

Научная статья
УДК 631.36
doi: 10.28983/asj.y2022i8pp90-97

Изучение физических способов и технических средств обеззараживания зерна: сетевой анализ

Владимир Николаевич Нечаев

ГБОУ ВО «Нижегородский государственный инженерно-экономический университет», г. Нижний Новгород, Россия.

e-mail: nechaev-v@list.ru

Аннотация. В статье рассматриваются результаты сетевого анализа по определению основных классификационных признаков физических способов обеззараживания зерна и параметров, влияющих на эффективность процесса обеззараживания. Установлено, что первое место (по данным eLibrary.ru с 1957 по 2021 г.) по публикационной активности занимают работы по СВЧ-обеззараживанию 48,33 % из 209 публикаций, второе – озонирование, а также термическая и гидробаротермическая обработка соответственно по 21,53 % публикаций, остальные 8,61 % относятся к ультрафиолетовой обработке. Дана оценка некоторым устройствам, реализующим физические способы обеззараживания. Представлена классификация физических способов обеззараживания, делящая их на три группы (тепловые, механические и электрофизические). На три группы (структурные, механические и технологические) делятся и параметры, влияющие на эффективность процесса обеззараживания. Выведено обобщенное понятие, что такое агент воздействия.

Ключевые слова: классификация способов обеззараживания; зараженное зерно и рассыпной комбикорм; агент воздействия; эффективность обеззараживания

Для цитирования: Нечаев В. Н. Изучение физических способов и технических средств обеззараживания зерна: сетевой анализ // Аграрный научный журнал. 2022. № 8. С. 90–97. <http://dx.doi.org/10.28983/asj.y2022i8pp90-97>.

AGRICULTURAL ENGINEERING

Original article

Study of physical methods and technical means of grain disinfection: network analysis

Vladimir N. Nechaev

Nizhniy Novgorod State Engineering-economic University, Nizhniy Novgorod, Russia

e-mail: nechaev-v@list.ru

Abstract. The article discusses the results of a network analysis to determine the main classification features of physical methods of grain disinfection and parameters that affect the efficiency of the disinfection process. It has been established that the first place (according to eLibrary.ru for the period from 1957 to 2021) in terms of publication activity is occupied by works on microwave disinfection of 48.33 % of 209 publications, the second is ozonation, as well as thermal and hydrobarothermal treatment, respectively. 21.53% of publications, the remaining 8.61% are ultra-violet processing. An assessment is given to some devices that implement physical methods of disinfection. A classification of physical disinfection methods is presented, dividing them into three groups (thermal, mechanical and electrophysical). The parameters affecting the efficiency of the disinfection process are also divided into three groups (structural, mechanical and technological). A generalized concept of what an agent of influence is derived.

Keywords: classification of disinfection methods; contaminated grain and loose compound feed; influence agent; disinfection efficiency.

For citation: Nechaev V. N. Study of physical methods and technical means of grain disinfection: network analysis // Agrarnyy nauchnyy zhurnal = Agrarian Scientific Journal. 2022;(7):90–97. (In Russ.). <http://dx.doi.org/10.28983/asj.y2022i8pp90-97>.

Введение. Россия занимает 23-е место в глобальном рейтинге продовольственной безопасности (Global Food Security Index 2021) из 113 стран [1], что при принятии определенных мер позволит улучшить данный показатель. Так, согласно Доктрине продовольственной безопасности РФ № 20 от 21 января 2020 г., национальным интересом государства является развитие производства комбикормов за счет внедрения конкурентоспособных отечественных технологий, основанных на новейших достижениях науки.

Значимое место в этом направлении занимает птицеводство. Однако при выращивании птицы производители сталкиваются с проблемой качества комбикорма, основным компонентом которого является зерно. Высокая восприимчивость зерна к комплексу фитопатогенных микроорганизмов и вредителей способствует ухудшению его качества [2]. Во всем мире регистрируются случаи заноса опасных инфекций необработанным зерном в птицефабрики и свиноводческие предприятия, вызванных бактериями (*Salmonella*, *Bacillus subtilis*) [3–5], представляющими опасность для человека. Зараженное зерно представляет собой высокий риск негативных эффектов для здоровья и продуктивного долголетия животных, а для производителя несет экономические потери.

В связи с этим актуальной задачей является обеззараживание зерна. Кроме того, со стороны аграриев существует потребность в обеззараживании семенного фонда, поэтому проводимые научные исследования послужат опорой при дальнейшей разработке технологической линии по обеззараживанию семенного зерна. Сложность задачи заключа-



ется в создании линии с большой пропускной способностью обеззараживания корма в движении. Отличительной способностью линии должно являться возможность обеззараживания в поточном режиме не только зерна, но и компонентов рассыпного комбикорма.

Целью исследований являлось определение основных классификационных признаков физических способов обеззараживания зерна и воздействующих параметров, влияющих на эффективность обеззараживания на основе анализа существующих источников информации.

Методика исследований. Изучение состояние проблемы гигиенизации зерна и комбикормов начнем с анализа известной в России базы научной электронной библиотеки eLibrary.ru [6]. Для этого в поисковую систему введен запрос «обеззараживание зерна» (рис. 1) по имеющимся типам публикаций, поступивших за весь период до 2021 г. включительно.

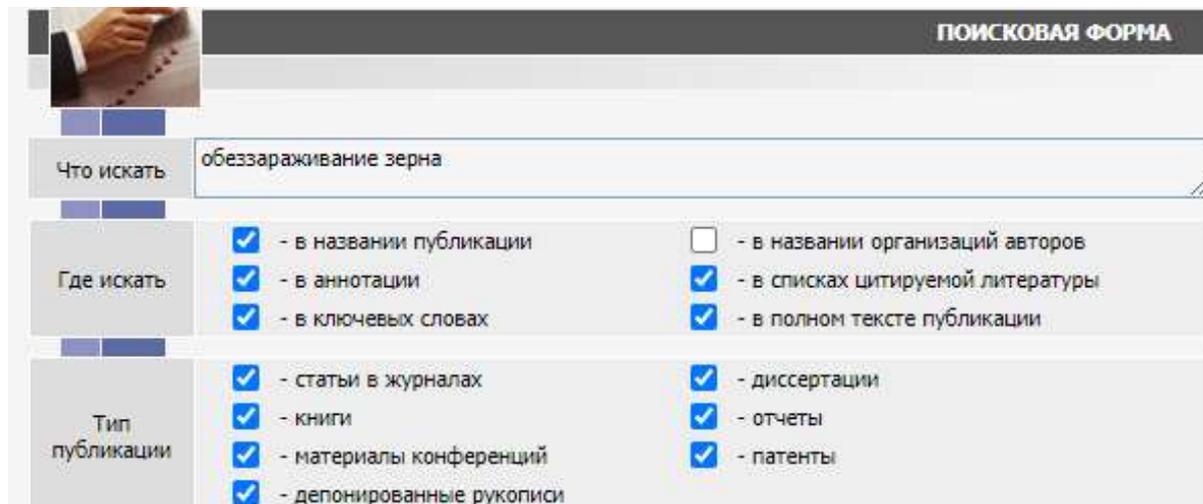


Рис. 1. Поисковая форма eLibrary.ru

По данному запросу из 2185 публикаций отобрано 209. Популярными способами обеззараживания зерна являются химические, биологические и физические. Рассматривать химические и биологические способы, основанные на использовании протравливателей, фумигантов и препаратов биологического происхождения мы не будем. Известно, что химические соединения и продукты их синтеза способны накапливаться в фуражном и продовольственном зерне, вызывая токсикологические последствия для человека и окружающей среды [7]. Всё это ограничивает сферу их применения. В связи с этим сконцентрируемся на исследованиях физических способов. Отбор проводился с учетом физико-механического воздействия. Распределение публикационной активности выглядит следующим образом. Первое место занимают работы, посвященные СВЧ-обеззараживанию в сельском хозяйстве, а также с помощью искрового разряда – 48,33 % (15 авторефератов, 12 патентов, остальные: 74 – статьи и материалы конференций). Второе место делят публикации с результатами исследований по обеззараживанию зерна озоном и термической (ИК излучение, сушка) и гидротермической обработке по 21,53 % соответственно по 45 публикаций. Третье место с 8,61 % занимают публикации по обеззараживанию ультрафиолетом. Причем более 90 % всех публикаций принадлежат периоду 2000–2021 годам (рис. 2).



Рис. 2. Публикационная активность (количество публикаций по годам)

Результаты исследований. Проанализируем наиболее значимые публикации. Так, обоснование использования сверхвысоких частот можно встретить в работах Н.В. Цугленок, Г.В. Новиковой, А.И. Пахомова, А.А. Васильева, Г.Г. Юсуповой, Ю.И. Зданович и др.



В работе [8] А.А. Васильев отмечает, что температура внутри зерновки фуражного зерна не должна превышать 90 °С, в семенном зерне не более 55 °С, а обязательная и минимальная температура его поверхности для уничтожения патогенной микрофлоры должна быть 60 °С, проведено обоснование импульсного воздействия полей СВЧ на зерно. Представляет интерес методики определения температуры внутри зерновки, на поверхности и межзерновом пространстве с использованием термопар. При СВЧ-обработке необходимо учитывать факт большего нагрева зон зерна с повышенной влажностью, а наибольшую влажность имеет зародыш, для семенного материала значение которого известно. Автор научно доказывает применение режима импульсного (циклического) нагрева зерна электромагнитным полем СВЧ с полупериодом 4 с. При таком воздействии влага перемещается из центра к поверхности зерновки, что позволяет достичь температуры на поверхности 2...15 °С в зависимости от влажности больше, чем в центре. Получены результаты значений удельных мощностей при обработке пшеницы влажностью до 14 % – 2,5 МВт/м³, при влажности больше 14 % соответственно 3,2–3,5 МВт/м³. Данные значения положительно сказываются на обеззараживании зерна.

В работе Ю. И. Зданович [9] отмечается положительный обеззараживающий эффект по всем видам грибных инфекций при обработке СВЧ полем ячменя пивоваренного. Обозначены основные параметры воздействия, при которых достигается необходимая температура зерна до 70 °С: скорость нагрева 0,6...0,8 °С/с, экспозиция обработки 60–90 с.

Под руководством Н.В. Цугленок получены результаты СВЧ-обеззараживания, обобщенные в работе [10] А.А. Шевченко и др. При экспозиции 90 с и скорости нагрева 0,8 °С/с, когда температура нагрева зерна составит 85 °С зараженность грибами падает до нуля.

Известен способ СВЧ-обработки фуражного зерна [11], при котором зерно перемещается вдоль оси камеры СВЧ принудительно снизу-вверх и естественно сверху-вниз. При чем движение самотеком осуществляется по усеченным конусам под углом 42–45° с определенными зазорами между образующими конусов за 20–90 с. В.И. Сыроватка, А.Н. Векленко и другие авторы рекомендуют температуру СВЧ-обработки 30–80° С. На наш взгляд, эффективность воздействия СВЧ-полей на внутренний слой вызывает сомнение. А перегрев наружных слоев сползающего сверху-вниз зерна может привести к денатурации белка. К тому же трудно добиться высокой пропускной способности непосредственно на производстве.

Существует еще один способ приготовления комбикорма и устройство для его осуществления [12]. По мнению Е.Ф. Кисловой, Ю.А. Ушакова, В.А. Шахова данная установка может использоваться для термообработки, измельчения и обеззараживания первичного сырья. Зерно предварительно требует замачивания до влажности 30–60 %. Продолжительность воздействия СВЧ-поля 30–60 с. Хотя данная конструкция имеет широкие технологические возможности, можно отметить ряд недостатков: многоступенчатый процесс обработки трудоемкий, а время СВЧ-обработки не контролируется. СВЧ-обработка воздействует избирательно, нагревая в первую очередь влажные слои зерна.

В настоящее время на рынке СВЧ-обеззараживания зерна и компонентов комбикорма оборудование представлено в основном отечественными компаниями ПК «Ингредиент» (г. Санкт-Петербург) [13], ООО «Синергис» (г. Санкт-Петербург) [14] и ЗАО НПП «Магратеп» (г. Фрязино) [15].

ПК «Ингредиент» выпускает установки туннельного типа с микроволновыми модулями, пропускной способностью до 350 кг/ч и потребляемой мощностью до 60 кВт (рис. 3, а). На сайте производителя приведены результаты лабораторных испытаний до и после СВЧ обработки растительного сырья. После воздействия микроволнового поля в режимах 100 °С в течение 2 мин или 95 °С и 5 мин сальмонеллы, плесени, дрожжей не обнаружено.

ООО «Синергис» выпускает серию установок микроволновой термической обработки сыпучих материалов «Поток» (рис. 3, б) производительностью 500 кг/ч при непрерывной работе. Набор функциональных возможностей в целом совпадает с установками, описанными ранее. Но имеет различие в организации процесса обработки. В данном случае продукт движется плотным слоем в микроволновом поле под действием силы тяжести в радиопрозрачной трубе, при этом перемешивается ворошителем. Так, по мнению разработчиков, обеспечивается наилучший прогрев материала. Предусмотрены системы автоматических регулировок движения обрабатываемого продукта и мощности микроволнового воздействия. В установке реализована технология «Up&Down» (быстрый нагрев, выдержка и вакуумное охлаждение). При микроволновом нагреве, как уже упоминалось ранее, за счет большей влажности вредители хлебных запасов эффективнее воспринимают нагрев, чем зерно, тем самым нейтрализуются.

Для достижения микробиологической чистоты зерна и комбикорма СВЧ-обработкой применяются установки «Декстрин» (рис. 3, в) производства ЗАО НПП «Магратеп». По данным компании производительность установок при обеззараживании составляет 1,2 т/ч при температуре нагрева 60–80 °С и времени воздействия 30–90 с. Регулируемая мощность СВЧ-генератора до 25 кВт при частоте генерации 915 МГц, потребляемая мощность 45 кВт.

Возможно, что из-за невысокой пропускной способности в рабочем процессе обеззараживания широкого пространства такие установки в хозяйствах не получили.

В работе И.В. Баскакова [16] в качестве одного из основных средств гигиенизации и повышения качества зернового материала предлагается применения процесса озонирования. Озон, обозначаемый в химии O₃, обладает дезинфицирующими, фунгицидными и бактерицидными свойствами, минимизируя активность, а затем уничтожая вредителей, бактерии, вирусы, грибы. Предельно допустимая концентрация (ПДК) озона



в воздухе должна быть не более $0,1 \text{ мг/м}^3$. Поэтому во избежание тяжелых последствий отравления в помещениях требуется установка датчиков контроля за концентрацией газа, катализаторов, расщепляющих озон до кислорода. К недостаткам озона можно отнести вероятность образования молекул воды при определенных условиях хранения зернового материала. В работе отмечено, что для разложения токсинов на каждый килограмм озимой пшеницы требуется 24 мг озона на килограмм. При этом экспозиция данной процедуры составляет 25 мин. Важно, что с увеличением концентрации газа, время озонирования снижается. Исследователь рекомендует предварительно перед сушкой озонировать влажный зерновой ворох, что позволяет повысить его влагоотдачу от 1,18 до 3,40 раза. Для семенного материала повышается энергия прорастания на 5 %, а лабораторная и полевая всхожесть на 4 и 10 % соответственно. В работе можно найти предложенную автором технологическую схему послеуборочной обработки зерна с возможным вариантом установки озонатора.

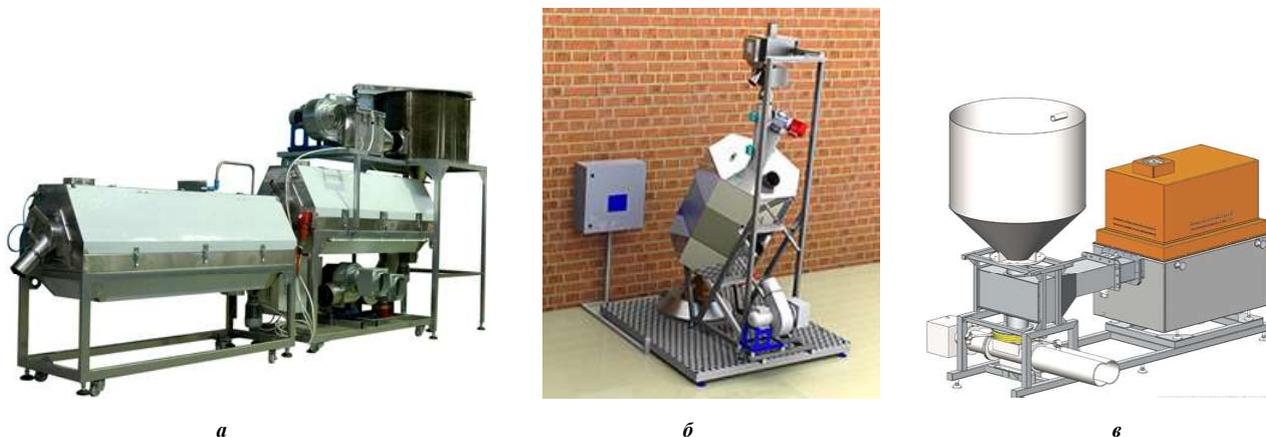


Рис. 3. Установки СВЧ обеззараживания: а – «Бархан 3»; б – «Поток»; в – «Декстрин 3»

А.А. Смирнов в работе [17] пришел к выводу, что обработка озонем стационарного материала менее эффективна, чем движущегося при сыпании тонкого слоя. Данное обстоятельство сказывается на неравномерности обработки, качественных показателях зерна и в конечном счете на энергоемкость процесса.

Зачастую к озонированию как отдельному виду гигиенизации зерна прибегают при длительном хранении в складских помещениях, реже используют для дезинсекции свежесобранного зерна непосредственно в кузове грузового автомобиля (рис. 4). Такая технология известна и применяется в Республике Беларусь [18]. Для усиления обеззараживающего эффекта в технологическую линию устанавливают магнетроны или электроды для создания отрицательного коронного разряда.



Рис. 4. Озонирование зерна

В работе [19] показаны результаты совместного действия озонированного воздуха, создаваемого озонатором «Гроза» производительностью $60 \text{ г}\cdot\text{ч}^{-1}$, и поля отрицательного коронного разряда. При напряженности поля $3,6\text{-}105 \text{ В}\cdot\text{м}^{-1}$, времени обработки 70 с и дозе озона $28,8 \text{ г}\cdot\text{с}\cdot\text{м}^{-3}$ подавляется развитие колоний грибов *g. Fusarium* до 150-180 дней, а инфекции *g. Aspergillus* – до 120 дней. Исследования проводились на зерне пшеницы.

Одним из возможных вариантов обеззараживания зерна является гидротермическая обработка (кондиционирование) продолжительностью до 240 с при температуре нагрева $83\text{-}110 \text{ }^\circ\text{C}$ при увлажнении до 3–8 %. По мнению авторов [20], такой диапазон температур позволяет избавиться от бактерий сальмонеллы, грибов, патогенных микроорганизмов без ухудшения питательных качеств корма. Лучшим условием для достижения необходимого эффекта является многоступенчатость процесса кондиционирования. Такая обработка необходима для предварительной подготовки зерновых ингредиентов комбикорма перед экструдированием, гранулированием, плющением или непосредственно перед скармливанием если речь идет о птицах, в рационе которых предусматривается включение целого зерна.





Известна установка [21], в которой заложен принцип multifunctionality тепловой обработки зерна и рассыпного комбикорма на следующих режимах: а) влажным паром от 50 до 130 °С; б) горячим воздухом от 30 до 300 °С; в) сочетания горячего воздуха и влажного пара от 30 до 300 °С (пароконвекция).

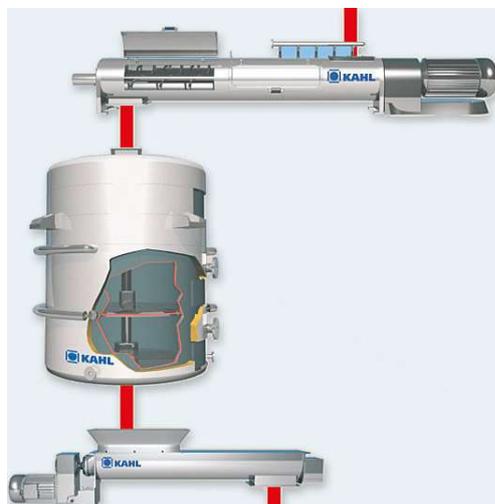
Для тепловой обработки комбикормов в животноводческих хозяйствах В.И. Сыроваткой и др. [22] предлагается установка производства гранул с системой подогрева поступающего сырья.

Следует отметить, что известные производители комбикормовых заводов Bühler (Швейцария) [23], Amandus Kahl (Германия) (рис. 5, а) [24], Технэкс (Россия) [25] предусматривают в линиях гигиенизации компонентов комбикорма тепловое обеззараживание: кондиционирование, пропаривание при различной влажности, температуре и продолжительности процесса. Пропускная способность варьирует в широком диапазоне.

Производители заверяют, что благодаря гидротермической обработке с использованием их оборудования происходит уничтожение патогенных микроорганизмов, бактерий (сальмонелл), плесневых грибов, а также снижается содержание микотоксина ДОН (дезоксиниваленола). Корм подвергается обработке паром температурой до 95 °С при интенсивном перемешивании с последующей выдержкой от 30 до 240 с. В линии обеззараживания Bühler реализуется принцип «первый на входе – первый на выходе», что гарантирует одинаковое время выдержки и равномерность гигиенизации. Также после обработки элементы, контактировавшие с продуктом, обдуваются горячим воздухом с целью исключения повторного заражения и образования конденсата в системе.

Третье место по публикационной активности занимает ультрафиолетовое обеззараживание.

Известна модульная установка (рис. 5, б) [26], состоящая из последовательно соединенных модулей с лампами ультрафиолетового излучения UVC, для подогрева цоколей которых установлены ТЭНы инфракрасного излучения.



а



б

Рис. 5. Установки для обеззараживания комбикорма: а – линия гигиенизации Verticone (Amandus Kahl); б – модульная установка для обработки сыпучих зерновых продуктов ультрафиолетовым излучением

В конструкции предусмотрен вибрационный механизм, обеспечивающий равномерное просыпание частиц и отсутствие засоров. Автор патента Клевакин Р.В. уверен, что использование изобретения позволит очистить продукт от бактерий, грибов, спор. Использование в птицеводстве снизит передачу заболеваний через корм. Недостатком является настройка скорости просыпания продукта, а соответственно и интенсивности УФ облучения за счет изменения взаимного положения ламп с защитными щитками, что вызывает определенные трудности, когда установлено несколько секций. Большое количество ламп делает процесс энергоемким, чтобы обеспечить ликвидацию плесневых грибов и патогенной микрофлоры. Производством оборудования УФ обработки занимается компания Sanuvox Technologies (Канада) [27].

Итак, рассмотрены основные способы и средства обеззараживания зерна как на корм сельскохозяйственным животным, так при хранении и предпосевной обработке на основе выбранного списка публикаций. По результатам сетевого анализа дана характеристика промышленным образцам соответствующего оборудования. Существуют и другие перспективные разработки, которые в представленный анализ не вошли, но их принципиальные конструктивно-технологические особенности и режимы работы попытались объединить в классификациях физических способов обеззараживания (рис. 6) и параметров, влияющих на процесс обеззараживания (рис. 7).

Анализируя предложенную классификацию, видно, что существующие способы делятся на три основные группы: электрофизические, механические и тепловые. Главным отличительным признаком каждой отдельной группы является агент воздействия на объект обеззараживания. Введем определение, публикуемое впервые, что мы подразумеваем под этим понятием.

Агент воздействия – это направленный поток от источника энергии на объект обеззараживания в виде волн различного диапазона частоты и длины или физического вещества с определенным сочетанием температуры и давления.



Рис. 6. Классификация физических способов обеззараживания зерна и рассыпного комбикорма непосредственно перед скормливанием или с возможностью хранения

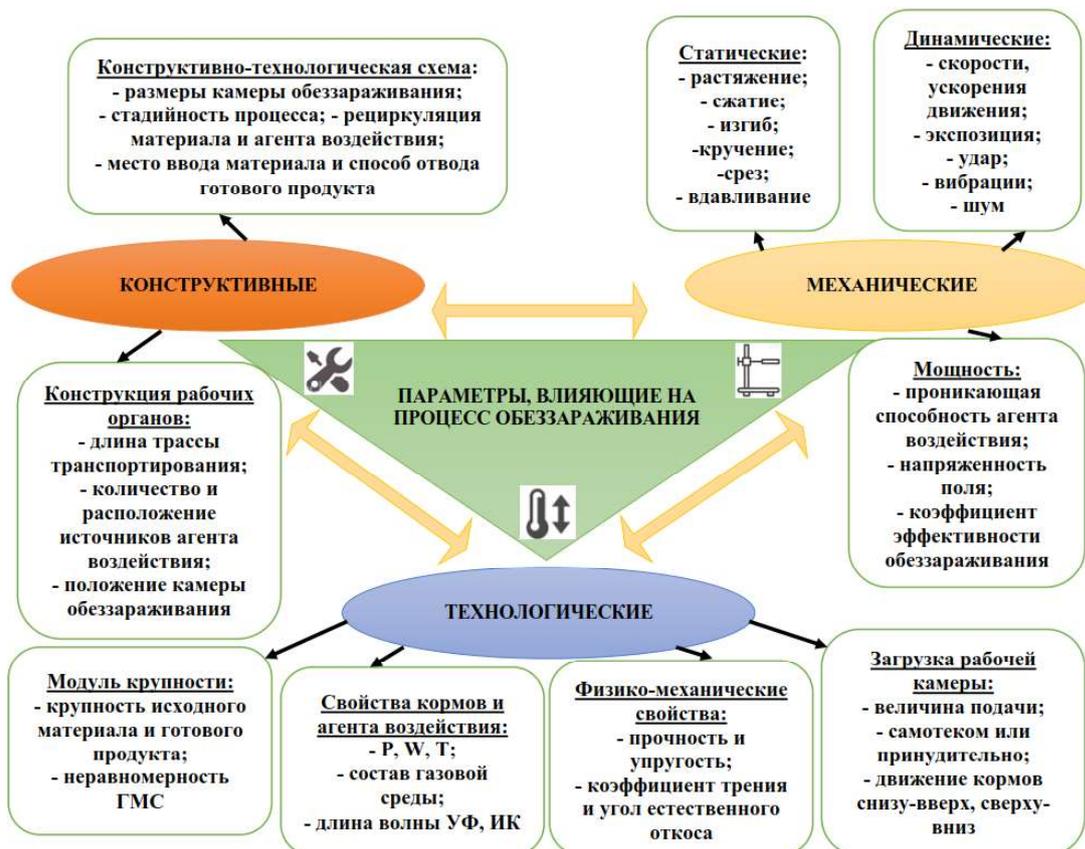


Рис. 7. Классификация параметров, влияющих на процесс обеззараживания

На стыке могут возникать различные сочетания агентов воздействия как внутри группы, так и между группами. Такие взаимодействия рассмотрены на изученных ранее устройствах.

Независимо от этих различий способы должны удовлетворять следующим основным требованиям: безопасности для окружающей среды, малозатратности и эффективности процесса.

Предлагаемая классификация (см. рис. 7) позволяет сделать вывод, что основными системообразующими факторами развития машинной технологии обеззараживания кормов является дальнейшее изучение технологических свойств обрабатываемого материала, разработка новых способов и рабочих органов установок обеззараживания.





Несмотря на большое количество работ по обеззараживанию зерна и рассыпного комбикорма, в настоящее время этот процесс еще недостаточно изучен. Наиболее слабо освещена тема обеззараживания паром и горячим воздухом при сочетании с другими возможными способами. Промышленность взяла тепловой способ на вооружение, выпускает установки большой пропускной способности, однако необходимо научное обоснование протекающих процессов в корме, вызванных агентом воздействия. Это позволит разрабатывать эффективные технические средства для обеззараживания зерна.

Заключение. Определены отличительные признаки физических способов обеззараживания зерна. Построена их классификация, состоящая из трёх основных групп: тепловые, механические и электрофизические. Также построена классификация параметров агента воздействия, влияющих на процесс обеззараживания. Дано пояснение введённому понятию: агент воздействия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Global Food Security Index [Электронный ресурс]. <https://impact.economist.com/sustainability/project/food-security-index/Country/Details#Russia> (дата обращения: 23.01.2022).
2. Афлотоксины зерна и способы минимизации рисков их накопления / Н.В. Науменко [и др.] // Bulletin of the South Ural State University. Ser. Food and Biotechnology. 2019, Vol. 7, No. 2, P. 70–80 DOI: 10.14529/food190208.
3. Журнал Агроинвестор [Электронный ресурс]. <https://www.agroinvestor.ru/technologies/article/32350-salmonellez/> (дата обращения: 23.09.2021).
4. Newton K., Gosling B., Rabie A., Davies R. Field investigations of multidrug-resistant salmonella infantis epidemic strain incursions into broiler flocks in England and Wales // Avian Pathology. 2020. Vol. 49. No. 6. P. 631–641. DOI: 10.1080/03079457.2020.1809634.
5. Van der Wolf P.J., Wolbers W.B., Elbers A.R.W., Van der Heijden H.M.J.F., Koppen J.M.C.C., Hunneman W.A., Van Schie F.W., Tielen M.J.M. Herd level husbandry factors associated with the serological salmonella prevalence in finishing pig herds in the netherlands // Veterinary Microbiology. 2001. Vol. 78. No. 3. C. 205–219.
6. Научная электронная библиотека eLibrary.ru [Электронный ресурс]. URL: https://www.elibrary.ru/query_results.asp (дата обращения: 21.11.2021).
7. Lin Y.-L., Chiang P.-C., Chang E.-E Reduction of disinfection by-products precursors by nanofiltration process // Journal of Hazardous Materials. 2006. Vol. 137. No. 1. C. 324–331. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2006.02.016.
8. Васильев А. А. Обоснование режимов послеуборочного обеззараживания зерна с использованием поля СВЧ: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.02 / Васильев Алексей Алексеевич. М., 2018. 186 с.
9. Зданович Ю. И. Влияние термического обеззараживания на комплекс микроорганизмов и качественные показатели зерна ячменя пивоваренного: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук: 03.00.16 / Зданович Юлия Игоревна. Красноярск, 2006. 20 с.
10. Шевченко А. А., Сапрунова Е.А., Челебиев С.Ю. Способы стерилизации продуктов растениеводства и кормосмесей // Научный журнал КубГАУ. 2014. № 98(04). <http://ej.kubagro.ru/2014/04/pdf/21.pdf>.
11. Патент Рос. Федерации № 2555446 РФ, МПК А 01 С 1/06. Способ СВЧ обработки фуражного зерна / В.И. Сыроватка, А.Н. Векленко, Н.А. Жданов, Т.С. Комарчук, А.Д. Обухов. № 2014115119/13. Заявл. 15.04.2014; опубл. 10.07.2015. – Бюл. № 19. – 7 с.
12. Патент Рос. Федерации № 2728473 РФ, МПК А 23 N 17/00. Способ приготовления комбикормов и устройство для его осуществления / Е.Ф. Кислова, Ю.А. Ушаков, В.А. Шахов, А.Ф. Абдюкаева, Е.М. Асманкин, Р.Р. Абдюкаев. №2019136229. Заявл. 11.11.2019; опубл. 29.07.2020. – Бюл. № 22. – 11 с.
13. ПК «Ингредиент» [Электронный ресурс]. URL: <https://www.ingredient.su/> (дата обращения: 23.09.2021).
14. ООО «Синергис» [Электронный ресурс]. URL: <http://senergys.ru/> (дата обращения: 23.09.2021).
15. ЗАО «НПП «Магратеп» [Электронный ресурс]. URL: <http://magratep.com/> (дата обращения: 23.09.2021).
16. Баскаков И. В. Совершенствование технологии послеуборочной обработки и хранения зернового материала: дис. ... д-ра с.-х. наук: 05.20.01 / Баскаков Иван Васильевич. Воронеж, 2019. 339 с.
17. Смирнов А. А. Электротехнологическая озонаторная установка для обеззараживания кормовых смесей: автореф. дис. ... техн. наук: 05.20.02 / Смирнов Александр Анатольевич. М., 2014. – 25 с.
18. Компания Эвонзон [Электронный ресурс]. <http://evozon.by/> (дата обращения: 29.09.2021).
19. Andreeva V., Antonov S., Molchanov A., Devedorkin I. Disinfection of winter wheat grain by ozone and negative corona // Eng. Rur. Develop. 2017. No 63. P. 323–327. DOI: 10.22616/ERDev2017.16.N063.
20. Клычев Е.М., Карташов С.Г. Двухстадийный процесс теплового обеззараживания рассыпных комбикормов // Вестник ВНИИМЖ. 2017. № 3 (27). С. 79–82.
21. Патент Рос. Федерации № 2280396 РФ, МПК А23N 17/00. Установка для тепловой обработки зерна и комбикормов / Е. М. Клычев. №2005107470/13. Заявл. 18.03.2005; опубл. 27.07.2006. – Бюл. № 21. – 7 с.
22. Патент Рос. Федерации № 2366269 РФ, МПК А23К 1/00, А23N 17/00. Способ и установка для тепловой обработки комбикормов / В. И. Сыроватка, А. С. Комарчук, А. Д. Обухов. №2008106693/13. Заявл. 20.02.2008; опубл. 10.09.2009. – Бюл. № 25. – 7 с.
23. Компания Bühler [Электронный ресурс]. <https://www.buhlergroup.com/content/buhlergroup/global/ru/process-technologies/Conditioning.html> (дата обращения: 29.09.2021).
24. Компания Kahl [Электронный ресурс]. <https://www.akahl.com/ru/mashiny/konditionierer/gidrotermicheskie-reaktory/> (дата обращения: 29.09.2021).
25. Машиностроительная компания Технэкс. Термообработка [Электронный ресурс]. <http://www.technex.ru/ru/catalog/thermal-treatment> (дата обращения: 29.09.2021).
26. Патент Рос. Федерации № 2620831 РФ, МПК А23L 3/54. Модульная установка для обработки сыпучих зерновых продуктов ультрафиолетовым излучением / Р.В. Клевакин. – №2016118174. Заявл. 11.05.16; опубл. 30.05.17. – Бюл. № 16. – 15 с.
27. Компания Sanuvox Technologies Inc [Электронный ресурс]. <https://sanuvox.com/> (дата обращения: 29.09.2021).

REFERENCES

1. Global Food Security Index [Electronic resource]. <https://impact.economist.com/sustainability/project/food-security-index/Country/Details#Russia> (accessed 01/23/2022).
2. Grain aflatoxins and ways to minimize the risks of their accumulation / N.V. Naumenko et al. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. food and biotechnology*. 2019; 7; 2: 70–80. DOI: 10.14529/food190208.
3. Magazine Agroiinvestor [Electronic resource]. <https://www.agroiinvestor.ru/technologies/article/32350-salmonellez/> (date of access: 09/23/2021).
4. Newton K., Gosling B., Rabie A., Davies R. Field investigations of multidrug-resistant salmonella infantis epidemic strain incursions into broiler flocks in England and Wales. *Avian Pathology*. 2020; 49; 6: 631–641. DOI: 10.1080/03079457.2020.1809634.
5. Van der Wolf P. J., Wolbers W. B., Elbers A. R. W., Van der Heijden H. M. J. F., Koppen J. M. C. C., Hunneman W. A., Van Schie F. W., Tielen M. J. M. Herd level husbandry factors associated with the serological salmonella prevalence in finishing pig herds in the netherlands. *Veterinary Microbiol-ogy*. 2001; 78; 3: 205-219.
6. Scientific electronic library eLibrary.ru [Electronic resource]. URL: https://www.elibrary.ru/query_results.asp (date of access: 11/21/2021).
7. Lin Y.-L., Chiang P.-C., Chang E.-E Reduction of disinfection by-products precursors by nano-filtration process. *Journal of Hazardous Materials*. 2006; 137; 1: 324–331. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2006.02.016.
8. Vasiliev A. A. Substantiation of modes of post-harvest disinfection of grain using a microwave field. Moscow, 2018. 186 p.
9. Zdanovich Yu. I. Influence of thermal disinfection on the complex of microorganisms and quality indicators of grain of malting barley. Krasnoyarsk, 2006. 20 p.
10. A. A. Shevchenko, E. A. Saprunova, and S. Yu. Ways of sterilization of crop products and feed mixtures. *Scientific journal Kub-Gau*. 2014; 98(04). <http://ej.kubagro.ru/2014/04/pdf/21.pdf>.
11. Patent Ros. Federation No. 2555446 RF, IPC A 01 C 1/06. The method of microwave processing of fodder grain / V. I. Syrovatka, A. N. Veklenko, N. A. Zhdanov, T. S. Komarchuk, A. D. Obukhov. No. 2014115119/13. Appl. 04/15/2014; publ. 07/10/2015. Bull. No. 19. 7 p.
12. Patent Ros. Federation No. 2728473 RF, IPC A 23 N 17/00. A method of preparing compound feed and a device for its implementation / E. F. Kislova, Yu. A. Ushakov, V. A. Shakhov, A. F. Abdyucaeva, E. M. Asmankin, R. R. Abdyucaev. No. 2019136229. Appl. 11/11/2019; publ. 07/29/2020. Bull. No. 22. 11 p.
13. PK “Ingredient” [Electronic resource]. URL: <https://www.ingredient.su/> (date of access: 09/23/2021).
14. Synergis LLC [Electronic resource]. URL: <http://senerys.ru/> (date of access: 23.09.2021).
15. ZAO NPP Magratep [Electronic resource]. URL: <http://maratep.com/> (date of access: 09/23/2021).
16. Baskakov I. V. Improving the technology of post-harvest processing and storage of grain material. Voronezh, 2019. 339 p.
17. Smirnov A. A. Electrotechnological ozonator for disinfection of fodder mixtures. Moscow, 2014. 25 p.
18. Evozon Company [Electronic resource]. <http://evozon.by/> (date of access: 09/29/2021).
19. Andreeva V., Antonov S., Molchanov A., Devedorkin I. Disinfection of winter wheat grain by ozone and negative corona. *Eng. Rur. Develop.* 2017; 63: 323-327. DOI: 10.22616/ERDev2017.16.N063.
20. Klychev E. M., Kartashov S. G. Two-stage process of thermal disinfection of loose mixed fodder. *Bulletin of VNIIMZH*. 2017; 3 (27): 79-82.
21. Patent Ros. Federation No. 2280396 of the Russian Federation, IPC A23N 17/00. Installation for heat treatment of grain and animal feed / E. M. Klychev. No. 2005107470/13. Appl. 03/18/2005; publ. 07/27/2006. Bull. No. 21. 7 p.
22. Patent Ros. Federation No. 2366269 of the Russian Federation, IPC A23K 1/00, A23N 17/00. Method and installation for thermal treatment of animal feed / V.I. Syrovatka, A.S. Komarchuk, A.D. Obukhov. No. 2008106693/13. Appl. 02/20/2008; publ. 09/10/2009. Bull. No. 25. 7 p.
23. Company Bühler [Electronic resource]. <https://www.buhlergroup.com/content/buhlergroup/global/ru/process-technologies/Conditioning.html> (accessed 09/29/2021).
24. Company Kahl [Electronic resource]. <https://www.akahl.com/ru/mashiny/konditionirer/gidrotermicheskie-reaktory/> (date of access: 09/29/2021).
25. Engineering company Technex. Heat treatment [Electronic resource]. <http://www.technex.ru/ru/catalog/thermal-treatment> (date of access: 29.09.2021).
26. Patent Ros. Federation No. 2620831 RF, IPC A23L 3/54. Modular installation for the processing of bulk grain products by ultraviolet radiation / R. V. Klevakin. No. 2016118174. Appl. 05/11/16; publ. 05/30/17. Bull. No. 16. 15 p.
27. Sanuvox Technologies Inc. [Electronic resource]. <https://sanuvox.com/> (date of access: 29.09.2021).

*Статья поступила в редакцию 03.03.2022; одобрена после рецензирования 03.04.2022; принята к публикации 25.04.2022.
The article was submitted 03.03.2022; approved after reviewing 03.04.2022; accepted for publication 25.04.2022.*

