

УДК 62-932.2

UDC 62-932.2

06.02.00 Ветеринария и Зоотехния

Veterinary sciences

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ
ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ ОЗОНА НА
ВЫЖИВАЕМОСТЬ ПАТОГЕННЫХ
МИКРООРГАНИЗМОВ,
КОНТАМИНИРУЮЩИХ СКОРЛУПУ
ИНКУБАЦИОННЫХ ЯИЦ**

**EXPERIMENTAL RESEARCHES OF OZONE
INFLUENCE ON SURVIVAL OF
PATHOGENIC MICROORGANISMS
CONTAMINATING INCUBATING EGG
SHELL**

Волошин Александр Петрович
старший преподаватель

Voloshin Aleksandr Petrovich
senior lecturer

Волошин Сергей Петрович
аспирант 2-го года обучения
*Кубанский государственный аграрный
университет, Краснодар, Россия*

Voloshin Sergey Petrovich
second-year postgraduate
Kuban State Agrarian University, Krasnodar, Russia

В статье представлены экспериментальные исследования, описывающие влияние параметров электроозонирования помещения яйцесклада при концентрации озона 20 мг/м³ на выживаемость следующих возбудителей: *S. aureus*, *S. choleraesuis*, *P. vulgaris*, *E. coli*. Установлено, что озон имеет способность задерживать рост грибков на биологических субстратах, также замедляет процесс появления плесени на поверхности скорлупы яиц даже при 90 % относительной влажности. Целью научного эксперимента является получение регрессионных моделей влияния параметров электроозонирования на основные санитарно-показательные микроорганизмы, контаминирующие скорлупу инкубационных яиц. Для оценки эффективности озонирования принят параметр выживаемости для четырёх основных патогенных микробиологических тест-объектов, которые преобладают на скорлупе яиц. Корреляционный и регрессионный анализ факторов и определение значимости коэффициентов уравнений были проведены при помощи программы STATISTICA 6.1. Корреляционный анализ осуществлен методом Пирсона. Аппроксимация была получена методом полинома. По результатам исследований установлено, что наименьшая выживаемость рассматриваемых тест-бактерий при концентрации озона 20 мг/м³ достигается при экспозиции 84 минуты. Таким образом, рациональное время электротехнологического процесса озонирования яйцекладов птицефабрик представляет сумму полученной экспозиции и времени регуляции

In the article, there were shown the experimental researches describing the influence of parameters of electrical ozonization of the premises of egg storehouse at concentration of ozone in 20 mg/m³ on survival of following stimulants: *S. aureus*, *S. choleraesuis*, *P. vulgaris*, *E. coli*. There was determined that ozone has an ability to detain the growth of fungi on biological substrates as well as it slows down the process of mould appearance on egg shell surface even at 90% of relative moisture. The aim of scientific experiment is obtaining of regression models of influence of parameters of electrical ozonization on main sanitary-model microorganisms contaminating the shell of incubation eggs. To assess the effectiveness of ozonization there was adopted the parameter of survival for four main pathogenic microbiological test-objects which predominate on egg shells. The correlation and regression analysis of factors and determination of value of equation coefficients there were conducted using the program STATISTICA 6.1. The correlation analysis was made by the method of Pierson. Approximation was obtained by the method of polynomial. On the results of researches there was determined that the least survival of present test-bacteria at concentration of ozone in 20 mg/m³ is achieved at exposition 84 minutes. So, the rational time the electrical technological process of ozonization of egg storehouse of poultry factories presents the sum of obtained exposition and time of regulation

Ключевые слова: ОЗОНАТОР, ТЕСТ-БАКТЕРИИ, КОНЦЕНТРАЦИЯ ОЗОНА, ПАРАМЕТРЫ ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ОЗОНИРОВАНИЯ

Keywords: OZONATOR, TEST-BACTERIA, OZONE CONCENTRATION, PARAMETERS OF ELECTRO-TECHNOLOGICAL PROCESS OF OZONIZATION

Doi: 10.21515/1990-4665-135-009

На современном этапе птицеводство в Российской Федерации отмечается высокой концентрацией поголовья, наивысшей механизацией и автоматизацией технологических процессов. Однако продолжается рост числа специализированных предприятий, соответственно увеличивается поголовье птицы. В настоящее время часто встречаются птицефабрики с числом кур-несушек или количеством птицемест для выращивания бройлеров больше миллиона.

Для достижения высокоэффективного производства в отрасли птицеводства требуется разработка и внедрение результативных программ развития птицепродуктового подкомплекса в регионах с учетом отраслевых особенностей, совершенствования методических подходов к определению эффективных механизмов по внедрению наукоемких технологий, обеспечение инновационно-инвестиционной направленности развития предприятий и повышения эффективности отрасли.

Получение максимального количества суточного молодняка в значительной степени зависит от дезинфекции инкубационных яиц, которая в комплексе ветеринарно-санитарных мероприятий; проводимых в птицеводческих хозяйствах по предупреждению и ликвидации заразных болезней птиц, занимает важное место. Особенно следует отметить значение санитарно-профилактических мероприятий в предынкубационный период, несоблюдение которых может содействовать распространению ряда инфекционных заболеваний и снижению выводимости.

Наряду с использованием распространенных средств дезинфекции, в настоящее время благополучно применяют обработку инкубационных яиц озонозонодушной смесью.

Перспектива применения озона в промышленном птицеводстве обусловлена его преимуществами, которыми он характеризуется в сравнении с другими химическими веществами. Установлено, что озон имеет особенной способностью задерживать рост грибков на биологических субстратах, также замедляет процесс появления плесени на поверхности скорлупы яиц даже при 90 % относительной влажности, (3). Воздействие озона на микроорганизмы в разнообразных средах неодинаково. К примеру, озон в концентрации 1 мг/м^3 оказывает большое воздействие на частицы бактерий капельной фазы. При концентрации озона в озоновоздушной смеси 5 мг/м^3 и более микроорганизмы, находящиеся в частицах пыли, подвергаются пагубному воздействию озона. Результативность действия озона на болезнетворные микробы повышается с увеличением концентрации озона в воздухе и времени обработки (3, 7).

Целью научного эксперимента является получение регрессионных моделей влияния параметров электроозонирования на основные санитарно-показательные микроорганизмы, находящимися на скорлупе яиц. Для достижения поставленной цели произведено планирование эксперимента.

В качестве независимых переменных приняты основные параметры электроозонирования:

x_1 – концентрация озона в озоновоздушной смеси, мг/м^3 (3 уровня – 7, 12, 25);

x_2 – время воздействия t , мин (4 уровня – 15, 30, 60, 120).

Для оценки эффективности озонирования принят параметр выживаемости для четырёх основных патогенных микробиологических тест-объектов, которые преобладают на скорлупе яиц. Параметр выживаемости представляет собой отношение числа колониеобразующих единиц (КОЕ) после воздействия препаратом n_1 к числу

колониеобразующих единиц до воздействия n_0 одного посева и выражается в процентах.

$$k_N = \frac{n_1}{n_0} \cdot 100\% , \quad (1)$$

Таким образом, в качестве зависимых переменных приняты:

$y_1 - k_{N1}$ значение параметра выживаемости *S. aureus*, %;

$y_2 - k_{N2}$ значение параметра выживаемости *S. choleraesuis*, %;

$y_3 - k_{N3}$ значение параметра выживаемости *P. vulgaris*, %;

$y_4 - k_{N4}$ значение параметра выживаемости *E. coli*, %.

Применение независимых переменных с неравными интервалами варьирования обосновано для опытов с микробиологическими объектами, так как максимальное отклонение отклика ожидается именно на 2-4-м уровнях, а максимальный эффект на последних уровнях. Использование первого уровня фактора, равного нулевому значению, обосновано необходимостью значительного числа контрольных замеров, которые используются для исходных данных при определении среднего значения параметра выживаемости. Таким образом, получаем матрицу для описательного эксперимента с двумя зависимыми переменными. Повторность опыта трехкратная. Экспериментальные данные представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Экспериментальные данные влияния параметров электроозонирования на санитарно-показательные бактерии

№ опыта	Время обработки, мин	Концентрация озона, мг/м ³	Выживаемость <i>S. aureus</i> , %	Выживаемость <i>S. choleraesuis</i> , %	Выживаемость <i>P. vulgaris</i> , %	Выживаемость <i>E. coli</i> , %
1	15	7	35	70	61	75
2	30	7	15	54	35	47
3	60	7	5	18	9	39
4	120	7	0	5	1	19
5	15	12	22	44	43	61
6	30	12	10	36	17	20
7	60	12	0	10	9	15
8	120	12	0	1	0	7
9	15	25	4	26	10	43
10	30	25	0	13	6	10
11	60	25	0	0	3	6
12	120	25	0	0	0	0

Корреляционный и регрессионный анализ факторов и определение значимости коэффициентов уравнений были проведены при помощи программы STATISTICA 6.1. Корреляционный анализ осуществлен методом Пирсона. Аппроксимация была получена методом полинома.

На базе регрессионного анализа получена модель, которая в общем виде будет представлена в виде полинома второй степени:

$$y_i = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_4x_1x_2 + b_3x_1^2 + b_5x_2^2, \quad (2)$$

где, $b_0 \dots b_5$ – коэффициенты модели.

Результаты проведённого регрессионного анализа влияния параметров озонирования скорлупы яиц на выживаемость *S. aureus* приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты регрессионного анализа влияния параметров озонирования скорлупы яиц на выживаемость *S. aureus*.

Суммарная регрессия для зависимой переменной y : $R= 0,91$ $R^2= 0,85$; $F(5,6)=13,530$ $p<0,00323$;						
	$Beta$ – коэффициент	Стандартная ошибка для $Beta$ – коэффициент	B – коэффициент	Стандартная ошибка для B – коэффициента	Критерий Стьюдента t (3)	p – уровень вероятности
Шаг			56,91490	10,63808	5,35011	0,001744
x_1	-3,38240	0,639763	-0,90358	0,17091	-5,28695	0,001853
x_2	-1,81420	1,003212	-2,56899	1,42060	-1,80839	0,120543
x_1x_2	1,01035	0,301473	0,01375	0,00410	3,35138	0,015393
x_1^2	2,05846	0,598793	0,00388	0,00113	3,43768	0,013840
x_2^2	0,79739	0,989884	0,03397	0,04218	0,80553	0,451246

В результате проведённого исследования получена регрессионная модель, представленная уравнением:

$$y_1 = 56,91490 - 3,38240 \cdot x_1 - 1,81420 \cdot x_2 + 2,05846 \cdot x_1^2 + 1,01035x_1 \cdot x_2 + 0,79739 \cdot x_2^2 \quad (3)$$

Данное уравнение описывает влияние параметров озонирования скорлупы яиц на выживаемость *S. aureus*. Коэффициент детерминации составил не менее 85%, что свидетельствует о высоком качестве полученной модели. Произведен расчет критерия Фишера, табличное значение которого, при принятом уровне значимости 0,05, составило 5,6, а расчетное значение не менее 13,53, что подтверждает адекватность модели.

Проведена проверка значимости оценок параметров модели по критерию Стьюдента, незначимые параметры были убраны. В ходе испытаний модели, установлено, что она воспроизводит абсолютные значения с ошибкой не более чем в 0,1.

Для дальнейшего применения наиболее удобно использовать эмпирическую математическую модель, которая представлена полиномом второй степени в выражении (4). Полученная математическая модель даёт возможность проанализировать влияние времени обработки скорлупы яиц

озоном (x_1) и концентрации озона (x_2) в абсолютных единицах на выживаемость *S. aureus* (y_1).

$$y_1 = 56,91490 - 0,90358 \cdot x_1 - 2,56899 \cdot x_2 + 0,00388 \cdot x_1^2 + 0,01375x_1 \cdot x_2 + 0,03397 \cdot x_2^2 \quad (4)$$

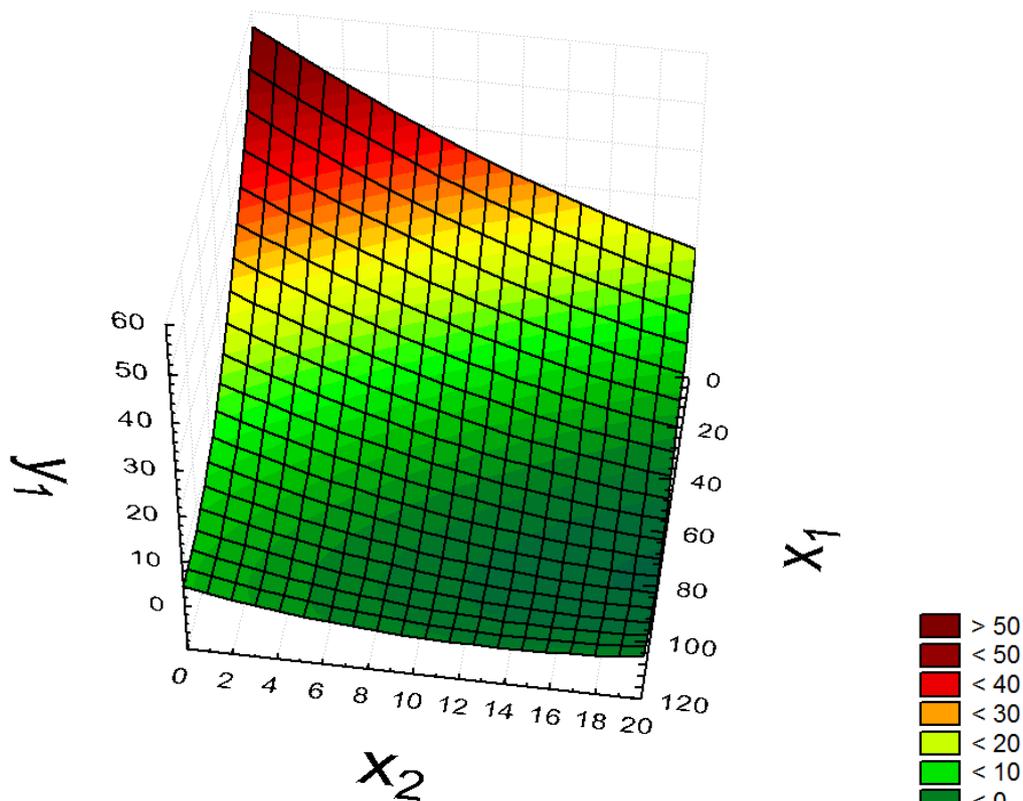


Рисунок 1 – Диаграмма влияния времени обработки (x_1) и концентрации озона (x_2) на выживаемость *S. aureus* (y_1).

Проведённый анализ экспериментально полученных в ходе эксперимента значений зависимой переменной y_1 и предполагаемых значений данной переменной регрессионной моделью представлен в таблице 3 и графически изображен на рисунках 1 и 2.

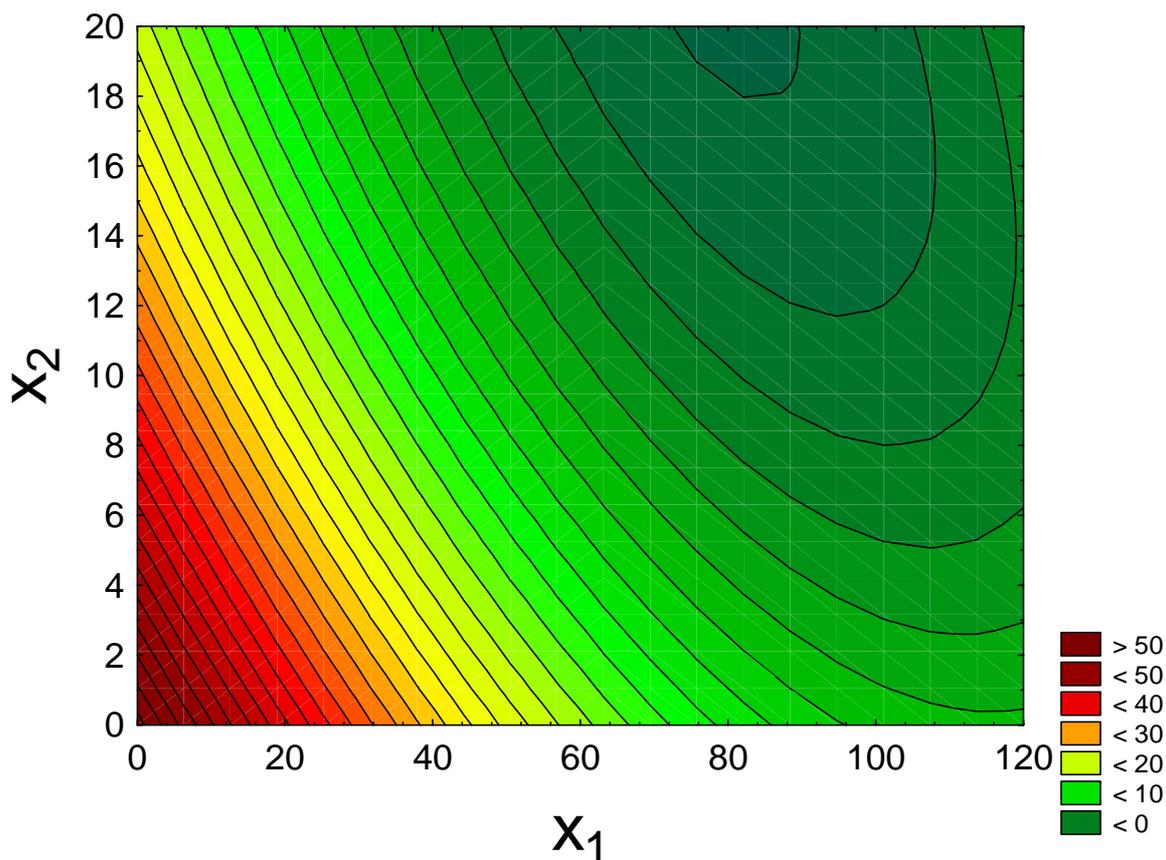


Рисунок 2 – Диаграмма влияния времени обработки (x_1) и концентрации озона (x_2) на проекцию поля выживаемости *S. aureus* (y_1).

Таблица 3 – Данные анализа полученной модели зависимой переменной y_1 .

Case N	Observed Value	Predicted Value	Residual	Standard Predicted	Standard Residual	Standard Error Predicted Value	Mahalanobis Distance	Deleted Residual	Cook Distance
1	35,00000	29,36051	5,63949	2,02506	1,30053	3,129124	4,811318	11,7667	0,639048
2	15,00000	19,87164	-4,87164	1,14269	-1,12346	2,473999	2,663928	-7,2227	0,150513
3	5,00000	6,13585	-1,13585	-0,13460	-0,26194	2,902568	4,011904	-2,0579	0,016818
4	0,00000	-0,36800	0,36800	-0,73939	0,08487	3,661000	6,924047	1,2813	0,010372
5	22,00000	20,77441	1,22559	1,22664	0,28264	2,882951	3,945509	2,1965	0,018901
6	10,00000	12,31685	-2,31685	0,44017	-0,53429	2,349750	2,313311	-3,2800	0,028000
7	0,00000	0,64368	-0,64368	-0,64532	-0,14844	2,900460	4,004748	-1,1648	0,005381
8	0,00000	-1,73494	1,73494	-0,86651	0,40010	3,141339	4,856123	3,6510	0,062004
9	4,00000	6,40056	-2,40056	-0,10999	-0,55360	3,341617	5,615683	-5,9105	0,183883
10	0,00000	0,62440	-0,62440	-0,64711	-0,14400	2,584082	2,989662	-0,9683	0,002951
11	0,00000	-5,68598	5,68598	-1,23391	1,31125	2,904525	4,018551	10,3129	0,422952
12	0,00000	2,66101	-2,66101	-0,45773	-0,61366	4,084968	8,845216	-23,6416	4,396499
Минимум	0,00000	-5,68598	-4,87164	-1,23391	-1,12346	2,349750	2,313311	-23,6416	0,002951
Максимум	35,00000	29,36051	5,68598	2,02506	1,31125	4,084968	8,845216	11,7667	4,396499
Среднее	7,58333	7,58333	0,00000	0,00000	0,00000	3,029698	4,583333	-1,2531	0,494777
Медиана	2,00000	4,39843	-0,63404	-0,29616	-0,14622	2,903546	4,015227	-1,0665	0,045002

Так как разработанная система озонирования яйцеклада обеспечивает концентрацию озона 20 ± 1 мг/м³, то определим рациональный режим обработки при концентрации 19 мг/м³. Минимальное значение выживаемости *S. aureus* достигается при времени обработки 72 минуты.

Результаты регрессионного анализа влияния параметров озонирования скорлупы яиц на выживаемость *S. choleraesuis* приведены в таблице 4.

Таблица 4 – Результаты регрессионного анализа влияния параметров озонирования скорлупы яиц на выживаемость *S. choleraesuis*.

Суммарная регрессия для зависимой переменной y : $R= 0,93$; $R^2= 0,87$; $F(5,6)=16,09$; $p<0,00202$;						
	<i>Beta</i> – коэффициент	Стандартная ошибка для <i>Beta</i> – коэффициент	<i>B</i> – коэффициент	Стандартная ошибка для <i>B</i> – коэффициента	Критерий Стьюдента t (3)	p – уровень вероятности
Шаг			124,5265	10,30240	12,08713	0,000019
x_1	-2,93063	0,298942	-1,6226	0,16551	-9,80332	0,000065
x_2	-1,98797	0,468771	-5,8344	1,37577	-4,24081	0,005435
x_1x_2	0,71495	0,140869	0,0202	0,00397	5,07524	0,002276
x_1^2	1,68487	0,279798	0,0066	0,00109	6,02174	0,000946
x_2^2	1,13243	0,462543	0,1000	0,04085	2,44826	0,049909

В результате проведённого исследования получена регрессионная модель, представленная уравнением:

$$y_2 = 124,5265 - 2,93063 \cdot x_1 - 1,98797 \cdot x_2 + 1,68487 \cdot x_1^2 + 0,71495x_1 \cdot x_2 + 1,13243 \cdot x_2^2 \quad (5)$$

Данное уравнение описывает влияние параметров озонирования скорлупы яиц на выживаемость *S. choleraesuis*. Коэффициент детерминации составил не менее 87 %, что свидетельствует о высоком качестве полученной модели. Произведен расчет критерия Фишера, табличное значение которого, при принятом уровне значимости 0,05, составило 5,5, а расчетное значение не менее 16,09, что подтверждает адекватность модели.

Проведена проверка значимости оценок параметров модели по критерию Стьюдента, незначимые параметры были убраны. В ходе

испытаний модели, установлено, что она воспроизводит абсолютные значения с ошибкой не более чем в 0,1.

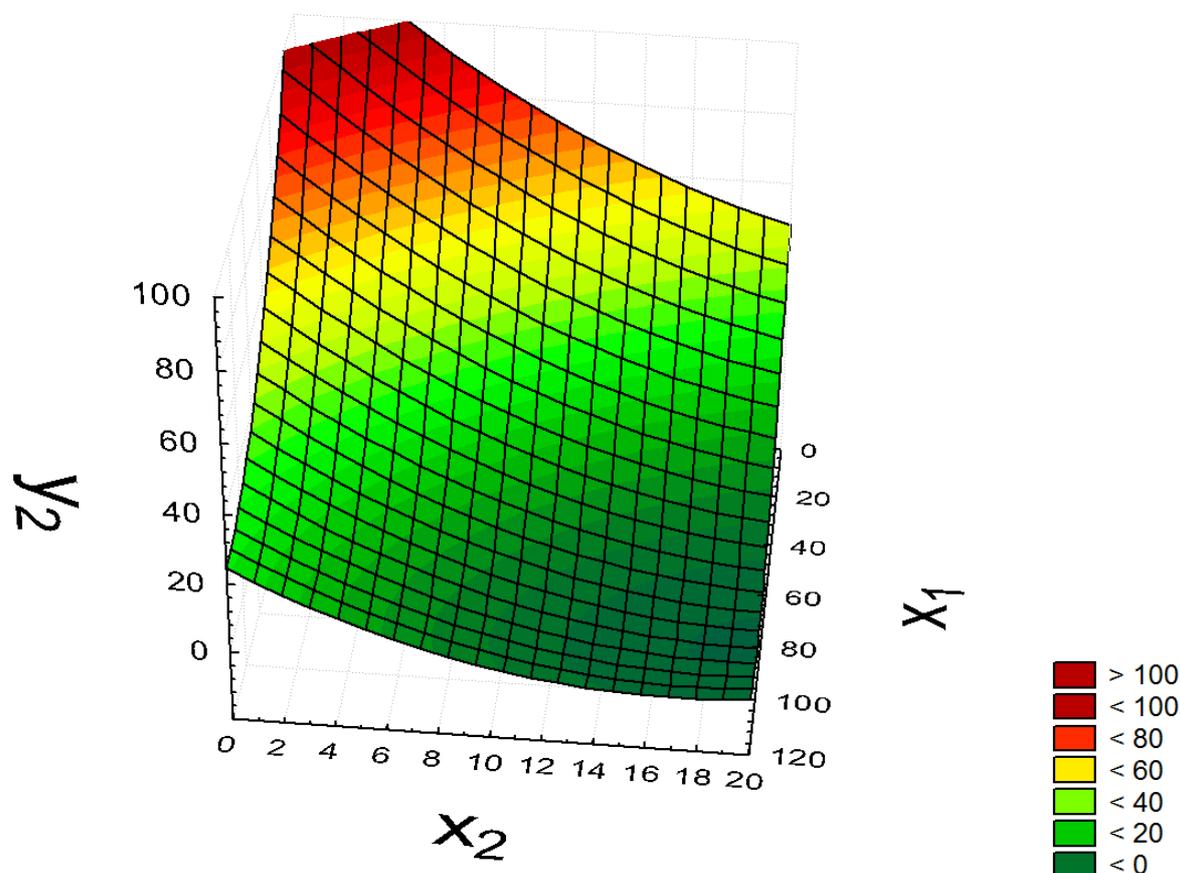


Рисунок 3 – Диаграмма влияния времени обработки (x_1) и концентрации озона (x_2) на выживаемость *S. choleraesuis* (y_2).

Для дальнейшего применения наиболее удобно использовать эмпирическую математическую модель, которая представлена полиномом второй степени в выражении (6). Полученная математическая модель даёт возможность проанализировать влияние времени обработки (x_1) и концентрации озона (x_2) в абсолютных единицах на выживаемость *S. choleraesuis* (y_2).

$$y_2 = 124,5265 - 1,6226 \cdot x_1 - 5,8344 \cdot x_2 + 0,0066 \cdot x_1^2 + 0,0202x_1 \cdot x_2 + 0,1 \cdot x_2^2 \quad (6)$$

Проведённый анализ экспериментально полученных в ходе эксперимента значений зависимой переменной y_2 и предполагаемых

значений данной переменной регрессионной моделью представлен в таблице 5 и графически изображен на рисунках 3 и 4.

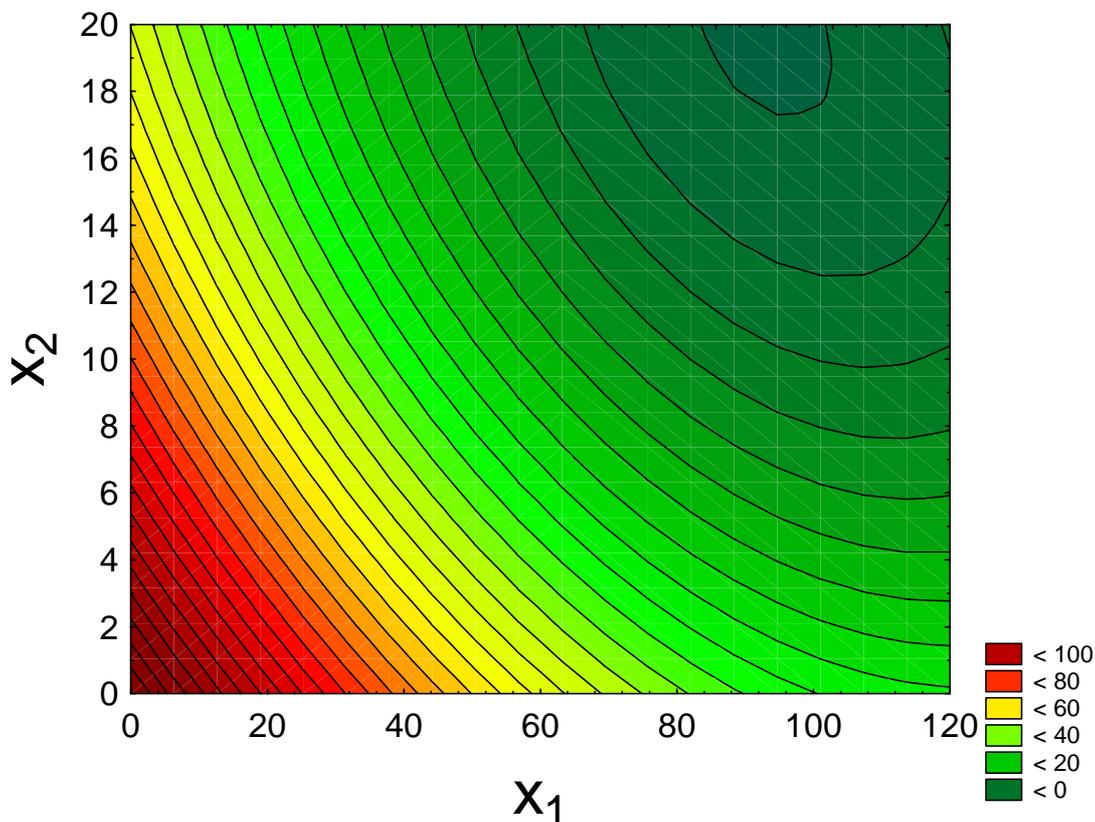


Рисунок 4 – Диаграмма влияния времени обработки (x_1) и концентрации озона (x_2) на проекцию поля выживаемости *S. choleraesuis* (y_2).

Таблица 5 – Данные анализа полученной модели зависимой переменной y_2 .

Case N	Observed Value	Predicted Value	Residual	Standard Predicted	Standard Residual	Standard Error Predicted Value	Mahanan obis Distance	Deleted Residual	Cook Distance
1	70,00000	67,84655	2,15345	1,94221	0,51279	3,030386	4,811318	4,4931	0,099351
2	54,00000	50,07146	3,92854	1,17097	0,93549	2,395933	2,663928	5,8244	0,104360
3	18,00000	23,41375	-5,41375	0,01434	-1,28916	2,810979	4,011904	-9,8084	0,407372
4	5,00000	5,66823	-0,66823	-0,75562	-0,15912	3,545479	6,924047	-2,3266	0,036466
5	44,00000	49,68716	-5,68716	1,15430	-1,35426	2,791981	3,945509	-10,1923	0,433958
6	36,00000	33,42458	2,57542	0,44869	0,61328	2,275604	2,313311	3,6460	0,036890
7	10,00000	9,79188	0,20812	-0,57670	0,04956	2,808937	4,004748	0,3766	0,000600
8	1,00000	-1,90362	2,90362	-1,08415	0,69143	3,042215	4,856123	6,1103	0,185173
9	26,00000	25,87274	0,12726	0,12103	0,03030	3,236173	5,615683	0,3133	0,000551
10	13,00000	13,54267	-0,54267	-0,41395	-0,12922	2,502542	2,989662	-0,8415	0,002377
11	0,00000	-2,22499	2,22499	-1,09809	0,52983	2,812874	4,018551	4,0356	0,069054
12	0,00000	1,80958	-1,80958	-0,92304	-0,43091	3,956069	8,845216	-16,0771	2,167800

Case N	Observed Value	Predicted Value	Residual	Standard Predicted	Standard Residual	Standard Error Predicted Value	Mahanan obis Distance	Deleted Residual	Cook Distance
Минимум	0,00000	-2,22499	-5,68716	-1,09809	-1,35426	2,275604	2,313311	-16,0771	0,000551
Максимум	70,00000	67,84655	3,92854	1,94221	0,93549	3,956069	8,845216	6,1103	2,167800
Среднее	23,08333	23,08333	0,00000	-0,00000	0,00000	2,934098	4,583333	-1,2039	0,295329
Медиана	15,50000	18,47821	0,16769	-0,19981	0,03993	2,811926	4,015227	0,3450	0,084202

При концентрации 19 мг/м³ минимальное значение выживаемости *S. choleraesuis* достигается при времени обработки 84 минуты.

Результаты регрессионного анализа влияния параметров озонирования на выживаемость *P. vulgaris* приведены в таблице 6.

Таблица 6 – Результаты регрессионного анализа влияния параметров озонирования на выживаемость *P. vulgaris*.

Суммарная регрессия для зависимой переменной y : $R= 0,92$; $R^2= 0,86$; $F(5,6)=15,039$; $p<0,00243$;						
	<i>Beta</i> - коэффициент	Стандартная ошибка для <i>Beta</i> - коэффициента	<i>B</i> - коэффициент	Стандартная ошибка для <i>B</i> - коэффициента	Критерий Стьюдента t (3)	p – уровень вероятности
Шаг			97,70398	17,76103	5,50103	0,001513
x_1	-3,10372	0,609329	-1,45343	0,28534	-5,09366	0,002235
x_2	-1,64336	0,955489	-4,07926	2,37178	-1,71991	0,136241
x_1x_2	0,96233	0,287132	0,02296	0,00685	3,35154	0,015390
x_1^2	1,74877	0,570308	0,00578	0,00189	3,06636	0,022045
x_2^2	0,66086	0,942795	0,04936	0,07042	0,70096	0,509585

В результате проведенного исследования получена регрессионная модель, представленная уравнением:

$$y_3 = 97,70398 - 3,10372 \cdot x_1 - 1,64336 \cdot x_2 + 1,74877 \cdot x_1^2 + 0,96233x_1 \cdot x_2 + 0,66086 \cdot x_2^2 \quad (7)$$

Данное уравнение описывает влияние параметров озонирования на выживаемость *P. vulgaris*. Коэффициент детерминации составил не менее 86%, что свидетельствует о высоком качестве полученной модели. Произведен расчет критерия Фишера, табличное значение которого, при

принятом уровне значимости 0,05, составило 5,6, а расчетное значение не менее 15,039, что подтверждает адекватность модели.

Проведена проверка значимости оценок параметров модели по критерию Стьюдента, незначимые параметры были убраны. В ходе испытаний модели, установлено, что она воспроизводит абсолютные значения с ошибкой не более чем в 0,1.

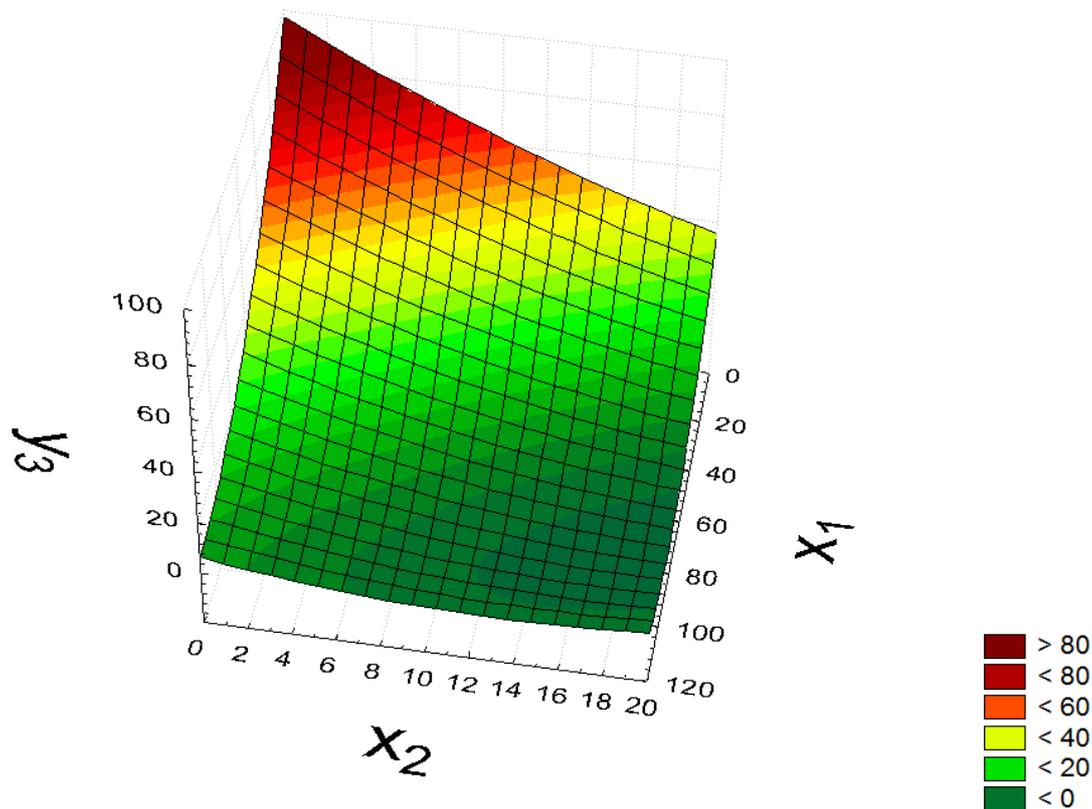


Рисунок 5 – Диаграмма влияния времени обработки (x_1) и концентрации озона (x_2) на выживаемость *P. vulgaris* (y_3).

Для дальнейшего применения наиболее удобно использовать эмпирическую математическую модель, которая представлена полиномом второй степени в выражении (8). Полученная математическая модель даёт возможность проанализировать влияние времени обработки (x_1) и концентрации озона (x_2) в абсолютных единицах на выживаемость *P. vulgaris* (y_3).

$$y_3 = 97,703983 - 1,45343 \cdot x_1 - 4,07926 \cdot x_2 + 0,00578 \cdot x_1^2 + 0,02296x_1 \cdot x_2 + 0,04936 \cdot x_2^2 \quad (8)$$

Проведённый анализ экспериментально полученных в ходе эксперимента значений зависимой переменной y_3 и предполагаемых значений данной переменной регрессионной моделью представлен в таблице 7 и графически изображен на рисунках 5 и 6.

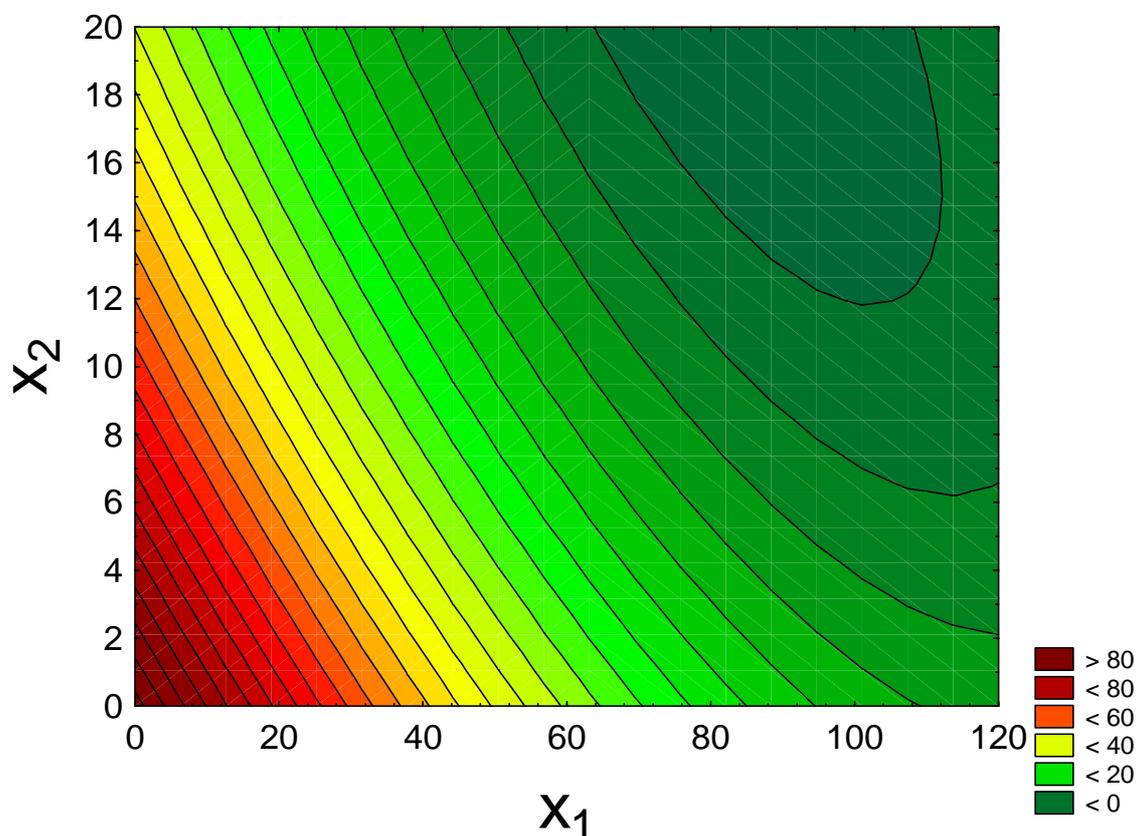


Рисунок 6 – Диаграмма влияния времени обработки (x_1) и концентрации озона (x_2) на проекцию поля выживаемости *P. vulgaris* (y_3).

Таблица 7 – Данные анализа полученной модели зависимой переменной y_3 .

Case N	Observed Value	Predicted Value	Residual	Standard Predicted	Standard Residual	Standard Error Predicted Value	Mahanan obis Distance	Deleted Residual	Cook Distance
1	61,00000	53,47798	7,52202	1,97117	1,03899	5,224295	4,811318	15,6946	0,407861
2	35,00000	37,99039	-2,99039	1,15295	-0,41305	4,130516	2,663928	-4,4335	0,020345
3	9,00000	14,82165	-5,82165	-0,07106	-0,80412	4,846043	4,011904	-10,5475	0,158499
4	1,00000	-0,29002	1,29002	-0,86941	0,17819	6,112298	6,924047	4,4916	0,045726
5	43,00000	39,49269	3,50731	1,23232	0,48445	4,813291	3,945509	6,2857	0,055532
6	17,00000	25,72702	-8,72702	0,50508	-1,20543	3,923074	2,313311	-12,3548	0,142522
7	9,00000	6,00213	2,99787	-0,53700	0,41409	4,842524	4,004748	5,4250	0,041870
8	0,00000	-2,22184	2,22184	-0,97147	0,30690	5,244688	4,856123	4,6756	0,036481

9	10,00000	14,68094	-4,68094	-0,07849	-0,64656	5,579066	5,615683	-11,5251	0,250826
10	6,00000	5,39227	0,60773	-0,56921	0,08394	4,314308	2,989662	0,9424	0,001003
11	3,00000	-5,37862	8,37862	-1,13824	1,15731	4,849310	4,018551	15,1967	0,329470
12	0,00000	4,30541	-4,30541	-0,62663	-0,59469	6,820144	8,845216	-38,2512	4,128903
Минимум	0,00000	-5,37862	-8,72702	-1,13824	-1,20543	3,923074	2,313311	-38,2512	0,001003
Максимум	61,00000	53,47798	8,37862	1,97117	1,15731	6,820144	8,845216	15,6946	4,128903
Среднее	16,16667	16,16667	0,00000	-0,00000	0,00000	5,058296	4,583333	-2,0334	0,468253
Медиана	9,00000	10,34153	0,94888	-0,30774	0,13106	4,847676	4,015227	2,7170	0,099027

Рисунок 6 показывает, что минимальное значение выживаемости *P. vulgaris* при концентрации 19 мг/м³ достигается при времени обработки 64 минуты.

Результаты регрессионного анализа влияния параметров озонирования на выживаемость *E. coli* приведены в таблице 8.

Таблица 8 – Результаты регрессионного анализа влияния параметров озонирования на выживаемость *E. coli*

Суммарная регрессия для зависимой переменной y : $R= 0,89$; $R^2= 0,80$; $F(5,6)=10,140$; $p<0,00687$;						
	<i>Beta</i> – коэффициент	Стандартная ошибка для <i>Beta</i> – коэффициент	<i>B</i> – коэффициент	Стандартная ошибка для <i>B</i> – коэффициента	Критерий Стьюдента t (3)	p – уровень вероятности
Шаг			136,8060	25,96033	5,26981	0,001884
x_1	-2,68680	0,729164	-1,5368	0,41707	-3,68477	0,010272
x_2	-2,46063	1,143401	-7,4604	3,46671	-2,15203	0,074897
x_1x_2	0,26826	0,343601	0,0078	0,01001	0,78072	0,464644
x_1^2	1,84390	0,682468	0,0074	0,00276	2,70182	0,035490
x_2^2	1,82929	1,128211	0,1669	0,10292	1,62140	0,156058

В результате проведённого исследования получена регрессионная модель, представленная уравнением:

$$y_4 = 136,8060 - 2,6868 \cdot x_1 - 2,46063 \cdot x_2 + 1,84390 \cdot x_1^2 + 0,26826x_1 \cdot x_2 + 1,82929 \cdot x_2^2 \quad (9)$$

Данное уравнение описывает влияние параметров озонирования на выживаемость *E. coli*. Коэффициент детерминации составил не менее 80%, что свидетельствует о высоком качестве полученной модели. Произведен расчет критерия Фишера, табличное значение которого, при принятом

уровне значимости 0,05, составило 5,6, а расчетное значение не менее 10,140, что подтверждает адекватность модели.

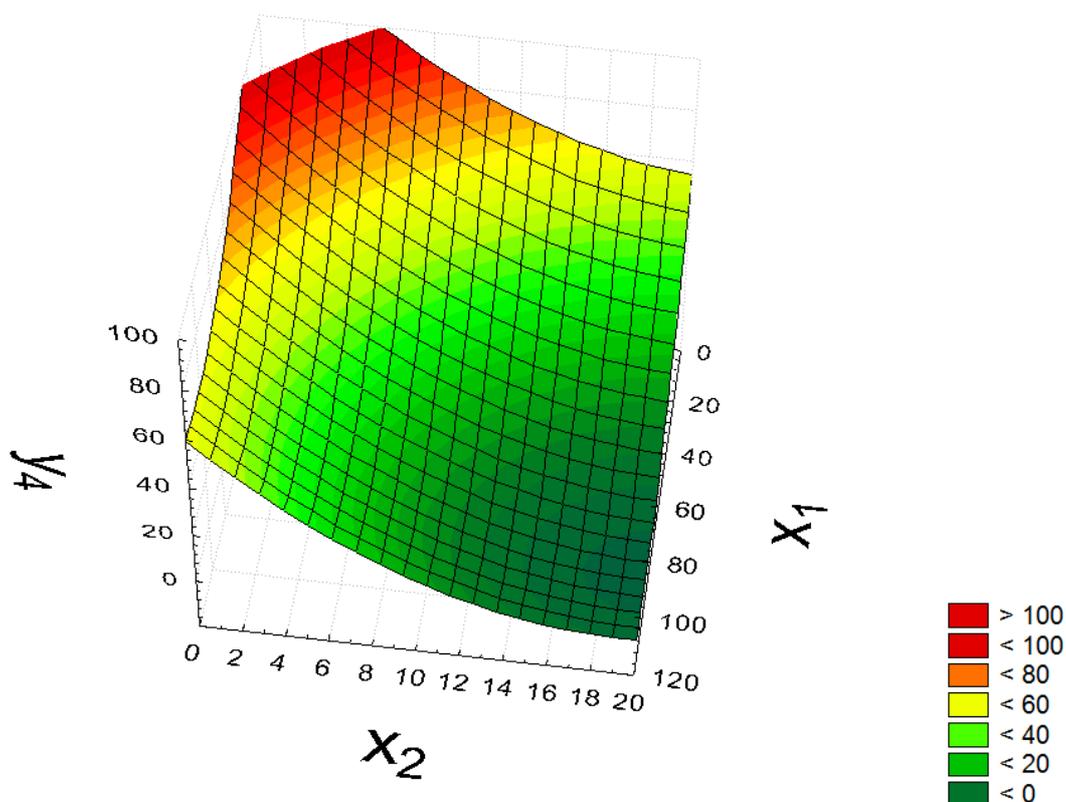


Рисунок 7 – Диаграмма влияния времени обработки (x_1) и концентрации озона (x_2) на выживаемость *E. coli* (y_4).

Проведена проверка значимости оценок параметров модели по критерию Стьюдента, незначимые параметры были убраны. В ходе испытаний модели, установлено, что она воспроизводит абсолютные значения с ошибкой не более чем в 0,1.

Для дальнейшего применения наиболее удобно использовать эмпирическую математическую модель, которая представлена полиномом второй степени в выражении (10). Полученная математическая модель даёт возможность проанализировать влияние времени обработки (x_1) и концентрации озона (x_2) в абсолютных единицах на выживаемость *E. coli* (y_4).

$$y_4 = 136,8060 - 1,5368 \cdot x_1 - 7,4604 \cdot x_2 + 0,0074 \cdot x_1^2 + 0,0078x_1 \cdot x_2 + 0,1669 \cdot x_2^2 \quad (10)$$

Проведённый анализ экспериментально полученных в ходе эксперимента значений зависимой переменной y_4 и предполагаемых значений данной переменной регрессионной моделью представлен в таблице 9 и графически изображен на рисунках 7 и 8.

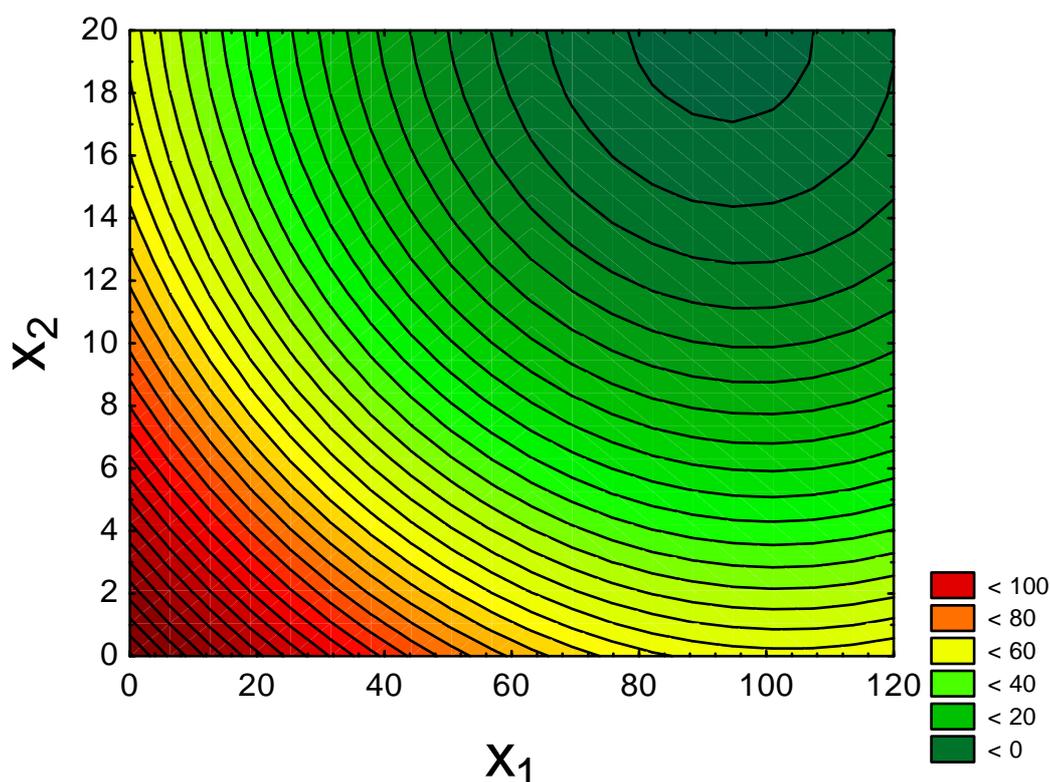


Рисунок 8 – Диаграмма влияния времени обработки (x_1) и концентрации озона (x_2) на проекцию поля выживаемости *E. coli* (y_4).

Установлено, что при концентрации 19 мг/м³ минимальное значение выживаемости *E. coli* достигается за 76 минут обработки.

Таблица 9 – Данные анализа полученной модели зависимой переменной y_4 .

Case N	Observed Value	Predicted Value	Residual	Standard Predicted	Standard Residual	Standard Error Predicted Value	Mahanan obis Distance	Deleted Residual	Cook Distance
1	75,00000	72,20443	2,7956	1,92379	0,26418	7,636065	4,811318	5,8329	0,026369
2	47,00000	55,00008	-8,0001	1,16648	-0,75601	6,037348	2,663928	-11,8609	0,068158
3	39,00000	30,64515	8,3549	0,09443	0,78954	7,083194	4,011904	15,1370	0,152802
4	19,00000	22,15034	-3,1503	-0,27950	-0,29771	8,934011	6,924047	-10,9689	0,127645
5	61,00000	51,34214	9,6579	1,00547	0,91267	7,035323	3,945509	17,3085	0,197095
6	20,00000	34,72408	-14,7241	0,27397	-1,39144	5,734141	2,313311	-20,8448	0,189899

7	15,00000	11,54172	3,4583	-0,74647	0,32681	7,078051	4,004748	6,2582	0,026081
8	7,00000	5,39206	1,6079	-1,01717	0,15195	7,665872	4,856123	3,3837	0,008943
9	43,00000	36,15020	6,8498	0,33675	0,64731	8,154613	5,615683	16,8652	0,251407
10	10,00000	21,05648	-11,0565	-0,32765	-1,04485	6,305987	2,989662	-17,1451	0,155372
11	6,00000	0,92281	5,0772	-1,21390	0,47980	7,087969	4,018551	9,2088	0,056628
12	0,00000	0,87050	-0,8705	-1,21620	-0,08226	9,968630	8,845216	-7,7340	0,079007
Минимум	0,00000	0,87050	-14,7241	-1,21620	-1,39144	5,734141	2,313311	-20,8448	0,008943
Максимум	75,00000	72,20443	9,6579	1,92379	0,91267	9,968630	8,845216	17,3085	0,251407
Среднее	28,50000	28,50000	-0,0000	-0,00000	-0,00000	7,393434	4,583333	0,4534	0,111617
Медиана	19,50000	26,39775	2,2018	-0,09254	0,20807	7,085582	4,015227	4,6083	0,103326

Анализируя диаграммы влияния рассматриваемых факторов на выживаемость всех исследуемых тест-бактерий (рис. 2, 4, 6 и 8), видно, что наименьшая выживаемость достигается при концентрации озона 20 ± 1 мг/м³ и экспозиции 84 минуты. Таким образом, рациональное время электротехнологического процесса озонирования яйцекладов птицефабрик представляет сумму полученной экспозиции и времени регулирования.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На базе экспериментальных исследований получены математические модели, описывающие влияние параметров электроозонирования помещения яйцесклада при концентрации озона 20 мг/м³ на выживаемость следующих возбудителей:

- *S. aureus*. Коэффициент детерминации составил 0,85. Инактивация тест-бактерий происходит при экспозиции 72 минуты.
- *S. choleraesuis*. Коэффициент детерминации составил 0,87. Инактивация тест-бактерий достигается при экспозиции 84 минуты.
- *P. vulgaris*. Коэффициент детерминации составил 0,86. Инактивация тест-бактерий происходит при экспозиции 64 минуты.
- *E. coli*. Коэффициент детерминации составил 0,80. Инактивация тест-бактерий достигается при экспозиции 76 минут.

Установлено, что наименьшая выживаемость рассматриваемых тест-бактерий при концентрации озона 20 мг/м^3 достигается при экспозиции 84 минуты. Значение в 84 минуты принято за время работы электроозонатора.

Список литературы

1. Бородин И.Ф. Совершенствование предынкубационной обработки куриных яиц / И.Ф. Бородин, В.Ф. Сторчевой // Техника в сел. хоз-ве. -2002. -№ 2. - С. 32-33.
2. Волошин А.П. Исследование показателей качества управления электротехнологическим процессом озонирования яйцескладов птицефабрик. Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2017. № 125. С. 429-442.
3. Волошин А.П. Параметры и режимы электротехнологического процесса озонирования яйцескладов птицефабрик. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Кубанский государственный аграрный университет им. И.Т. Трубилина. Краснодар, 2016.
4. Волошин А.П. Экспериментальные исследования параметров и режимов электротехнологического процесса озонирования яйцескладов птицефабрик Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2016. № 121. С. 1136-1150.
5. Донсков А.П. Современные технологии в камерах газации инкубационных яиц / А.П. Донсков, А.А. Гончаров, А.П. Волошин // Международное научное периодическое издание по итогам Международной научно-практической конференции: «Новая наука: современное состояние и пути развития»: / в 4 ч. Ч.3 - Стерлитамак: РИЦ АМИ, 2016. – 238 с. С. 62-64.
6. Донсков А.П. Способы дезинфекции инкубационных яиц / А.П. Донсков, Д.Д. Кривчик, А.П. Волошин // Международное научное периодическое издание по итогам Международной научно-практической конференции: «Новая наука: стратегии и векторы развития» / в 2 ч. Ч.1 - Стерлитамак: РИЦ АМИ, 2016. – 181 с. С. 9-13.
7. Ксенз Н. В. Использование электроозонированного воздуха в сельскохозяйственном производстве / Н. В. Ксенз, И. Ф. Бородин // Техника в сел. хоз-ве. – 1993. – № 3. – С. 13-14.
8. Кривопишин И.П. Озон в промышленном птицеводстве. М.: Росагропромиздат, 1988. – 96 с.
9. Николаенко С.А. Параметры системы стабилизированного электроозонирования ульев при лечении бактериозов пчел. Диссертация. Краснодар: КубГАУ, 2010. - 180 с.
10. Нормов Д.А., Шевченко А.А., Шхалахов Р.С., Квитко А.В. Способ обработки яиц в инкубаторах / Патент на изобретение RUS 2343700. 08.10.2007.
11. Нормов Д.А. Электроозонные технологии в сельскохозяйственном производстве / Д.А. Нормов, И.Ф. Бородин // М.: «Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук» №1, 2009.-С 57-59.
12. Овсянников Д.А. Учебное пособие для практических занятий в примерах по дисциплине «Планирование и обработка результатов исследований»: учеб. пособие / Д.А. Овсянников, С.А. Николаенко, Д.С. Цокур, А.П. Волошин // -Краснодар, 2014. -76 с.: ил.
13. Оськин С.В. Электротехнологии в сельском хозяйстве: учебник для студентов вузов / С.В. Оськин. – Краснодар: КубГАУ, 2016. – 501с.

14. Пат. РФ № 2417159, МПК С2 С01В13/11 (2006.01) Электроозонатор / Д.А. Овсянников, С.А. Николаенко, С.С. Зубович, А.П. Волошин, Д.С. Цокур; заявитель и патентообладатель КГАУ. – № 2009126863 заявл. 13.07.2009; опубл. 27.04.2011. Бюл. № 2. – 5 с.

15. Пат. РФ № 2429192, МПК С2 С01В13/11 (2006.01) Электроозонатор / Д.А. Овсянников, С.А. Николаенко, С.С. Зубович, А.П. Волошин, Д.С. Цокур; заявитель и патентообладатель КГАУ. – № 20091330067 заявл. 2.09.2009; опубл. 20.09.2011. Бюл. № 26. – 6 с.

References

1. Borodin I.F. Sovershenstvovanie predynkubacionnoj obrabotki kurinyh jaic / I.F. Borodin, V.F. Storchevoj // *Tehnika v sel. hoz-ve.* -2002. -№ 2. - S. 32-33.

2. Voloshin A.P. Issledovanie pokazatelej kachestva upravlenija jelektrotehnologicheskim processom ozonirovanija jajceskladov pticefabrik. Politematicheskij setевой jelektronnyj nauchnyj zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2017. № 125. S. 429-442.

3. Voloshin A.P. Parametry i rezhimy jelektrotehnologicheskogo processa ozonirovanija jajceskladov pticefabrik. Dissertacija na soiskanie uchenoj stepeni kandidata tehniceskix nauk / Kubanskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet im. I.T. Trubilina. Krasnodar, 2016.

4. Voloshin A.P. Jeksperimental'nye issledovanija parametrov i rezhimov jelektrotehnologicheskogo processa ozonirovanija jajceskladov pticefabrik Politematicheskij setевой jelektronnyj nauchnyj zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2016. № 121. S. 1136-1150.

5. Donskov A.P. Sovremennye tehnologii v kamerah gazacii inkubacionnyh jaic / A.P. Donskov, A.A. Goncharov, A.P. Voloshin // *Mezhdunarodnoe nauchnoe periodicheskoe izdanie po itogam Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii: «Novaja nauka: sovremennoe sostojanie i puti razvitija»*: / v 4 ch. Ch.3 - Sterlitamak: RIC AMI, 2016. – 238 s. S. 62-64.

6. Donskov A.P. Sposoby dezinfekcii inkubacionnyh jaic / A.P. Donskov, D.D. Krivchik, A.P. Voloshin // *Mezhdunarodnoe nauchnoe periodicheskoe izdanie po itogam Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii: «Novaja nauka: strategii i vektory razvitija»* / v 2 ch. Ch.1 - Sterlitamak: RIC AMI, 2016. – 181 s. S. 9-13.

7. Ksenz N. V. Ispol'zovanie jelektroozonirovannogo vozduha v sel'skohozjajstvennom proizvodstve / N. V. Ksenz, I. F. Borodin // *Tehnika v sel. hoz-ve.* – 1993. – № 3. – S. 13-14.

8. Krivopishin I.P. Ozon v promyshlennom pticevodstve. M.: Rosagropromizdat, 1988. – 96 s.

9. Nikolaenko S.A. Parametry sistemy stabilizirovannogo jelektroozonirovanija ul'ev pri lechenii bakteriozov pchel. Dissertacija. Krasnodar: KubGAU, 2010. - 180 s.

10. Normov D.A., Shevchenko A.A., Shhalahov R.S., Kvitko A.V. Sposob obrabotki jaic v inkubatorah / Patent na izobretenie RUS 2343700. 08.10.2007.

11. Normov D.A. Jelektroozonnye tehnologii v sel'skohozjajstvennom proizvodstve / D.A. Normov, I.F. Borodin // M.: «Vestnik Rossijskoj akademii sel'skohozjajstvennyh nauk» №1, 2009.-S 57-59.

12. Ovsjannikov D.A. Uchebnoe posobie dlja prakticheskix zanjatij v primerah po discipline «Planirovanie i obrabotka rezul'tatov issledovanij»: ucheb. posobie / D.A. Ovsjannikov, S.A. Nikolaenko, D.S. Cokur, A.P. Voloshin // -Krasnodar, 2014. -76 s.: il.

13. Os'kin S.V. Jeletrotehnologii v sel'skom hozjajstve: uchebnik dlja studentov vuzov / S.V. Os'kin. – Krasnodar: KubGAU, 2016. – 501s.

14. Pat. RF № 2417159, MPK S2 S01V13/11 (2006.01) Jelettroozonator / D.A. Ovsjannikov, S.A. Nikolaenko, S.S. Zubovich, A.P. Voloshin, D.S. Cokur; zajavitel' i patentoobladatel' KGAU. – № 2009126863 zajavl. 13.07.2009; opubl. 27.04.2011. Bjul. № 2. – 5 s.

15. Pat. RF № 2429192, MPK S2 S01V13/11 (2006.01) Jelettroozonator / D.A. Ovsjannikov, S.A. Nikolaenko, S.S. Zubovich, A.P. Voloshin, D.S. Cokur; zajavitel' i patentoobladatel' KGAU. – № 20091330067 zajavl. 2.09.2009; opubl. 20.09.2011. Bjul. № 26. – 6 s.