волноводы/ Б.А. Фогельсон. – М.: Военное изд-во министерства обороны Союза ССР, 1958. – 126с.

14. Григорьев, А.Д. Электродинамика и техника СВЧ/ А.Д. Григорьев. – М.: Высшая школа, 1990. – 335с.

15. Пахомов, А.И. Исследование температурных режимов магнетрона OM75S при использовании его в блоке генерации СВЧ энергии установки обработки зерновых материалов/ А.И. Пахомов, В.А. Максименко, А.А. Парапонов// Ресурсосберегающие технологии: возделывание и переработка сельскохозяйственных культур: Сб. науч. тр. Междунар. науч.-техн. конференции: «Ресурсосберегающие технологии и инновационные проекты в АПК» (г.Зерноград Ростовской обл., ВНИПТИМЭСХ, 14-15 апреля 2009г.). – Зерноград, 2009. – С.249-256

16. Пахомов, В.И. Система воздушного охлаждения магнетрона сельскохозяйственной СВЧ-установки/ В.И. Пахомов, А.И. Пахомов, А.А. Парапонов// Сельскохозяйственные машины и технологии. – 2012. – №4. – С.26-29

17. Филиппов, Р.Л. Интенсификация технологических процессов переработки продуктов пчеловодства электромагнитной энергией: автореф. дисс. ... докт. техн. наук: 05.20.02/ Гриф: «Для служебного пользования». – Челябинск: Челябинский агроинж. ун-т, 1991. – 41с.

18. Интенсификация тепловых процессов подготовки семян к посеву энергией ВЧ и СВЧ (рекомендации)/ Н.В. Цугленок, Г.И. Цугленок, С.Н. Шахматов и др.; Утв. ВО «Сюзортсемовощ» 11.04.1989г. – М.: ВО Агропромиздат, 1989. – 40с.

19. Юсупова, Г.Г. Обеспечение микробиологической безопасности зерновых культур в технологиях производства муки и хлебобулочных изделий: дис. ... д-ра с.-х. наук: 05.18.01. – Красноярск: КрасГАУ, 2010. – 331с.

20. Заплетина, А.В. Исследование влияния режимных параметров СВЧ-поля на качественные показатели семян гречихи: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.20.02. – Красноярск: КрасГАУ, 2012. – 16с.

21. Головина, Т.А. Влияние энергии СВЧ-поля на фитопатогенный комплекс и качественные показатели зерна пшеницы: автореф. дис. ... канд. биол. наук: 03.00.16. – Красноярск: КрасГАУ, 2004. – 18с.

22. Касьяненко, В.П. Обеззараживание зерна и комбикормов в поле СВЧ: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.18.12. – М.: Московская гос. технол. акад., 2002. – 23с.

23. Бородин, И.Ф. Применение СВЧ-энергии в сельском хозяйстве/ И.Ф. Бородин, Г.А. Шарков, А.Д. Горин// Серия: «Механизация и электрификация сельского хозяйства». – М.: ВНИИТЭИ агропром, 1987. – 56с.

24. Юсупова, Г.Г. Обеспечение микробиологической безопасности зернового продовольственного сырья/ Г.Г. Юсупова, Ю.И. Кретова, Э.И. Черкасова, М.О. Черкасова // Хлебопродукты. – 2013. – №4. – С.60-63

25. Исмаилов, Э.Ш. Биофизическое действие СВЧ-излучений/ Э.Ш. Исмаилов. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 144с.

26. Бородин, И.Ф. СВЧ-технологии в агропромышленном комплексе/ И.Ф. Бородин, В.И. Пахомов// Перспективное машинно-технологическое обеспечение агроинженерной системы: юбилейный сб. науч. трудов/ ВНИПТИМЭСХ. – Ростов-на-Дону – зерноград: ООО «Терра», 2004 – С.65-75

27. Пахомов, А.И. Повышение надежности СВЧ-источника/ А.И. Пахомов, А.А. Парапонов// Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2011. – №8. – С.29

28. Горелова, Е.И. Основы хранения зерна/ Е.И. Горелова. – М.: Агропромиздат, 1986. – 136с.

## References

1. Sibikeeva, Yu.E. Characteristics of spreading and progression of sunflowers' mycosis / Yu.E. Sibikeeva // Protection and quarantine of plants. – 2013. – №1. – P.19-21

2. Trisvyatskiy, L.A. Crops storage / L.A. Trisvyatskiy. – 5<sup>th</sup> edition, revised and supplemented. – М.: Agropromizdat, 1985. – 351p.

3. Fungous diseases of sunflower (according to the articles of journal “Protection and quarantine of plants”) 22.02.2012 // Agro Basket. Materials of agriculture subject matter [Electronic resource]. – Electron. data [M.]: runet, cop. 2011-2013. – Access mode: agrocart.com/853/gribnye-bolezni-podsolnechnika (the date 13.02.2013).

4. Dolzhenko, E.G. Biology of the *Phomopsis Helianti* and control measures in Krasnodar territory: Abstract of a thesis ...of a candidate of biological sciences: 06.01.11. - Krasnodar: VNIIMK named after V.S. Pustovoyt, 2000. – 25p.

5. Shipievskaya, E.Yu. The development of biological method of sunflower phomopsis protection: Abstract of a thesis ...of a candidate of biological sciences: 06.01.11. – Krasnodar: VNIIMK named after V.S. Pustovoyt, 2006. – 26p.

6. Phomopsis of sunflower – *Phomopsis helianthi* Munt. / Rostov reference center of Rosagroiinspectorate [Electronic resource]. – Electron. data [Rostov-on-Don]: runet, cop.2001-2012. – Access mode: referent61.ru/index.php?option=com\_content&task=view&id=552&Itemid=43 (The date of address 24.01.2013)

7. Antonova, T.S. Methods of stability rating of sunflower to phomopsis / T.S. Antonova, N.M. Araslanova, S.N. Orlova, N.I. Bochkarev // Modern mycology in Russia: the 1<sup>st</sup> Congress of Russian mycologists: thesis of reports. – M.: National Academy of mycology, 2002. – P.172.

8. Sunflower Phomopsis infestation – Russia (Rostov-on-Don region)/ Reports from epidemic front *Medical News*. Issue № 1099/572, 25.03.2010 [Electronic resource]. - Electron. data. [UA]: runet, cop. 1999-2010. – Access mode: [www.medicalnews.in.dn.ua/issues/sef/2010/issue\\_1100.htm](http://www.medicalnews.in.dn.ua/issues/sef/2010/issue_1100.htm) (The date of address 13.02.2013)

9. Nosulina, Yu. Dangerous sunflower disease has been revealed in a Rostov farm/ Yu. Nosulina // RIA Novosty [Electronic resource]. – Electron. data [M.]: runet, cop. 2012.- Access mode: [ria.ru/eco/20130213/922675664.html#ixzz2KmJ2nR81](http://ria.ru/eco/20130213/922675664.html#ixzz2KmJ2nR81) (The date 13.02.2013.)

10. Ways of sunflower phomopsis spreading / V. Kotsur // Chuvash republic. Official data portal of the authority [Electronic resource]. – Electron. data [Cheboksary]: runet, cop. 2012. – Access mode: [gov.cap.ru/hierarchy.asp?page=/.83405/119188/119192/120882](http://gov.cap.ru/hierarchy.asp?page=/.83405/119188/119192/120882) (the date of address 13.02.2013)

11. Crops diseases: *Diaporthe helianthi* Munt. – Cvetk., Mihaljc. & M. Petrov.- Gray blight of sunflower stems (stem canker, Phomopsis) / V.I.Yakutkin. //Agroecological atlas of Russia and neighbouring countries: Economically important plants, their diseases, pests and weeds [Electronic resource]. – Electron. data [M.]: runet, cop. 2003-2009.- Access mode: [www.agroatlas.ru/ru/content/diseases/Olee/Olee\\_Phomopsis\\_heliantii/](http://www.agroatlas.ru/ru/content/diseases/Olee/Olee_Phomopsis_heliantii/) (The date of address 13.02.2013)

12. Goryachev, S.N. The study of water state at microorganisms with little moisture content: Abstract of a thesis ...of a candidate of biology: 03.00.02. – M: MSU named after M.V.Lomonosov, 1979. – 21 p.

13. Fogelson, B.A. Waveguides / B.A. Fogelson. – M.: The military publishing house of USSR Ministry of Defense, 1958. – 126p.

14. Grigor'ev, A.D. Electrodynamics and technique of MWF/A.D. Grigor'ev. – M.: High School, 1990. – 335p

15. Pakhomov, A.I. The study of magnetron OM75S temperature modes during using it blocked with generation MWF energy unit for grain raw material processing/A.I. Pakhomov, V.A. Maksimenko, A.A. Paraponov// Alternative technologies: cultivation and processing of crops: Collected scientific articles International scientific conference: “Alternative technologies and innovative projects in Agroindustry” (t. Zernograd Rostov region, NCSRIMEA, April 14-15, 2009). – Zernograd, 2009. – P.249-256.

16. Pakhomov, V.I. The magnetron's air cooling system of agricultural MWF-unit/ V.I. Pakhomov, A.I. Pakhomov, A.A. Paraponov// Agricultural machines and technologies. – 2012. – №4. – P.26-29.

17. Filippov, R.L. The intensification of technological processes of bee-farming products processing by electromagnetic energy: Abstract of a thesis ...of a doctor of technics: 05.20.02/ classification “Restricted”. – Chelyabinsk: Chel. Agroengineering University, 1991. – 41p.

18. Intensification of thermal processes of seed preparation for sowing by HF and MWF energy (Guidelines)/N.V. Tsuglenok, G.I. Tsuglenok, S.N. Shahmatov and others; Appr. AS “Souzsortsemovosch” 11.04.1989. – M.: Agroprompress, 1989. – 40p.

19. Yusupova, G.G. Microbiological protection of grains at production of flower and baked goods: Thesis ... of Doctor of agricultural sciences: 05.18.01. – Krasnoyarsk: KrasSAU, 2010. – 331p.

20. Zapletina, A.V. The study of the MWF-field mode parameters effect on the quality characteristics of buckwheat seeds: abstract of a thesis ...of candidate of technics: 05.20.02. – Krasnoyarsk: KrasSAU, 2012. – 16p.

21. Golovina, T.A. The effect of MWF-field energy on the plant pathogenic complex and wheat seeds quality characteristics: abstract of a thesis ...of a candidate of biological sciences: 03.00.16. – Krasnoyarsk: KrasSAU, 2004. – 18p.

22. Kas'yanenko, V.P. Disinfection of grain and mixed fodder in the MWF-field: Abstract of a thesis ...of candidate of technics: 05.18.12.- M.: Moscow State Technol. Academy, 2002. – 23p.

23. Borodin, I.F. The usage of MWF-energy in agriculture/ I.F. Borodin, G.A. Sharikov, A.D. Gorin // Series “Mechanization and electrification of agriculture”. – M.: VNIITEI agroprom, 1987. – 56p.

24. Yusupova, G.G. Microbiological protection of grain food raw material/ G.G. Yusupova, Yu.I. Kretova, E.I. Cherkasova, M.O. Cherkasova // Khleboproducty. – 2013. – №4. – P.60-63.

25. Ismailov, E.Sh. Biophysical action of MWF-radiation / E.Sh. Ismailov. – M.: Energoatomizdat, 1987. – 144p.

26. Borodin, I.F. MWF-technologies in agroindustrial complex / I.F. Borodin, V.I. Pakhomov // Perspective machine-technological support of agroengineering: jubilee Collected scientific articles/ NCSRIMEA. – Rostov-on-Don. – Zernograd: Co Ltd “Terra”, 2004. – P.65-75.

27. Pakhomov, A.I. Reliability growth of MWF-source /A.I. Pakhomov, A.A. Parapov // Mechanization and electrification of agriculture. – 2011. – №8. – P.29.

28. Gorelova, E.I. The fundamentals of crop storage / E.I. Gorelova. – M.: Agropromizdat, 1986. – 136 p.