

УДК 631.3:636

UDC 631.3:636

05.20.01 – Технологии и средства механизации сельского хозяйства (технические науки)

05.20.01 - Technologies and means of agricultural mechanization (technical sciences)

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЯ ЖИВОТНОВОДЧЕСКИХ СТОКОВ**THEORETICAL STUDIES OF THE DISINFECTION PROCESS OF LIVESTOCK WASTES**Сторожук Татьяна Александровна
к.т.н., доцентStorozhuk Tatyana Alexandrovna
Cand.Tech.Sci., docent

Scopus Author ID: 443761

Scopus Author ID: 443761

РИНЦ SPIN-код: 1864-1806

RSCI SPIN-code: 1864-1806

storojuk.t.a@gmail.comstorojuk.t.a@gmail.com*Кубанский государственный аграрный университет, Россия, 350044, Краснодар, Калинина, 13**Kuban State Agrarian University, Krasnodar, Russia*

На основании анализа способов и конструктивных решений технических средств для обеззараживания стоков сельскохозяйственных животных исследуется вариант использования ультразвуковой установки. Предлагаемая конструкция позволяет повысить качество обеззараживания и снизить затраты энергии на процесс. Для оптимизации рабочего процесса обеззараживания определяются конструктивные параметры установки и их влияние на технологический процесс при различных условиях работы. Установлено, что конструкция рабочей камеры излучателя и исходные физико-механические свойства обрабатываемого материала непосредственно влияют на самую главную технологическую характеристику процесса: эффективность обеззараживания. Поэтому исследование направлено на оптимизацию процесса обеззараживания животноводческих стоков

The article studies a variant of using an ultrasonic unit based on the analysis of methods and design solutions of technical means for disinfecting the waste of farm animals. The proposed configuration improves the quality of disinfection and reduces energy consumption for the process. To optimize the working process of disinfection, we determine the design parameters of the installation and their effect on the technological process under various operating conditions. It was found that the design of the working chamber of the emitter and the initial physical and mechanical properties of the processed material directly affect the most important technological characteristics of the process: the effectiveness of disinfection. Therefore, the study is aimed at optimizing the process of disinfection of livestock wastewater

Ключевые слова: ЖИВОТНОВОДЧЕСКИЕ СТОКИ, УЛЬТРАЗВУК, ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ ЧАСТОТЫ

Keywords: LIVESTOCK WASTE, ULTRASOUND, FREQUENCY CONVERTERS

<http://dx.doi.org/10.21515/1990-4665-163-019>

Для защиты окружающей среды от загрязнения стоками животноводческих ферм необходима система мер, направленная на охрану природы. Промышленные животноводческие предприятия являются источниками загрязнения почвы, воды и воздуха биологическими отходами, которые, вместе с тем, содержат ценные органические вещества и поэтому должны быть использованы для повышения плодородия земель сельскохозяйственного назначения.

<http://ej.kubagro.ru/2020/09/pdf/19.pdf>

В зависимости от объемов производства продукции животноводства, специализации животноводческих предприятий, климатических условий и ряда других факторов для утилизации навоза и животноводческих стоков могут быть выбраны различные методы и технологические схемы переработки биологических отходов животноводства. Поиск оптимального решения по соблюдению санитарно-гигиенических требований в зоне содержания животных и на территории животноводческих предприятий приводит к вопросам обеспечения переработки постоянно накапливаемых на предприятиях отходов. Традиционные способы хранения и использования стоков оказываются неприемлемыми в условиях ухудшения экологической обстановки ввиду угрозы загрязнения окружающей среды и распространения инфекционных заболеваний среди людей и животных [1, 3].

Цель исследования – повышение степени обеззараживания животноводческих стоков при снижении удельной энергоемкости процесса обработки исходного материала путем оптимизации конструктивных и технологических параметров ультразвукового облучателя.

Методика исследований. При использовании ультразвуковой обработки важным является вопрос о количестве излучателей, обеспечивающих качественную обработку обеззараживаемой массы. В предлагаемом изобретении излучатели устанавливаются по периметру рабочей камеры установки для обеззараживания стоков равномерно, с соблюдением одинаковых интервалов друг от друга [4, 5, 6, 7]. Такая компоновка диктуется необходимостью обеспечения равномерного облучения животноводческих стоков ультразвуком в сечении трубы рабочей камеры. Оптимальным решением является определение такого числа излучателей, увеличение которого будет вести к удорожанию конструкции не улучшая качества обеззараживания.

За эталон качества обеззараживания принимаем такую компоновку излучателей, при которой распределение амплитуд ультразвукового давления на concentрических окружностях внутри контура сечения рабочей камеры будет равномерным. Распределение минимумов (нулей) и максимумов (пучков) амплитуд по радиусу зависит от размещения преобразователей частоты. Если выбрать окружность, на которой давление имеет максимум и построить на ней эпюру распределения амплитуд давлений, то максимумы амплитуд окажутся под излучателями, а минимумы - на радиусах между излучателями, см. рисунок 1.

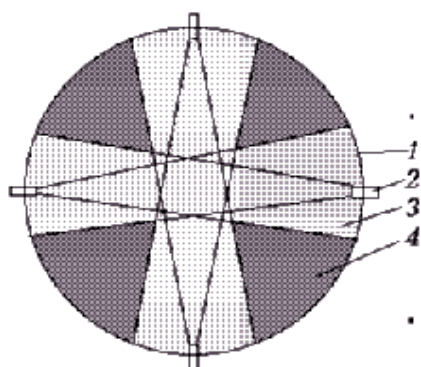


Рисунок 1 – Эпюра распределения амплитуд давлений ультразвукового излучения:

- 1 – рабочая камера излучателя;
- 2 – излучатель;
- 3 – максимум амплитуды давления;
- 4 – минимум амплитуды давления

Увеличивая число излучателей можно добиться такой эпюры, которая будет близка к равномерному распределению. Исходными данными к расчету по предлагаемой программе являются: i – число преобразователей; α – безразмерный радиус (в долях радиуса корпуса рабочей части установки для ультразвуковой обработки); P – суммарная мощность установки.

Результаты исследований

При делении по длине окружности поверхности камеры обеззараживания на i частей получим дуги максимума амплитуд давления в зонах излучения a_{ii} для одного из преобразователей, см. рисунок 2.

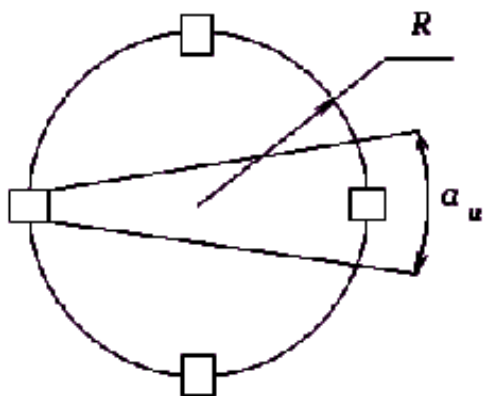


Рисунок 2 – Эпюра распределения амплитуд давления при увеличении числа излучателей:

R – радиус рабочей камеры установки; a_u – длина дуги максимума излучения

Чтобы сохранить сопоставимость результатов решений ряда задач при увеличении числа преобразователей, необходимо чтобы их суммарная излучаемая мощность сохранялась. Поэтому

$$N_i = \frac{1}{i}, \quad (1)$$

где 1 – общая мощность излучателя (принята за единицу);

i – число преобразователей;

N_i – мощность одного преобразователя.

Сформулируем граничные условия размещения излучателей с учетом конструктивных особенностей рабочей камеры установки для обеззараживания животноводческих стоков.

Определим величину зоны рабочей камеры без воздействия излучения при условии применения числа преобразователей равного i

$$2 \pi R - i a_u . \quad (2)$$

Эффективная обработка массы, проходящей через зону излучения в рабочей камере, возможна при условии обеспечения воздействия на материал как в областях дуг амплитуд максимальных давлений каждого преобразователя, так и на примыкающих к ним дугах. Это условие может быть выполнено, если

$$\frac{2\pi R}{i} \leq a_u \quad (3)$$

Следовательно, каждый преобразователь должен воздействовать на дугу длиной равной

$$L_i = \frac{2\pi R - i \cdot a_u}{i}. \quad (4)$$

Поскольку характеристику направленности излучателей представляют в декартовой и в полярной системах координат, то поэтому граничные условия можно задать по полярному углу φ .

Если

$$\varphi \leq \frac{2\pi}{i} + \frac{a_u}{R}, \quad (5)$$

то

$$N_i = \frac{1}{i \cdot a_u}.$$

Если

$$\varphi \leq \frac{2\pi}{i} - \frac{a_u}{R}, \quad (6)$$

то

$$N_i = 0.$$

Таким образом, при выполнении граничных условий амплитуды давления равномерно распределены на участках зон излучения и приравниваются нулю за пределами зон воздействия преобразователей. Спектр зоны амплитуды давления по области излучения ограничен огибающей пограничной кривой, форма которой определяется количеством преобразователей, см. рисунок 3.

Для составления математической модели огибающей по распределению амплитуд давления используем уравнение Лапласа. С учетом существующих теорий и моделей акустики волновое уравнение представляет собой выражение

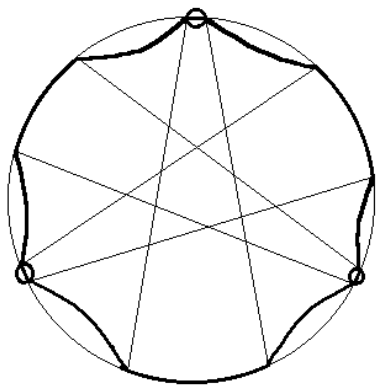


Рисунок 3 – Эпюры огибающей амплитуд, образованных тремя излучателями

$$\frac{d^2 p}{dt^2} = C^2 \left(\frac{d^2 p}{dx^2} + \frac{d^2 p}{dy^2} \right), \tag{7}$$

а в случае установившегося ультразвукового поля $\frac{d^2 p}{dt^2} \rightarrow 0$, что приводит к уравнению Гельмгольца

$$\frac{d^2 p}{dx^2} + \frac{d^2 p}{dy^2} + k^2 P = 0, \tag{8}$$

а для огибающей амплитуды бегущих волн или при $C \rightarrow \infty$ – к уравнению Лапласа, которое решается в полярных координатах

$$\begin{aligned} x &= r \cos \varphi, & y &= r \sin \varphi \\ r &= \sqrt{x^2 + y^2}, & \varphi &= \operatorname{arctg} \frac{x}{y} \end{aligned} \tag{9}$$

После преобразования получим

$$\Delta p = \frac{1}{r} \cdot \frac{d}{dr} \left(r \frac{dP}{dr} \right) + \frac{1}{r^2} \cdot \frac{d^2 P}{d\varphi^2} = 0 \tag{10}$$

Граничные условия для интересующей нас задачи определяются значениями

$$r = R, P_i = \frac{1}{i \cdot a_u} \tag{11}$$

при
$$\frac{2\pi}{i} - \frac{a_u}{R} \leq \varphi \leq \frac{2\pi}{i} + \frac{a_u}{R}.$$

Решение поставленной задачи возможно при изложении ее в форме интеграла Пуассона

$$P(r, \varphi) = \frac{1}{2\pi} \cdot \int_{-\pi}^{\pi} f(t) \frac{1 - N^2}{1 - 2r \cdot \cos(t - \varphi)tr^2} \cdot dt \quad (12)$$

где $f(t) = P_i(R)$ – функция амплитуд давления на образующей ;

t – переменный угол интегрирования.

Для описания характера изменения огибающей амплитуд давления из формулы 12 принимаем радиус рабочей камеры равным единице.

Однако, для практического вычисления по фактическим значениям функции $f(t)$ интеграл Пуассона не применим, поскольку относится к классу неберущихся интегралов. Поэтому для получения фактических числовых значений интеграла [2] Пуассона применим решение с использованием ряда Фурье.

Если граничное условие $P(\varphi)$ разлагается равномерно в ряд Фурье на $0, 2\pi$, то

$$P(\varphi) = a_0 + \sum_{k=1}^{\infty} (ak \cdot \cos k\varphi + bk \cdot \sin k\varphi) \quad (13)$$

и, следовательно,

$$P(r) = a_0 + \sum_{k=1}^{\infty} \left(\frac{r}{R}\right)^k (ak \cdot \cos k\varphi + bk \cdot \sin k\varphi) \quad (14)$$

В настоящей работе нами для определения оптимального числа излучателей использован оператор Лапласа

$$\Delta \varepsilon (r) = \delta (r - r_0), \quad (15)$$

где $\Delta \varepsilon = 0$ при $r \neq r_0$;

$\delta \rightarrow \infty$ при $r \rightarrow r_0$.

Для плоских задач уравнение Лапласа

$$\mathcal{E} = \frac{1}{2\pi} \ln(r). \quad (16)$$

Выводы:

Существование в точке r_o функции $\varepsilon(r-r_o)$ физически означает наличие в ней источника единой мощности. С учетом неравномерности области амплитуд давления по радиусу R мощность излучения в полярных координатах (рисунок 4) находятся по формуле

$$P(R_c, \varphi) = \sum_i \frac{I}{i} \varepsilon(R_c - R_i) \quad (17)$$

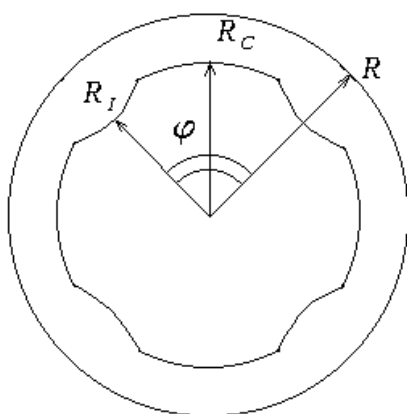


Рисунок 4 – Расчетная схема распределения образующей амплитуд в полярных координатах

Или в декартовой системе координат, см. рисунок 5.

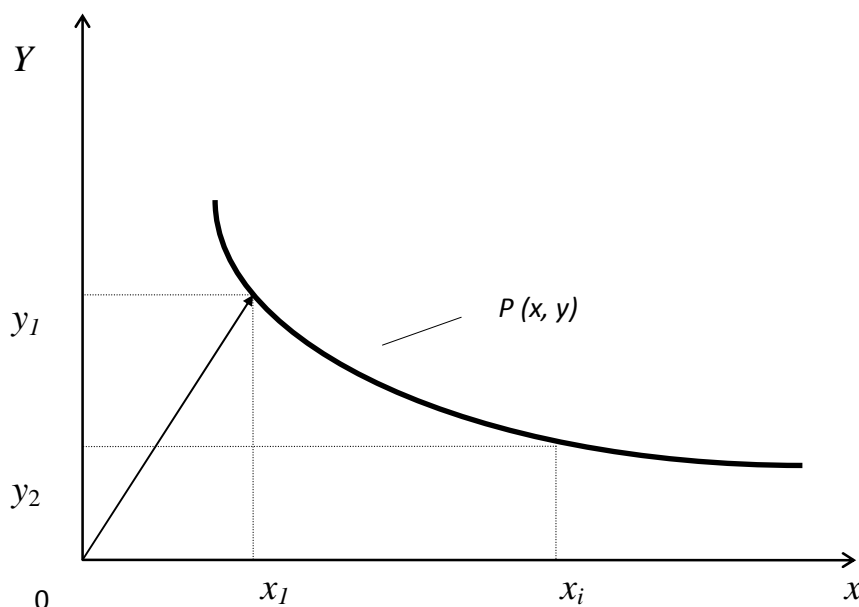


Рисунок 5 – Расчетная схема распределения образующей в декартовых координатах

$$P(x, y) = \sum_1^i \frac{1}{i} \varepsilon(x-x_i, y-y_i), \quad (18)$$

где

$$x_i = R \cos\left(\frac{2\pi}{i}\right), \quad y_i = R \sin\left(\frac{2\pi}{i}\right).$$

Выполненные исследования позволяют построить:

1. Графическое изображение амплитуд давления P на окружности радиуса αR ;
2. Оптимальную компоновку излучателей по периметру рабочей камеры ультразвукового облучателя.

Литература

1. Сторожук Т.А. Повышение эффективности обеззараживания животноводческих стоков // В сборнике: Современному АПК - эффективные технологии материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 90-летию доктора сельскохозяйственных наук, профессора, заслуженного деятеля науки Российской Федерации, почетного работника высшего профессионального образования Российской Федерации Валентины Михайловны Макаровой. Ответственный за выпуск доктор сельскохозяйственных наук, профессор И. Ш. Фатыхов. 2019, с. 295-299.
2. Сторожук Т.А. Установление кинематических параметров обмолачиваемой массы в рабочем зазоре вальцового молотильного устройства /Т.А. Сторожук, А.Э. Богус, А.В. Морева// Вестник АПК Ставрополя. 2018. № 2 (30),с. 44-49.
3. Кравцова Ю.К. Оптимизация линии удаления биологических отходов на птицеводческих фермах / Ю.К. Кравцова, Т.А. Сторожук // В сборнике: Научное обеспечение агропромышленного комплекса Сборник статей по материалам IX Всероссийской конференции молодых ученых. Ответственный за выпуск: А.Г. Коцаев. 2016, с. 351-353.
4. Пат. № 2248112 Российская Федерация, МПК7А01С3/00. Устройство для обеззараживания навозных стоков / Сторожук Т.А., Потапенко И.А., Сторожук С.В., Кулакова А.Л.; заявитель и патентообладатель Кубанский государственный аграрный университет (RU) – № 2000128866/12; заявл.17.11.2000; опубл. 20.03.2005 – 3 с.: ил. 1.
5. Пат. № 2199199 Российская Федерация, МПК7А01С3/00. Устройство для обеззараживания навозных стоков / Сторожук Т.А., А.Л. Кулакова А.Л., Потапенко И.А., Сторожук Ю.С.; заявитель и патентообладатель Кубанский государственный аграрный университет (RU) – № 2001100329/13; заявл.04.01.2001; опубл. 27.02.2003 – 3 с. : ил. 1.
6. Пат. № 2197805 Российская Федерация, МПК7А01С3/00. Устройство для обеззараживания навозных стоков / Сторожук Т.А., Потапенко И.А., Сторожук С.В.,

Когденко Н.В.; заявитель и патентообладатель Кубанский государственный аграрный университет (RU) – № 2000124654/13; заявл. 27.09.2000; опубл. 10.02.2003 – 3 с.: ил. 1

7. Пат. № 2208922 Российская Федерация, МПК7A01С3/00. Устройство для обеззараживания навозных стоков / Сторожук Т.А., Кулакова А.Л., Потапенко И.А., Сторожук Ю.С.; заявитель и патентообладатель Кубанский государственный аграрный университет (RU) – № 2002102401/13; заявл.25.01.2002; опубл. 27.07.2003 Бюл. № 21 – 3 с. : ил. 1

References

1. Storozhuk T.A. Povyshenie effektivnosti obezzarazhivaniya zhivotnovodcheskih stokov //V sbornike: Sovremennomu APK - effektivnye tekhnologii materialy Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii, posvyashchennoj 90-letiyu doktora sel'skohozyajstvennyh nauk, professora, zasluzhennogo deyatelya nauki Rossijskoj Federacii, pochetnogo rabotnika vysshego professional'nogo obrazovaniya Rossijskoj Federacii Valentiny Mihajlovny Makarovoj. Otvetstvennyj za vypusk doktor sel'skohozyajstvennyh nauk, professor I. SH. Fatyhov. 2019, s. 295-299.

2. Storozhuk T.A. Ustanovlenie kinematicheskih parametrov obmolachivaemoj massy v rabochem zazore val'covogo molotil'nogo ustrojstva /T.A. Storozhuk, A.E. Bogus, A.V. Moreva// Vestnik APK Stavropol'ya. 2018. № 2 (30),s. 44-49.

3. Kravcova YU.K. Optimizaciya linii udaleniya biologicheskikh othodov na ptice-tovarnyh fermah / YU.K. Kravcova, T.A. Storozhuk // V sbornike: Nauchnoe obespechenie agropromyshlennogo kompleksa Sbornik statej po materialam IX Vserossijskoj konferencii molodyh uchenyh. Otvetstvennyj za vypusk: A.G. Koshchaev. 2016, s. 351-353.

4. Pat. № 2248112 Rossijskaya Federaciya, МПК7A01S3/00. Ustrojstvo dlya obezzarazhivaniya navoznyh stokov / Storozhuk T.A., Potapenko I.A., Storozhuk S.V., Kulakova A.L.; zayavitel' i patentoobladatel' Kubanskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet (RU) – № 2000128866/12; zayavl.17.11.2000; opubl. 20.03.2005 – 3 s.: il. 1.

5. Pat. № 2199199 Rossijskaya Federaciya, МПК7A01S3/00. Ustrojstvo dlya obezzarazhivaniya navoznyh stokov / Storozhuk T.A., A.L. Kulakova A.L., Potapenko I.A., Storozhuk YU.S.; zayavitel' i patentoobladatel' Kubanskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet (RU) – № 2001100329/13; zayavl.04.01.2001; opubl. 27.02.2003 – 3 s. : il. 1.

6. Pat. № 2197805 Rossijskaya Federaciya, МПК7A01S3/00. Ustrojstvo dlya obezzarazhivaniya navoznyh stokov / Storozhuk T.A., Potapenko I.A., Storozhuk S.V., Kogdenko N.V.; zayavitel' i patentoobladatel' Kubanskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet (RU) – № 2000124654/13; zayavl. 27.09.2000; opubl. 10.02.2003 – 3 s.: il. 1

7. Pat. № 2208922 Rossijskaya Federaciya, МПК7A01S3/00. Ustrojstvo dlya obezzarazhivaniya navoznyh stokov / Storozhuk T.A., Kulakova A.L., Potapenko I.A., Storozhuk YU.S.; zayavitel' i patentoobladatel' Kubanskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet (RU) – № 2002102401/13; zayavl.25.01.2002; opubl. 27.07.2003 Byul. № 21 – 3 s. : il. 1