

# ТЕХНОЛОГИИ И СРЕДСТВА МЕХАНИЗАЦИИ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА



УДК 621.9Т

А.А. Багаев,  
В.Г. Лукьянов,  
Р.С. Чернусь

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МОМЕНТА КОРИОЛИСОВЫХ СИЛ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ МАССОВОГО РАСХОДА ПОТОКА ЗЕРНА И ПРОДУКТОВ ЕГО РАЗМОЛА

В последние годы в связи с автоматизацией технологических процессов большое внимание уделяется разработке новых, более прогрессивных методов и средств измерения масс. Наиболее важным направлением является разработка высокоточных поточных расходомеров жидкости, газа и сыпучих материалов. Эти перспективные средства измерения могут удовлетворить всем требованиям автоматизированного производства.

Точность современных расходомеров, как показал анализ литературы [1, 2], ограничена недостаточной изученностью процессов силового воздействия потока сыпучего материала на чувствительный элемент и точностью преобразования и измерения электрических величин.

Определение сил, действующих на крыльчатку со стороны потока сыпучего продукта, имеет весьма важное значение, так как главный момент этих сил относительно оси вращения крыльчатки является мерой расхода.

В источниках литературы [2, 3] приведен расчет момента сил, действующих на крыльчатку с вертикальной и горизонтальной осью вращения и с учетом подачи сыпучего продукта в ее центр. При этом главный момент является функцией расхода.

Предложенная конструкция датчика расхода сыпучих продуктов, конструктив-

ная схема которого приведена на рисунке 1, имеет свои особенности:

- сыпучий материал подается на внешнюю поверхность потокочувствительной турбинки типа лопастного метателя с горизонтальной осью вращения;

- момент сил, действующих на потокочувствительную турбинку, определяется ударным моментом, вызванным ускорением Кориолиса;

- частота вращения турбинки является функцией момента сил, т.е. расхода.

Материал из транспортера через входной патрубок 2 подается на потокочувствительную турбинку 1 типа лопастного метателя с горизонтальной осью вращения, приводимую в движение электродвигателем. После соприкосновения с лопастями турбинки частицы сыпучего продукта получают дополнительное количество движения и, отразившись от стенки кожуха 3, падают вниз.

Принцип действия расходомера основан на измерении двух аддитивных составляющих общего крутящего момента на валу турбинки от ударного взаимодействия потока с лопастью  $M_{vz}$  (косого удара) и ускорения Кориолиса  $M_{кор}$  при последующем скольжении частиц по лопастям из внутренней области турбинки наружу, пропорциональных массовому расходу материала, т.е.

$$M_{об} = M_{уд} + M_{кор}. \quad (1)$$

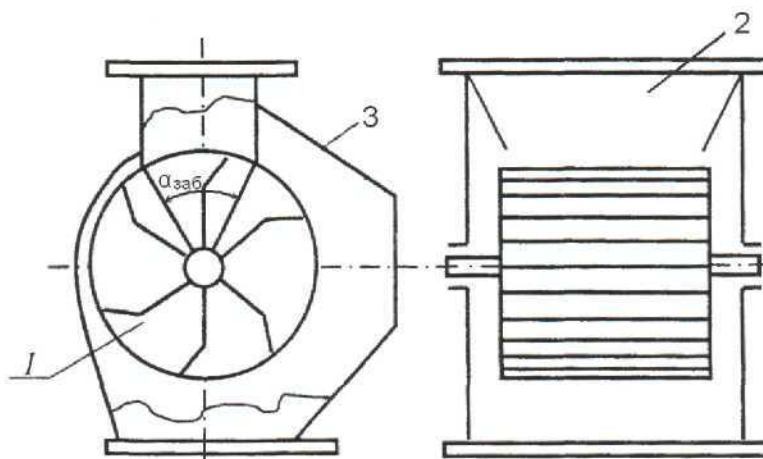


Рис. 1. Конструктивная схема датчика

Использование момента кориолисовых сил осложняется тем, что при расчетах необходимо определять положение и относительную скорость центра масс потока сыпучего продукта, находящегося на лопасти крыльчатки. Диаграмма скоростей частиц материала в процессе их взаимодействия с лопастями турбинки показана на рисунке 2.

Как следует из рисунка 2, ударный момент определяется выражением:

$$M_{y0} = Qr_{cp} \cdot \Delta \vec{U} \cos \delta. \quad (2)$$

По теореме косинусов приращение скорости центра масс определим из выражения:

$$\Delta \vec{U} = \sqrt{\vec{U}^2 + (\vec{V}^{/abc})^2 - 2\vec{U} \cdot \vec{V}^{/abc} \cos \psi}, \quad (3)$$

где  $U = \sqrt{2gh}$  – скорость частиц в момент соприкосновения с лопастями;  
 $h$  – высота падения частиц сыпучего материала;  
 $g$  – ускорение свободного падения;  
 $\psi$  – угол между вектором  $\vec{U}$  и  $\vec{V}^{/abc}$ .

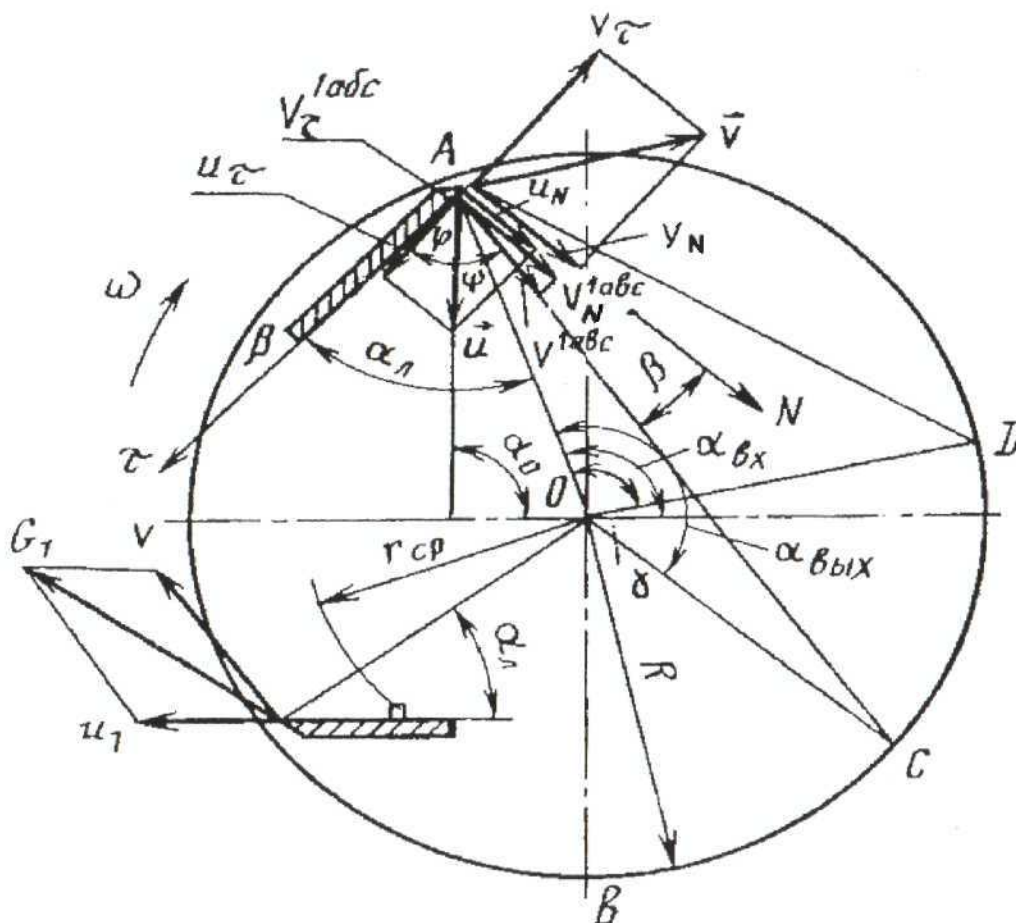


Рис. 2. Диаграмма скоростей

После удара потока сыпучих материалов о лопасть крыльчатки абсолютную  $\vec{V}^{/abc}$ , нормальную  $\vec{V}_N^{/abc}$  и тангенциальную  $\vec{V}_\tau^{/abc}$  составляющие скорости частиц можно определить из выражений:

$$\vec{V}^{/abc} = \sqrt{(V_N^{/abc})^2 + (V_\tau^{/abc})^2}, \quad (4)$$

$$\vec{V}_N^{/abc} = U [K \cdot \cos \alpha_n (1 + \varepsilon) + \sin \varphi \varepsilon], \quad (5)$$

$$\vec{V}_\tau^{/abc} = U \cdot \cos \varphi - \{ f_1 [(\sin \varphi - K \cdot \cos \alpha_n) - (\sin \varphi - K \cdot \cos \alpha_n) \varepsilon] \} \times, \quad (6)$$

$$\times \frac{\cos \varphi - K \cdot \sin \alpha_n}{\sqrt{(\cos \varphi - K \cdot \sin \alpha_n)^2 + (\sin \varphi - K \cdot \cos \alpha_n)^2}}$$

где  $K = \frac{v}{U}$ ;

$f_1, \varepsilon$  – соответственно, коэффициенты трения скольжения и восстановления частиц;

$\varphi$  – угол между вектором  $\vec{U}$  и лопастью;

$v = \omega \cdot R$  – окружная скорость концов лопасти турбинки.

Средний радиус проникновения частиц внутрь турбинки определяется из выражения

$$r_c = R - \frac{1}{2} U t = R - \frac{U \alpha_{заб}}{2\omega}, \quad (7)$$

где  $R$  – радиус турбинки;

$\alpha_{заб}$  – угол забора материала;

$\omega$  – угловая частота вращения турбинки.

Угол между вектором  $\Delta \vec{U}$  приращения скорости центра масс и нормалью к радиусу в точке проекции центра масс на лопасть, входящей в выражение (2), определим из формулы:

$$\delta = \alpha_n + \beta + \arcsin \frac{\vec{U} \sin(\frac{\pi}{2} + \psi_1 - \beta)}{\Delta \vec{U}}, \quad (8)$$

где  $\alpha_n$  – угол изгиба лопасти турбинки относительно радиального направления;

$\beta$  – угол между  $\vec{V}_N^{/abc}$  и  $\vec{V}^{/abc}$ .

Для нахождения углов  $\delta$  и  $\psi$  можно воспользоваться равенствами:

$$\delta = \alpha_n + \psi_2; \quad \psi_2 = \arcsin \frac{\vec{U} \sin \varphi}{\Delta \vec{U}};$$

$$\beta = \arctg \frac{V_\tau^{/abc}}{V_N^{/abc}} \quad (9)$$

Момент, вызванный ускорением Кориолиса, можно представить в виде аналитического выражения:

$$M_{кор} = QR(\vec{U}_1 \sin \alpha_n + \vec{v}), \quad (10)$$

где  $Q$  – массовый расход;

$R$  – радиус турбинки;

$U_1$  – относительная скорость частиц выхода турбинки;

$\vec{v}$  – окружная скорость концов лопастей турбинки.

Скорость частиц на выходе из турбинки определяется из выражения:

$$U_1 = \sqrt{\frac{1}{4} f_1^2 \omega^2 (R - r_{cp})^2 + v^2} - \frac{1}{2} f_1 \omega (R - r_{cp}), \quad (11)$$

где  $f_1$  – коэффициент трения скольжения;

$r_{cp}$  – средний радиус проникновения частиц внутрь турбинки.

Таким образом, выражение (1) для определения общего момента на валу турбинки, складывающегося из ударного момента  $M_{vz}$  и момента, вызванного ускорением Кориолиса  $M_{кор}$ , при последующем скольжении частиц по лопастям из внутренних областей турбинки наружу примет вид:

$$M_{\omega} = Q[r_{cp} \Delta U \cdot \cos \delta + R(U_1 \sin \alpha_n + v)]. \quad (12)$$

Выражение (12) представляет собой математическую модель общего крутящего момента.

### Выводы

Математическая модель крутящего момента  $M_{\omega}$  с учетом выражений (3), (7), (8) и (11) включает в себя все параметры расходомера ( $R, \omega, r_{cp}, H, L, \alpha_{заб}, \alpha_n$ ), физические характеристики материала ( $f_1, \varepsilon, \rho$ ) и их энергетические параметры (скорости, углы) в процессе взаимодействия с потокочувствительным элементом, т.е. крыльчаткой. Поскольку все параметры расходомера в стационарных условиях эксплуатации остаются постоянными, то на погрешность измерения расхода могут оказывать воздействия только переменные физические характеристики материала  $f_1$  и  $\varepsilon$ . Значения  $f_1$  и  $\varepsilon$ , в свою очередь, зависят от влажности, насыпной плотности и т.д.

### Библиографический список

1. Василенко П.М. Автоматизация процессов сельскохозяйственного производства / П.М. Василенко, И.И. Василенко. М.: Колос, 1972. 574 с.
2. Луткин Н.И. Расходомеры для зерна и сыпучих материалов / Н.И. Луткин. М.: Колос, 1969. 184 с.
3. Мерко Н.Т. Разработка и исследование расходомера для зерна и продуктов его размола / Н.Т. Мерко и др. // Сборник ЦНИИТЭИ Мингаза СССР. 1979. 95с.