

# ТЕХНОЛОГИИ И СРЕДСТВА МЕХАНИЗАЦИИ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА



УДК 621.9Т

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

## РЕЗУЛЬТАТЫ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ КРУТЯЩЕГО МОМЕНТА ЦЕНТРОБЕЖНОГО РАСХОДОМЕРА ЗЕРНА И ПРОДУКТОВ ЕГО РАЗМОЛА

**Ключевые слова:** математическая модель, центробежный расходомер, крутящий момент, датчик, ускорение Кориолиса, погрешность, точность, статическая характеристика, расход, переходный процесс и быстроедействие.

### Введение

Одним из основных требований, предъявляемых к расходомерам, является точность измерения [1]. Важным этапом автоматизации подобных процессов может рассматриваться создание расходомеров и дозаторов, составной частью которых является датчик. При разработке расходомеров задачей первостепенной важности является отыскание таких параметров датчика, при которых обеспечиваются в заданном диапазоне изменения физико-механических свойств сыпучих продуктов, однозначная функциональная связь между массовым расходом продукта и выходным сигналом датчика. С другой стороны, учитывая случайный характер изменения расхода и для повышения точности, датчик должен обеспечить такие параметры качества в переходном режиме работы, как минимальное время переходного процесса, максимальное быстроедействие, заданный уровень перерегулирования.

Наиболее просто сформулированные требования к датчику можно реализовать посредством центробежных расходомеров с использованием момента сил Кориолиса. Конструкция датчика центробежного расходомера описана А.А. Багаевым и др. [2].

### Математическая модель

Выражение для определения общего момента на валу турбинки, складывающегося из ударного момента  $M_{вд}$  и момента, вызванного ускорением Кориолиса  $M_{кор}$  при последующем скольжении частиц по лопастям из внутренних областей турбинки наружу и имеет следующий вид [2]:

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

где  $Q$  – массовый расход продукта;

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

$\Delta U$  – приращение скорости центра масс;

$\delta$  – угол между вектором приращения скорости центра масс и нормалью к радиусу в точке проекции центра масс на лопасть турбинки;

$R$  – радиус турбинки;

$U_1$  – скорость частиц на выходе из турбинки;

$\alpha_{л}$  – угол изгиба лопасти турбинки относительно радиального направления;

$v$  – окружная скорость концов лопастей турбинки.

Математическая модель крутящего момента  $M_{об}$  включает в себя все параметры расходомера, физические характеристики материала 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 воздействие только переменные физические характеристики материала  $f_1$  и  $\varepsilon$  – соответственно, коэффициенты трения скольжения и восстановления частиц. Установлено, что коэффициент трения скольжения  $f_1$  определяет значение скорости частиц материала на выходе турбинки  $U_1$ , а коэффициент восстановления частиц  $\varepsilon$  – значение приращения скорости центра масс  $\Delta U$ . При этом  $U_1$  и  $\Delta U$  входят в вышеназванное выражение (1). Значения  $f_1$  и  $\varepsilon$ , в свою очередь, зависят от влажности, насыпной плотности и т.д. [2].

### Результаты моделирования

Исследование при помощи ЭВМ полученного выражения и анализ полученных данных показали, что коэффициент  $\varepsilon$  влияет только на величину  $M_{вд}$  и погреш-

ность измерения в зависимости от значения угла  $\alpha_n$ .

Зависимость  $M_{вд}$  от  $\varepsilon$  при различных значениях угла  $\alpha$  представлена на рисунке 1, из которого следует, что минимальная абсолютная погрешность  $\Delta = 1,5$  Н·м от  $\varepsilon$  соответствует  $\alpha_n = 35^\circ$ . Это дает основание считать, что такой угол наклона лопастей является наиболее приемлемым.

Угол  $\alpha_n = 35^\circ$  является оптимальным и потому, что абсолютное значение составляющей  $M_{коб}$  почти в 4 раза больше  $M_{вд}$ . С ростом  $\alpha_n$  значение  $M_{коб}$  возрастает, а  $M_{вд}$  – уменьшается, что приводит к частичной компенсации необходимого увеличения  $M_{об}$  при обеспечении оптимизации угла  $\alpha_n$ .

Более заметное воздействие по сравнению с  $\varepsilon$  на погрешность измерения оказывает коэффициент трения скольжения частиц о лопасти  $f_1$ . С увеличением  $f_1$  от 0,3 до 0,6 (предельные значения для любых сыпучих материалов)  $M_{вд}$  при  $\alpha_n = 35^\circ$  незначительно увеличивается, а  $M_{коб}$  – уменьшается, что отражено на рисунке 2.

Из рисунка 2 и результатов исследования следует, что относительная погрешность измерения расхода от изменения коэффициента трения скольжения  $f_1$  составляет 2,4%, а от изменения коэффициента  $\varepsilon$  – 1,26%.

В связи с тем, что найденные составляющие погрешности некоррелированы, результирующая относительная погрешность составит  $\gamma_{рез} = \sqrt{2,4^2 + 1,26^2} = 2,7\%$ .

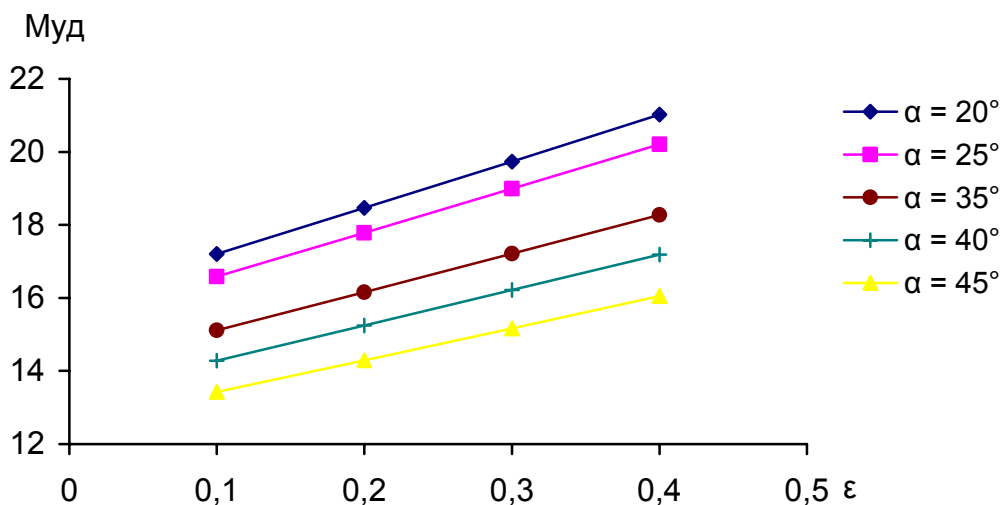


Рис. 1. Зависимость  $M_{вд}$  от  $\varepsilon$  при различных  $\alpha$

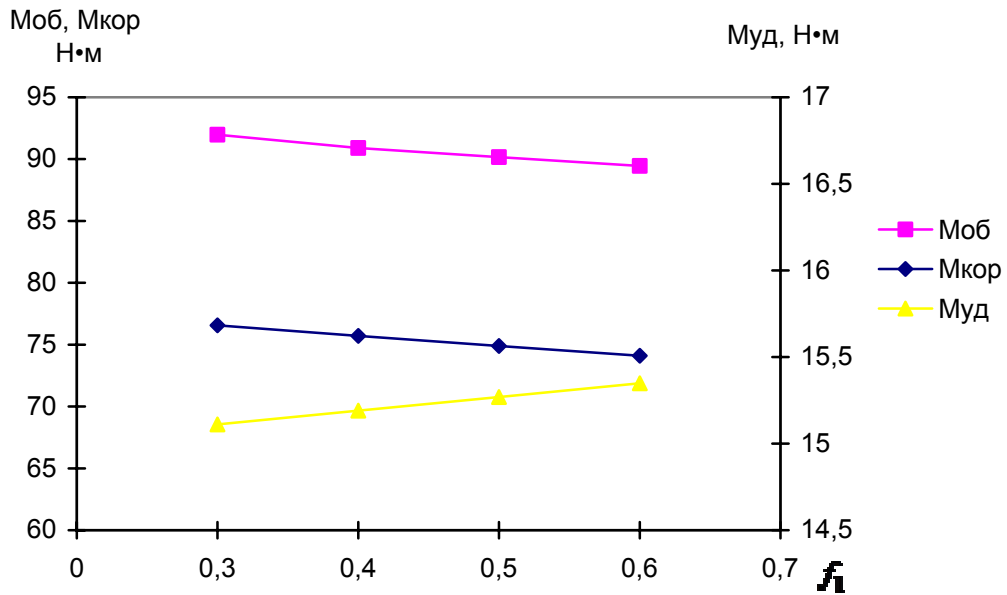


Рис. 2. Зависимость крутящих моментов от  $f_1$  при  $\alpha_n = 35^\circ$

Если учесть, что в динамике физико-механические параметры  $f_1$  и  $\varepsilon$  для конкретного материала изменяются незначительно, то погрешность измерения расхода значительно уменьшится. Согласно [3] коэффициент трения скольжения для зерна пшеницы изменяется в пределах 0,37-0,47, а  $\varepsilon$  – в пределах 0,15-0,20. В связи с этим результирующая относительная погрешность разработанного расходомера для зерна пшеницы составляет 1,2%.

Зависимость общего крутящего момента на валу турбинки получена на основании теоретического исследования выражения. По результатам исследований построен график зависимости  $M_{об}$  от расхода  $Q$ , который представлен на рисунке 3.

Как следует из рисунка 3, зависимость  $M_{об}$  от  $Q$  линейна.

Выходной номинальной статической характеристикой расходомера является зависимость частоты вращения электродвигателя от расхода. Эта зависимость представлена на рисунке 4.

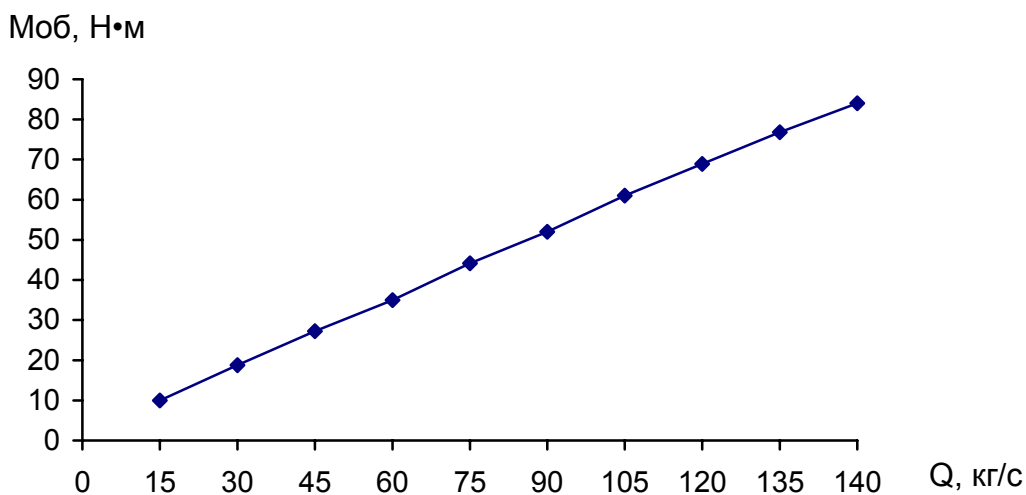


Рис. 3. Зависимость  $M_{об}$  от расхода  $Q$

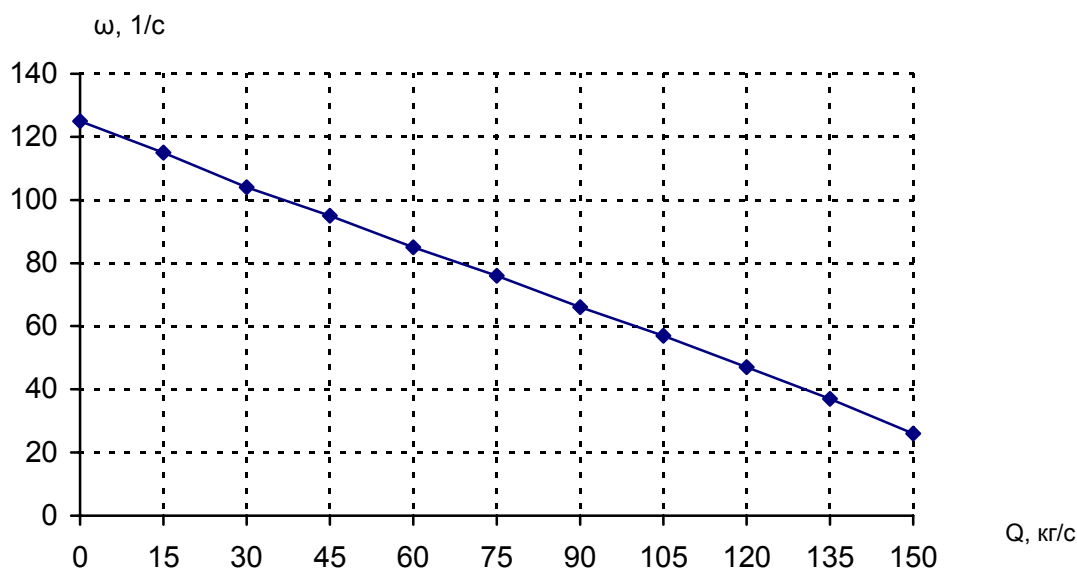


Рис. 4. Зависимость частоты вращения электродвигателя  $\omega$  от расхода  $Q$

### Выводы

В результате математического моделирования установлено, что выходной номинальной статической характеристикой расходомера является зависимость частоты вращения электродвигателя от расхода. Кроме того, общий крутящий момент на валу турбинки также является функцией расхода сыпучего материала.

### Библиографический список

1. Луткин Н.И. Расходомеры для зерна и сыпучих материалов / Н.И. Луткин. – М.: Колос, 1969. – 184 с.

2. Багаев А.А. Использование момента Кориолисовых сил для измерения массового расхода потока зерна и продуктов его размола / А.А. Багаев, В.Г. Лукьянов, Р.С. Чернусь // Вестник АГАУ. – 2008. – № 4 (42). – С. 47-49.

3. Мерко Н.Т. Разработка и исследование расходомера для зерна и продуктов его размола / Н.Т. Мерко и др. // Сборник ЦНИИТЭИ Мингаза СССР. – 1979. – 95 с.



УДК 664.7.05:621.926.34

В.Л. Злочевский  
Е.Ю. Чикина

## УСТРОЙСТВО ДЛЯ ПЛЮЩЕНИЯ ЗЕРНА МАЯТНИКОВОГО ТИПА

**Ключевые слова:** плющение, деформация сжатия, плющильный станок, криволинейная колеблющаяся поверхность, маятник, вращающийся цилиндр, мгновенный центр скоростей, дифференциальные уравнения, угловое ускорение, сила трения, минимально допустимый диаметр, угол захвата, угол трения.

### Введение

Процесс плющения является распространенной технологической операцией на зерноперерабатывающих предприятиях. Он заключается в том, что исходное сырье подвергается механическому воздействию, заключающемуся в деформации сжатия между двумя движущимися кри-