

# **МОДЕЛИРОВАНИЕ ОБРЕЗЧИКА ЛИСТЬЕВ ЛУКА-РЕПКИ**

**Кшникаткин С. А.,**

профессор кафедры «Основы конструирования механизмов и машин»

ФГБОУ ВО Пензенский ГАУ,

г. Пенза, РФ

kshnikatkin@yandex.ru

**Карпухин А. А.,**

аспирант

ФГБОУ ВО Пензенский ГАУ,

г. Пенза, РФ

karpuhin-ip@yandex.ru

Аннотация. В статье рассмотрена возможность применения моделирования при проектировании обрезчиков для предуборочной обрезки листьев лука-репки.

Ключевые слова. Ножевой ротор, диаметральный вентилятор, листья, предуборочная обрезка, лук-репка, рабочий орган, аэродинамические параметры, качество отделения.

Ножевые роторы, работающие в режиме диаметрального вентилятора, создающие плоскопараллельный воздушный поток, представляют практический интерес для предуборочной обрезки листьев лука – репки при ориентации листьев в зону отделения. Исследование рабочего процесса ряда экспериментальных машин показало, что технологический процесс ориентации и отделения листьев лука в этих машинах протекает более эффективно, если ножевые роторы работают в режиме диаметрального вентилятора. Применение таких рабочих органов делает машины и установки более компактными.

Сложность рабочего процесса ножевого ротора, работающего в режиме диаметрального вентилятора, делает невозможным получение его характеристики и аэродинамической схемы расчетным путем. Исследования показали, что они могут быть получены пересчетом по теории подобия схемы и характеристики имеющегося диаметрального вентилятора [1, 2, 3].

При моделировании гидромеханических явлений должны соблюдаться условия геометрического, кинематического и динамического подобий. Геометрическое подобие требует, чтобы линейный масштаб всех сходственных геометрических элементов был одинаков. Кинематическое подобие – это подобие линий тока и пропорциональность сходственных скоростей. Динамическое подобие обеспечивается при соблюдении геометрического и кинематического подобий и сохранении масштаба сил для всех соответственных точек двух потоков.

Строгое установление гидродинамического подобия затруднено из-за невозможности воспроизведения этих условий в лабораторной установке. Так, натуральные ножевые роторы, как правило, имеют большие размеры, чем роторы – модели, поэтому можно считать

$$l_m < l_n$$

. Кроме того, как опыт с моделью, так и работа натурального ротора происходят в воздухе, т. е. с достаточной точностью можно полагать. При этих условиях для равенства чисел Рейнольдса необходимо иметь  $c_m < c_n$ , а для чисел Фруда  $c_m < c_n$ .

Из этого следует, что нельзя выбрать скорость для эксперимента с уменьшенной моделью так, чтобы удовлетворять двум числам подобия, так как они противоречат друг другу. Следовательно, полное подобие при испытании ротора – модели невозможна. В следствие этого на практике обычно стремятся осуществить так называемое частичное подобие, т. е. подобие по одному или нескольким параметрам, которые являются наиболее важными в эксперименте. В аэродинамике малых скоростей основное значение имеет критерий Рейнольдса, так как сопротивление среды в этих

условиях происходит главным образом от сил трения. Поэтому исследования геометрически подобных ножевых роторов, работающих в режиме диаметрального вентилятора должно проводиться при постоянных числах Рейнольдса.

В приложении к вопросам подобия ножевых роторов, работающих в режиме диаметральных вентиляторов функциональная зависимость между рядом величин и установление безразмерных критериев, характеризующих поток для динамически подобных условий, могут быть установлены с помощью анализа размерностей, который также позволяет выявить границы применения теории подобия и оценить различные факторы, влияющие на поток.

Рабочий процесс ножевого ротора, работающего в режиме диаметрального вентилятора, определяется следующими величинами: диаметром ротора  $D_2$  по наружным кромкам ножей в м, частотой вращения ротора  $n$  в единицу времени в 1/с, плотностью воздуха

$\rho$

в кгс • с<sup>2</sup>/м<sup>4</sup>, производительностью ножевого ротора по отводу воздуха из зоны отделения листьев лука  $Q$  в м<sup>3</sup>/с, давлением воздушного потока  $H$  в кгс/м<sup>2</sup>, гидравлической мощностью  $N_2$  в кгс • м/с [1, 2, 3].

Согласно П-теореме функциональная зависимость между этими величинами может быть представлена уравнением

$$f(D_2, n, \rho, Q, H, N_2) = 0 \quad (1)$$

Эти величины могут быть измерены с помощью трех основных единиц измерения: массы  $m$ , длины

$l$

, и времени  $t$ . Для вывода критериев подобия в качестве основных параметров выбираем  $D_2$ ,  $n$  и

$\rho$

. Из теорем подобия известно, что полное уравнение, описывающее зависимость между  $r$  величинами, размерность которых определяется  $i$

основными величинами, приводится к виду  $f(\Pi_1, \Pi_2 \dots \Pi_{r-i}) = 0$  или в данном случае  $f(\Pi_1, \Pi_2, \Pi_3) = 0$ .

Величина  $\Pi$  обозначает безразмерно

$$\Pi = D_2^a n^b \rho^c Q^d H^e N_2^f$$

Учитывая, что величины  $D_2$ ,  $n$  и

$$\rho$$

являются независимыми переменными, безразмерные величины  $\Pi_1$ ,  $\Pi_2$  и  $\Pi_3$  выражаем в виде

$$\Pi_1 = D_2^{a_1} n^{b_1} \rho^{c_1} Q;$$

$$\Pi_2 = D_2^{a_2} n^{b_2} \rho^{c_2} H;$$

$$\Pi_3 = D_2^{a_3} n^{b_3} \rho^{c_3} N_2(2)$$

Показатели степени  $a_1$ ,

$$b_2$$

,  $c_1$  и т. д., являющиеся целыми или дробными числами или же равны нулю, должны быть определены. Для этого выразим  $D_2$ ,  $n$ ,

$$\rho$$

,  $Q$ ,  $H$ ,  $N_2$  через их основные размерности:

$$\Pi_1 = (l)^{a_1} (1/t)^{b_1} (m/l^3)^{c_1} (l^3/t) = l^{a_1-3c_1+3} t^{-b_1-1} m^{c_1}; (3)$$

$$\Pi_2 = (l)^{a_2} (1/t)^{b_2} (m/l^3)^{c_2} (m/lt^2) = l^{a_2-3c_2-1} t^{-b_2-2} m^{c_2+1} (4)$$

$$\Pi_3 = (l)^{a_3} (1/t)^{b_3} (m/l^3)^{c_3} (ml^2/t^3) = l^{a_3-3c_3+2} t^{-b_3-3} m^{c_3+1} (5)$$

Величины  $\Pi_1$ ,  $\Pi_2$  и  $\Pi_3$  будут безразмерными, если показатели степеней при

$$l$$

,  $t$  и  $m$  равны нулю. Из выражения (3) получим три совместных уравнения для определения  $a_1$ ,

$$b_2$$

и  $c_1$ :  $a_1 - 3c_1 + 3 = 0$ ; -

$$v_1$$

$$-1 = 0; c_1 = 0.$$

Следовательно, имеем  $a_1 = -3$ ,

$$v_1$$

$$= -1, c_1 = 0.$$

Подставив значения этих показателей степеней в уравнение (3), будем иметь:

$$П_1 = D_2^{-3} n^{-1} Q = \frac{Q}{D_2^3 n} \quad (6)$$

Аналогичным образом из выражений (4) и (5) находим показатели степеней  $a_2 = -2$ ,

$$v_2 = -2, c_2 = -1, a_3 = -5,$$

$v_3 = -3, c_3 = -1$ . После подстановки значений этих величин в уравнения (4) и

(5) получим

$$П_2 = D_2^{-2} n^{-2} \rho^{-1} H = \frac{H}{D_2^2 n^2 \rho}; \quad (7)$$

$$П_3 = D_2^{-5} n^{-3} \rho^{-1} N_2 = \frac{N_2}{D_2^5 n^3 \rho}. \quad (8)$$

Значения соответствующих параметров  $\Pi$  одинаковы для подобных режимов работы независимо от размеров ножевого ротора, числа оборотов и плотности воздуха, т. е.  $\Pi_1 = idem, \Pi_2 = idem, \Pi_3 = idem$ . Поэтому из условия равенства критериев  $\Pi_1, \Pi_2$  и  $\Pi_3$ , зная аэродинамические параметры одного ножевого ротора, можно определить параметры другого [4, 5, 6, 7, 8].

Практический интерес представляет работа ножевого ротора в режиме диаметрального вентилятора с некоторой средой, т. е. с обрезанными листьями лука в различных режимах  $D_{2c} =$

$$\rho_c = 1, \text{ тогда}$$

$$\frac{Q}{n} = idem,$$

$$\frac{H}{n^2} = idem ,$$

$$\frac{N_2}{n^3} = idem , (9)$$

т. е. производительность ножевого ротора по отводу воздуха из зоны обрезки листьев пропорциональна числу оборотов ротора, давление – квадрату и гидравлическая мощность (на валу ротора) – кубу числа оборотов.

При работе подобных ножевых роторов в одинаковых скоростных режимах и с одинаковой средой, т. е. при  $n_c =$

$\rho_c = 1$ , будем иметь

$$\frac{Q}{D_2^3} = idem ,$$

$$\frac{H}{D_2^2} = idem ,$$

$$\frac{N_2}{D_2^5} = idem , (10)$$

следовательно, производительность ножевого ротора по отводу воздуха из зоны обрезки листьев пропорциональна кубу диаметра, давление – второй степени и гидравлическая мощность – пятой степени диаметра ротора.

При работе одного и того же ножевого ротора в одном скоростном режиме, но с различной средой имеем  $D_c = n_c = 1$ , поэтому

$$Q = idem ,$$

$$\frac{H}{\rho} = idem ,$$

$$\frac{N_2}{\rho} = idem , (11)$$

т. е. производительность ножевого ротора по отводу воздуха из зоны обрезки листьев не зависит от плотности воздуха.

Так как полезная мощность ножевого ротора представляет собой произведение

$N = QH$ , то подобные ножевые роторы, работающие в одинаковом режиме, имеют одинаковые к.п.д., т. е.

$$\eta = \frac{N}{N_2} = \frac{QH}{N_2} = idem \quad . (12)$$

В ножевых роторах, работающих по принципу диаметрального вентилятора, течение воздуха происходит в плоскостях, перпендикулярных оси вращения ротора. Рассмотрим, в какой мере параметры работы ножевого ротора зависят от его ширины. Для этого величины  $\Pi_1$ ,  $\Pi_2$  и  $\Pi_3$  представим в виде

$$\begin{aligned} \Pi_1 &= \frac{Q}{\kappa B D_2^2 n} , \\ \Pi_2 &= \frac{H}{U_2^2 \pi^{-2} \rho} , \\ \Pi_3 &= \frac{N_2}{\kappa B D_2 U_2^3 \pi^{-3} \rho} ; (13) \end{aligned}$$

здесь

$$\kappa = \frac{D_2}{B}$$

– отношение диаметра ротора к его ширине (для подобных ножевых роторов  $\kappa = idem$ );  $U_2 =$

$\pi$

$D_2 n$  – окружная скорость наружных кромок ножей ротора. Следовательно, для геометрически подобных ножевых роторов имеем

$$\begin{aligned} \Pi'_1 &= \frac{Q}{B D_2^2 n} , \\ \Pi'_2 &= \frac{H}{\rho U_2^2} , \end{aligned}$$

$$\Pi'_3 = \frac{N_2}{BD_2 U_2^3 \rho}. \quad (14)$$

При работе ножевых роторов, отличающихся лишь шириной ротора, с некоторой средой и в одинаковых скоростных режимах, т. е. при  $D_c =$

$$\rho_c = n_c = 1, \text{ получим}$$

$$Q = \Pi'_1 B,$$

$$H = \Pi'_2,$$

$$N_2 = \Pi'_3 B, \quad (15)$$

т. е. производительность ножевого ротора по отводу воздуха из зоны обрезки листьев и гидравлическая мощность пропорциональны ширине ротора, а давление не зависит от его ширины.

При известных параметрах  $\Pi_1$ ,  $\Pi_2$  и к.п.д.

$$\eta$$

м вентилятора-модели и заданных величинах потребной производительности  $Q$  по отводу воздуха из зоны обрезки листьев и частоты вращения  $n$  проектируемого ножевого ротора параметры последнего определяются по формулам:

$$D_2 = \sqrt[3]{\frac{Q}{n\Pi_1\kappa_1}},$$

$$H = \Pi_2 \rho D_2^2 n^2 \kappa_2,$$

$$\eta = \eta_m \kappa_3.$$

Небольшие отклонения величин этих относительных разностей позволяют заключить, что на ножевые роторы, работающие в режиме диаметральных вентиляторов, распространяются законы пересчета характеристик по методу подобия.

#### Список использованных источников

1. Ларюшин, Н.П. Результаты лабораторных исследований устройства для отделения листьев лука-репки / Н.П. Ларюшин, С.А. Кшникаткин,



Т.А. Кирюхина, И.С. Калинина // Нива Поволжья. – 2009. – № 2 (11). – С. 48–52.

2. Ларюшин, Н.П. Теоретическое исследование процесса отделения листьев лука-репки обрезчиком листьев / Н.П. Ларюшин, С.А. Кшникаткин, Т.А. Кирюхина // Нива Поволжья. – 2010. – № 1 (14). – С. 61–67.

3. Патент № 2240712 РФ. МПК А23N. Устройство для обрезки листьев лука и корнеплодов / Н.П. Ларюшин, С.А. Кшникаткин, Т.А. Кирюхина. – № 2002132345. Заявл. 02.12.2002.; опубл. 27.11.2004. Бюл. № 33.

4. Патент № 2550028 РФ. МПК А23N 15/04. Устройство для отделения листьев лука / В.Н. Кувайцев, Н.П. Ларюшин, С.А. Кшникаткин, Т.А. Кирюхина. – № 2013157977. Заявл. 25.12.13.; опубл. 10.05.15. Бюл. № 13.

5. Ларюшин, Н.П. Механизированная технология производства лука-репки / Н.П. Ларюшин, А.А. Протасов, О.Н. Кухарев, С.Н. Ларюшин, С.А. Кшникаткин // Картофель и овощи. – 2002. – № 1. – С. 10–11.

6. Бибарсов, Р.А. Комплексная система производства и переработки / Р.А. Бибарсов, С.А. Кшникаткин // Картофель и овощи. – 1991. – № 1. – С. 38–40.

7. Кшникаткин, С.А. Предуборочная обрезка листьев лука-репки улучшает качество лука / С.А. Кшникаткин, А.А. Карпухин // Вклад молодых ученых в инновационное развитие АПК России: матер. всерос. науч.-практич. конф. молодых ученых. – Пенза, 2010. – С. 178–180.

8. Кшникаткин, С.А. Применение вентиляторов для предуборочной обрезки листьев лука и их особенности / С.А. Кшникаткин, А.А. Карпухин // Вклад молодых ученых в инновационное развитие АПК России: матер. всерос. науч.-практич. конф. молодых ученых. – Пенза, 2010. – С. 177–178.

9. Мейлахс, И.И. Луковый комплекс / И.И. Мейлахс, С.А. Кшникаткин, Э.С. Рейнгарт // Сельский механизатор. – 1991. – № 6. – С. 25–27.

## **MODELING LEAVES CUTTER LUKA-CUTTING**

**Kshnikatkin S. A.,**

Professor of the Department

"Basics of designing mechanisms and machines"

Penza State Agrarian University,

Penza, RF

kshnikatkin@yandex.ru

**Karpukhin A. A.,**

graduate student

Penza State Agrarian University,

Penza, RF

karpukhin-ip@yandex.ru

Annotation. The article discusses the possibility of using modeling in the design of trimmers for pre-harvest pruning of onion leaves.

Keywords. Knife rotor, diametral fan, leaves, pre-harvest pruning, onion turnips, working body, aerodynamic parameters, quality of separation.