

УДК 621.631

UDC 621.631

БАЛАНС ОЗОНА ПРИ ДЕТОКСИКАЦИИ ФУРАЖНОГО ЗЕРНА**BALANCE OF OZONE IN DETOXICATION OF FEED GRAIN**

Нормов Дмитрий Александрович
д.т.н., профессор

Normov Dmitriy Aleksandrovich
Dr.Sci.Tech., professor

Пожидаев Денис Владимирович
аспирант
Кубанский государственный аграрный университет, Россия, 350044, Краснодар, Калинина, 13

Pozhidaev Denis Vladimirovich
postgraduate student
Kuban State Agrarian University, Krasnodar, Russia

В данной статье раскрываются вопросы, связанные с распределением озона при детоксикации фуражного зерна и составлением баланса расхода озона. Работа содержит теоретически полученные зависимости подтверждаемые экспериментально

This article presents the issues related to the distribution of ozone in detoxification of feed grains and drawing up the balance of ozone consumption. The article also contains theoretical dependences obtained experimentally

Ключевые слова: ЭЛЕКТРООЗОНИРОВАНИЕ, ОЗОН, ФУРАЖНОЕ ЗЕРНО, ДЕТОКСИКАЦИЯ, МИКОТОКСИН, СЕЛЬСКОЕ ХОЗЯЙСТВО, ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЕ, ДЕЗИНФЕКЦИЯ, КОНЦЕНТРАЦИЯ ОЗОНА

Keywords: ELECTRO OZONATION, OZONE, COARSE GRAINS, DETOXIFICATION MYCOTOXINS, AGRICULTURE, DISINFECTION, CONCENTRATION OF OZONE

Кормовые отравления приносят значительный ущерб животноводству [1,2,7]. Причиной, которых является не качественный кормовой материал, содержащий на своей поверхности различные вредоносные микроорганизмы и продукты их жизнедеятельности [3,4,6]. Одним из наиболее эффективных способов дезинфекции фуражного зерна является озонирование [1,3]. Данный способ позволяет сократить количество кормовых отравлений у животных.

Технологический процесс детоксикации фуражного зерна различных сельскохозяйственных культур и кормов, включает продувку зерна озоновоздушной смесью в бункере, подачу озоновоздушной смеси осуществляют вентилятором производительностью 70 м³/ч, при этом концентрация озона в смеси составляет 1,5 - 3 г/м³, а время обработки 1 – 8 часов, в зависимости от степени зараженности зерна.

Сущность технологического процесса поясняется чертежом, где на рис. 1 – изображена установка для реализации способа борьбы с микотоксинами фуражного зерна и кормов; на рис. 2 – представлен график зависи-

мости количества токсинов содержащихся в фуражном зерне от времени обработки.

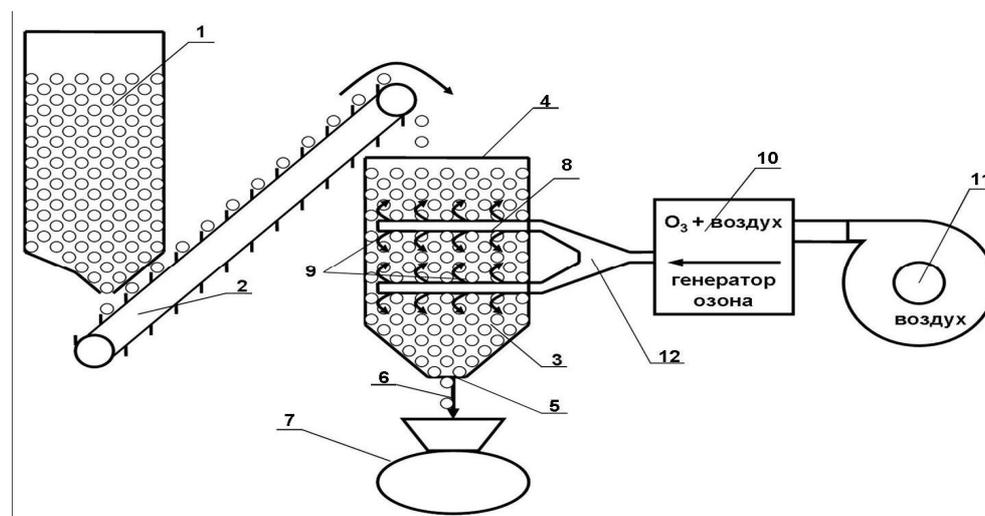


Рис.1 Установка, для детоксикации микотоксинов фуражного зерна озонном

Предлагаемый способ осуществляют с помощью установки состоящей из хранилища 1, транспортёра 2 расположенного погрузочной частью под хранилищем, а выгрузочной – над бункером 3 в верхней части которого расположен погрузочный люк 4, а в нижней - выгрузочный люк 5, предназначенный для расфасовки обработанного зерна 6 в мешки 7. В бункер 3 встроены воздухопроводы 8 с технологическими отверстиями 9, которые сообщены с генератором озона 10 и вентилятором 11 посредством переходника 12.

Фуражное зерно или комбикорм, из хранилища 1 загружают посредством транспортера 2, через загрузочный люк 4 в бункер 3. Затем включают вентилятор и генератор озона для получения озоноздушной смеси, которая через воздухопроводы 8 с технологическими отверстиями 9 поступает в бункер 3 для продувки зерна. При этом бункер 3, заполненный зерном закрыт верхним погрузочным 4 и нижним выгрузочным 5 люками. После продувки отключают вентилятор и генератор озона и обработанное зерно 6 выгружают в мешок 7, в котором оно хранится.

Для подтверждения эффективности предлагаемого технического решения, предварительно фуражное зерно любой злаковой сельхоз культуры количестве 100 кг исследовали в лабораторных условиях на степень зараженности микотоксинами в качестве которых были выбраны, как наиболее часто встречающиеся Т-2 и Зеараленон. В результате исследований было определено, что в среднем зараженность зерна составила Т-2 в количестве 48,8 мг на кг зерна, а Зеараленон – 140,6 мг/кг.

Фуражное зерно в бункере обрабатывали в течение 1 – 8 часа при концентрации озона в озоновоздушной смеси от 1,5 до 3 г/м³, в зависимости от зараженности зерна. В результате опыта выяснилось, что при концентрации меньше 1,5 г/м³ не обеспечивается достаточная детоксикация, а при концентрации 3 г/м³ по данным эксперимента обеспечивается полная детоксикация зерна (см. таб.1).

Таблица 1. Действие озона на токсины при обработке зараженного зерна

Концентрация озона, г/м ³	Содержание токсинов, мг/кг зерна	
	до обработки	после обработки
1,5	4,76	0.001
2,0	5,21	0
3,0	4,93	0

Что касается времени обработки, то при загрязненности зерна, микотоксинами Т-2 в количестве 48,8 мкг/кг, а Зеараленон – 140,6 мкг/кг, при меньшем их количестве достаточно 1 часа обработки, при большем же их количестве в зависимости от загрязненности необходимо увеличивать время обработки до 8 часов. По данным эксперимента получены следующие результаты (см. табл.2 и рис.2).

Таблица 2. Результаты воздействия озона на токсины Т-2 и Зеараленон

Без обработки	Т-2, мг/кг	Зеараленон, мг/кг
Время обработки	48,8	140,6
1 час	18,4	76,8
4 часа	6,5	41,1
6 часов	0	19,7
8 часов	0	0

Таким образом, по полученным результатам, которые представлены в таблице 2 и на графике (см. рис.2) наиболее оптимальное время обработки 4-6 часов.

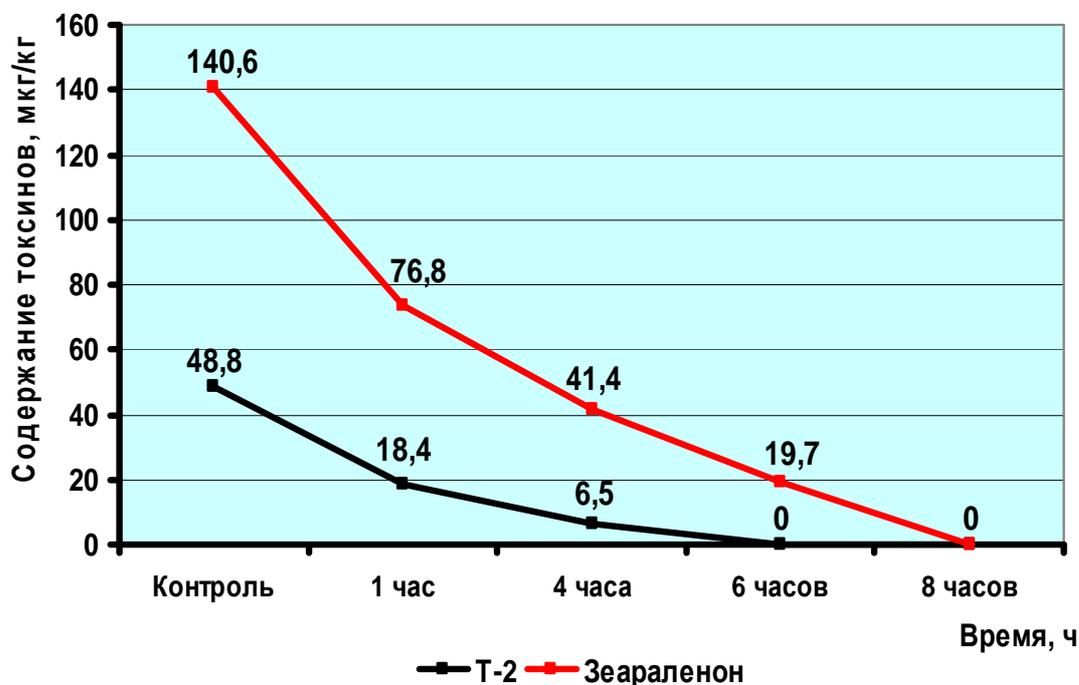


Рис.2 Графическая зависимость количества токсинов содержащихся в фуражном зерне от времени обработки озонированием.

Рассмотрев процесс дезинфекции фуражного зерна озоном можно отметить, что не весь объем поступившей озоновоздушной смеси используется для разложения микроорганизмов и токсинов [5,6]. Для создания технологии обеззараживания и детоксикации зерна озоном необходимым рассмотреть данный вопрос более подробно [5,7].

При обеззараживании фуражного зерна количество подаваемого озона можно условно разделить на 4 части: 1) насыщение зерна озоном (зависит от активной площади поверхности зерен, $Q_1 = f(S)$), 2) разложение озона в слое зерна (зависит от температуры, влажности, давления в слое зерна и т.д., $Q_2 = f(t, j, p)$), 3) количество озона, расходуемое на разложение токсинов, находящихся в зерне ($Q_3 = f(m)$), 4) количество озона не участвующее в реакциях Q_4 . Следовательно, уравнение баланса будет выглядеть следующим образом:

$$Q_0 = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4, \quad 1$$

где Q_0 - общее количество озона, подаваемое в бункер, мг; Q_1 - количество озона, поглощаемое активной поверхностью зерна, мг; Q_2 - количество разлагаемого озона, мг; Q_3 - количество озона, расходуемое на разложение токсинов, находящихся в зерне, мг, Q_4 - количество озона не использованное в процессе дезинфекции, мг.

Для подтверждения теоретических данных нами проведена серия экспериментов, на основании которых была получена зависимость изменения концентрации озона при прохождении озоновоздушной смеси через 1 кг пшеницы (рисунок 3).

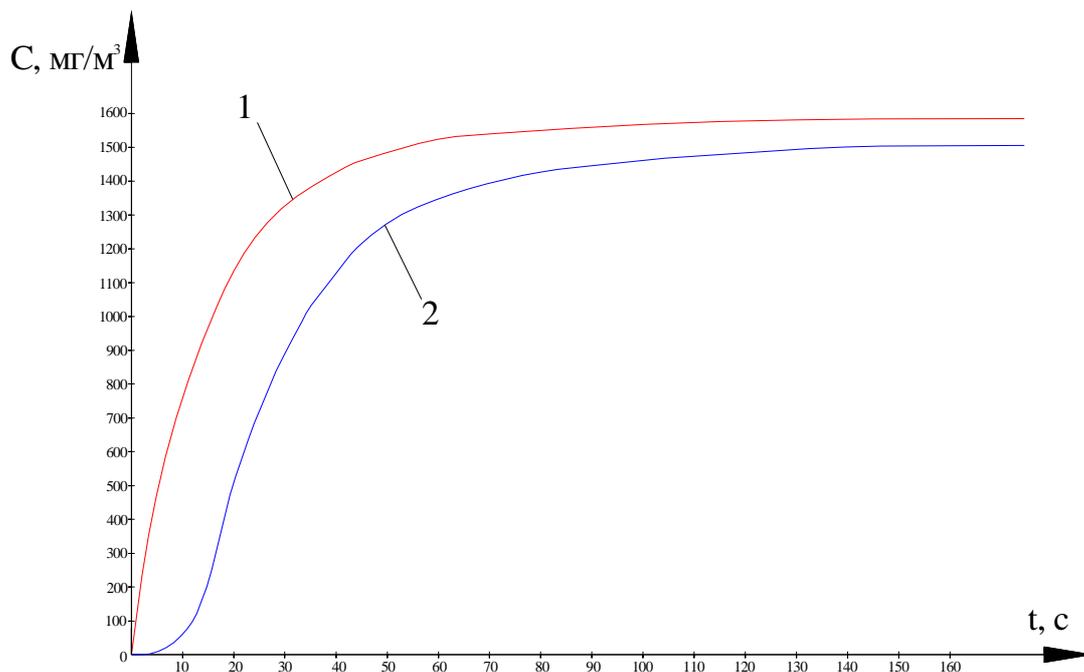


Рисунок 3 – Изменение концентрации озона: 1- на входе в емкость, 2 - при прохождении озоновоздушной смеси через 1 кг пшеницы (на выходе из емкости).

Анализ графика представленного на рисунке 1 позволяет определить динамику изменения разности концентраций озона на входе и выходе из обрабатываемого объема, что позволяет выявить количество озона поглощаемого зерном [4,6]. Данное изменение можно отразить графически (рисунок 4)

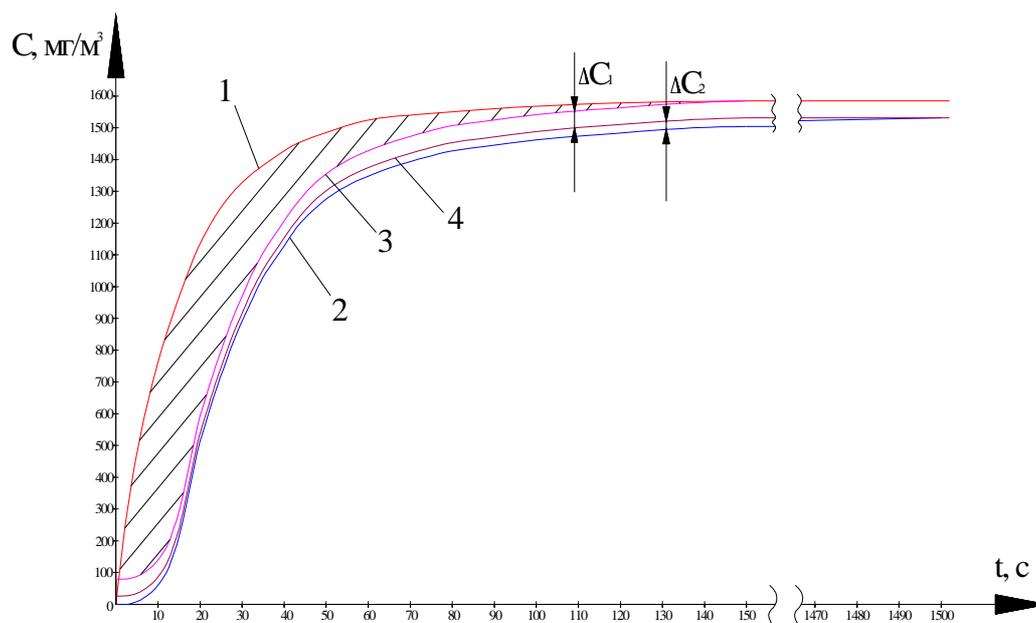


Рисунок 4 – Площадь поглощения озона зерном пшеницы

Анализируя полученные графики, можно сделать вывод, что произведение площади, ограниченной кривыми 1 и 3 (рисунок 4), на расход озонородной смеси, пропускаемой через зерно, есть количество озона, поглощенное зерном, т. е.

$$Q_1 = S' \cdot T, \quad (2)$$

где S' - площадь, характеризующая поглощение озона зерном, $\text{мг} \cdot \text{с} / \text{м}^3$; T – расход озонородной смеси, $\text{м}^3 / \text{с}$.

Из рисунка 4 видно, что площадь, определяющая дозу озона, поглощаемого активной площадью зерна пшеницы, ограничена с одной стороны кривой изменения концентрации озона на входе в емкость, а с другой - кривой изменения концентрации на выходе из емкости, смещенной по оси ординат на $\Delta C_1 + \Delta C_2$, где ΔC_1 – разница изменений концентраций на входе и выходе в установившемся режиме, $\text{мг} / \text{м}^3$; ΔC_2 – разница концентраций озона, затрачиваемого на разложение токсинов, содержащихся в зерне, $\text{мг} / \text{м}^3$ [4,7].

Для вычисления площади S' была использована программа AdvancedGrapher. Для аппроксимации экспериментальные кривые разбиваются на 4 части, как показано на рисунке 5. Это делается ввиду невозможности аппроксимации зависимостей целиком из-за сложности функций описывающих эту кривизну.

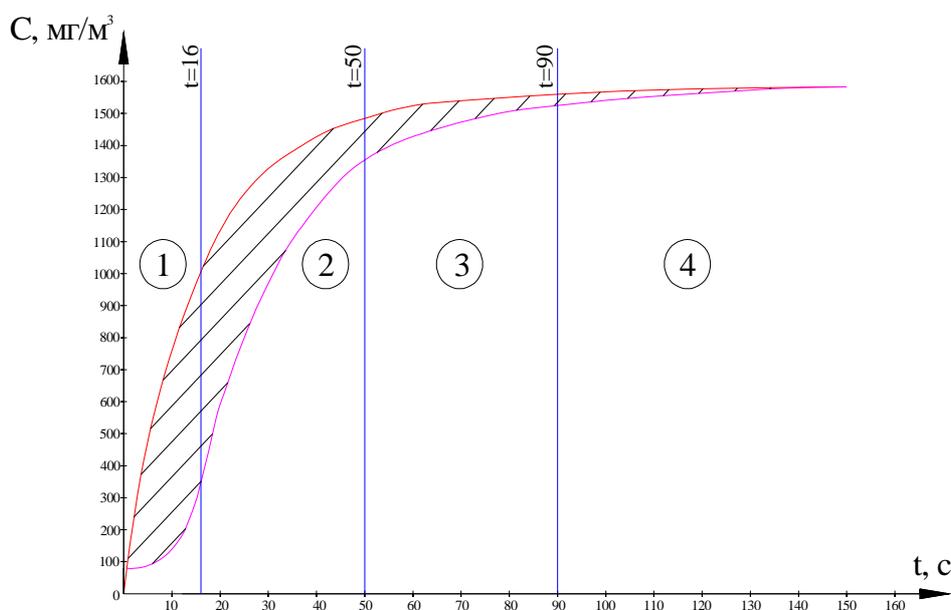


Рисунок 5 – Аппроксимирование зависимостей

На основании рисунка 5 можно сказать, что площадь S' между кривыми находится как сумма площадей участков, т.е.

$$S' = S'_1 + S'_2 + S'_3 + S'_4, \quad (3)$$

где S'_1, S'_2, S'_3, S'_4 - площадь соответствующего участка, мг·с/м³.

С помощью функции «Регрессионный анализ» программы AdvancedGrapher были поочередно аппроксимированы участки кривых, ограничивающих площадь S' , и определено, что площадь S'_1 ограничена линиями $t=0, t=16$ и полиномиальными функциями:

$$C(t) = 3.021 \cdot 10^{-5} \cdot t^6 - 0.0015 \cdot t^5 + 0.0201 \cdot t^4 + 0.156 \cdot t^3 - 7.597 \cdot t^2 + 128.27 \cdot t - 0.6846;$$

$$C(t) = -3.605256 \cdot 10^{-6} \cdot t^7 + 6.02569 \cdot 10^{-5} \cdot t^6 + 0.00285 \cdot t^5 - 0.0864 \cdot t^4 + 0.88099 \cdot t^3 - 2.976428 \cdot t^2 + 3.1375 \cdot t + 79.$$

Площадь S'_2 ограничена линиями $t=16$, $t=50$ и полиномиальными функциями:

$$C(t) = -2.4239726 \cdot 10^{-4} \cdot t^4 + 0.0445125 \cdot t^3 - 3.1610534 \cdot t^2 + 108.5434447 \cdot t - 89.0357584; \\ C(t) = -3.2149563 \cdot 10^{-4} \cdot t^4 + 0.0544519 \cdot t^3 - 3.8827922 \cdot t^2 + 150.5386863 \cdot t - 1260.3816125.$$

Площадь S'_3 ограничена линиями $t=50$, $t=90$ и полиномиальными функциями:

$$C(t) = -0.0714573 \cdot t^2 + 11.9311585 \cdot t + 1066.942101; \\ C(t) = 0.0024657 \cdot t^3 - 0.6041674 \cdot t^2 + 51.5810087 \cdot t - 22.0941724.$$

Площадь S'_4 ограничена полиномиальными функциями:

$$C(t) = -0.0080818 \cdot t^2 + 2.3496649 \cdot t + 1413.994498; \\ C(t) = -0.0111867 \cdot t^2 + 3.6778813 \cdot t + 1284.5983414.$$

С помощью функции «Интегрирование» определены площади $S'_1 = 7551,48 \text{ мг} \cdot \text{с}/\text{м}^3$, $S'_2 = 11353,73 \text{ мг} \cdot \text{с}/\text{м}^3$, $S'_3 = 3203,18 \text{ мг} \cdot \text{с}/\text{м}^3$, $S'_4 = 957,7 \text{ мг} \cdot \text{с}/\text{м}^3$. Таким образом, с учетом (3)

$$S' = 7551,48 + 11353,73 + 3203,18 + 957,7 = 23066,09 \text{ мг} \cdot \text{с}/\text{м}^3.$$

В эксперименте использовался компрессор с постоянной подачей $4 \text{ м}^3/\text{ч}$, что соответствует $0,001111 \text{ м}^3/\text{с}$. Подставляя полученные значения в формулу (2), получим количество озона, поглощаемое 1 кг пшеницы

$$Q_1 = 23066,09 \cdot 0,001111 = 25,63 \text{ мг}.$$

Таким образом, количество озона, требуемого для насыщения 1 тонны пшеницы, составляет около 26 грамм.

Продолжая анализ графиков, можно сделать вывод, что количество озона, расходуемое на разложение токсинов в зерне, есть произведение площади, ограниченной кривыми 2 и 4 (рисунок б), на расход озоновоздушной смеси, пропускаемой через зерно, т. е.

$$Q_3 = S'' \cdot T, \quad (4)$$

где S'' - площадь, характеризующая разложение токсинов озоном, $\text{мг} \cdot \text{с} / \text{м}^3$;

T – расход озонородушной смеси, $\text{м}^3 / \text{с}$.

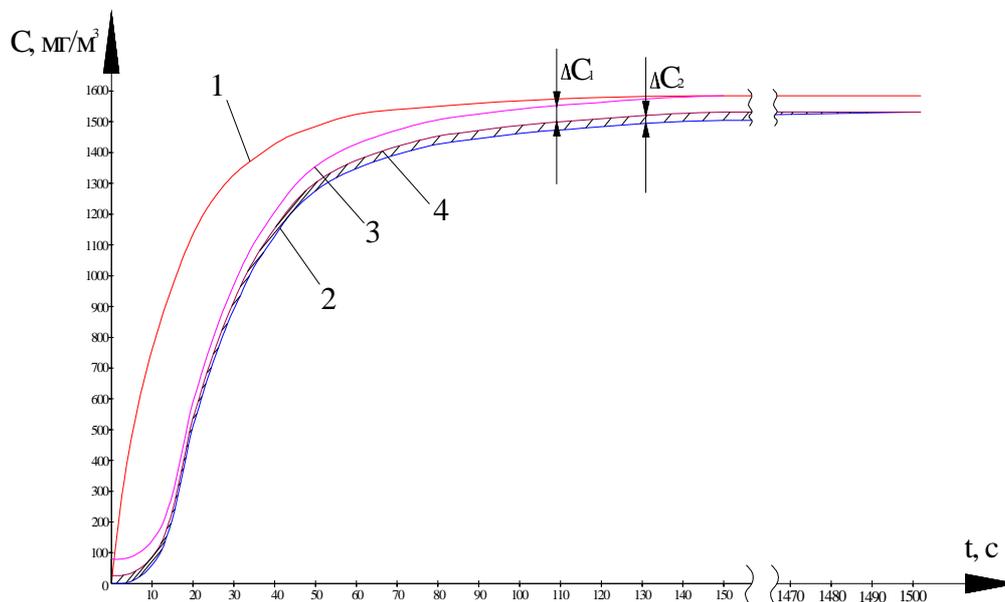


Рисунок 6 – Площадь разложения токсинов озоном

Из рисунка 6 видно, что площадь, определяющая дозу озона, затрачиваемого на разложение токсинов, содержащихся в зерне, ограничена с одной стороны кривой изменения концентрации озона на выходе из емкости (кривая 2), а с другой - кривой изменения концентрации на входе в емкость с учетом поглощения озона зерном (кривые 1 и 3), смещенной по оси ординат на ΔC_1 , т.е. площадь, ограниченная кривыми 2 и 4.

Вычисление площади S'' осуществляется аналогично вычислению площади S' . Для аппроксимации экспериментальные кривые разбиваются на 4 части, как показано на рисунке 7. Из данного рисунка видно, что площадь S' между кривыми находится как сумма площадей участков, т.е.

$$S'' = S''_1 + S''_2 + S''_3 + S''_4, \quad (5)$$

где $S''_1, S''_2, S''_3, S''_4$ - площадь соответствующего участка, $\text{мг} \cdot \text{с} / \text{м}^3$.

С помощью функции «Регрессионный анализ» программы AdvancedGrapher поочередно аппроксимированы участки кривых, ограничивающих площадь S'' , и определено, что площадь S''_1 ограничена линиями $t=0$, $t=16$ и полиномиальными функциями:

$$C(t)=-7.6376117 \cdot 10^{-5} \cdot t^5+0.0094561 \cdot t^4-0.1473 \cdot t^3+1.4622 \cdot t^2-2.6821 \cdot t+26.0373;$$

$$C(t)=-7.6376117 \cdot 10^{-5} \cdot t^5+0.0094561 \cdot t^4-0.147345 \cdot t^3+1.462219 \cdot t^2-2.6821256 \cdot t+0.0373453.$$

Площадь S''_2 ограничена линиями $t=16$, $t=50$ и полиномиальными функциями:

$$C(t)=1.8351 \cdot 10^{-5} \cdot t^5-0.0035 \cdot t^4+0.2777 \cdot t^3-11.3096 \cdot t^2+269.6687214 \cdot t-2048.5979;$$

$$C(t)=1.821 \cdot 10^{-5} \cdot t^5-0.0035 \cdot t^4+0.2761 \cdot t^3-11.2556867 \cdot t^2+268.8166304 \cdot t-2069.4081813.$$

Площадь S''_3 ограничена линиями $t=50$, $t=150$ и полиномиальными функциями:

$$C(t)=-1.2608282 \cdot 10^{-5} \cdot t^4+0.0055125 \cdot t^3-0.8864468 \cdot t^2+63.4780584 \cdot t-292.7749052;$$

$$C(t)=-1.1371323 \cdot 10^{-5} \cdot t^4+0.0050027 \cdot t^3-0.811946 \cdot t^2+58.9553694 \cdot t-170.267661.$$

Площадь S''_4 ограничена прямыми:

$$C(t)=0.0192593 \cdot t +1502.6911111 \text{ и } C(t)=1530.$$

С помощью функции «Интегрирование» определены площади $S''_1 = 416 \text{ мг} \cdot \text{с}/\text{м}^3$, $S''_2 = 883 \text{ мг} \cdot \text{с}/\text{м}^3$, $S''_3 = 2717 \text{ мг} \cdot \text{с}/\text{м}^3$, $S''_4 = 17550 \text{ мг} \cdot \text{с}/\text{м}^3$. Таким образом

$$S'' = 416 + 883 + 2717 + 17550 = 21566 \text{ мг} \cdot \text{с}/\text{м}^3.$$

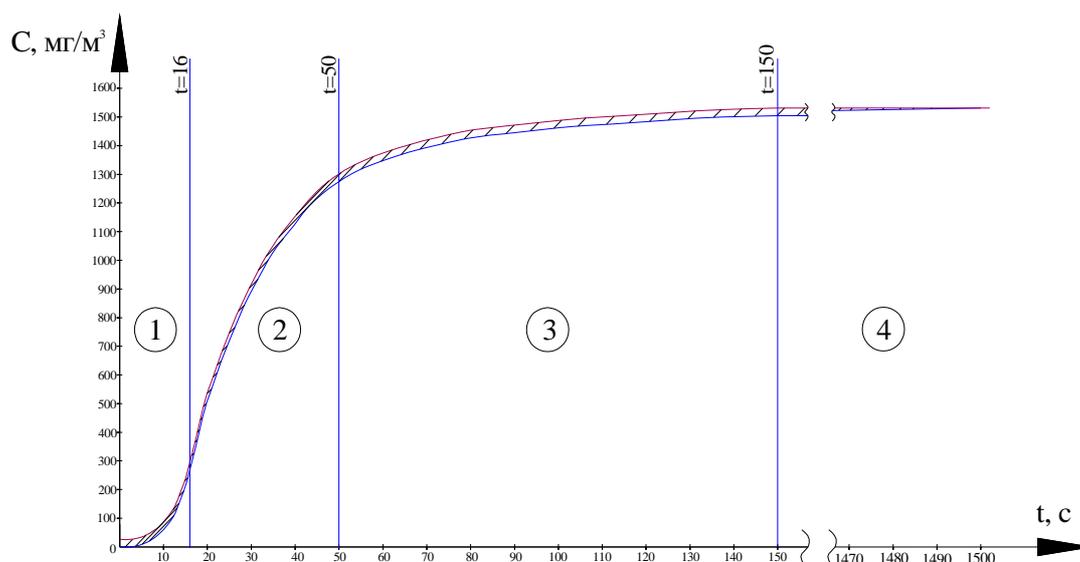


Рисунок 7 – Аппроксимирование зависимостей

В эксперименте использовался компрессор с постоянной подачей 4 м³/ч, что соответствует 0,001111 м³/с. Подставляя полученные значения в формулу (4), получим количество озона, затрачиваемое на разложение токсинов, содержащихся в 1 кг пшеницы:

$$Q_3 = 21566 \cdot 0,001111 = 23,96 \text{ мг.}$$

В эксперименте использовалась пшеница с содержанием токсинов Т-2 48,8 мкг/кг и Зеараленона 140,6 мкг/кг. На рисунке 6 видно, что кривые 2 и 4 сливаются через 1500 секунд. Таким образом, процесс дезинфекции завершается через 25 минут, то есть количество токсинов в зерне при этом снижается до нуля.

Аналогичным образом был проведен эксперимент по дезинфекции зерна кукурузы [1,6], по данным которого были получены следующие зависимости (рисунок 8).

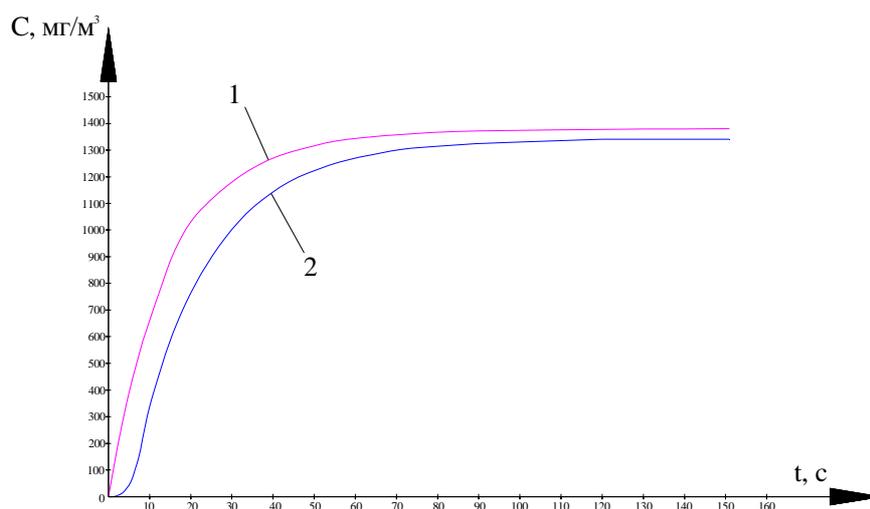


Рисунок 8 – Изменение концентрации озона при дезинфекции зерна кукурузы: 1- на входе в емкость, 2 - при прохождении озоновоздушной смеси через 1 кг кукурузы (на выходе из емкости).

Анализируя данные зависимости, аналогично соответствующим зависимостям, полученным для пшеницы, была построена площадь, определяющая дозу озона, поглощаемого активной поверхностью зерен кукурузы и площадь, определяющая дозу озона, затрачиваемого на разложение токсинов, содержащихся в зерне (рисунок 9).

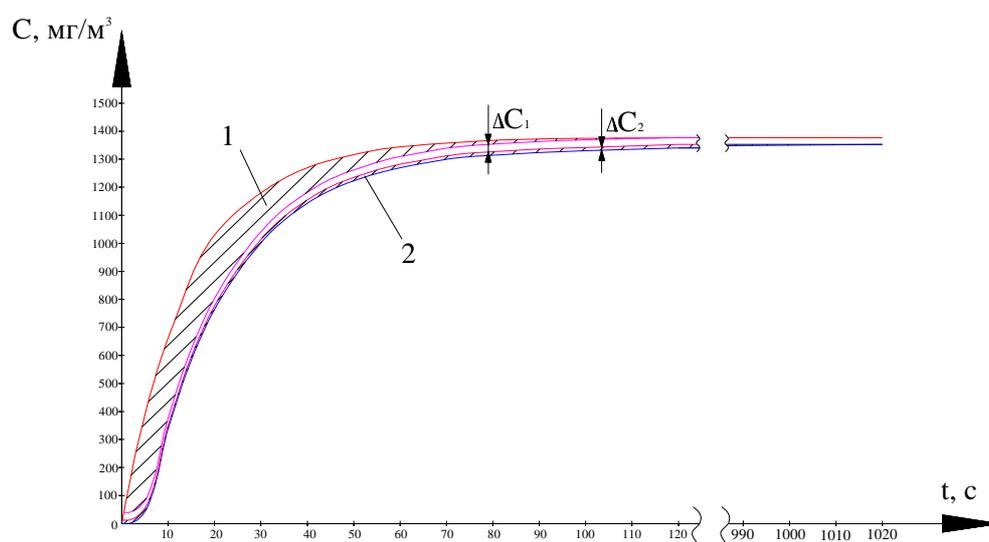


Рисунок 9 – Площадь, определяющая дозу озона, поглощаемого активной поверхностью зерен кукурузы и площадь, определяющая дозу озона, затрачиваемого на разложение токсинов (соответственно 1 и 2)

С помощью программы AdvancedGrapher были определены соответствующие площади, и, используя формулы (2) и (4), проведены расчеты, аналогичные расчетам, используемым для нахождения количества озона поглощаемого активной поверхностью одного килограмма пшеницы и количество озона, затрачиваемого на разложение токсинов, содержащихся в зерне, были получены соответствующие значения дозировок для 1 килограмма кукурузы.

Так как площадь, характеризующая поглощение озона зерном, составляет $S' = 9530,9 \text{ мг} \cdot \text{с}/\text{м}^3$, то, используя формулу (2), получим

$$Q_1 = 9530,9 \cdot 0,00111 = 10,59 \text{ мг.}$$

Таким образом, количество озона, требуемого для насыщения 1 тонны пшеницы, составляет около 11 грамм.

Площадь, характеризующая разложение токсинов, содержащихся в зерне, составляет $S'' = 7821,78 \text{ мг} \cdot \text{с}/\text{м}^3$, таким образом, с учетом (4) получим

$$Q_3 = 7821,78 \cdot 0,00111 = 8,69 \text{ мг.}$$

Полученные результаты позволяют предположить, что для обработки одной тонны пшеницы необходимо зарезервировать не менее 11 грамм озона, затрачиваемый на поглощения этого вещества самим зерном, озон поступающий сверх данного количества может быть использован для других целей, например разложения токсинов. Количество озона затраченное непосредственно на разложение 190 мг токсинов в данном случае составило соответственно 9 мг, однако остается неизвестным удельное количество озона пошедшее на разложение каждого из токсинов в отдельности – что является одним из предметов дальнейших исследований.

Список литературных источников.

1. Нормов Д.А., Федоренко Е.А. Обеззараживание зерна озонированием. Научно-практический журнал «Комбикорма» - М.: Из-во «Фолиум», 2009. - № 4.- С. 44
2. Нормов Д.А., Федоренко Е.А. Дезинфекция фуражного зерна озонированием. Научно-практический журнал «Аграрная Россия». – М.: Из-во «Фолиум», 2009. - №2.- С. 17-19
3. Нормов Д.А., Горбунов О.А. Экологически чистый способ обеззараживания кормов. Научно-технический и информационно-аналитический журнал «Чрезвычайные ситуации» Краснодар: КСЭИ, 2009. - С. 66-73
4. Шевченко А.А., Денисенко Е.А. Анализ способов дезинфекции кормов. Научный журнал «Университет: наука, идеи и решения» - Краснодар: Издат. дом - ЮГ, 2011. №1. – С. 104-107.
5. Шевченко А.А., Денисенко Е.А. Технологии дезинфекции фуражного зерна и субстратов для биопроизводства. Научно-техническое творчество молодежи – путь к обществу, основанному на знаниях // Сб. докладов III Международной науч.-практ. конф. – М.: типография МГСУ, 2011. С. 309-311
6. Курзин Н.Н., Нормов Д.А., Пожидаев Д.В. Баланс поглощения озона при детоксикации зерна. Информационно-управляющие системы в АПК. Мат. Международного научно-практического семинара, посвященного 90-летию профессора В.Т. Сергованцева 25 июня 2012 г. Москва: МГАУ им. В.П. Горячкина 2012.- С. 39-41
7. Нормов Д.А., Шевченко А.А., Денисенко Е.А. Использование озона при производстве биодобавок для выращивания животных. Информационно-управляющие системы в АПК. Мат. Международного научно-практического семинара, посвященного 90-летию профессора В.Т. Сергованцева 25 июня 2012 г. Москва: МГАУ им. В.П. Горячкина 2012. - С. 37-39

References

1. Normov D.A., Fedorenko E.A. Obezrazhivanie zerna ozonirovaniem. Nauchno-prakticheskij zhurnal «Kombikorma» - M.: Iz-vo «Folium», 2009. - № 4.- S. 44
2. Normov D.A., Fedorenko E.A. Dezinfekcija furazhnogo zerna ozonirovaniem. Nauchno-prakticheskij zhurnal «Agrarnaja Rossija». – M.: Iz-vo «Folium», 2009. - №2.- S. 17-19
3. Normov D.A., Gorbunov O.A. Jekologicheskij chistyj sposob obezrazhivaniija kormov. Nauchno-tehnicheskij i informacionno-analiticheskij zhurnal «Chrezvychajnye si-tuacii» Krasnodar: KSJeI, 2009. - S. 66-73
4. Shevchenko A.A., Denisenko E.A. Analiz sposobov dezinfekcii kormov. Nauchnyj zhurnal «Universitet: nauka, idei i reshenija» - Krasnodar: Izdat. dom - JuG, 2011. №1. – S. 104-107.
5. Shevchenko A.A., Denisenko E.A. Tehnologii dezinfekcii furazhnogo zerna i sub-stratov dlja bioproizvodstva. Nauchno-tehnicheskoe tvorchestvo molodezhi – put' k obshhestvu, osnovannomu na znaniyah // Sb. dokladov III Mezhdunarodnoj nauch.-prakt. konf. – M.: tipografija MGSU, 2011. S. 309-311
6. Kurzyn N.N., Normov D.A., Pozhidaev D.V. Balans pogloshhenija ozona pri detoksikacii zerna. Informacionno-upravljajushhie sistemy v APK. Mat. Mezhdunarodnogo nauchno-prakticheskogo seminar, posvjashhenogo 90-letiju professora V.T. Sergo-vanceva 25 ijunya 2012 g. Moskva: MGAU im. V.P. Gorjachkina 2012.- S. 39-41

7. Normov D.A., Shevchenko A.A., Denisenko E.A. Ispol'zovanie ozona pri proizvodstve biodobavok dlja vyrashhivaniya zhivotnyh. Informacionno-upravljajushhie sistemy v APK. Mat. Mezhdunarodnogo nauchno-prakticheskogo seminar, posvjashhennogo 90-letiju professora V.T. Sergovanceva 25 ijunja 2012 g. Moskva: MGAU im. V.P. Gorjachkina 2012. - S. 37-39