

## МЕХАНИЗАЦИЯ И СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЕ МАШИНОСТРОЕНИЕ

УДК : 631.531.027:581.1.04

### АНАЛИЗ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИХ ОСНОВ МИКРОВОЛНОВОЙ АКТИВАЦИИ СЕМЕННОГО МАТЕРИАЛА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР

С. В. КУРЗЕНКОВ, ЦЗЮНЬЯНЬ ЛУ

УО «Белорусская государственная орденов Октябрьской Революции  
и Трудового Красного Знамени сельскохозяйственная академия»,  
г. Горки, Республика Беларусь, 213407, e-mail: sergkrz@yandex.by

(Поступила в редакцию 16.06.2025)

Исследования по подготовке семян к посеву и разработке соответствующего технологического оборудования является перспективной задачей решения вопросов обеспечения сельхозпроизводителей высококачественным семенами и снижения экологической нагрузки на посевные угодья. Данные задачи актуальны как для сельхозпроизводителей Республики Беларусь, так и Китая. Это открывает возможности научного сотрудничества между двумя странами в области сельского хозяйства, что в свою очередь будет способствовать устойчивому развитию мировой аграрной отрасли.

Микроволновая активация семян – это физический метод, направленный на вывод семян из состояния покоя, ускорение их ферментативной активности и обмена веществ, преобразование запаса их питательных веществ в легко усваиваемые формы и повышение проницаемости их клеточных мембран. Это позволяет существенно увеличить урожайность сельскохозяйственных культур.

В настоящее время научные исследования по внедрению в производство предпосевной микроволновой обработки семян ведутся как в Беларуси, так и в Китае. Анализ научных публикаций по данному направлению исследований показывает, что при выборе оптимальных основных технических и технологических параметров можно эффективно контролировать весь процесс микроволновой предпосевной обработки семян. Однако семена сельскохозяйственных культур в Белоруссии и, тем более в Китае, характеризуются существенными различиями в гранулометрическом составе, химическом и биологическом строении, поэтому говорить о том, что вопрос оптимизации параметров и реализации промышленной технологии микроволновой предпосевной обработки семян абсолютно изучен – преждевременно.

Учитывая сказанное выше, исследования в данной области следует продолжать, стремясь глубже понять границы безопасного воздействия микроволновой обработки и оптимизации ее параметров с учетом развития современных технологий.

Данная работа посвящена анализу физико-технических основ микроволновой активации семенного материала сельскохозяйственных культур с обсуждением выбора и согласования ключевых технических и технологических параметров предпосевной микроволновой обработки семян сельскохозяйственных культур.

**Ключевые слова:** семенной материал, микроволновая активация, технические параметры, качество семян.

Research on the preparation of seeds for sowing and the development of appropriate technological equipment is a promising task of solving the issues of providing agricultural producers with high-quality seeds and reducing the environmental burden on sown lands. These tasks are relevant both for agricultural producers of the Republic of Belarus and China. This opens up opportunities for scientific cooperation between the two countries in the field of agriculture, which in turn will contribute to the sustainable development of the world agricultural sector.

Microwave seed activation is a physical method aimed at bringing seeds out of dormancy, accelerating their enzymatic activity and metabolism, converting their nutrient reserves into easily digestible forms and increasing the permeability of their cell membranes. This allows you to significantly increase the yield of agricultural crops.

At present, scientific research on the introduction of pre-sowing microwave seed treatment into production is being carried out both in Belarus and in China. The analysis of scientific publications in this area of research shows that when choosing the optimal basic technical and technological parameters, it is possible to effectively control the entire process of microwave pre-sowing seed treatment. However, the seeds of agricultural crops in Belarus and, especially, in China, are characterized by significant differences in the granulometric composition, chemical and biological structure, so it is premature to say that the issue of optimizing the parameters and implementing the industrial technology of microwave pre-sowing seed treatment has been absolutely studied.

In view of the above, research in this area should be continued, seeking to better understand the limits of the safe effects of microwave processing and the optimization of its parameters, taking into account the development of modern technologies.

This work is devoted to the analysis of the physical and technical foundations of microwave activation of crop seed material with a discussion of the selection and coordination of key technical and technological parameters of pre-sowing microwave treatment of crop seeds.

**Key words:** seed material, microwave activation, technical parameters, seed quality.

## **Введение**

Растениеводство является ключевой отраслью сельского хозяйства как для Республики Беларусь, так и для Китая, а семенной материал, его качество и потенциал имеет приоритетное значение для его развития.

Предпосевное состояние семенного материала связано не только с ростом и развитием сельскохозяйственных культур, но и напрямую влияет на конечный их урожай. Эффективность семян при посеве зависит от потенциала, заложенного в них; сохранения их биологической активности в условиях хранения; активации потенциала в ходе предпосевной их подготовки; соблюдения агротехнических требований посева и культуры возделывания всходов с учетом условий благоприятной экологической и метеорологической обстановки.

Семена – это живые организмы, в которых заложена вся информация о растении, аккумулирован запас энергии и питательных веществ, который необходим для их нормального развития и сохранения жизнеспособности. К сожалению, этот потенциал при посеве семян используется только на 30–40 % [1]. Поэтому и возникает необходимость в активизации стартовых реакций и обменных процессов, возникающих в семенах [2].

Традиционные технологии подготовки семян к посеву сводятся к простейшим приёмам и не всегда дают желаемый результат [3, 4]. Обзор научной литературы свидетельствует о достаточно высокой эффективности и практическом значении предпосевного стимулирования семян биологическими препаратами, химическими веществами, обеспечивающими не только повышение посевных качеств, но и урожайных свойств семян [1, 2, 3]. Однако эти методы несут риск экологического загрязнения окружающей среды. В связи с этим ведущие западные фирмы, предприятия стран СНГ и Китая, разрабатывающие сельхозтехнику и технологическое оборудование, продолжают осуществлять поиск эффективных способов раскрытия генетически заложенного потенциала в семенном материале. При этом научные исследования по подготовке семян к посеву и разработке соответствующего технологического оборудования являются перспективными как для сельхозпроизводителей Республики Беларусь, так и для Китая. Это открывает возможности научного сотрудничества между двумя странами в области сельского хозяйства, что в свою очередь должно способствовать устойчивому развитию мировой аграрной отрасли.

Целью представленных материалов исследований является анализ физико-технических основ микроволновой активации семенного материала сельскохозяйственных культур с обсуждением выбора и согласования ключевых технических и технологических параметров микроволновой обработки на активность прорастания семян.

## **Основная часть**

Микроволновая активация семян – это физический метод, направленный на вывод семян из состояния покоя, ускорение их ферментативной активности и обмена веществ, преобразование запаса питательных веществ в легко усваиваемые формы и повышение проницаемости их клеточных мембран.

Потенциальное влияние микроволнового электромагнитного поля на растения и живые клетки можно разделить на следующие категории: энергетические, биофизические, биохимические и термические эффекты. Причем данные эффекты и благотворное их влияние на посевные качества семян зависят от интенсивности и степени воздействия, а также от индивидуальных особенностей, состава и состояния семенного материала.

Эффективность микроволновой обработки семян перед их посевом обуславливается эффектом быстрого внутреннего проникновения СВЧ-волн внутри семени, их взаимодействием с химическими элементами (например, с водой) семени, сопровождающимися быстрым термическим нагревом его составляющих, что способствует их подвижности. Это в свою очередь способствует активизации биохимических процессов и ферментативных реакций в семенах, а также ускоренному обмену веществ и улучшению физиологических характеристик семени. Интенсивное внутреннее нагревание семени инициирует микродвижений молекул, что изменяет проницаемость клеточных стенок и мембран. Такой эффект может облегчить впитывание влаги, ускоряя процессы ее поглощения, которые необходимы для начала прорастания семянки. Одновременно с этим происходит дезактивация патогенных микроорганизмов, находящихся как на поверхности семени, так и внутри него, что снижает риск развития болезней в начальной стадии роста растений, позволяет бороться с корневыми гнилями.

Методика микроволновой стимуляции семян перед посевом представляет собой интересное сочетание физического воздействия на семена и их биохимический состав. По разным источникам [1–8] это позволяет для различных сельскохозяйственных культур повысить полевую всхожесть семян до

38 %, повысить урожайность растений до 30 %, получить опережение созревания урожая на 8–12 дней, что дает возможность проводить уборочные работы в более благоприятных условиях.

Внедрение микроволновой активации в процесс предпосевной обработки семян может способствовать снижению зависимости от химических стимуляторов и дезинфицирующих средств в сельхозотрасли, а значит улучшить ее экологическое состояние.

Анализ научных публикаций по данному направлению исследований показывает, что при выборе оптимальных основных технических и технологических параметров – частоты микроволн, времени сухой обработки, начальной влажности семян, однородности обработки и скорости потока семян – можно эффективно контролировать весь процесс микроволновой предпосевной обработки семян. Однако семена сельскохозяйственных культур в Беларуси и, тем более в Китае, характеризуются существенными различиями в гранулометрическом составе, химическом и биологическом строении, поэтому говорить о том, что вопрос оптимизации параметров и реализации промышленной технологии микроволновой предпосевной обработки семян абсолютно изучен – преждевременно.

Учитывая вышеизложенное, исследования в данной области являются актуальными. Их следует продолжать, стремясь глубже понять границы безопасного воздействия микроволновой обработки и оптимизации ее параметров с учетом развития современных технологий.

1. Влияние частоты микроволнового излучения на активность прорастания: в настоящее время в основном используемая частота микроволновой обработки семян составляет 2450 МГц, этот диапазон широко принят в промышленности, науке и медицине [9]. Данная частота эффективно стимулирует движение молекул воды, белков и нуклеотидов в семенах, что позволяет микроволновой энергии быстро преобразовываться в тепловую. Поэтому микроволновая обработка семян на частоте 2450 МГц в сочетании с регулировкой плотности мощности и времени облучения позволяет предотвратить локальный перегрев семян и обеспечивает более эффективное применение технологии микроволновой обработки.

Например, при частоте 2450 MHz микроволновая обработка семян сои в течение 3–5 минут вызывает микротрецины на оболочке семян, что повышает ее проницаемость для влаги и эффективно увеличивает активность прорастания семян сои [10].

2. Влияние времени микроволновой сушки на активность прорастания: время микроволновой сушки оказывает двоякое воздействие на семена. Выбор оптимального диапазона времени микроволновой обработки семян перед посевом позволяет эффективно повысить активность их прорастания, жизнеспособность и стрессоустойчивость, не влияя на качество посева [10, 11].

Однако при длительном времени микроволновой сушки происходит повреждение внутренних тканей семян, что приводит к снижению активности прорастания, жизнеспособности и устойчивости. Таким образом, при микроволновой обработке зерновых семян необходимо избегать чрезмерно длительного времени воздействия, так как это может повредить семена [10, 11].

Для выбора оптимальных параметров следует комплексно учитывать вид и особенности семенного материала, а также плотность мощности микроволнового излучения.

Например, оптимальное время сушки семян сои составляет 5 минут, при этом активность прорастания может увеличиться на 22 % [11].

3. Влияние начальной влажности семян на активность прорастания: перед микроволновой обработкой избыточная или недостаточная начальная влажность семян отрицательно оказывается на их активности прорастания. При микроволновой обработке семян с оптимальной начальной влажностью энергия микроволн усваивается легче, что приводит к более быстрому повышению внутренней температуры и более равномерному распределению влаги, что эффективно повышает процент прорастания.

Однако при высокой начальной влажности семян во время микроволнового нагрева возможно локальное перегревание, что приводит к повреждению внутренней структуры семян и, как следствие, к снижению активности прорастания. При недостаточной влажности семян эффект от микроволновой обработки просто теряется.

Например, установлено [12], что оптимальная начальная влажность семян пшеницы для микроволновой их стимуляции составляет около 12–14 %. При этом сохраняется высокая активность прорастания семян пшеницы.

4. Влияние однородности микроволновой обработки на активность прорастания: однородность является одним из ключевых факторов микроволновой активации, определяющим ее эффективность. Равномерное воздействие микроволнового излучения обеспечивает получение семенами одинакового теплового эффекта, достигая равномерного прогрева всех частей семени без возникновения локальных пе-

регревов или недогревов. Равномерный нагрев способствует повышению степени активации биологически активных веществ внутри семян, стимулирует их метаболическую активность и развитие семян. Путём рациональной оптимизации внутренней конструкции микроволнового оборудования и распределения электромагнитного поля внутри микроволнового устройства можно улучшить однородность микроволновой обработки семян, тем самым устранив их локальные перегревы или недогревы.

5. Влияние скорости потока семян на активность прорастания: скорость потока семян является важным параметром микроволновой обработки, напрямую влияющим на эффективность обработки.

Оптимальная скорость должна обеспечивать достаточное поглощение микроволновой энергии семенами, при этом предотвращая их чрезмерное повреждение.

Согласно результатам экспериментов [13], при скорости потока семян 0,6–0,8 м/с после микроволновой обработки прорастание семян сои увеличивается на 9,5–14,8 %, что связано с повышением проницаемости оболочки семян под воздействием микроволн. При слишком низкой скорости потока семян (например 0,3 м/с) прорастание увеличивается всего на 3,2 %, при этом возрастает вероятность возникновения деформаций корневых окончаний.

Различная мощность микроволнового оборудования, различные типы семян и различные цели обработки приводят к изменению оптимальной скорости потока, поэтому в практической работе необходимо экспериментальным путем определить оптимальную скорость потока.

### **Заключение**

Ключевыми техническими и технологическими параметрами микроволновой активации семенного материала, которые оказывают влияние на изучаемый процесс являются: плотность мощности микроволнового излучения, его частота и время обработки, начальная влажность семян, однородность обработки и скорость потока семян. Физиологические характеристики семян и конечный эффект обработки определяются их диэлектрическими, тепловыми и биологическими свойствами, а также взаимодействием между слоями. Поэтому важной задачей научных исследований является оптимизация сочетания перечисленных выше параметров под биологические, химические, гранулометрические особенности обрабатываемого материала. Другой немаловажной задачей является проектирование и создание технического решения по микроволновому предпосевной активации семян сельскохозяйственных культур. Третьей задачей внедрения микроволновой предпосевной обработки в производство является соблюдение необходимых режимных и технологических рекомендаций по ведению обработки. Это возможно только с учетом развития современных технологий при использовании диэлектрических датчиков и алгоритмов искусственного интеллекта для точного регулирования нескольких ключевых параметров микроволновой активации с целью достижения оптимального эффекта обработки.

### **ЛИТЕРАТУРА**

1. Алексейчук, Г. Н. Современная технология предпосевной обработки семян и ее биологические основы / Г. Н. Алексейчук, Н. А. Ламан, Ж. Н. Калацкая // Наука и инновации. – 2006. – Т.43, № 9. – С. 37–41.
2. Ксенз, Н. В. Обзор электрофизических методов предпосевной обработки семян / Н. В. Ксенз, Н. С. Гукова / Сб. науч. тр. / Азово-Черномор. гос. аграрн. акад. – Зерноград, 2003. – Вып. 3. – С. 90–93.
3. Каспаров, В. А. Применение пестицидов за рубежом / В. А. Каспаров, В. К. Промоненков. – М.: Агропромиздат, 1990.
4. Строна, И. Г. Допосевная и предпосевная обработка семян сельскохозяйственных культур / И. Г. Строна // Теория и практика предпосевной обработки семян: Сб. науч. тр.– Киев, 1984. – С. 5–16.
5. АПК-Информ On-Line Высокие технологии - надёжный способ повышения урожайности [Электронный ресурс]. – 2002. – Режим доступа: <http://www.apk-inform.com/showart.php?id=6295>. – Дата доступа: 14.06.2025.
6. Ионова, Е. В. / Влияние электромагнитного поля сверхвысокой частоты на посевые, биохимические и физиологические качества семян сорго и других культур: автореф. дис...канд. с.-х. наук / Е. В. Ионова; Дон. зон. НИИСХ. – пос. Рассвет, 2003. – 26 с.
7. Червяков, А. В. Предпосылки и практическая реализация технологии предпосевной обработки семян СВЧ полем / А. В. Червяков, С. В. Курзенков, А. С. Циркунов // Вестник БГСХА. – 2012. – № 2. – С. 131–137.
8. Влияние микроволновой обработки на жизнеспособность и физиологические характеристики семян сосны масляной / Шэнь Сыфань, Гао Хандун, Мэй Дуо Чжуга [и др.] // Семена. – 2024. – С. 40–45.
9. Бао Цзяньцин, Сунь Цз. Обсуждение применения технологии микроволновой сушки семян сельскохозяйственных культур. Южная сельскохозяйственная техника, 2024. – 68–70 с.
10. Хань Цземинь. Исследование оптимизации равномерности температуры многорежимного микроволнового нагрева на основе совместного управления мощностью и частотой: диссертация на соискание ученый степени магистра. Куньминский политехнический университет, 2024.
11. Лу Синьюэ. Влияние микроволновой обработки на прорастание, питательные и активные компоненты кукурузы. дипломная работа. Аньхойский инженерный университет, 2024.
12. Влияние микроволновой обработки на жизнеспособность семян рапса / Ян Ини, Сюй Хунчижи, Цзэн Чуань [и др.] // Южное сельское хозяйство. – 2023. – 143–146 с.
13. Чжан Сучинь, Гао Фань, Го Цзюйоань. Современные исследования влияния новых технологий предпосевной обработки семян на качество масла и антиоксидантные свойства / Зерно и масло. – 2022. – 1–4 с.