

УДК 621.38

UDC 621.38

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ОЗОНОВОЗДУШНОЙ СМЕСИ В СЛОЕ ЗЕРНА**DISTRIBUTION OF OZONE-AIR MIX IN A GRAIN LAYER**

Нормов Дмитрий Александрович
normov.d.a.@mail.ru

Normov Dmitry Aleksandrovich
normov.d.a.@mail.ru

Шевченко Андрей Андреевич
доцент, mnpkkgau@mail.ru
Кубанский государственный аграрный университет, Краснодар, Россия

Shevchenko AndreyAndreevich
associate professor
mnpkkgau@mail.ru
Kuban state agrarian university, Krasnodar, Russia

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

In this article the questions connected with distribution of ozone at disinfection of fodder grain and drawing up balance of an expenditure of ozone were revealed. The work contains the theoretically received dependences which were confirmed experimentally

Ключевые слова: ОЗОНОВОЗДУШНАЯ СМЕСЬ, СТЕРИЛИЗАЦИЯ КОРМОПРОДУКТОВ, ГЕНЕРАТОР ОЗОНА

Keywords: OZONE-AIR MIX, STERILIZATION OF FEEDING PRODUCTS, OZONE GENERATOR

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

Рассмотрев процесс дезинфекции фуражного зерна озоном можно отметить, что не весь объем выработанной озоноздушной смеси используется для разложения микроорганизмов и токсинов [4]. Для создания технологии обеззараживания зерна озоном необходимым рассмотреть данный вопрос более подробно.

При обеззараживании фуражного зерна количество подаваемого озона можно условно разделить на 4 части [2]: 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., $Q_2 = f(t, \varphi, p)$), 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 [3, 5]:

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

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.

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 1).

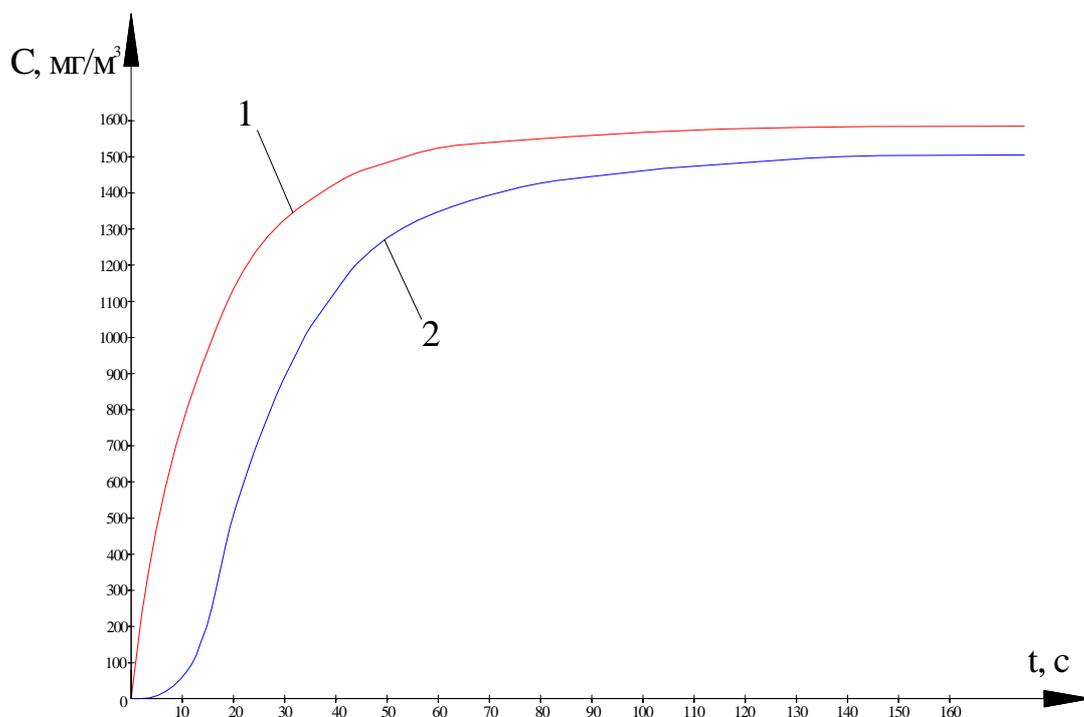


Рисунок 1 – Изменение концентрации озона: 1- на входе в емкость, 2 - при прохождении озоновоздушной смеси через 1 кг пшеницы (на выходе из емкости).

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. Данное изменение можно отразить графически (рисунок 2)

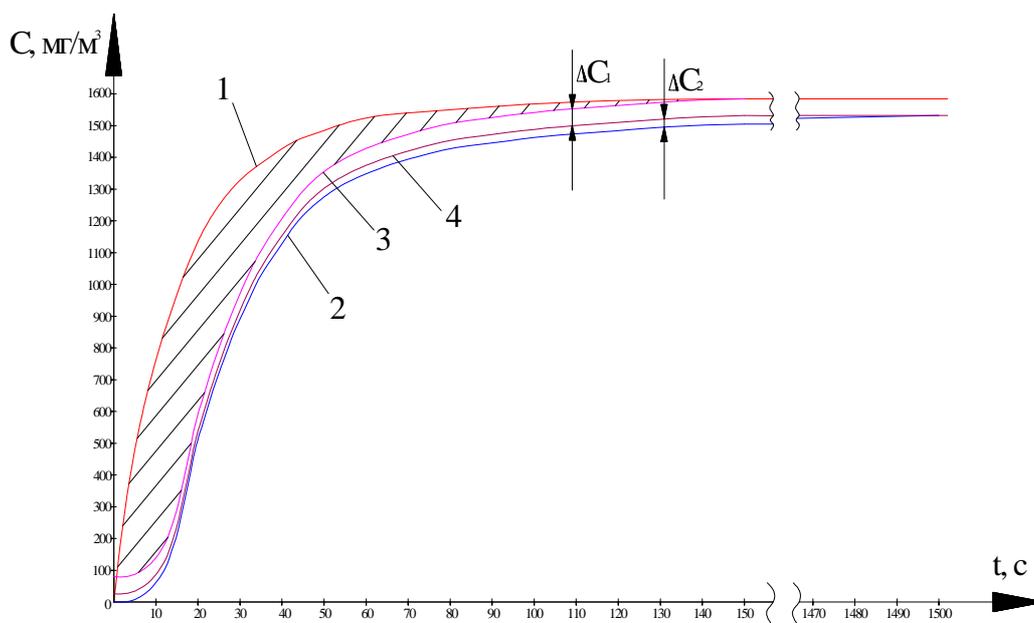


Рисунок 2 – Площадь поглощения озона зерном пшеницы

Анализируя полученные графики, можно сделать вывод, что произведение площади, ограниченной кривыми 1 и 3 (рисунок 2), на расход озоновоздушной 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, мг·с/м³; T – расход озоновоздушной смеси, м³/с.

Из рисунка 2 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, мг/м^3 ; ΔC_2 – разница концентраций озона, затрачиваемого на разложение токсинов, содержащихся в зерне, мг/м^3 .

Для вычисления площади S' была использована программа Advanced Grapher. Для аппроксимации экспериментальные кривые разбиваются на 4 части, как показано на рисунке 3. Это делается ввиду невозможности аппроксимации зависимостей целиком из-за сложности функций описывающих эту кривизну.

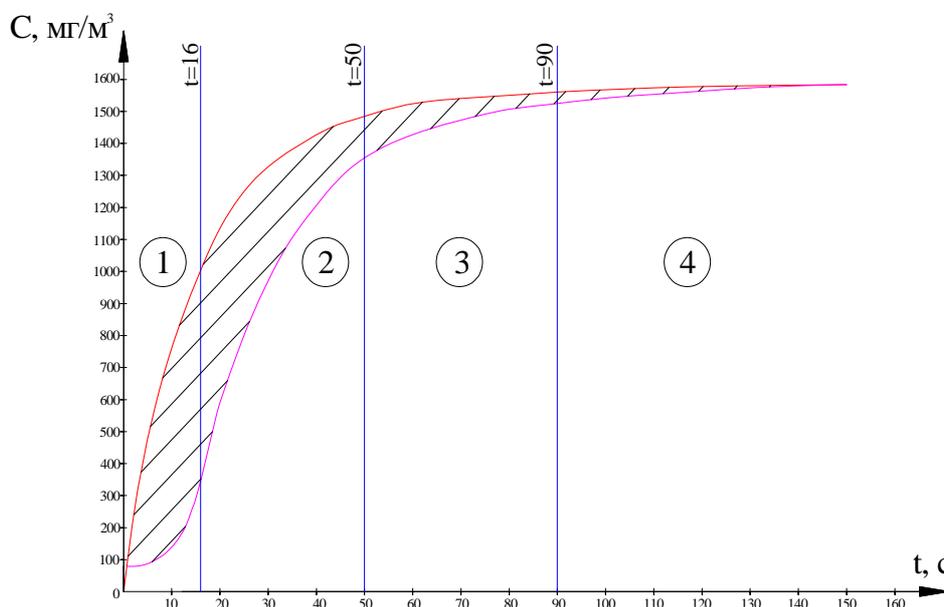


Рисунок 3 – Аппроксимирование зависимостей

На основании рисунка 3 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, $\text{мг}\cdot\text{с/м}^3$.

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 4), 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 озоновоздушной смеси, $\text{м}^3 / \text{с}$.

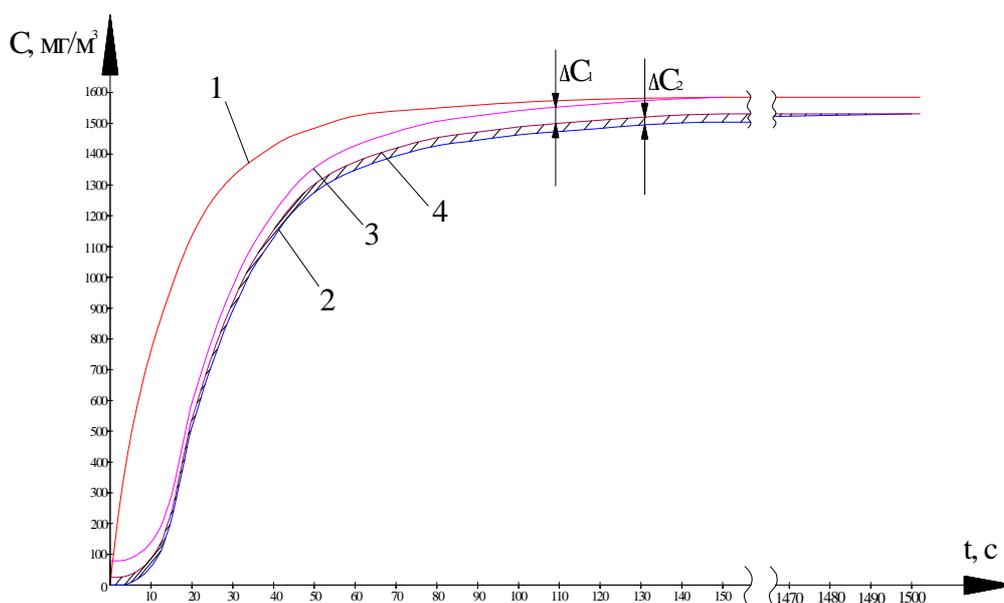


Рисунок 4 – Площадь разложения токсинов озоном

Из рисунка 4 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 5. 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, мг·с/м³.

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 $S''_1 = 416 \text{ мг} \cdot \text{с/м}^3$, $S''_2 = 883 \text{ мг} \cdot \text{с/м}^3$, $S''_3 = 2717 \text{ мг} \cdot \text{с/м}^3$, $S''_4 = 17550 \text{ мг} \cdot \text{с/м}^3$. Таким образом

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

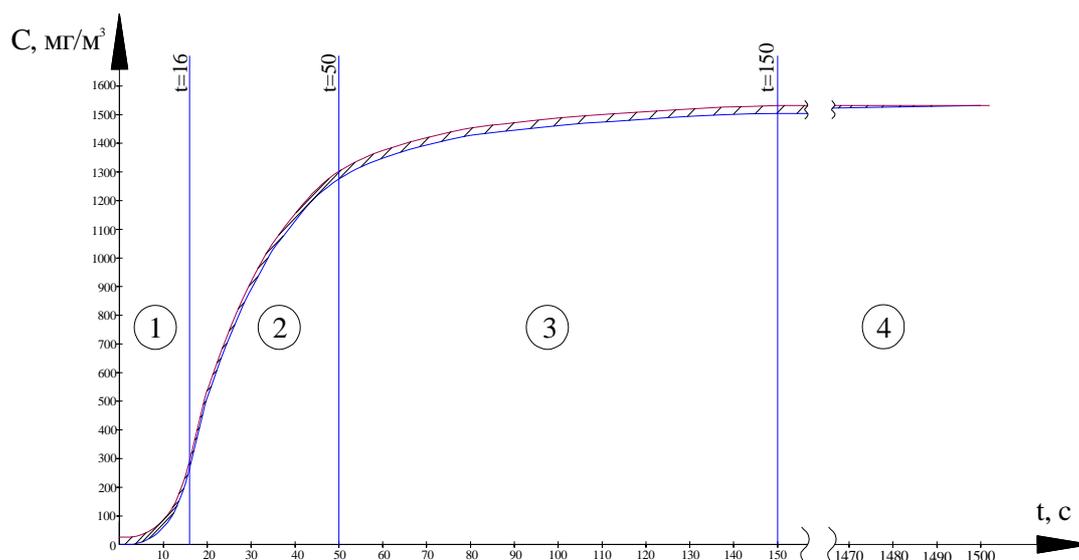


Рисунок 5 – Аппроксимирование зависимостей

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 (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 $48,8 \text{ мкг/кг}$ и Зеараленона $140,6 \text{ мкг/кг}$. На рисунке 4 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, по данным которого были получены следующие зависимости (рисунок б).

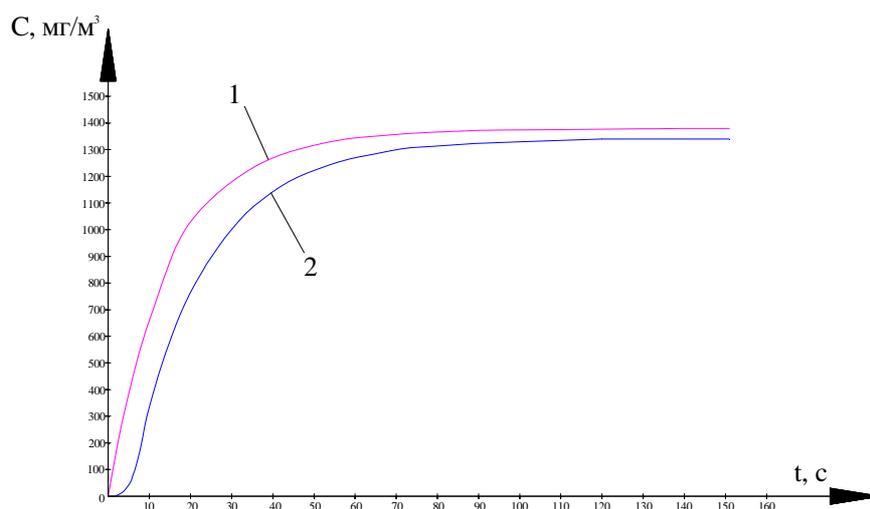


Рисунок 6 – Изменение концентрации озона при дезинфекции зерна кукурузы: 1- на входе в емкость, 2 - при прохождении озоновоздушной смеси через 1 кг кукурузы (на выходе из емкости).

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 7).

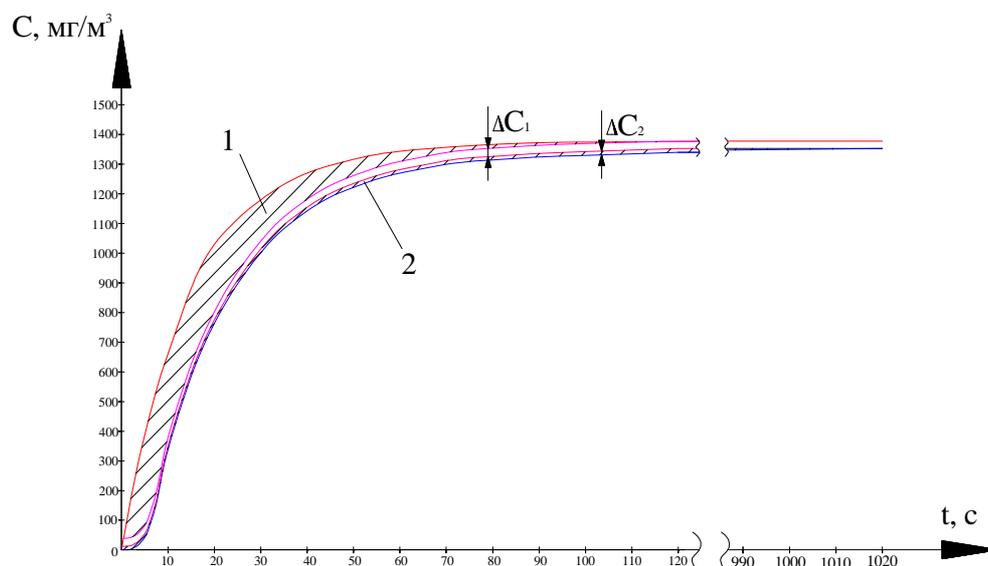


Рисунок 7 – Площадь, определяющая дозу озона, поглощаемого активной поверхностью зерен кукурузы и площадь, определяющая дозу озона, затрачиваемого на разложение токсинов (соответственно 1 и 2)

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 конкретное количество озона пошедшее на разложение каждого из токсинов в отдельности – что является одним из предметов дальнейших исследований.

Литература

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

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. Jekologicheski chistyj sposob obezzarazhivanija kormov. Nauchno-tehnicheskij i informacionno-analiticheskij zhurnal «Chrezvychajnye situacii» Krasnodar: KSJeI, 2009. - S. 66-73

4. Shevcheko 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. Shevcheko A.A., Denisenko E.A. Tehnologii dezinfekcii furazhnogo zerna i substratov dlja bioproizvodstva. Nauchno-tehnicheskoe tvorcestvo molodezhi – put' k obshhestvu, osnovannomu na znanijah // Sb. dokladov III Mezhdunarodnoj nauch.-prakt. konf. – M.: tipografija MGSU, 2011. S. 309-311