ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ЖИДКИХ КОРМОВ ПРУЖИННЫМ ТРАНСПОРТЕРОМ

ИсаевЮ.М.
Ульяновская государственная сельскохозяйственная академия
Ульяновск, Россия
isurmi@yandex.ru

Для изучения этого вопроса была рассмотрена схема рабочего процесса раздачи жидких кормов по горизонтальному желобу трапециидальной формы поперечного сечения с наклоном стенок в 45^0. Жидкий корм из емкости после открытия затвора самотеком поступает в желоб и перемещается под действием естественного напора с высотой столба $Z_0 = H$ по длине желоба.

По технологическим соображениям, для достижения минимума затрат материалов и энергии, высота емкости принимается не более 1 м. Атмосферное давление одинаково и в емкости, и в самом желобе, поэтому напора равного 1 метру недостаточно для движения жидкого корма на большие расстояния, например, до 75 метров. Вращающаяся в желобе пружина с шагом *s*, примерно, равным диаметру пружины *D*, служит лишь для создания небольшого напора с целью обеспечения гидравлического уклона *i*, другими словами для компенсирования гидравлических потерь по длине желоба.

При перемещении материала винтовой поверхностью, пружина укорачивается, поэтому на противоположном от привода конце пружины устанавливается упорное подшипниковое устройство.

Конструктивные параметры пружинно-транспортирующего рабочего органа подбираются для компенсации потерь, так как вращающаяся пружина в данном случае выступает в роли насоса, создающего соответствующее давление в желобе. Давление создаваемое вращающейся пружиной увеличивается пропорционально его длине и частоте вращения.

Уравнение Бернулли относительно плоскости, проведенный через нижнюю точку живого сечения имеет вид:

$$h + idl + \frac{P_0}{r\,g} + \frac{a\,v^2}{2g} = h + dh + \frac{P_0}{r\,g} + \frac{a\,(v+dv)^2}{2g} + dh_{mp}\,, \qquad (1)$$

где α – коэффициент кинетической энергии (Кориолиса);
$P_0 = P_{атм}$ –внешнее давление; h – наибольшая глубина потока.
Учитывая, что $(v+dv)^2 = v^2 + 2vdv + (dv)^2$ находим:

$$h + idl + \frac{P_0}{r\,g} + \frac{a\,v^2}{2g} = h + dh + \frac{P_0}{r\,g} + \frac{a\,v^2}{2g} + \frac{a\,vdv}{n} + \frac{a\,(dv)^2}{2g} + dh_{mp} \qquad (2)$$

Известно, что $dh_{mp} = \frac{v^2 dl}{C^2 R}$ и $(dv)^2 \to 0$ сокращая в левой и правой части уравнения (2) слагаемые h, $\frac{P_0}{r\,g}$, $\frac{a\,v^2}{2g}$ находим:

$$idl = dh + \frac{a\,vdv}{g} + \left(\frac{v^2}{C^2 R}\right)dl \qquad (3)$$

В случае перемещения жидких кормов по желобу с вращающейся пружиной уравнение (3) запишется в виде:

$$idl + dh_{пр} = dh + \frac{a\,vdv}{g} + \left(\frac{v^2}{C^2 R}\right)dl \qquad (4)$$

Для нахождения напора, создаваемого пружиной $dh_{пр}$, рассмотрим задачу о распределении давления на вязкую жидкость вдоль горизонтального желоба при вращении в ней пружины.

Пружина средним радиусом r вращается с угловой скоростью w, и движется вдоль трубы с линейной скоростью $u = sw/(2p)$. Диаметр проволоки пружины обозначим d, ход винта - *s*, плотность жидкости - r, ее кинематическая вязкость - h.

Сила, действующая на жидкость со стороны одного витка проволочного винта, равна лобовому сопротивлению обтекающего его потока и вызывается разностью давлений по обе стороны потока и напряжениями трения:

$$P = cFu_0^2\, r/2\,. \qquad (5)$$

Перепад давления по потоку, обтекающего виток проволоки, определяется по формуле: $\Delta p = mru_0^2/2$, в которую подставляется относительная скорость смеси u_0, и коэффициент сопротивления x.

В случае движения жидкости и проволочного винта в канале скорость перемещения жидкости относительно пружины $u_0 = u - v$ где u – линейная осевая скорость движения проволочного винта, а v – осевая скорость жидкости относительно канала.

Запишем уравнение Бернулли для объема соответствующего шагу винта s вдоль оси x. $\Delta p = r\,gs$

Умножив на число витков вдоль трубы m, получим значение напора в конце желоба:

$$H_{пр} = \frac{m \cdot \Delta p}{r\, g} = m \frac{m \cdot u_0^2}{2g}. \quad \text{Если} \quad m = L / s, \quad \text{тогда} \quad H_{пр} = m \ \frac{u_0^2 \cdot L}{2gs}. \tag{6}$$

А элемент напора, создаваемого пружиной $dh_{пр}$ будет равен: $dh_{пр} = m \dfrac{(u-v)^2 \cdot dl}{2gs}$. (7)

Подставляя (7) в (4) получим выражение, позволяющее определить влияние различных параметров на перемещение корма по желобу:

$$idl + m \frac{(u-v)^2 \cdot dl}{2gs} = dh + \frac{a\, v dv}{g} + \left(\frac{v^2}{C^2 R} \right) dl \pm . \tag{8}$$

В случае перемещения вязкой жидкости без уклона, равномерно и при $dh = 0$, получим зависимость:

$$x \frac{(u-v)^2}{2gs} = \left(\frac{v^2}{C^2 R} \right). \tag{9}$$

Из этого выражения можно определить скорость перемещения вязкой жидкости в зависимости от скорости вращения и конструктивных параметров пружины и свойств жидкости:

$$v = C \sqrt{\frac{mR}{2gs}} (u-v). \quad \text{Обозначим} \quad k = \frac{1}{C} \sqrt{\frac{2gs}{mR}}, \quad \text{получим} \quad v = \frac{u}{1+k}. \tag{10}$$

В случае, когда $i = 0$, а потери напора $h_w = l \dfrac{l}{d} \dfrac{v^2}{2g}$, тогда уравнение Бернулли запишется:

$$r v^2 / 2 = \Delta p - r\, gs - h_w \tag{11}$$

Тогда, подставив значение перепада давления из-за вращения пружины из формулы:

$$\Delta p = m r u_0^2 / 2 = m r (u-v)^2 / 2, \tag{12}$$

в уравнение (17), получим уравнение для определения осевой скорости жидкости:

$$r v^2 / 2 = r\, gh - m r l (u-v)^2 / s - l l v^2 / d \tag{13}$$

Приведем его к виду, удобному для решения, и получим квадратное уравнение относительно v:

$$\left(1 + l \frac{l}{d} + x \right) v^2 - 2x uv + x u^2 - 2gh = 0. \tag{14}$$

где $x = ml / s$. Дискриминант этого уравнения равен: $D = 4 \cdot \left(2gh \left(1 + l \dfrac{l}{d} + x \right) - x u^2 \left(1 + l \dfrac{l}{d} \right) \right)$.

Величина дискриминанта положительна D>0 только при $2gh \left(1 + l \dfrac{l}{d} + x \right) > x u^2 \left(1 + l \dfrac{l}{d} \right)$. В этом случае линейная скорость движения должна удовлетворять неравенству: $u > \sqrt{2gh \left(1/x + 1/\left(1 + l \dfrac{l}{d} \right) \right)}$.

Далее, решая это квадратное уравнение, получаем значение скорости движения жидкости по желобу:

$$v = \frac{x u \pm \sqrt{2gh \left(1 + l \dfrac{l}{d} + x \right) - x u^2 \left(1 + l \dfrac{l}{d} \right)}}{\left(1 + l \dfrac{l}{d} + x \right)}. \tag{15}$$

Знак выбирается из физических условий, чтобы скорость движения была положительной.

Для жидкости с плотностью r = 1200кг/м^3 и вязкостью $h = 14{,}1 \cdot 10^{-6}$ м^2/с наблюдается удовлетворительное совпадение результатов эксперимента с теоретической зависимостью $v(n)$. Совпадение результатов эксперимента с теоретической зависимостью подтверждает механизм движения жидкости в сложных условиях вращения проволочного винта в желобе, позволяет использовать полученные в работе данные при разработке и конструировании, устройств и агрегатов для транспортировки различных жидкостей при помощи спирально–винтовой пружины.