

УДК 636. 084. 75

UDC 636. 084. 75

**РЕГРЕССИОННАЯ МОДЕЛЬ
ЗАВИСИМОСТИ ГРАВИТАЦИОННОЙ
ЦИРКУЛЯЦИИ ВОДЫ В
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ГРУППОВОЙ
АВТОМАТИЧЕСКОЙ ПОИЛКЕ**

**REGRESSION MODEL OF RELATION OF
GRAVITATIONAL WATER CIRCULATION AT
THE EXPERIMENTAL CLUSTER-TYPE
AUTOMATIC DRINKING BOWL**

Орищенко Ирина Викторовна
ассистент

Orishenko Irina Viktorovna
assistant

Таран Елена Александровна
к.т.н., доцент
*ФГБОУ ВПО «Азово-Черноморская
государственная агроинженерная академия»,
г.Зерноград, Ростовская область, Россия*

Taran Elena Aleksandrovna
Cand.Tech.Sci., associate professor
*FSBEI HPE «Azov-Black Sea State Agroengineering
Academy», Zernograd, Rostov region, Russia*

В статье дан вывод регрессионного уравнения, позволяющего определить наибольшую скорость гравитационной циркуляции воды в экспериментальной групповой автоматической поилке, в зависимости от разности температур, угла наклона и угла среза перфорированных по высоте водовыпускных патрубков

The article describes derivation of the regression equation which permits to determine the maximum water speed at the experimental cluster-type automatic drinking bowl which depend on temperature difference, angle of obliquity and shearing angle of the water-discharge pipe branches which are perforated by elevation

Ключевые слова: ГРУППОВАЯ АВТОМАТИЧЕСКАЯ ПОИЛКА, ТЕРМОСИФОННАЯ СИСТЕМА, ГРАВИТАЦИОННАЯ СКОРОСТЬ ЦИРКУЛЯЦИИ ВОДЫ, УГОЛ НАКЛОНА ПАТРУБКА, УГОЛ СРЕЗА ПАТРУБКА, РАЗНОСТЬ ТЕМПЕРАТУР, МНОГОФАКТОРНЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ

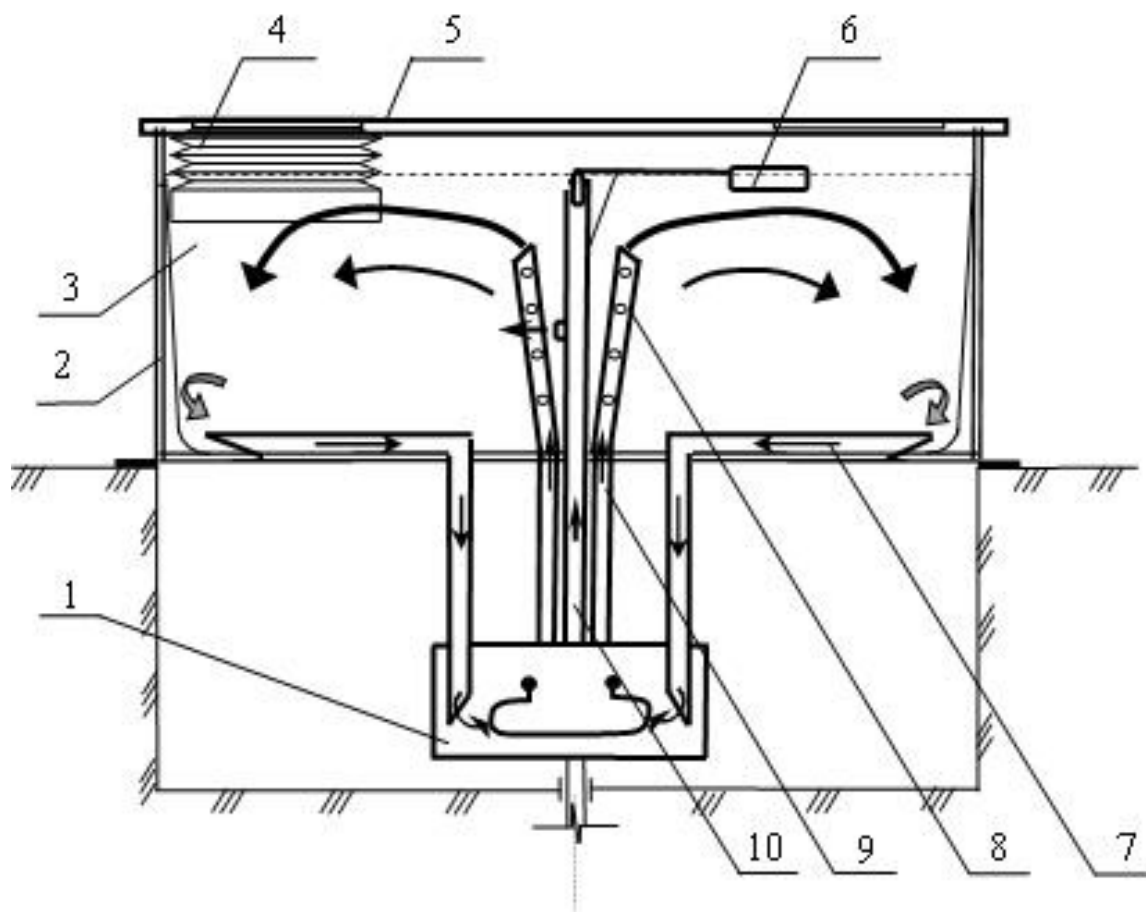
Keywords: CLUSTER-TYPE AUTOMATIC DRINKING BOWL, THERMO SIPHON SYSTEM, GRAVITATIONAL SPEED OF WATER CIRCULATION, ANGLE OF OBLIQUITY, SHEARING ANGLE OF PIPE BRANCH, TEMPERATURE DIFFERENCE, MULTIFACTOR EXPERIMENT

В Азово-Черноморской агроинженерной академии разработана групповая автоматическая поилка с термосифонной системой подогрева воды.

Целью данного конструктивного решения является обеспечение животных водой, согласно зоотехническим требованиям, при максимальном ее отборе.

Групповая автоматическая поилка с термосифонной системой подогрева воды разработана на основе конвективных течений, возникающих в слое жидкости, нагреваемом внизу [1].

Функциональная схема процесса гравитационной циркуляции воды в групповой автоматической поилке представлена на рисунке 1.



1 – нагревательный элемент; 2 – корпус поилки; 3 – поильная чаша;
 4 – водопойный стакан; 5 – крышка; 6 – клапанно-поплавковый механизм;
 7 – обратный патрубок; 8 – распределительные перфорированные патрубки;
 9 – распределительные патрубки; 10 – вводный трубопровод

Рисунок 1 – Функциональная схема гравитационной циркуляции воды в автоматической поилке

Гравитационная циркуляция воды в групповой автоматической поилке происходит следующим образом. По вводному трубопроводу холодная вода, при открытом положении клапанно-поплавкового механизма, поступает в поильную чашу, где по мере ее заполнения до заданного уровня, поступление воды полностью прекращается за счет срабатывания клапанно-

поплавкового механизма. Горячая вода в нагревательном блоке выталкивается холодной, поступающей через обратные патрубки. Начинается активный процесс гравитационной циркуляции воды. Далее подогретая вода по прямым патрубкам через распределительные перфорированные патрубки поступает в поильную чашу, в зону смешения, создавая в области водопойного стакана температуру воды согласно зоотехническим требованиям. Одновременно охлажденная вода по обратному трубопроводу опять поступает в нагревательный блок для подогрева.

Анализ рабочего процесса гравитационной циркуляции воды в групповой автоматической поилке показал, что при интенсивном отборе воды животными температура ее в зоне потребления не равномерна. Следовательно, для обеспечения животных водой согласно зоотехническим требованиям при интенсивном ее отборе необходимо увеличить скорость ее гравитационной циркуляции и создать условия для поступления горячей воды при наименьшем уровне ее в поильной чаше.

При отборе воды животными, в процессе эксплуатации поилок, уровень воды в поильной чаше изменяется от максимального до минимального. Обеспечение равномерного прогрева воды в поильной чаше, при максимальном отборе ее животными, достигается путем применения перфорированных по высоте патрубков.

Для устранения недостатков предлагается конструкцию автоматической поилки доработать с учетом установки внутри поильной чаши перфорированных циркуляционных патрубков имеющих скос верхней грани на определенный угол ($\angle\beta$) и установленных с возможностью их отклонения от вертикали ($\angle\alpha$) с ориентацией в сторону водопойных стаканов (рисунок 2).

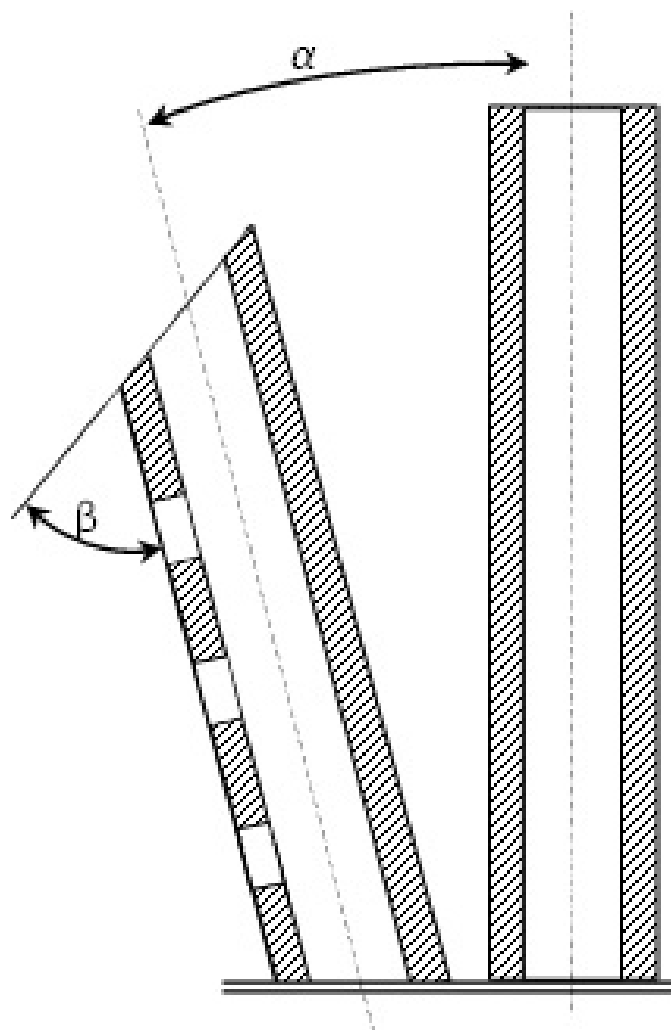


Рисунок 2 – Вводной трубопровод с наклонным перфорированным патрубком

Для установления зависимости гравитационной циркуляции воды, были установлены основные факторы, влияющие на режим гравитационной циркуляции воды.

Качестве исследуемых факторов, были приняты: разность температур воды, длины вводных патрубков, диаметры трубопроводов, углы наклона патрубков, углы среза патрубков, объем воды в поильной чаше, температура воды в поильной чаше.

Одним из основных фактором является разность температур воды (Δt) между температурами в нагревательном блоке и поильной чаше.

Скорость гравитационной циркуляции воды в термосифонной системе

зависит от угла наклона перфорированного водовыпускного патрубка, поэтому в качестве второго значимого фактора принят угол наклона патрубка ($\angle\alpha$).

Для увеличения скорости циркуляции воды в групповой автоматической поилке и большего объема истечения воды из перфорированных водовыпускных патрубков, третьим значимым фактором, принимаем определенный угол среза патрубка перфорированного по высоте ($\angle\beta$).

Для обработки экспериментальных данных приняты независимые факторы: разность температур воды (Δt), угол наклона ($\angle\alpha$) и угол среза ($\angle\beta$) водовыпускных перфорированных по высоте патрубков.

В качестве функции отклика принята скорость циркуляции воды ($v_{\text{ц}}$) в экспериментальной групповой автоматической поилке.

При обработке модели в основу были положены полученные экспериментальные данные.

Обработка экспериментальных данных осуществлялась с использованием математического пакета Matlab. Опыты проводились с трехкратной повторностью. Все снимаемые показания, записывали в файл [2, 3].

Чтобы получить регрессионную модель, позволяющую в полной мере оценить оптимальную скорость циркуляции воды, необходимо обработать данные многофакторного эксперимента. В качестве базового был принят трехуровневый план Бокса-Бенкена (таблица 1).

По плану многофакторного эксперимента Бокса-Бенкена исследования проводились в соответствии с методикой эксперимента по влиянию независимых факторов на скорость гравитационной циркуляции воды в экспериментальной групповой автоматической поилке.

Таблица 1 – Матрица плана многофакторного эксперимента по Боксу-Бенкену

№	Угол наклона патрубка, $\angle\alpha$	Угол среза патрубка, $\angle\beta$	Разность температур, Δt
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>
1	-1	-1	0
2	-1	1	0
3	1	-1	0
4	1	1	0
5	-1	0	-1
6	-1	0	1
7	1	0	-1
8	1	0	1
9	0	-1	-1
10	0	-1	1
11	0	1	-1
12	0	1	1
13	0	0	0
14	0	0	0
15	0	0	0

Для получения регрессионной модели использовали стандартную функцию Matlab `regstats` имеющую следующий синтаксис: `regstats (responses, DATA, 'model')` [4, 5, 6].

Функция предназначена для расчета параметров множественной регрессионной модели для вектора значений зависимой переменной `responses`, матрицы независимых переменных `DATA`, регрессионной модели `'model'`. Функция отражает графическое окно с набором статистик, служащих для оценки качества множественной регрессионной модели.

Из всех предусмотренных видов регрессионных моделей, для обработки полученных экспериментальных данных, выбрана `'quadratic'`, а именно, квадратичная модель, включающая квадратические эффекты и эффекты взаимодействия факторов.

Последовательность коэффициентов множественной регрессионной модели соответствует их порядку, используемому в функции `x2fx` Matlab.

В результате обработки экспериментальных данных многофакторного эксперимента было получено следующее уравнение регрессии:

$$J_y = 109,4097 - 59,4301\angle a - 159,5896\angle b + 9,3544\Delta t - 11,6932\angle a\angle b - \\ - 0,6100\angle a\Delta t + 4,5489\angle b\Delta t + 114,0711(\angle a)^2 + 87,2547(\angle b)^2 - 0.1193(\Delta t)^2 \quad (1)$$

Для проверки адекватности коэффициентов математической модели, использовали критерий Стьюдента. Табличное значение критерия для степени свободы $f = 27$, равно $t^T = 2,0518$. Расчетные значения критерия t^P для каждого коэффициента соответственно равны: 138,8341; -53,4397; -96,9868; 68,9170; -12,7246; -7,2969; 49,0878; 95,5938; 83,3396; -10,6664. Обработка данных, показывает, что для всех коэффициентов моделирования выполняется условие $t^{\hat{o}} < t^{\hat{o}}$, следовательно, подтверждает значимость всех коэффициентов.

Адекватность математической модели определяли по критерию Фишера для степеней свободы $f_1 = 27$, $f_2 = 9$ при доверительной вероятности 95%. Расчетное «нижнее» значение критерия Фишера равно $F_p = 0,000876$. Табличное, соответственно $F^T = 2,9$. Условие $F_p < F^T$ выполняется, следовательно модель адекватно отражает искомую зависимость [7].

Для оценки качества выполненного приближения использовали критерии: SSE, R – square, RSME.

Критерий SSE (Sum of squares due to error) – сумма квадратов ошибок.

Критерий SSE вычисляется по формуле:

$$SSE = \sum_{k=1}^n w_k (y_k - \hat{y}_k)^2 \quad (2)$$

где w_k – вес (если они не заняты при импорте данных, то считаются равными единице),

y_k – данные в x_k ,

\hat{y}_k – значение параметрической модели в x_k .

Близость SSE к нулю говорит о хорошем качестве приближения данных параметрической модели.

Критерий R – квадрат (R – square) – квадрат смешанной корреляции. Определяется как отношение суммы квадратов относительно регрессии SSK к полной сумме квадратов (SST), т.е,

$$SSR = \sum_{k=1}^n w_k (\hat{y}_k - \bar{y})^2; \quad (3)$$

$$SST = \sum_{k=1}^n w_k (y_k - \bar{y})^2; \quad (4)$$

$$R\text{-квadrat} = \frac{SSR}{SST} = 1 - \frac{SSE}{SST}, \quad (5)$$

где \bar{y} – среднее значение.

Критерий R– квадрат может принимать значения только от нуля до единицы и, как правило, чем ближе к единице, тем лучше параметрическая модель принимает исходные данные.

Корень из среднего для квадрата ошибки RSME (Root mean Squared Error),

$$RMSE = \sqrt{\frac{SSE}{n - m}} \quad (6)$$

Близкое значение к нулю RSME означает хорошее приближение исходных данных параметрической модели.

В результате расчетов получены следующие значения критериев: R – square = 0,998; RSME = 0,1287; SSE = 0,4473. Полученные значения подтверждают высокое качество описания объекта полученному уравнению регрессии.

Полученная регрессионная зависимость для визуальной оценки, представлена на рисунке 2, 3.

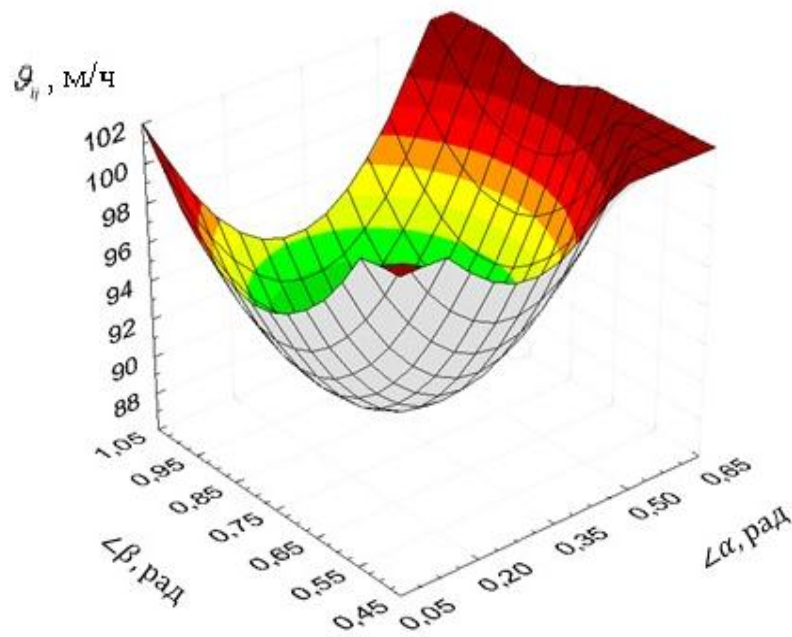


Рисунок 2 – График поверхности $\vartheta_u = f(\angle\alpha, \angle\beta, \Delta t)$ при $\Delta t = 5^\circ$

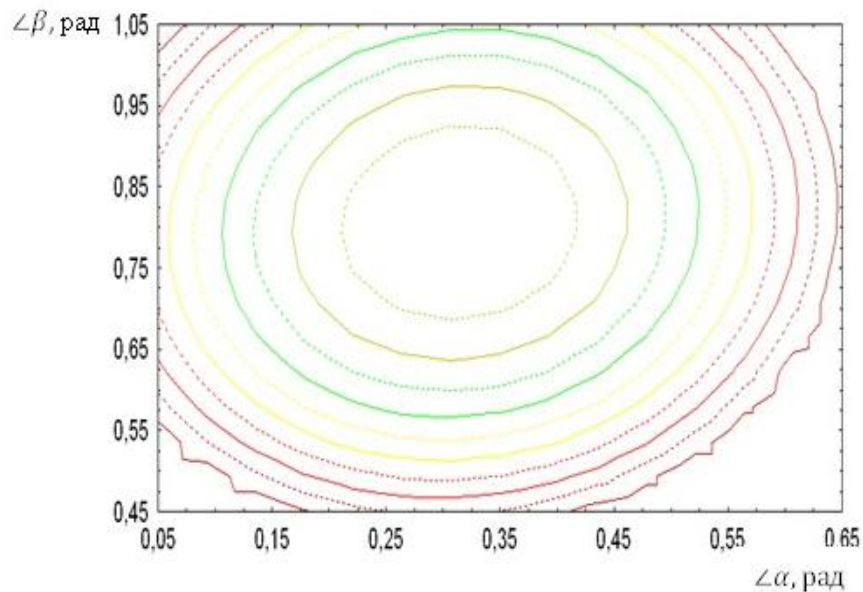


Рисунок 3 – Контурный график поверхности $\vartheta_u = f(\angle\alpha, \angle\beta, \Delta t)$ при $\Delta t = 5^\circ$

В результате данных эксперимента и математической их обработки установлено:

1. Обеспечение наибольшей скорости гравитационной циркуляции воды в групповой автоматической поилке при определенной разности температур воды (Δt), может быть достигнуто за счет изменения угла наклона и угла среза патрубка.

2. Углы наклона и среза верхней грани патрубка могут быть определены по полученному контурному графику.

3. Рекомендуемые параметры углов наклона и среза, перфорированных по высоте патрубков позволяют повысить интенсивность циркуляции воды и обеспечить температуру в зоне отбора животными в допустимых зоотехнических пределах.

Литература

1. Свободно конвективные течения, тепло- и массообмен: Б. Гебхард, Й. Джалурия, Р.Л. Махаджан и др. М.: Мир, 1991. 528 С. 214–217.
2. Данилов А. Компьютерный практикум по курсу «Теория управления». Simulink – моделирование в среде Matlab . М.: МГУИЭ, 2002. 128 с.
3. Дьяконов В.П. MATLAB 6/6.1/6.5/ + Simulink 4/5 в математике и моделировании. М.: Солон – пресс, 2003. 565с.
4. Дьяконов В.П. MATLAB 7.* /R2006/2007. Самоучитель. М.: «ДМК-Пресс», 2008. 768 с.
5. Дьяконов В.П. SIMULINK 5/6/7. Самоучитель. М.: «ДМК-Пресс», 2008. 784 с.
6. Курбатова Е.А. MATLAB 7. Самоучитель. М.: «Диалектика», 2005. 256 с.
7. Красовский Г.И., Филаретов Г.Ф. Планирование эксперимента. Минск: Изд-во БГУ им. В.И. Ленина, 1982. 302с.