

ПАРАМЕТРЫ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ВОЛНЫ ПРИ ПРЕДПОСЕВНОЙ ОБРАБОТКЕ ЗЕРНА

М. С. Волхонов, И. А. Мамаева, М. М. Беляков

Реферат. Цель исследования – обоснование параметров ультразвуковой волны для предпосевной обработки зерна в водной среде. Задачи исследования: выбор математической модели и расчет характеристик поля ультразвуковых колебаний дискового пьезоизлучателя в воде, определение интенсивности ультразвуковых колебаний в водной среде с зерном и без зерна, обоснование параметров ультразвукового излучения, применяемого для предпосевной обработки семян. Определено, что для описания распространения ультразвуковой волны в водной среде можно использовать функции Бесселя первого порядка первого рода и уравнения геометрической акустики. Обе математические модели приводят к выводу, что в поле распространения ультразвуковой волны в воде можно выделить ближнюю и дальнюю зоны: в ближней зоне происходит монотонное распределение энергии ультразвуковых колебаний, в дальней зоне рассеивание энергии имеет геометрическое распределение в виде усеченного конуса. Для описания ультразвуковой волны вблизи дискового излучателя достаточно применить формулы геометрической акустики, поскольку они дают более наглядное представление о процессе распространения ультразвука и простую формулу для оценки размеров ближней зоны. Устойчивое влияние ультразвука на зерно в водной среде обеспечивается в ближней зоне – теоретическое обоснование согласуется с экспериментальными результатами. Эксперимент показал, что интенсивность ультразвука уменьшается на расстоянии приблизительно 1 см от поверхности излучателя (до 6,4 В/дел). При данной частоте в отсутствии зерна это расстояние определяет границу ближней зоны, которая согласно математической модели и оценочной формуле должна быть равна 0,9 см. В воде с зерном наблюдается иное распределение интенсивности излучения. Воздействие ультразвука на семена при их предпосевной обработке имеет наибольший эффект в слое гидросмеси толщиной не более 0,5 см (соответствует толщине в 1-2 зерна) при частоте ультразвуковых колебаний 60 кГц, мощности излучения 240 Вт и времени воздействия 3 минуты.

Ключевые слова: обоснование, параметр, ультразвук, предпосевная обработка, зона Френеля, семена, вода, эксперимент.

Введение. Предпосевная обработка зерна является одним из важных этапов подготовки семян к процессу проращивания. В настоящее время существуют разные способы для осуществления данного этапа, к ним относят: сепарацию, скарификацию, воздействие на культуру электромагнитным полем, ультрафиолетовым и инфракрасным излучением, озонирование, применение ультразвуковых колебаний и другое [1]. Анализ научной литературы позволил обнаружить проблемы не только в применении различных критериев оценки эффекта (всхожесть, энергия роста, длина ростков, корешков, число проросших семян, наличие трещин, урожайность), но и в выборе наиболее эффективного способа предпосевной обработки семян.

Экспериментальные исследования показали, что одним из эффективных приемов является воздействие ультразвука на семена при предпосевной обработке зерна [2,3,4]. Однако, практически отсутствуют работы, в которых нашло бы обоснование применяемых параметров ультразвукового излучения в этом случае, что определяет актуальность данной работы.

Для обоснования параметров ультразвуковой волны при предпосевной обработке зерна в водной среде могут быть использованы имеющиеся математические модели, которые позволяют описать распространение ультразвуковой волны, получаемой от излучателя цилиндрической формы. Для поставленной задачи можно использовать как функции Бесселя первого порядка первого рода, так и уравнения

геометрической акустики. При этом параметры ультразвука [5,6,7] в рассматриваемом случае могут быть связаны с конструктивными (геометрическими) особенностями лотка, в который помещаются зерна.

Цель исследования – обоснование параметров ультразвуковой волны при предпосевной обработке зерна в водной среде.

К задачам исследования относятся анализ математических моделей распространения ультразвука в среде, выбор одной из моделей для получения расчетных характеристик, имеющих значение для цели исследования, создание модели экспериментального устройства для определения интенсивности ультразвуковых колебаний в лотке с водой с зерном и без зерна с целью обоснования параметров ультразвукового излучения, применяемых для предпосевной обработки семян.

Условия, материалы и методы. Исследования проводились при помощи изготовленного в лаборатории кафедры технических систем в агропромышленном комплексе Костромской государственной сельскохозяйственной академии устройства для ультразвуковой обработки зерна [8]. В качестве основного зернового материала было использовано ячмень и пшеница. Для исследования использовалась специально созданная установка, которая представляла из себя (рис.1) лоток из нержавеющей стали оснащенный с нижней наружной поверхности ультразвуковыми излучателями.

Для определения интенсивности ультразвуковых колебаний, в лотке (рис.1) с водой

был подключен дополнительный излучатель, который выполнял, роль приемника, подключенного к осциллографу. Исследования проводились в лотке с водой с зерном и без зерна, при частоте ультразвуковых колебаний 20

и 60 кГц, мощности излучения 240 Вт, с перемещением приемного излучателя в вертикальном направлении относительно излучателя установленного на нижней наружной поверхности лотка.

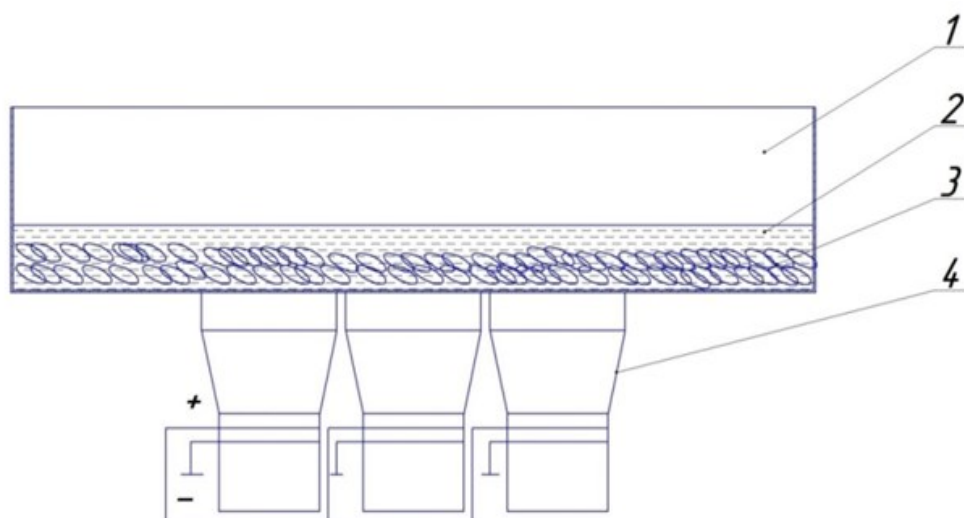


Рис. 1 – Лоток с ультразвуковыми излучателями: 1 - лоток; 2 - вода; 3 - семена; 4 - ультразвуковые излучатели

Для решения поставленной задачи была разработана модель влияния смещения приемного излучателя в горизонтальном и вертикальном направлении на интенсивности воздействия

ультразвуковых колебаний (рис.2) в качестве входных факторов приняли частоту ультразвуковых колебаний f , кГц, мощность излучения P , Вт, смещение по вертикали s , см.



Рис. 2 – Модель влияния смещения приемного излучателя в горизонтальном и вертикальном направлении на интенсивности воздействия ультразвуковых колебаний

В качестве количественной оценки интенсивности ультразвука в среде использована дифференцированная характеристика потенциала, регистрируемого осциллографом в локальной точке среды, которая может позволить построить картину распределения интенсивности в рассматриваемой зоне, I , в/кл. Она и являлась функцией отклика для рассматриваемого «черного ящика».

На основании полученной модели была разработана схема проведения лабораторных исследований:

- подготовка устройства для проведения обработки, заполнение лотка водой, определение точек для измерения интенсивности;
- проведение замеров с вертикальным смещением приемного излучателя в лотке с водой, как с зерном, так и без зерна;
- проведение сравнительной характеристики замеров интенсивности в лотке с водой

без зерна и с зерном, а также обработка статистических данных.

Параллельно с экспериментальным исследованием проводился анализ математических моделей, описывающих распространение ультразвука в среде. Была рассмотрена возможность применения функций Бесселя первого порядка первого рода и уравнений геометрической акустики с целью дальнейшего обоснования параметров ультразвуковой волны в условиях предпосевной обработки семян, помещенных в разработанное устройство (рис.1).

Анализ математических моделей показал, что в первую очередь необходимо определить зону, которую можно отнести к наиболее эффективной по воздействию ультразвука на объекты, помещенные в воде. Формирование волнового поля, создаваемого пьезоизлучателем, зависит от его формы. Для описания данного поля используем методы геометрической

акустики [9].

Численный анализ акустического поля излучения круглых пьезопластин рассмотрим в режиме непрерывного излучения [9].

Расчет волнового поля пьезопреобразователя в виде круглой пластинки радиусом R_0 и S исследователи проводят, используя рисунок 3[9].

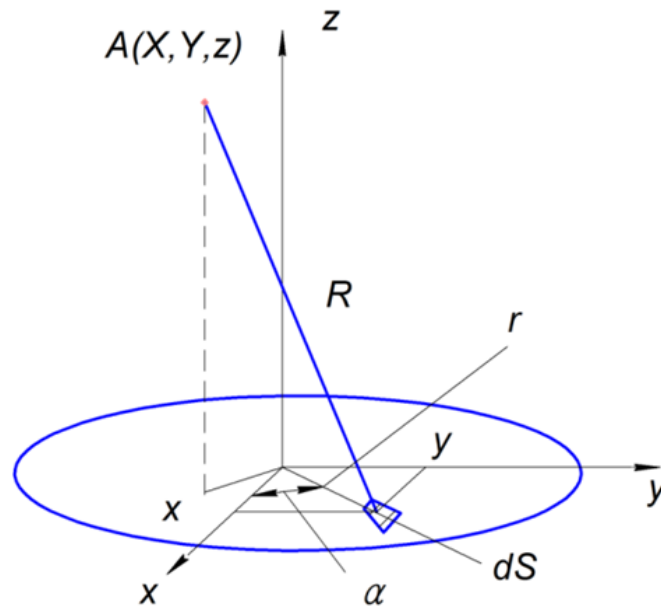


Рис. 3 – Схема для расчета акустического поля: $A(X, Y, z)$ - результирующая сила давления в точке; R - расстояние от элементарного излучателя; r - радиус излучателя; dS - элементарная площадка; α - угловой размер

Как показано в [9] результирующая сила давления в произвольной точке A с координатами X, Y, z определяется суммой:

$$F(X, Y, z) = P_0 \Delta r \Delta \alpha \sqrt{\left(\sum_0^N \frac{r z}{R^2} \cos \frac{2\pi}{\lambda} R \right)^2 + \left(\sum_0^N \frac{r z}{R^2} \sin \frac{2\pi}{\lambda} R \right)^2} \quad (1)$$

где:

P_0 – амплитуда давления, создаваемого элементарным излучателем на единичном расстоянии от элементарной площадки dS ;
 λ – длина волны в материале среды;
 $2\pi/\lambda$ – модуль волнового вектора (волновое число).

Если рассмотреть рисунок 1, то можно обнаружить, что расстояние R от элементарного излучателя, расположенного в точке с координатами x, y , до произвольной точки A определяется выражением:

$$R = \sqrt{(X - x)^2 + (Y - y)^2 + z^2} \quad (2)$$

Для вычисления суммы (1) применяется цилиндрическая система координат. Площадь любого элементарного излучателя, расположенного на круглой пластине, определяется как:

$$dS = r \Delta r \Delta \alpha$$

где:

r – расстояние от начала координат до

элементарной площадки;

Δr и $\Delta \alpha$ – ее линейный и угловой размеры соответственно.

Вся поверхность пьезопластинки может быть разбита на N элементарных площадок, при этом число элементарных площадок выбирается таким образом, чтобы расстояние от соседних площадок до рассматриваемой точки A было значительно меньше длины акустической волны в материале среды, в которой она распространяется [9].

Обратим внимание на то, что в ближней зоне обнаруживаются выраженные колебания давления, характеризующиеся определенной степенью монотонности. Достоверность математической модели распространения колебаний в среде подтверждаются тем, что, как отмечают авторы в [9], последний максимум, характеризующий границу ближней зоны, наблюдается на расстоянии 83 мм, что соответствует данным. Это дает основание исследователям разделить объемное волновое поле, создаваемое плоским пьезоизлучателем в средах радиусом r , на ближнюю Z_0 и дальнюю зоны Z . Ближняя зона получает название зона Френеля, поскольку акустические колебания в этой части можно представить в виде цилиндрической волны с достаточно плотным распределением акустического давления и в ней отсутствует расхождение «лучей». Дальняя зона получает название зона Фраунгофера, поскольку акустические колебания в

этой части имеют расходящийся характер при распространении. Модель распространения акустической волны для круглого пьезоизлучателя представлена на рисунке 4.

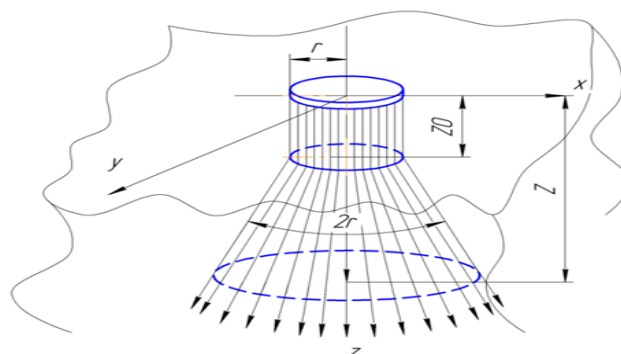


Рис. 4 – Модель акустического поля дискового излучателя: r - радиус излучателя; Z_0 - ближняя зона; Z - дальняя зона

Для описания распределения акустического давления в рассматриваемом случае можно использовать функции Бесселя первого рода. При этом в дальней зоне используются функции Бесселя первого рода первого порядка, и, как показано, они дают хорошее совпадение с экспериментальными расчетами.

Для определения акустического давления в ближней зоне исследователи предлагают использовать уравнение:

$$P(x) = P_0 2 \sin \left(\frac{\pi}{\lambda} \left[\sqrt{a^2 + x^2} - x \right] \right) \quad (3)$$

где:

a – радиус круглой пьезопластины, мм;
 λ – длина ультразвуковой волны, мм;
 x – координата выбранной точки на оси пьезо-излучателя, мм.

Данное уравнение позволяет определить размер зоны, в которой давление принимает максимальное значение. Именно ее исследователи относят к ближней зоне. Для расчета размеров этой зоны (4) учитывают, что максимальное значение акустического давления получается при значении синуса функции, равном единице, которому соответствует аргумент, равный $\pi/2$:

$$x = \frac{a^2}{\lambda} \quad (4)$$

Значение x , равное отношению квадрата радиуса круглой пьезопластины к длине волны, получило название граница ближней зоны. На рисунке 2 ей соответствует толщина Z_0 .

Давление акустической волны играет ключевую роль для определения мощности ультразвуковых волн, распространяемых в среде. Уточним, что в жидкостях и газах распространяются только продольные волны, поскольку упругие деформации в них возникают при сжатии [10]. Это позволяет говорить о том, что в ближней зоне (зоне Френеля) может

обнаружиться максимальное воздействие ультразвукового излучения на семена при их предпосевной обработке. В этом предположении находит отражение и тот упомянутый выше факт, что поглощения ультразвуковых колебаний в воде практически не происходит: если поглощением энергии средой при распространении ультразвуковой волны можно пренебречь, то можно предположить, что энергия колебаний частиц среды передается семенам, поэтому для оценки воздействия ультразвука [11] на семена может быть использована энергия или мощность излучения источника.

То есть, к параметрам, которые могут быть учтены при исследовании влияния ультразвуковой волны на семена могут быть отнесены радиус ближней зоны, частота или длина волны, мощность излучателя.

Если частоту ультразвуковой волны задает источник, то на длину волны значительное влияние оказывает среда распространения. Так, например, в воздухе при частоте 60 кГц, длина волны составляет 0,56 см, а в воде – 2,41 см. На возможные значения длины волны ультразвука, как показали исследования [12], влияют геометрические размеры лотка. Очевидно, для обеспечения равномерного воздействия ультразвуковой волны на обрабатываемый объект необходимо подобрать размеры лотка, в который помещается объект. При этом размеры лотка должны удовлетворять следующим требованиям: линейные размеры лотка в поперечном сечении должны быть кратны $\lambda/2$ (при этом к оптимальной высоте уровня обрабатываемой среды можно отнести такой уровень, который кратен длине волны для каждого режима обработки) [12].

Равномерность распределения энергетических характеристик акустического поля может нарушаться за счет изгибных колебаний рабочей поверхности лотка, которые возникают в процессе работы, при этом скорость распространения изгибных волн на рабочей поверхности лотка определяется по формуле [12]:

$$c = \sqrt[4]{\frac{\pi^2 E}{3\rho(1-G^2)}} \sqrt{d \cdot f} \quad (5)$$

где:

E – модуль Юнга;

ρ – плотность материала пластины, кг/м^3 ;

G – коэффициент Пуассона;

d – толщина пластины, мм;

f – частота ультразвуковых колебаний, Гц.

Критерий выбора оптимальной толщины стенок ультразвукового лотка исследователи предлагают выбрать на основании формулы [12]:

$$d < \frac{c^2}{\pi \cdot f} \sqrt{\frac{3\rho(1-G)^2}{E}} \quad (6)$$

Необходимо чтобы длина волны λ была больше или близка к размеру d , обрабатываемого материала.

Подтверждение теоретических выводов было получено при проведении эксперимента.

Результаты и обсуждения. Для использования описанной методики расчета акустического давления, создаваемой дисковым пьезоизлучателем (см. формулу 3), была разработана специальная конструкция, аналогичная изображенной на рисунке 1, которая позволила измерить интенсивности ультразвука с разной частотой в воде без зерна и с зерном.

На основании проведенных лабораторных исследований был проведен математический анализ с расчетом средних значений, ошибки опыта, определение наименьшей существенной разности в зависимости от режима обработки (табл.). Каждый опыт проводился в четырехкратной повторности.

Таблица - Изменение интенсивности излучения в воде с зерном в ближней зоне

Смещение по вертикали, см	Частота, $f, \text{кГц}$	Интенсивность, В/дел	Ошибка средней $\sigma \%$
0,5	20	2,1	4,6
1		0,8	0
1,5		0,4	0
0,5	60	5,5	1,26
1		3,3	5,9
1,5		1,8	0

Сопоставление фактического значения t с теоретическим для режима работы с зерном при частоте 20 кГц при смещении по вертикали на 0,5 см и 60 кГц при смещении по вертикали на 0,5 см, показывает, что $136 > 2,36$ разность существенна при 5% уровне значимости, следовательно, выполняется условие $t_{\text{факт}} > t_{0,5}$, поэтому нулевая гипотеза об отсутствии существенных различий между средними опровергается. Также выполняется условие разности между

средними $d > HCP_{0,5}$, что составляет $3,4 > 0,059$, следовательно, разность между средними попадает в критическую область существенных различий, нулевая гипотеза опровергается, разность значима.

Результатом измерений стали графические зависимости, уровня интенсивности ультразвука от смещения по вертикали в двух случаях – без зерна и с зерном в слое, толщина которого равна толщине одного-двух зерен (рис.5 и 6).

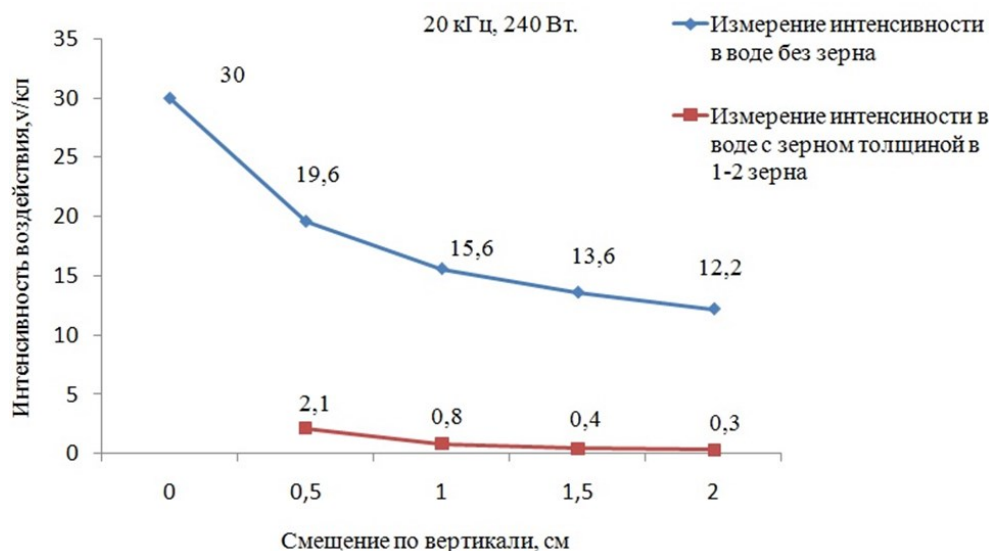


Рис. 5 – Зависимость интенсивности излучения от смещения по вертикали в воде без зерна и с зерном при частоте ультразвуковых колебаний 20 кГц

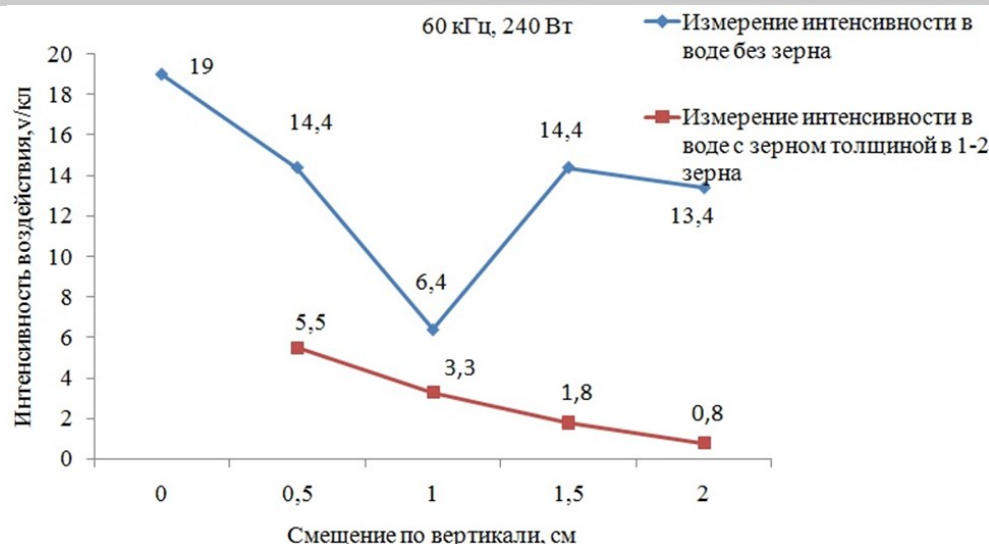


Рис. 6 – Зависимость интенсивности излучения от смещения по вертикали в воде без зерна и с зерном при частоте ультразвуковых колебаний 60 кГц

На рисунке 6 видно, падение интенсивности ультразвука происходит на расстоянии приблизительно 1 см от поверхности излучателя (до 6,4 В/дел), что согласуется с расчетными данными: при данной частоте в отсутствии зерна это расстояние определяет границу ближней зоны, которая согласно формуле должна быть равна 0,9 см. Полученный результат размера ближней зоны в случае отсутствия зерна согласуется с этим значением, он равен от 0 до 1 см. Достоверность полученного значения отражена числом $\alpha=0,95$ она подтверждается выборкой в 5 измерений для каждой точки.

Таким образом, результаты, отраженные на графике зависимости интенсивности ультразвуковой волны в воде без зерна согласуются со значением, которое дает теоретическая модель в диапазоне до и после 1,5 см. Теоретическая модель прошла апробацию в исследованиях [9].

Остается открытым вопрос, чем объяснить изменение интенсивности излучения в воде с зерном. При помещении зерна распределение интенсивности меняет свой характер (красная кривая на графике). Тем не менее, наиболее эффективным с точки зрения воздействия на зерно остается уровень зерна в 0,5 см. Этот уровень обеспечивается слоем толщиной в 1-2 зерна.

На наш взгляд, такое распределение интенсивности ультразвуковой волны в воде с зерном можно объяснить, если учесть то, что органическая структура зерна обладает способностью поглощать ультразвуковые колебания. Очевидно, что часть энергии ультразвуковой волны поглощается зерном, при этом значения, представленные на двух графиках, позволяют оценить, какая часть энергии была поглощена на уровне 0,5 см. Если учесть, что без зерна в этой точке интенсивность была равна 14,4 В/дел, а на поверхности зерна при тех же условиях измерено 5,5 В/дел, то, очевидно,

что зерно в этой точке поглощает около 62% энергии ультразвуковой волны в следствие монотонного распределения ультразвуковых колебаний в этой ближней зоне (до 1 см). Поскольку в дальней зоне (после 1 см) распределение ультразвуковых колебаний приобретает форму усеченного конуса, то предполагается, что поглощение энергии зерном в этой зоне может иметь нелинейный характер, что требует дополнительного исследования.

Таким образом, проведенные исследования показывают, что ультразвуковую обработку зерна целесообразно проводить в слое гидро-смеси толщиной не более 0,5 см.

Выводы. Анализ математических моделей приводит к выводу, что в поле распространения ультразвуковой волны в воде можно выделить ближнюю и дальнюю зону, в которых волна, порождаемая дисковым излучателем, имеет разный характер распространения. Для описания ультразвуковой волны вблизи дискового излучателя достаточно применить формулы геометрической акустики, поскольку они дают более наглядное представление о процессе распространения ультразвука и простую формулу для оценки размеров ближней зоны.

Устойчивое влияние ультразвука на зерно в водной среде обеспечивается в ближней зоне – теоретическое обоснование согласуется с экспериментальными результатами.

Эксперимент показал, что интенсивность ультразвука уменьшается на расстоянии приблизительно 1 см от поверхности излучателя (до 6,4 В/дел). При данной частоте в отсутствии зерна это расстояние определяет границу ближней зоны, которая согласно математической модели и оценочной формуле должна быть равна 0,9 см.

В воде с зерном наблюдается иное распределение интенсивности излучения. Воздействие ультразвука на семена при их предпосевной обработке имеет наибольший эффект

в слое гидросмеси толщиной не более 0,5 см (соответствует толщине в 1-2 зерна) при частоте ультразвуковых колебаний 60 кГц, мощности излучения 240 Вт и времени воздействия 3 минуты.

Полученные результаты имеют выраженный практический аспект, они могут найти

применение в установках, предназначенных для подготовки семян к посеву. Особое значение имеет согласование теоретических обоснований и экспериментальных выводов, которое может найти применение в дальнейших научных исследованиях.

Литература

1. Волхонов М.С., Мамаева И.А., Беляков М.М. Классификация и определение эффективности известных способов предпосевной обработки семян // Вестник НГИЭИ. 2022. № 8(135). С. 7-19. doi: 10.24412/2227-9407-2022-8-7-19.
2. Bruce K. Redding, J.R. Ultrasonically Enhanced Seed Germination System// Патент US 2016/0029548 A9 04.02.2016.
3. Повышение посевных качеств семян ячменя/Н.В. Алдошин, А.В. Сибирёв, А.И. Панов, и др. // Аграрный вестник Верхневолжья. 2022. № 1 (38). С. 52-56.
4. К вопросу интенсификации процесса проращивания зерна / Н.В. Науменко, И.Ю. Потороко, Ю.И. Кретова, и др. // Дальневосточный аграрный вестник. 2018. №4(48). С. 109 – 114.
5. Бельников Р. Н., Постников Е. Б. Подход к расчету параметра нелинейности ультразвуковых волн в жидкости, основанный на масштабной теории термодинамических флуктуаций давления // Известия вузов. ПНД. 2023. Т. 31, № 1. С. 45–62. doi: 10.18500/0869-6632-003020.
6. Cobbold R. S. C. Foundations of Biomedical Ultrasound. Oxford: Oxford University Press, 2006. 832 p.
7. Lord Rayleigh O. M. F. R. S. XLII. On the momentum and pressure of gaseous vibrations, and on the connexion with the virial theorem // The London, Edinburgh, and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science. 1905. Vol. 10, no. 57. P. 364–374. doi: 10.1080/14786440509463381
8. Mikhail Volkonov, Maksim Belyakov, and Viktor Kukhar The effect of ultrasonic vibrations on the activation of the vital functions of barley seeds// International Scientific and Practical Conference "INNOVATIVE TECHNOLOGIES IN AGRICULTURE". Volume 2921, Issue 1. Том 2921. AIP Publishing, 2023. ISBN 978-07354-4648-9, ISSN 0094-243X, doi: 10/1063/5/0164592
9. Борисов В.И., Сергеев С.С. Никитин А.С. Тонкая структура акустического поля излучения пьезопреобразователей на основе круглых пьезопластин // Вестник Белорусско-Российского университета: научно-методический журнал 2015. №3. С.102-108.
10. Негров, Д.А. Ультразвуковые колебательные системы для синтеза полимерных композиционных материалов: монография/ Д.А. Негров, Е.И. Еремин, А.А. Новиков, Л.А. Шестель // Омск: Изд. ОмГТУ, 2012. 128 с.
11. Попова Н.В., Потороко И.Ю. Повышение эффективности экстракции биологически активных веществ из растительного сырья методом ультразвукового воздействия // Вестник ЮУрГУ. Серия «Пищевые и биотехнологии». 2018. Т. 6. № 1. С. 14–22. doi: 10.14529/food180102
12. Томаль В.С., Ланин В.Л. Технология и оборудование ультразвуковой очистки изделий электроники // Технологии в электронной промышленности. 2007. № 8. С.60 – 64.

Сведения об авторах:

Волхонов Михаил Станиславович – доктор технических наук, профессор кафедры технических системы в агропромышленном комплексе, e-mail: vms72@mail.ru

Мамаева Ирина Алексеевна – доктор педагогических наук, профессор кафедры физики и автоматики, e-mail: irina-mamaeva@yandex.ru

Беляков Максим Михайлович - специалист по учебно-методической работе деканата инженерно-технологического факультета, e-mail: m-belyakov-94@mail.ru

Костромская государственная сельскохозяйственная академия, п. Караваяво, Костромская область, Россия

ULTRASONIC WAVE PARAMETERS FOR PRE-SOWING TREATMENT OF GRAIN M. S. Volkonov, I. A. Mamaeva, M. M. Belyakov

Abstract. The purpose of the study is to substantiate the ultrasonic wave parameters for pre-sowing treatment of grain in an aquatic environment. The objectives of the study: selection of a mathematical model and calculation of the characteristics of the ultrasonic vibration field of a disk piezoelectric emitter in water, determination of the intensity of ultrasonic vibrations in an aquatic environment with and without grain, substantiation of the parameters of ultrasonic radiation used for pre-sowing treatment of seeds. It was determined that the first-order Bessel functions of the first kind and the equations of geometric acoustics can be used to describe the propagation of an ultrasonic wave in an aquatic environment. Both mathematical models lead to the conclusion that in the field of propagation of an ultrasonic wave in water, it is possible to distinguish near and far zones: in the near zone, a monotonic distribution of the energy of ultrasonic vibrations occurs, in the far zone, the energy dissipation has a geometric distribution in the form of a truncated cone. To describe the ultrasonic wave near the disk emitter, it is sufficient to apply the formulas of geometric acoustics, since they provide a more visual representation of the ultrasound propagation process and a simple formula for estimating the size of the near zone. The stable effect of ultrasound on grain in an aqueous medium is ensured in the near zone - the theoretical justification agrees with the experimental results. The experiment showed that the ultrasound intensity decreases at a distance of approximately 1 cm from the emitter surface (to 6.4 V/div). At a given frequency, in the absence of grain, this distance determines the boundary of the near zone, which, according to the mathematical model and the evaluation formula, should be equal to 0.9 cm. In water with grain, a different distribution of radiation intensity is observed. The effect of ultrasound on seeds during their pre-sowing treatment has the greatest effect in a layer of hydromixture no more than 0.5 cm thick (corresponding to the thickness of 1-2 grains) at an ultrasonic vibration frequency of 60 kHz, a radiation power of 240 W and an exposure time of 3 minutes.

Key words: justification, parameter, ultrasound, pre-sowing treatment, Fresnel zone, seeds, water, experiment.

References

1. Volkhonov MS, Mamaeva IA, Belyakov MM. [Classification and determination of the efficiency of known methods of pre-sowing seed treatment]. Vestnik NGIEI. 2022; 8(135). 7-19 p. doi: 10.24412/2227-9407-2022-8-7-19.
2. Bruce K, Redding JR. Ultrasonically enhanced seed germination system. Patent US 2016/0029548 A9 04.02.2016.
3. Aldoshin NV, Sibirev AV, Panov AI. [Improving the sowing qualities of barley seeds]. Agrarnyy vestnik Verkhnevolzhya. 2022; 1 (38). 52-56 p.
4. Naumenko NV, Potoroko IYu, Kretova YuI. [On the issue of intensification of the grain germination process]. Dalnevostochnyy agrarnyy vestnik. 2018; 4(48). 109-114 p.
5. Belenkov RN, Postnikov EB. [Approach to calculating the nonlinearity parameter of ultrasonic waves in a liquid based on the large-scale theory of thermodynamic pressure fluctuations]. Izvestiya vuzov. PND. 2023; Vol.31. 1. 45-62 p. doi: 10.18500/0869-6632-003020.
6. Cobbold RSC. Foundations of biomedical ultrasound. Oxford: Oxford University Press. 2006; 832 p.
7. Lord Rayleigh O. M. F. R. S. XLII. On the momentum and pressure of gaseous vibrations, and on the connexion with the virial theorem. The London, Edinburgh, and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science. 1905; Vol.10. No.57. 364-374 p. doi: 10.1080/14786440509463381
8. Mikhail Volkhonov, Maksim Belyakov, and Viktor Kukhar. The effect of ultrasonic vibrations on the activation of the vital functions of barley seeds. International Scientific and Practical Conference "INNOVATIVE TECHNOLOGIES IN AGRICULTURE". Volume 2921. Issue 1. Tom 2921. AIP Publishing. 2023; ISBN978-0 7354-4648-9, ISSN 0094-243X, doi: 10/1063/5/0164592
9. Borisov VI, Sergeev SS, Nikitin AS. [Fine structure of the acoustic radiation field of piezoelectric transducers based on round piezoelectric plates]. Vestnik Belorussko-Rossiyskogo universiteta: nauchno-metodicheskiy zhurnal. 2015; 3. 102-108 p.
10. Negrov DA, Eremin EI, Novikov AA, Shestel LA. Ultrazvukovye kolebatelnye sistemy dlya sinteza polimernykh kompozitsionnykh materialov: monografiya. [Ultrasonic oscillatory systems for the synthesis of polymer composite materials: monograph]. Omsk: Izd. OmGTU. 2012; 128 p.
11. Popova NV, Potoroko IYu. [Improving the efficiency of extraction of biologically active substances from plant materials by ultrasound exposure]. Vestnik YuUrGU. Seriya "Pishchevye i biotekhnologii". 2018; Vol.6. 1. 14-22 p. doi: 10.14529/food180102
12. Tomal VS, Lanin VL. [Technology and equipment for ultrasonic cleaning of electronic products]. Tekhnologii v elektronnoy promyshlennosti. 2007; 8. 60-64 p.

Authors:

Volkhonov Mikhail Stanislavovich – Doctor of Technical Sciences, Professor of Department of Technical Systems in the agro-industrial complex, e-mail: vms72@mail.ru
 Mamaeva Irina Aleskeevna – Doctor of Pedagogical Sciences, Professor of Physics and Automation Department, e-mail: irina-mamaeva@yandex.ru
 Belyakov Maksim Mikhaylovich – specialist in educational and methodological work of Dean's Office of the Engineering and Technology Faculty, e-mail: m-belyakov-94@mail.ru
 Kostroma State Agricultural Academy, Karavaevo, Kostroma Region, Russia.