DOI

УДК 675

РАСЧЕТ ДОЗАТОРА ЖИДКОСТИ ОБЪЕМНОГО ТИПА

ЕЛИСЕЕВ Михаил Семенович, *Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова*

ЕЛИСЕЕВ Иван Иванович, *Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова*

РЫБАЛКИН Дмитрий Алексеевич, *Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова*

МАРАДУДИН Алексей Максимович, *Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова*

В статье рассмотрен теоретический расчет дозатора жидкости объемного типа. В результате расчетов была получена формула, связывающая все основные параметры дозатора с угловой скоростью вращения дозирующего резервуара, что позволяет проводить расчет конструктивных и режимных параметров дозирующих устройств.

Введение. При дозировании жидкости требуется устройство, обеспечивающее непрерывное дозирование жидкостей из хранилищ. Дозирующее устройство состоит из цилиндрической дозирующей емкости с сферическим днищем и горизонтального резервуара для жидкости, дозаторы шарнирно закреплены на резервуаре.

Методика исследований. При разработке дозирующего устройства объемного типа непрерывного действия возникает необходимость расчета количества жидкости, поступающей в дозирующую емкость за рабочий цикл, при заданных характеристиках жидкости и последующего нахождения конструктивных и режимных параметров дозирующего устройства.

Результаты исследований. Количество жидкости, поступающей в дозирующую емкость дозирующего устройства за один рабочий цикл, может быть определено по следующей формуле:

$$V = S_0 \upsilon_0 t_р. \qquad (1)$$

где V – объем жидкости в дозирующей емкости, м^3; S_0 – площадь сечения заливного отверстия, м^2; υ_0 – скорость жидкости в определяющем сечении, м/с; $t_р$ – время заполнения, с.

Из формулы (1) видно, что расчет времени заполнения может быть затруднен из-за того, что площадь заливного отверстия изменяется во времени, то есть $S = f(t)$.

При расчете параметров дозирующего устройства примем следующие исходные данные: вязкостные свойства жидкости, технологический режим работы устройства, теоретические предпосылки по истечению жидкости из отверстий и насадок, а также воспользуемся другими методиками и рекомендациями [2, 4].

Из принятой для исследования конструктивно-технологической схемы (рис. 1) видно, что жидкость поступает в дозирующие емкости самотеком из резервуара через непрерывно изменяющееся во времени сечение дозирующей емкости. Дозирующий резервуар в процессе работы опорожняется до минимума. Поэтому для нормальной работы дозирующего устройства необходимо наличие минимального количества жидкости, для достаточного заполнения дозирующих емкостей:

$$H_{min} \geq h_с + h_ц + \Delta H + H_с, \qquad (2)$$

где $h_с$ – высота подъема жидкости в сферической части дозирующей емкости, м; $h_ц$ – высота подъема жидкости в цилиндрической части дозирующей емкости при условии заполнения максимальной дозы, м; ΔH – падение напора в резервуаре при заполнении дозирующей емкости, м; $H_с$ – скоростной напор, м.

Падение напора в резервуаре ΔH при заполнении дозирующей емкости вычислим по формуле:

$$\Delta H = \frac{q_{max}}{S_1} = \frac{S_2\left(h_ц + \frac{2}{3}h_с\right)}{S_1}, \qquad (3)$$

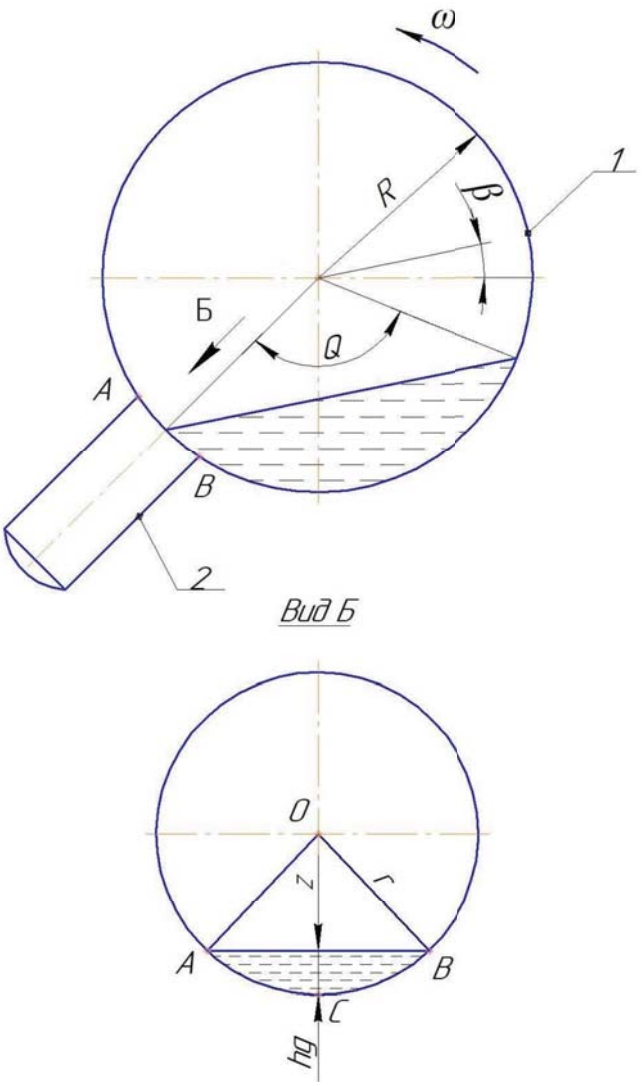

Рис. 1. К расчету площади дозатора:
1 – горизонтальный резервуар с жидкостью;
2 – дозирующая емкость

где q_{max} – величина максимальной дозы, м³; S_1 – площадь свободной поверхности жидкости в напорном резервуаре, м²; S_2 – площадь поперечного сечения дозирующей емкости, м².

Значение скоростного напора H_c может быть определено [2] по формуле:

$$H_c = \frac{\upsilon^2}{2g}\left(\lambda\frac{L}{d}+\sum\xi+1\right), \quad (4)$$

где υ – скорость движения жидкости, м/с; g – ускорение свободного падения, м/с²; λ – коэффициент гидравлического сопротивления; L – длина заполняемой части дозатора, м; d – диаметр дозатора, м; $\sum\xi$ – сумма коэффициентов местных сопротивлений.

Расчетная формула для определения необходимого минимального напора при обеспечении нормальной работы дозирующего устройства примет вид:

$$H_{min} \geq h_c + h_ц + \frac{V_c + V_ц}{S_1} + \frac{\upsilon^2}{2g}\left(\lambda\frac{L}{d}+\sum\xi+1\right), \quad (5)$$

где V_c – объем сферической части дозирующей емкости, м³; $V_ц$ – объем цилиндрической части мерной емкости, при отмеривании максимальной дозы, м³.

Весь дальнейший расчет будем производить исходя из выражения (5), так как в этом случае наблюдаются наихудшие условия работы при отмеривании максимальной дозы жидкости.

Так как заполнение дозатора начинается в точке B от нулевой отметки (см. рис. 1), то в этом случае средняя скорость движения жидкости через переменное заливное отверстие будет определяться по формуле [3, 4]:

$$\upsilon_0 = \upsilon_{ср} = \frac{1}{\sqrt{\lambda\frac{L}{d}+\sum\xi+1}}\sqrt{2g\left(H_{min}+L-\frac{P_{man}}{\rho g}\right)}. \quad (6)$$

Для того чтобы установить взаимосвязь изменения площади дозатора от времени $S_g = f(t)$, рассмотрим сечение дозатора в некоторый момент времени (см. рис. 1).

Обозначим r – радиус дозирующей емкости; Q – угол, соответствующий уровню жидкости в дозирующей емкости; ω – угловая скорость дозирующего резервуара; β – угол отклонения жидкости от горизонтали.

Из расчетной схемы (см. рис. 1) видно, что площадь рассматриваемого сечения дозатора будет зависеть от угла поворота (угловой скорости) дозатора. Величина этой площади в зависимости от площади сегмента увеличивается до площади окружности и уменьшается от площади окружности до нулевого значения.

Площадь сегмента S_0 дозирующей емкости в рассматриваемый момент времени составит (рис. 1):

$$S_0 = S_{OACB} - S_{AOAB} =$$

$$= \pi r^2\frac{2\arccos\frac{r-h}{r}}{2\pi} - (r-h)\sqrt{r^2-(r-h)^2} =$$

$$= r^2\arccos\frac{r-h}{r} - (r-h)\sqrt{2rh-h^2},$$

с учетом того, что

$$S_{AOAB} = OMAM = Z\sqrt{r^2-Z^2} =$$

$$= (r-hg)\sqrt{r^2-(r-rh)^2} = (r-hg)\sqrt{2rhg-h^2}. \quad (7)$$

Скорость изменения величины площади заливного отверстия дозатора от минимума до максимума и, наоборот, находится в зависимости от продолжительности нахождения дозатора в жидкости, т.е. от величины времени рабочего цикла.

Запишем выражение (1) в виде

$$V = 2\int_{t_0}^{t_1} S_0(t)\upsilon_0 dt. \quad (8)$$

При работе установки изменение площади поперечного сечения дозатора произойдет при повороте дозирующего резервуара на определенный угол, поэтому выражение (8) запишем в виде

$$V = 2\frac{\upsilon_0}{\omega}\int_{f_{min}}^{f_{max}} S_0(\varphi)\, d\varphi, \quad (9)$$

где ω – угловая скорость вращения дозирующего резервуара, $с^{-1}$; $S_0(\varphi)$ – переменная площадь дозатора, $м^2$.

Для определения искомой площади переменного сечения дозатора вычислим параметры переменного сечения (рис. 2): β – угол, на который отклоняется жидкий корм, из-за поворота дозирующей емкости; γ – угол, под которым виден из центра вращения О радиус дозатора r; γ – arcsin r; $x_0 = y_0 \mathrm{tg}\ \beta$.

Основной параметр изменения площади переменного сечения дозатора – высота h подачи жидкого корма в дозатор при угле β стремящемуся к нулю (см. рис. 2) находим по формуле:

$$h = \sqrt{R^2 - r^2}\,\mathrm{ctg}\varphi + r - \frac{y_0}{\sin\varphi}. \quad (10)$$

Принимая в выражении (7) $z = r - h$, оно примет вид:

$$S_0 = r^2 \arccos\frac{z}{r} - z\sqrt{r^2 - z^2} =$$

$$= r^2 \arccos\frac{r-h}{r} - (r-h)\sqrt{2rh - h^2}. \quad (11)$$

С учетом выражения (10) определяем z:

$$z = r - h = r - \sqrt{R^2 - r^2}\,\mathrm{ctg}\varphi - r + \frac{y_0}{\sin\varphi} =$$

$$= \frac{y_0}{\sin\varphi} - \sqrt{R^2 - r^2}\,\mathrm{ctg}\varphi = y_0 - \sqrt{R^2 - r^2}\cos\varphi,$$

$$z = \frac{y_0 - \sqrt{R^2 - r^2}\cos\varphi}{\sin\varphi}. \quad (12)$$

Подставив значение переменной площади из уравнения (11) в выражение (9), получим:

$$V = 4\frac{\upsilon_0}{\omega}\int_{f_{min}}^{f_{max}} r^2 \arccos\frac{t(\varphi)}{r} - z(\varphi)\sqrt{r^2 - z^2(\varphi)}\,d\varphi. \quad (13)$$

Обозначим $y = z/r$, следовательно, $dz = r dy$.

Исходя из схемы (см. рис. 2), z меняется от 0 до r, поэтому пределы интегрирования примем от 0 до 1.

После решения выражения (13) принимаем уточненную формулу для определения количества жидкости, поступающего в мерные емкости за один рабочий цикл с учетом разложения в ряд Тейлора:

$$V = 8\frac{\upsilon_0 r^3}{\omega r^3}\left[(1{,}02 - 0{,}25\pi)r^2 + 1{,}33R^2\right]. \quad (14)$$

С учетом выражения (6) формула (14) принимает следующий вид:

$$V = \frac{8r^3\left[(1{,}02-0{,}25\pi)r^2 + 1{,}33R^2\sqrt{2g\left(H_{min} + L - \frac{P_{man}}{\rho g}\right)}\right]}{\omega R^2\sqrt{1 + \lambda\frac{L}{d} + \sum\xi}}. \quad (15)$$

Формула (15), учитывая минимальное количество жидкости в дозирующей емкости, определяет оптимальные конструктивные и режимные параметры установки при условии

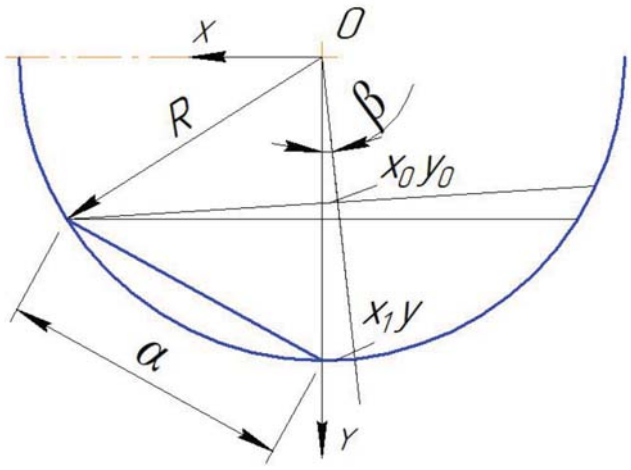

Рис. 2. К определению параметров переменного сечения резервуара

отмеривания любой дозы от минимальной до максимальной.

При использовании цилиндрических дозирующих емкостей с сферическими днищами объем дозирующей емкости при отмеривании максимальной порции жидкости будет равен

$$V = V_{\text{ц}} + V_{\text{сф}} = \pi R^2 h_y + 2\pi R^2 h/3 =$$

$$= \pi R_{\text{ц.е.}}^2 \left(h_y + \frac{2}{3} h_0 \right). \qquad (16)$$

Приравнивая уравнения (15) и (16), получим угловую скорость вращения дозирующей емкости ω:

$$\frac{8r^3\left[(1{,}02-0{,}25\pi)r^2+1{,}33R^2\sqrt{2g\left(H_{\min}+L-\frac{P_{man}}{\rho g}\right)}\right]}{\omega R^2\sqrt{1+\lambda\frac{L}{d}+\sum\xi}} =$$

$$= \pi R_{\text{ц.е.}}^2 \left(h_y + \frac{2}{3} h_0 \right),$$

тогда

$$\omega = \frac{8r^3\left[(1{,}022-0{,}25\pi)r^2+1{,}33R^2\sqrt{2g\left(H_{\min}+L-\frac{P_{man}}{\rho g}\right)}\right]}{\pi R_{\text{ц.е.}}^2\left(h_y+\frac{2}{3}h_0\right)R^2\sqrt{1+\lambda\frac{L}{d}+\sum\xi}}. \qquad (17)$$

Заключение. Полученная формула (17) связывает все основные параметры дозирующей емкости с угловой скоростью вращения дозирующего устройства, что позволяет проводить расчет конструктивных и режимных параметров дозирующих устройств.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Елисеев М.С., Елисеев И.И.* Эффективное скармливание жидких кормов телятам // Аграрный научный журнал. – 2015. – № 12. – С. 40–42.

2. *Исаев А.П.,* Сергеев Б.И., Дидур В.А. Гидравлика и гидромеханизация сельскохозяйственных процессов. – М.: Агропромиздат, 1990. – 400 с.

3. Прикладная механика животноводческих машин: учеб. пособие / М.С. Елисеев [и др.]. – Саратов, 2009. – 224 с.

4. *Штеренлихт Д.В.* Гидравлика: учебник. – 5-е изд., стереотип. – СПб.: Лань, 2015. – 656 с.

Елисеев Михаил Семенович, *д-р техн. наук, проф. кафедры «Математика, механика и инженерная графика», Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова. Россия.*

Елисеев Иван Иванович, *канд. техн. наук, Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова. Россия.*

Рыбалкин Дмитрий Алексеевич, *канд. техн. наук, доцент кафедры «Техносферная безопасность и транспортно-технологические машины», Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова. Россия.*

Марадудин Алексей Максимович, *канд. техн. наук, доцент кафедры «Математика, механика и инженерная графика», Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова. Россия.*

410056, г. Саратов, ул. Советская, 60.

Тел.: (8452) 74-96-63.

Ключевые слова: дозирующее устройство, жидкость, рабочий цикл.

CALCULATION OF A VOLUMETRIC LIQUID DISPENSER

Eliseev Mikhail Semenovih, *Doctor of Technical Sciences, Professor of the chair "Mathematics, Mechanics and Engineering Graphics", Saratov State Agrarian University named after N.I. Vavilov. Russia.*

Eliseev Ivan Ivanovich, *Candidate of Technical Sciences, Saratov State Agrarian University named after N.I. Vavilov. Russia.*

Rybalkin Dmitriy Alekseevich, *Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the chair "Technosphere Safety and Transport and Technological Machines", Saratov State Agrarian University named after N.I. Vavilov. Russia.*

Maradudin Aleksey Maksimovich, *Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the chair "Mathematics, Mechanics and Engineering Graphics", Saratov State Agrarian University named after N.I. Vavilov. Russia.*

Keywords: *liquid dispenser; liquid; working cycle.*

The article considers the theoretical calculation of a volumetric liquid dispenser. As a result of the calculations, a formula was obtained that relates all the main parameters of the dispenser to the angular speed of rotation of the metering tank, which allows calculating design and operating parameters of the metering devices.