

5. Кравцов, А.М. Экспериментальные исследования работы эжекторов / А.М. Кравцов // Энергетика... (Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ). – 2000. – № 3. – С.90–95.

УДК631.362.6

## МЕХАНИКА ДВИЖЕНИЯ ЗЕРНА ПО ГЕЛИКОИДУ С ПЕРЕМЕННЫМ ШАГОМ В СУШИЛЬНОЙ УСТАНОВКЕ

**А.Ж. Сагындикова доктор PhD**

*Казахский национальный аграрный университет,  
г. Алматы, Республика Казахстан*

### Введение

Республика Казахстан является одним из значимых производителей твердой и сильной пшеницы. Сейчас урожай зерна в Казахстане достигает 20 млн. тонн, а в лучшие годы собирали до 34 млн. тонн. Значительная часть этого зерна экспортируется в разные страны мира [1]. Учитывая, что основные зернопроизводящие регионы находятся в северной части республики уборка сопряжена с такой проблемой как выпадение дождей и зерно убирается с повышенной влажностью, доходящей до 20%. При обмолоте влажных хлебов обычно в конце августа или в начале сентября, влажность соломы превышает влажность зерна на 10-20%, а при уборке риса разность влажности зерна и стеблей бывает даже трехкратная. В этой связи, зерно, убираемое в северном Казахстане для сохранности необходимо сушить.

### Основная часть

Нами предлагается высокочастотная индукционная сушка, имеющая такие преимущества перед традиционными, как направленность основной энергии, не на нагрев материала зерна, а целенаправленно во внутреннюю влагу, находящуюся в зерне, что обусловлено различной диэлектрической проницаемостью двух сред – влаги и материалов самого зерна. Благодаря этому к.п.д. такой сушильной камеры превышает традиционные, а кроме того не наносятся термические травмы эндосперме зерна [2].

Технологическая схема такой зерносушилки показана на рисунке 1. Она содержит высокочастотный генератор, возбуждающую

обмотку, которая огибает цилиндр, выполненного из диэлектрика. Внутри этого цилиндра находится неподвижная винтовая поверхность (3), на которую с верхней части засыпается зерно из бункера. За счет гравитационных сил зерно движется вниз по винтовой поверхности. Здесь имеется одна особенность – винтовая поверхность должна иметь переменный шаг, уменьшающийся от верхней части к нижней. Это вызвано тем, что по мере высушивания зерна снижается коэффициент трения зерна по материалу винтовой поверхности. Вообще коэффициент трения зерна по материалу вначале возрастает с увеличением влажности, т.к. присутствует эффект адгезии. Затем при достижении определенной влажности начинается снижаться, т.к. влага образует смазывающую пленку между зерном и материалом поверхности, при дальнейшем возрастании влажности такая смешанная среда, зерно и влага переходит в квазижидкое состояние и коэффициент трения резко падает.

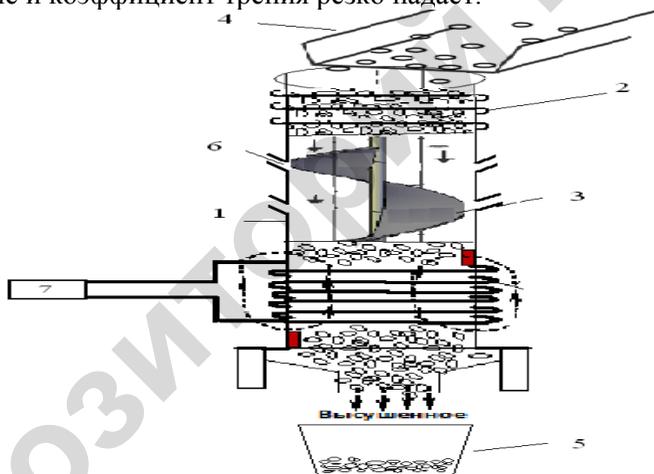


Рисунок 1 – Технологическая схема зерносушилки:

1 - цилиндрический кожух, 2- электрическая обмотка, 3-транспортирующий шнек, 4- загрузочной лоток, 5 – выгрузочной лоток, 6- воздухоотвод

Зерно, попав на винтовую поверхность, не должно сразу сползть вниз по этой поверхности, т.к. коэффициент трения  $K_{P10} > L_{10}$  больше угла подъема винтовой поверхности. Только лишь после нагрева влаги в зерне и частичного снижения влажности, коэффициент трения начнет снижаться и зерно движется вниз, но за-

тем остановится, т.к. в этой части  $K_{P10} > L_{i1}$  и т.д., до тех пор пока зерно не достигнет требуемой влажности [3]. При индивидуальной сушке влага в зерне нагревается и испаряется, за счет этого снижается влажность зерна в данный момент и пропорционально этому снижается коэффициент трения [4]. Когда коэффициент трения достигнет величины больше  $\operatorname{tg}$  угла наклона геликоида, зерно снова начинает двигаться вниз и процесс повторяется. При таких условиях пространственным движением зерна, когда возникает центробежная сила, прижимающая зерно к стенке кожуха, можно пренебречь. Соответственно, пренебрегаем кориолисовым ускорением. Задача сводится к нахождению образующей винтовой поверхности, спроецированной на плоскости X-Y, рисунок 2.

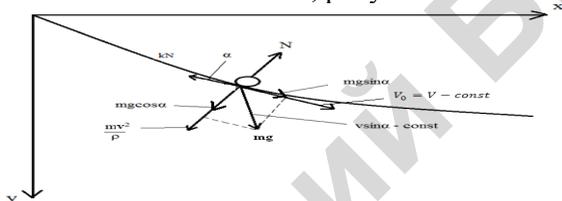


Рисунок 2 – Силы, действующие на зерно, движущиеся по обмоткам винта

Скорость движения зерна в вертикальной плоскости не должна быть очень малой, (рисунок 2), т.к. в противном случае происходит перегрев зерна (из-за закипания воды в зерновке), но и не должна быть большой, рассмотрено в [5], авторы рекомендуют сушку ВЧ токами не более 2 минут (120сек), в противном случае снизиться всхожесть зерна. При этом сокращается время экспозиции магнитно-электрического поля на зерно, и оно выйдет недостаточно просушенным.

Задаем условие постоянства скорости движения зерна по образующей винтовой линии, т.е.

$$V = V_0 = \text{const} \quad (1)$$

где  $V_0$  – начальная скорость зерна

Требуется определить форму этой образующей. Уравнение (2) примет вид:

$$m \frac{dV}{dt} = mg \sin \alpha - kN = 0 \quad (2)$$

Подставляя уравнение (1) в (2) имеем:

$$mgs\sin\alpha - km\gamma\cos\alpha + km\frac{v_0^2}{\rho} = 0; \quad (3)$$

Для инженерной интерпретации уравнения 3, автором просчитывалась эта функция на программе Excel, как изменяется угол наклона образующей геликоида и его полярный радиус в зависимости от влажности в данный момент при движении по геликоиду внутри излучателя СВЧ сушки. Следует, что этот винт имеет технологически осуществимые параметры, как по углу винтовой линии, так и по полярному радиусу. Таким образом, получено уравнение образующей геликоида с переменным шагом в зависимости от начальной скорости падающего зерна  $V_0$  и влажности зерна  $W$  в каждый момент движения по кривой  $f(\rho, \alpha)$ , где  $\rho$  и  $\alpha$  изменяются в зависимости от коэффициента трения зерна как функции его влажности.

### Заключение

Таким образом, в данной статье впервые обосновано саморегулирующееся движение зерна по винтовой поверхности с переменным шагом при СВЧ сушки зерна.

### Литература

1. Курушин А.А., Пластиков А.Н. Проектирование СВЧ устройств в среде CST Microwave Studio.М.:Издательство МЭИ, 2010. – 160 с.
2. Лыков А.В. Теория переноса энергии и вещества / А.В. Лыков, Ю.А. Михайлов. - Минск: Изд-во Акад. Наук БССР, 1954. - 357с.
3. Mohamed Hemisatal, журнал «BiosystemsEngineering» №112, 2012 стр.202-209, (journalhomepage: [www.elsevier.com/locate/issn/15375110](http://www.elsevier.com/locate/issn/15375110)).
4. Molnar, C. O., «Numerical modeling of electromagnetic phenomena in electro thermal microwave installations,» Ph.D. Thesis, University of Oradea Publishing house, 2006.
5. Han, F., «The effect of microwave treatment on germination, vigour and health of china aster (*callistephus chine sis nees.*)seeds,»Journal of Agricultural Science, Vol.2, No. 4, 201-210, 2010.