

УДК 631.3:636.5

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ РАСХОДА ВОДЫ КАПЕЛЬНОЙ ПОИЛКОЙ С КЛАПАННОЙ СИСТЕМОЙ ШАРИКОВОГО ТИПА

Саитов В. Е., доктор технических наук, профессор¹

E-mail: vicsait-valita@e-kirov.ru

Аллахвердиев Б. А.²

E-mail: baxelm@mail.ru

¹Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Вятский государственный агротехнологический университет», г. Киров, Россия

²Сумгаитский государственный университет, г. Сумгаит, Азербайджан

Аннотация

В настоящей статье приведены теоретические исследования по определению общего объема $V_{общ.}$ расхода воды через разработанную капельную поилку с двухклапанной системой шарикового типа для сельскохозяйственных птиц при клеточном их содержании, отличающуюся простой конструкцией, возможностью клапанной системы самоочищения от отложения солей и надежностью в эксплуатации. Проведенный анализ результатов расчета общего объема $V_{общ.}$ расхода воды через капельную поилку с двухклапанной системой шарикового типа в течение суток в зависимости от диаметра d_1 выходного отверстия седла клапана и давления p в системе подачи воды позволяет обосновать рациональные параметры конструкции данной поилки на удовлетворение в потребности в воде при поении кур-несушек.

Ключевые слова: птицеводство, вода, капельная поилка, желобковая система поения, самоочищение, расход воды

THEORETICAL STUDIES ON DETERMINING THE WATER FLOW RATE OF A DROP-TYPE WATERER WITH A BALL-TYPE VALVE SYSTEM

Saitov V. E., doctor of technical sciences, professor¹

E-mail: vicsait-valita@e-kirov.ru

Allahverdiev B. A.²

E-mail: baxelm@mail.ru

¹Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education
«Vyatka State Agrotechnological University », Kirov, Russia

²«Sumgayit State University», Sumgait, Azerbaijan

Annotation

This article presents theoretical studies on determining the total volume V_{total} of water flow through the developed drop-type waterer with a two-valve ball-type system for poultry kept in cages, which is distinguished by its simple design, the ability of the valve system to self-clean from salt deposits, and reliability in operation. The performed analysis of the results of calculating the total volume V_{total} of water flow through a drop-type waterer with a two-valve ball-type system during the day depending on the diameter d_1 of the valve seat outlet and the pressure p in the water supply system allows us to substantiate the rational design parameters of this waterer in order to meet the need for water of egg-laying hens.

Keywords: poultry farming, water, drop-type waterer, trough drinking system, self-cleaning, water consumption

Введение. Птицеводство является значимой отраслью сельскохозяйственного производства, обеспечивающей получение высококачественных диетических продуктов питания – яиц и мяса. Для повышения эффективности данной отрасли сельскохозяйственного производства необходимо довести производство яиц на душу населения до 500 шт. и увеличить производство мяса птицы в убойном весе на 6,5 млн тонн [2].

Для реализации данной задачи используются крупные птицеводческие фермы и фабрики, оснащенные необходимым клеточным оборудованием. Однако в связи с внедрением клеточного содержания и кормления птицы возникают трудности с системой их поения. Это обусловлено главным образом, применением желобковой системы их поения, приводящей к увеличению потерь воды и, соответственно, ухудшению ветеринарно-санитарного состояния помещения птичников [6].

Поэтому с целью снижения потерь воды и улучшения ветеринарно-санитарного состояния птичников необходим переход от желобковой системы поения птиц к системе клапанного типа с капельной подачей воды [3, 7].

Капельная подача воды представляет собой одну из наиболее прогрессивных и распространенных технологий в современных системах клеточного содержания птиц. Она не только обеспечивает птице постоянный доступ к чистой питьевой воде, но и способствует минимизации потерь воды, загрязнения клеточного оборудования и бактериального заражения стада птиц. Это особенно важно для обеспечения здоровья и высокой продуктивности птицы в плане яйценоскости и роста живой массы.

В соответствии с этим разработана капельная поилка с двухклапанной системой шарикового типа для сельскохозяйственных птиц при клеточном их содержании, отличающаяся простой конструкцией, возможностью клапанной системы самоочищения от отложения солей и надежностью в эксплуатации. На рисунке 1 представлено объемное изображение клапанной системы поилки при рабочих режимах [5].

Важным критерием оценки капельной подачи воды при клеточном содержании птиц является удовлетворение в суточной потребности в ней. Поэтому общий объем $V_{общ.}$ расхода воды при поении кур-несушек через капельную поилку с двухклапанной системой шарикового типа является выходным контролируемым параметром.

Цель исследований – проведение теоретического расчета и анализа по определению общего объема $V_{общ.}$ расхода воды через разработанную капельную поилку с двухклапанной системой шарикового типа для сельскохозяйственных птиц при клеточном их содержании.

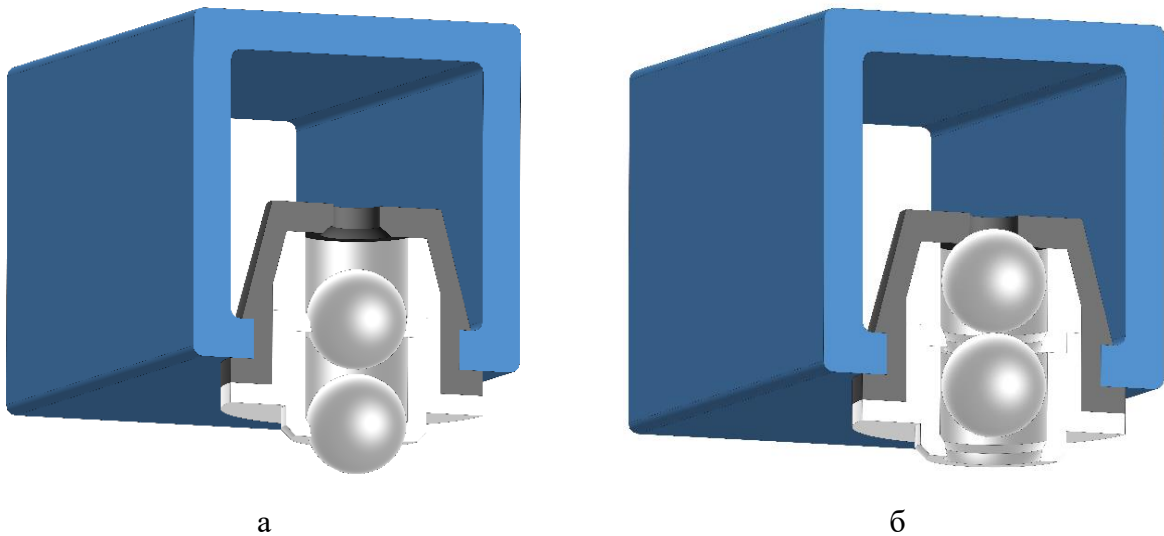


Рисунок 1. Объемное изображение клапанной системы поилки:
а – в закрытом положении; б – при перекрытии шариком центрального отверстия
эластичного уплотнительного элемента

Материал и методы. В качестве объекта исследования выбран технологический процесс капельной подачи воды для поения птиц при клеточном их содержании.

Теоретические исследования проведены применением методов математического моделирования с использованием законов гидродинамики на основе системного анализа рабочего процесса поилки капельного типа с двухклапанной системой шарикового типа для сельскохозяйственных птиц при клеточном их содержании [1, 4, 9].

Теоретические результаты приведены в виде массива данных, которые после обработки специальной программой по статистической обработке данных SigmaPlot 11.0 представлены в виде трехмерного графика с использованием редактора векторной графики CorelDRAW X8 [8].

Результаты и обсуждение. Разработанная капельная поилка с двухклапанной системой шарикового типа, являющаяся инновационным устройством, должна обеспечивать благодаря подаче воды дозированно каплями непосредственно в клюв птице максимальный комфорт и удобство для нее, оптимизировать питьевой режим птиц для достижения максимальной эффективности их роста и яйценоскости.

При этом для того, чтобы капельная поилка с двухклапанной системой шарикового типа обеспечивала попадание воды прямо в клюв и птица могла пить только столько, сколько необходимо ей, без возможности или минимизации разбрызгивания, обуславливающее снижение расхода воды для экономии ресурсов, требуются теоретические исследования общего объема $V_{общ.}$ расхода воды для обоснования оптимальных значений параметров клапанной системы (диаметра d_1 выходного отверстия седла толкателя и металлического шарика) и давления p в системе подачи воды.

Для обоснования оптимальных значений параметров клапанной системы шарикового типа капельной поилки рассмотрим истечение жидкости через нее (рисунок 2).

Капельная поилка с двухклапанной системой шарикового типа имеет малые размеры. Диаметр d_1 выходного отверстия седла толкателя и металлического шарика данной поилки меньше одного сантиметра ($d_1 < 1,0$ см).

Рассмотрим расход объема воды через капельную поилку с двухклапанной системой шарикового типа, основанную на уравнениях Бернулли [1, 4, 9].

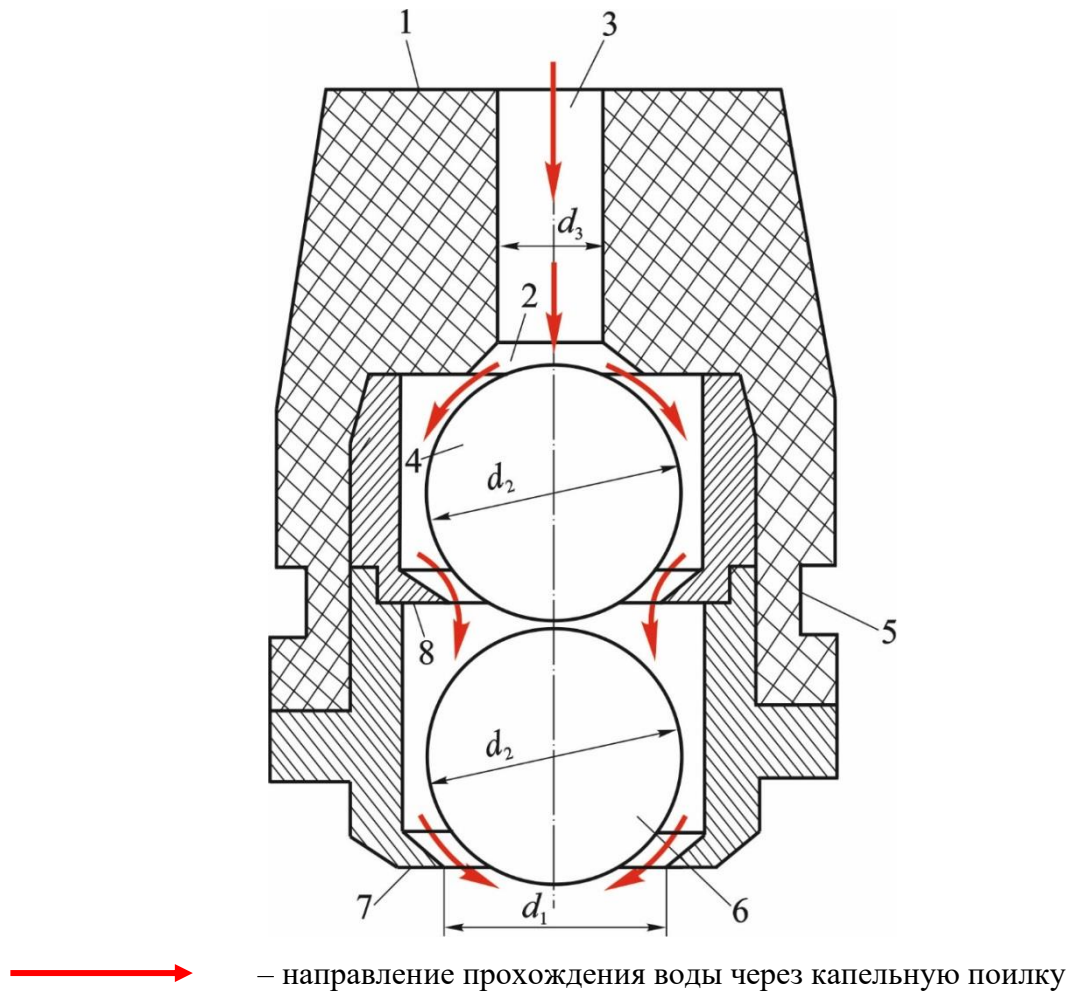


Рисунок 2. Схема капельной поилки с двухклапанной системой шарикового типа: 1 – эластичный уплотнительный элемент; 2 – выемка в центральном отверстии эластичного уплотнительного элемента; 3 – центральное отверстие уплотнительного элемента; 4 – металлический шарик; 5 – выемка на наружной поверхности эластичного уплотнительного элемента; 6 – толкатель в виде металлического шарика; 7 – седло толкателя; 8 – седло металлического шарика

Из капельной поилки истечение воды происходит через круглое не затопленное отверстие малого размера в тонкой стенке в атмосферу под постоянным давлением p . При прохождении струи воды через клапанную систему капельной поилки ее инверсия превращается в капельку, висящую за счет поверхностного натяжения на поверхности нижней части толкателя в виде металлического шарика.

При прохождении через отверстие малого размера в тонкой стенке струя воды на расстоянии $(0,5 \dots 1,0) d_1$ от стенки сжимается. Площадь F_C струи воды, выходящей через отверстие малого размера в тонкой стенке, в сжатом сечении определяется по формуле (м²) [4]

$$F_C = \varepsilon \cdot F, \quad (1)$$

где ε – коэффициент сжатия струи воды, выходящей через круглое отверстие малого размера в тонкой стенке, $\varepsilon = 0,60 \dots 0,64$;

F – площадь отверстия выходного отверстия седла толкателя капельной поилки, м².

Площадь F выходного отверстия седла толкателя клапана капельной поилки определяется по формуле (м^2)

$$F = \pi \left(\frac{d_1}{2} \right)^2, \quad (2)$$

где π – математическая постоянная, равная отношению длины окружности отверстия к ее диаметру, $\pi = 3,14$;

d_1 – диаметр выходного отверстия седла толкателя клапана капельной поилки, м.

Скорость v протекания воды через выходное отверстие седла толкателя клапана капельной поилки выражается по формуле (м/с)

$$v = \phi \sqrt{\frac{2p}{\rho_6}}, \quad (3)$$

где ϕ – коэффициент скорости, учитывающий потери напора воды. Для большинства случаев истечения воды из круглых форм отверстий коэффициент ϕ приближенно можно принимать 0,96...0,98 [1];

p – давление в системе подачи воды в капельную поилку с двухклапанной системой шарикового типа, Па;

ρ_6 – плотность воды (H_2O) при температуре t окружающей среды 20°C , $\rho_6 = 1000 \text{ кг/м}^3$.

Расход Q воды через выходное отверстие седла толкателя клапана капельной поилки выражается по формуле ($\text{м}^3/\text{с}$):

$$Q = F_C v. \quad (4)$$

Тогда, подставляя в формулу (4) выражения (1) и (3), получим следующее уравнение расхода Q воды через выходное отверстие седла толкателя клапана капельной поилки ($\text{м}^3/\text{с}$):

$$Q = \varepsilon \phi \pi \left(\frac{d_1}{2} \right)^2 \cdot \sqrt{\frac{2p}{\rho_6}}. \quad (5)$$

Произведение $\varepsilon \phi$ в выражении (5) учитывает степень сжатия струи воды, выходящей через выходное отверстие седла толкателя клапана капельной поилки и потери напора воды. Для большинства случаев истечения воды из круглых форм отверстий произведение $\varepsilon \phi$ составляет 0,576...0,627.

Обозначив $\varepsilon \phi = \mu$ выражение (5) запишется в следующем виде ($\text{м}^3/\text{с}$):

$$Q = \mu \pi \left(\frac{d_1}{2} \right)^2 \cdot \sqrt{\frac{2p}{\rho_6}}, \quad (6)$$

где μ – коэффициент расхода выходного отверстия седла толкателя клапана капельной поилки, учитывающий потери напора и степень сжатия струи, $\mu = 0,576...0,627$.

В капельной поилке с двухклапанной системой шарикового типа вода движется вначале через центральное отверстие уплотнительного элемента диаметром $d_3 = 3,0 \text{ мм}$, проходит пространство между металлическим шариком и его седлом и через выходное отверстие седла металлического шарика диаметром d_1 далее, проходя пространство между толкателем и его седлом, истекает через выходное отверстие седла толкателя диаметром d_1 . Все эти участки капельной поилки будут оказывать гидравлическое сопротивление истечению

воды. Это обстоятельство в конечном итоге вызовет уменьшение расхода Q воды через капельную поилку.

Поэтому, введя в формулу (6) поправочный коэффициент, учитывающий гидравлическое сопротивление истечению воды через неучтенные участки поилки, получим следующее выражение расхода Q воды через капельную поилку с двухклапанной системой шарикового типа ($\text{м}^3/\text{с}$):

$$Q = 0,05 \cdot \mu \cdot \pi \left(\frac{d_1}{2} \right)^2 \cdot \sqrt{\frac{2p}{\rho_6}}, \quad (7)$$

где 0,05 – поправочный коэффициент для определения расхода воды через капельную поилку с двухклапанной системой шарикового типа.

Тогда общий объем $V_{\text{общ.}}$ расхода воды через капельную поилку с двухклапанной системой шарикового типа за один клев по толкателю клапана, полагая, что птица нажимает на клапан в среднем одну секунду за один клев, определяется по выражению (м^3)

$$V_{\text{общ.}} = Q \cdot t_C, \quad (8)$$

где t_C – среднее время нажатия на толкатель капельной поилки с двухклапанной системой шарикового типа за один клев птицей, $t_C = 1$ с.

Подставляя в уравнение (7) полученное выражение (6), получим общий объем $V_{\text{общ.}}$ расхода воды через капельную поилку с двухклапанной системой шарикового типа за один клев птицы по толкателю клапан капельной поилки (м^3):

$$V_{\text{общ.}} = 0,05 \cdot \mu \cdot \pi \left(\frac{d_1}{2} \right)^2 \cdot \sqrt{\frac{2p}{\rho_6}} \cdot t_C, \quad (9)$$

При этом в птицеводстве объем расхода воды через капельную поилку принято учитывать не через кубические метры (м^3), а через миллилитры (мл). Тогда, вводя в выражение (9) переводной коэффициент, получим общий объем $V_{\text{общ.}}$ расхода воды за один клев птицы по толкателю клапана капельной поилки (мл):

$$V_{\text{общ.}} = 0,05 \cdot 10^6 \mu \pi \left(\frac{d_1}{2} \right)^2 \cdot \sqrt{\frac{2p}{\rho_6}} \cdot t_C, \quad (10)$$

где $1,0 \cdot 10^6$ – переводной коэффициент объема воды в кубических метрах в миллилитры, $1,0 \text{ м}^3 = 1,0 \cdot 10^6$ мл.

По полученному уравнению (10) с использованием программы офисной документации по статистической обработке данных Microsoft Excel 2013 проведен расчет общего объема $V_{\text{общ.}}$ расхода воды за один клев птицы по толкателю клапана капельной поилки для диаметров d_1 выходного отверстия ее седла $5,5 \cdot 10^{-3}$; $6,4 \cdot 10^{-3}$ и $7,5 \cdot 10^{-3}$ м и давлений p в системе подачи 0,2; 0,4; 0,6 и 0,8 метра водяного столба, что, как принято измерять давление в водопроводных трубах капельных поилок птицеводческих ферм, составляет 0,02; 0,04; 0,06 и 0,08 бар, которые в системе СИ составляют соответственно 2000, 4000, 6000 и 8000 Па.

Полученные результаты расчетов общего объема $V_{\text{общ.}}$ расхода воды через капельную поилку с двухклапанной системой шарикового типа за один клев птицы по толкателю ее клапана в зависимости от диаметра d_1 выходного отверстия седла клапана и давления p в водопроводной трубе, где установлена капельная поилка, представлены в таблице 1.

ТАБЛИЦА 1. РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТОВ ОБЩЕГО ОБЪЕМА $V_{общ.}$ РАСХОДА ВОДЫ ЧЕРЕЗ КАПЕЛЬНУЮ ПОИЛКУ С ДВУХКЛАПАННОЙ СИСТЕМОЙ ШАРИКОВОГО ТИПА ЗА ОДИН КЛЕВ ПТИЦЫ ПО ТОЛКАТЕЛЮ ЕЕ КЛАПАНА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ДИАМЕТРА d_1 ВЫХОДНОГО ОТВЕРСТИЯ СЕДЛА КЛАПАНА И ДАВЛЕНИЯ p В ВОДОПРОВОДНОЙ ТРУБЕ

Диаметр выходного отверстия седла клапана d_1 , мм	Давление в системе подачи воды p , бар	Общий объем расхода воды $V_{общ.}$, мл
5,5	0,02	1,36
6,4	0,02	1,85
7,5	0,02	2,54
5,5	0,04	1,93
6,4	0,04	2,61
7,5	0,04	3,59
5,5	0,06	2,36
6,4	0,06	3,20
7,5	0,06	4,40
5,5	0,08	2,73
6,4	0,08	3,70
7,5	0,08	5,08

Из практических наблюдений следует, что куры-несушки в течение суток в промежутки между кормлениями постоянно пьют воду. При этом курица к капельной поилке в течение светлого времени дня подходит 10...12 раз и каждый раз совершает удары своим клювом по толкателю поилки до нескольких раз. Исходя из наблюдений, следует, что курица в течение дневного времени кормления вынуждена для употребления воды совершать не менее 60...80 раз клева по толкателю поилки.

Тогда, с учетом полученных результатов, приведенных в таблице 1, и с учетом среднего количества клева птицы по толкателю поилки 75 раз, общий объем $V_{общ.}$ расхода воды через капельную поилку с двухклапанной системой шарикового типа в течение суток в зависимости от диаметра d_1 выходного отверстия ее седла и давления p в системе подачи, обработанная графически специальной программой по статистической обработке данных SigmaPlot 11.0, представится следующим образом, которая приведена на рисунке 2.

Проведенные теоретические исследования по расчету общего объема $V_{общ.}$ расхода воды через капельную поилку с двухклапанной системой шарикового типа в течение суток в зависимости от диаметра d_1 выходного отверстия ее седла и давления p в системе подачи воды показывают, что на полученные значения расхода воды оказывают влияние как давление p , являющееся регулируемым входным параметром, так и изменение диаметра d_1 выходного отверстия седла клапана толкателя.

При изменении давления p в системе подачи воды от 0,02 до 0,08 бар и диаметре выходного отверстия седла клапана толкателя капельной поилки шарикового типа $d_1 = 5,5$ мм общий объем $V_{общ.}$ расхода воды возрастает со 103 до 205 мл.

Также возрастание давления p в системе подачи воды от 0,02 до 0,08 бар и использование капельной поилки шарикового типа с диаметром выходного отверстия седла клапана ее толкателя $d_1 = 6,4$ мм вызывает рост общего объема $V_{общ.}$ расхода воды 139 мл до 278 мл.

В случае применения для поения птиц капельной поилки с двухклапанной системой шарикового типа с диаметром d_1 выходного отверстия седла ее толкателя 7,5 мм общий объем $V_{общ.}$ расхода воды также увеличивается со 191 до 381 мл.

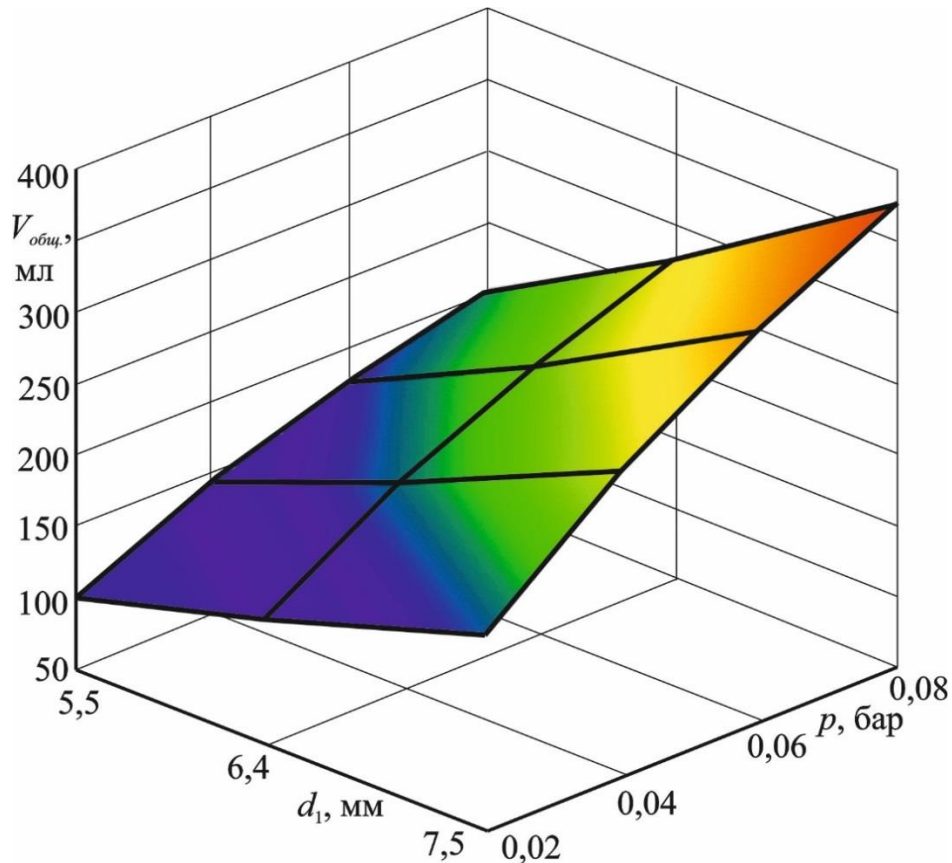


Рисунок 2. Зависимость общего объема $V_{общ.}$ расхода воды через капельную поилку с двухклапанной системой шарикового типа при клеве птицей по ее толкателю в течение суток от диаметра d_1 выходного отверстия ее седла и давления p в водопроводной трубе

Из полученных результатов расчета общего объема $V_{общ.}$ расхода воды через капельную поилку с двухклапанной системой шарикового типа при любом диаметре d_1 выходного отверстия седла ее толкателя следует, что минимальные значения расхода воды фиксируются при давлении p в системе подачи воды от 0,02 бар, а максимальные – при давлении p в системе подачи воды от 0,08 бар. Причем пиковое максимальное значение общего объема расхода воды через капельную поилку $V_{общ.} = 381$ мл составляет при давлении в системе подачи воды $p = 0,08$ бар и диаметре выходного отверстия седла клапана толкателя $d_1 = 7,5$ мм. При этом пиковое минимальное значение общего объема расхода воды через капельную поилку $V_{общ.} = 103$ мл составляет при давлении в системе подачи воды $p = 0,02$ бар и диаметре выходного отверстия седла клапана толкателя $d_1 = 5,5$ мм.

Выводы. Таким образом, проведенный анализ результатов расчета общего объема $V_{общ.}$ расхода воды через капельную поилку с двухклапанной системой шарикового типа в течение суток в зависимости от диаметра d_1 выходного отверстия ее седла и давления p в системе подачи воды позволяет перейти к обоснованию рациональной ее конструкции на удовлетворение в потребности в воде при поении кур-несушек.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Альтшуль А. Д., Животовский Л. С., Иванов Л. П. Гидравлика и аэродинамика. Москва : Стройиздат, 1987. 414 с.
2. Бессарабов Б. Ф., Крыканов А. А., Могильда Н. П. Технология производства яиц и мяса птицы на промышленной основе. 2-е изд. стер. Санкт-Петербург : Лань, 2021. 336 с.
3. Буяров А. В. Эффективность технологического оборудования для выращивания цыплят-бройлеров // Эффективное животноводство. 2018. № 7 (146). С. 67-73.

4. Идельчик И. Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям. Москва : Машиностроение, 1992. 672 с.
5. Патент № 222699 Российская Федерация, МПК А01К 39/02, А01К 39/022. Капельная поилка для сельскохозяйственных птиц : № 2023128883 : заявл. 07.11.2023 : опубл. 17.01.2024 / Сайтов В. Е., Аллахвердиев Б. А. ; заявитель и правообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Вятский государственный агротехнологический университет».
6. Печенина А. А., Лопаева Н. Л. Зоогигиенические требования к содержанию стада бройлеров // Молодежь и наука. 2020. № 10. С. 1-5.
7. Сайтов В. Е., Аллахвердиев Б. А. Совершенствование устройств капельной подачи воды для питья птицам // Научные известия. Серия: Естественные и технические науки. 2023. Т. 23. № 4. С. 77-80. DOI: https://doi.org/10.54758/16801245_2023_23_4_77.
8. CorelDraw – Самоучитель. URL: <http://corel.demiart.ru/book12/> (дата обращения: 27.11.2024).
9. Справочник по гидравлическим расчетам / Н. Г. Киселев, А. Д. Альтшуль, Н. В. Данильченко [и др.]. Москва : Энергия, 1972. 312 с.