

*Литература*

1. Дашков, В.Н. Анализ энерго- и ресурсоемкости оборудования для измельчения зерна / Дашков В.Н., Воробьев Н.А., Дрозд С.А. // Инновация технологии в производстве и переработке сельскохозяйственной продукции. – Минск, БГАТУ, 2011. – №2. – С.73-77.
2. Одегов, В.А. Обоснование параметров и режимов работы плющилки влажного зерна / В.А. Одегов // Дисс. ... кон. тех. наук: 05.20.01 / Зон. Науч.-исслед. ин-т с/х Сев-Восточ. им Н.В. Рудского. – Киров, 2005.
3. Дорофеев, Н.С. Исследование процесса двухстадийного измельчения зерна / Н.С. Дорофеев // Автореферат дисс. ... кон. тех. наук: 05.20.01 / Воронежский с/х институт. – Воронеж, 1967.
4. Плющилка зерна двухступенчатая ПЗД-3. Протокол испытания. – Киров.: «Зональный научно-исследовательский институт Северо-Востока им. Н.В. Рудницкого», 2006. – 7 с.
5. Сайт компании «Davis» [Электронный ресурс]: Каталог двухстадийных измельчителей зерна – Режим допуска: [www.hcdavis.com](http://www.hcdavis.com)
6. Сайт компании «Buhler» [Электронный ресурс]: Каталог оборудования для измельчения зерна – Режим допуска: [www.buhlergroup.com](http://www.buhlergroup.com)
7. Сайт компании «Kuenzel» [Электронный ресурс]: измельчители зерна — Режим допуска: [www.kuenzel.cc](http://www.kuenzel.cc)

УДК 631.563

**МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ  
ДВУХСТАДИЙНОГО ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ ЗЕРНА**

*Дашков В.Н., д.т.н., проф., Воробьев Н.А., к.т.н., доц., Дрозд С.А. (БГАТУ, Минск)*

**Введение**

В целях повышения конкурентоспособности продукции большое внимание уделяется энергоёмкости и ресурсоемкости применяемых технологий и оборудования. Поэтому одной из ключевых задач, стоящих перед агроинженерной наукой является разработка энергосберегающих технологий и оборудования при одновременном снижении их металлоёмкости. В связи с этим исследование, моделирование и оптимизация рабочего процесса двух стадийного измельчения с целью энергосбережения является весьма актуальной задачей.

**Основная часть**

Для проведения экспериментального исследования была выбрана схема двух стадийного измельчения зерна, которая включает в себя сочетание пары валцов с горизонтально расположенным молотковым ротором. Предварительное воздействие на зерно валцами способствует искусственному образованию трещин и снижению сопротивления зерна при дальнейшем измельчении молотковым ротором. Данное сочетание рабочих органов способствует снижению энергопотребления, повышению производительности измельчителя и улучшению качества готового продукта[1].

В качестве параметров оценки показателей процесса были выбраны:

у1 – производительность  $Q$ , т/ч;

у2 – мощность затрачиваемая на осуществление процесса  $N$ , кВт;

у3 – качество плющения  $t_n$ , мм;

у4 – энергоёмкость  $\mathcal{E}$ , кВт ч/т.

На указанные параметры влияют многие факторы. Для первой ступени измельчения (валцами) основными факторами являются: диаметр валцов, длина валцов, окружная скорость валцов, зазор между валцами, коэффициент трения зерна, скорость подачи зерна, тип рабочей поверхности, шаг рифлей, геометрические характеристики рифлей, передаточное отношение валцов, влажность зерна. Для второй ступени измельчения (молотковым ротором) – диаметр ротора, длина ротора, окружная скорость ротора, количество молотков в роторе, диаметр отверстий в решетке.

Наиболее эффективно будет оптимизировать факторы, которые оказывают значительное влияние на параметры оценки показателей процесса и обладают возможностью регулирования без существенных затрат.

С учетом изложенного выше многофакторная зависимость запишется:

$$(Q, N, t_n, \mathcal{E}) = f(b, i, d)$$

где  $b$  – зазор между валцами, мм;

$i$  – передаточное отношение валцов;

$d$  – диаметр отверстий в решетке, мм.

Исследование по изучению влияния величины зазора между валцами, передаточного отношения валцов и диаметра отверстий в решетке на производительность, качество плющения, потребляемую мощность и энергоёмкости процесса плющения производили на экспериментальной установке.

Лабораторная установка состоит из двух измельчителей: валцового ИПЗ-3 и молоткового ИК-1.

Подлежащие измельчению зерно засыпается в бункер вальцовой плющилки, из которого через воронку, при открытой заслонке, попадает на рифленные ведущий и ведомый валцы. Проходя через межвальцовый зазор, зерно сплющивается и высыпается через выгрузное окно.

На данной ступени измельчения исследуется влияние межвальцового зазора и передаточного отношения валцов на исследуемые показатели при двух стадийном измельчении. Зазор между валцами

## Секция 1: Переработка и хранение сельскохозяйственной продукции

можно изменять от 0,5 до 2,5 мм. Для передачи крутящего момента от ведущего вальца к ведомому используются сменные зубчатые колеса позволяющие менять передаточное отношение между вальцами от 0,5 до 1. Технические характеристики вальцового измельчителя применяемого на первой ступени приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Технические характеристики вальцового измельчителя ИПЗ-3[2]

Параметр	Значение
Производительность, т/ч	3
Мощность электродвигателя, кВт	7,5
Диаметр вальцов, мм	270
Полная длина вальцов, мм	300
Установочная длина вальцов, мм	85
Коэффициент использования рабочей части	0,28
Частота вращения вальца (быстрого), об/мин	1080
Частота вращения вальца (медленного), об/мин	540
Частота вращения вальцов при одной скорости вращения, об/мин	810
Габаритные размеры, мм	1300×600×1370
Масса, кг	300

Затем предварительно измельченное зерно окончательно измельчается в молотковом измельчителе ИК-1, при помощи которой исследуется влияние диаметра отверстий решета на исследуемые параметры при двухстадийном измельчении. Диаметр отверстий в решете изменяется от 2 до 3 мм путем замены решета. Технические характеристики молоткового измельчителя приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Технические характеристики молоткового измельчителя ИК-1[3]

Параметр	Значение
Производительность, т/ч	0,18
Мощность электродвигателя, кВт	1,1
Частота вращения ротора, об/мин	2850
Габаритные размеры, мм	420×300×540
Масса, кг	22

При каждом опыте измельчения зерна берется проба помола, замеряется время опыта, масса плющеного зерна, количества затрачиваемой энергии. Для увеличения точности количество опытов должно быть не менее 3, а продолжительность опыта должна быть не менее 5 секунд. Опыт проводится только после выхода измельчителя в рабочий режим, то есть двигатель вышел на необходимые обороты, обеспечивается равномерная подача измельчаемого продукта.

Производительность измельчителя определяется как отношение массы готового продукта к времени опыта. Массу измельченного зерна определяли путем взвешивания его на весах. Время опыта фиксировали секундомером.

Толщину измельченного зерна определяли ситовым анализом, для чего из разных мест навески отбирали пробу массой 0,1 кг плющеного зерна. Затем производили рассев проб на ситах с калиброванными отверстиями диаметром 0,5; 1; 1,5; 2; 2,5; 3 мм. Сход с сит взвешивали на весах ВЛКТ-500-М с точностью 0,01г. Средневзвешенную толщину плющеного зерна определяли по формуле:

$$t_{nc} = \frac{0,5m_{0,5} + 1m_1 + 1,5m_{1,5} + 2m_2 + 2,5m_{2,5} + 3m_3}{100}$$

где  $m_i$  - сход с соответствующего сита.

Для определения энергоемкости процесса измельчения во время опытов необходимо измерить потребляемую мощность на холостом ходе и при установившемся режиме работы машины и фиксировать при помощи цифрового ваттметра преобразователя частоты Delta Electronics серии VFD-B с погрешностью 0,1.

Энергоемкость процесса плющения рассчитывали по формуле

$$\Theta = \frac{N_p - N_x}{Q}$$

где  $N_p$  - мощность, потребляемая измельчителем в процессе работы, кВт;

$N_x$  - мощность, потребляемая измельчителем на холостом ходе, кВт.

Применение метода планирования многофакторного эксперимента позволяет сделать выводы о влиянии факторов на изучаемый процесс на основе наименьшего числа опытов[4].

Для описания процесса в стандартной зоне используем полный центральный композиционный ротатабельный эксперимент типа 2<sup>3</sup>. Перед началом эксперимента кодируем факторы согласно зависимости:

$$x_i = \frac{X_i^{B,H} - X_{01}}{\varepsilon},$$

где  $x_i$  – кодированное значение фактора;

$X_i^{B,H}$  – натуральное значение факторов соответственно на верхнем и нижнем уровнях;

$\varepsilon$  – натуральное значение интервала варьирования.

$$\varepsilon = \frac{X_i^B - X_i^H}{2},$$

При этом происходит линейное преобразование факторного пространства с переносом начала координат в центр плана. Значения факторов в кодированном и натуральном виде сведены в таблицу 3.

Таблица 3 – Значение факторов в кодированном и натуральном виде

Факторы	Обозначение	Интервал варьирования	Уровни факторов		
			-1	0	+1
Зазор между вальцами, мм	$x_1$	0,5	1	1,5	2
Передаточное отношение валцов	$x_2$	0,25	0,5	0,75	1
Диаметр отверстий в решетке	$x_3$	0,5	2	2,5	3

Для центрального композиционного ротатбельного плана второго порядка при  $n$  факторов общей численностью опытов равно:

$$N = 2^k + 2k + N_0$$

где  $2^k$  – число опытов полного факторного эксперимента;

$2n$  – число опытов в звездных точках;

$N_0$  – число опытов в центре плана.

Уравнение регрессии второго порядка в случае трехфакторного эксперимента имеет вид:

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + b_{23}x_2x_3 + b_{11}x_1^2 + b_{22}x_2^2 + b_{33}x_3^2.$$

#### Заключение

Составленные математические модели позволят без значительных затрат времени и средств определить рациональные параметры и режимы работы двух стадийного измельчителя зерна, при которых будет обеспечено требуемое качество готового продукта, необходимая производительность и минимизирована энергоемкость технологического процесса.

#### Литература

1. Дорофеев, Н.С. Исследование процесса двухстадийного измельчения зерна / Н.С. Дорофеев // Автореферат дисс. ... кон. тех. наук: 05.20.01 / Воронежский с/х институт. – Воронеж, 1967.
2. Сайт «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства» [Электронный ресурс]: Измельчитель-плющилка зерна ИПЗ-3. – Режим допуска: <http://belagromech.basnet.by/research/catalogue/forage/izp3.html>.
3. Сайт «Могилевлифтмаш» [Электронный ресурс]: Измельчитель кормов ИК-1 – Режим допуска: <http://www.liftmach.by/tnp/ik1.html>.
4. Леонов А.Н. Основы научных исследований и моделирования: учебно-методический комплекс/ А.Н. Леонов, М.М. Дечко, В.Б. Ловкис. – Минск: БГАТУ, 2010. – 276с.

УДК: 664.858:543.257.1

### ПРИМЕНЕНИЕ ЖМЫХ ЯДЕР ГРЕЦКОГО ОРЕХА (JUGLANS REGIA L.) ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ХЛЕБОБУЛОЧНЫХ ИЗДЕЛИЙ

Кирица Е.Н, д.б.н., Сандулаки Е. И., д.т.н., доц., Костыш В. И.  
(Технический университет Молдовы, Кишинев)

#### Введение

Изучение динамики потребления пищевых продуктов в Молдове показывает, что доля хлебобулочных изделий в структуре рациона питания населения существенно возросла и продолжает увеличиваться, что преимущественно связано с их невысокой стоимостью по сравнению с другими продуктами питания. Среди целого ряда существующих направлений с целью повышения пищевой ценности хлебобулочных изделий из пшеничной муки разработка рецептур и технологий хлеба с добавками растительного сырья является перспективным. Преимуществом обогащения хлебобулочных изделий натуральным растительным сырьем является комплексность его химического состава и вследствие этого возможность комплексного обогащения хлебобулочных изделий витаминами, белками и минеральными веществами [1,2,8,9].

Одним из перспективных сырьевых источников является жмых ядер грецкого ореха, получаемый после