

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК УНИВЕРСАЛЬНЫХ ЗУБЧАТЫХ ИЗМЕЛЬЧИТЕЛЕЙ МОДЕЛЕЙ ИТЗ-01 И ИЦЗ-08

Андреев Д.А., Гончарова Е.В., Гаврилова О.А.
Научный руководитель – канд. техн. наук, доцент Пикалов Ю.А.

Сибирский федеральный университет

**Работа выполнена в рамках Федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009 – 2013 годы (ГК №02.740.11.0044).*

Процесс гранулирования комбикормов по существующим технологиям состоит из ряда операций: измельчения зерна; смешивание компонентов; увлажнение; гранулирование. Основными операциями являются – измельчение и гранулирование. Анализ известных технологий и оборудования для их реализации показал, что суммарная мощность, затрачиваемая на основные операции, составляет от 20 до 47 кВт на 1 тонну продукции. Снижение энергозатрат за счет применения инновационной технологии в 2,5-4,5 раза является актуальной задачей в свете «Энергетической стратегии России на период до 2030 года».

В Сибирском федеральном университете разработаны универсальные измельчители, которые позволяют реализовать способы дробления, гранулирования и экструдирования комбикормов. В конструкциях данных измельчителей использованы специальные зубчатые передачи. На рис. 1 представлен универсальный измельчитель ИТЗ-01, имеющий торцевую зубчатую передачу, а на рис. 2 показан измельчитель ИЦЗ-08, в котором применена цилиндрическая зубчатая передача внутреннего зацепления.

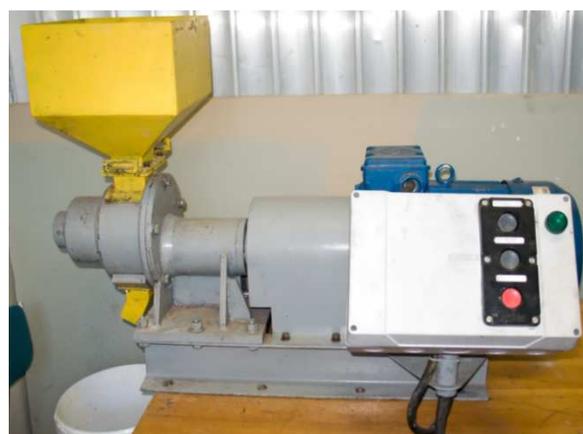
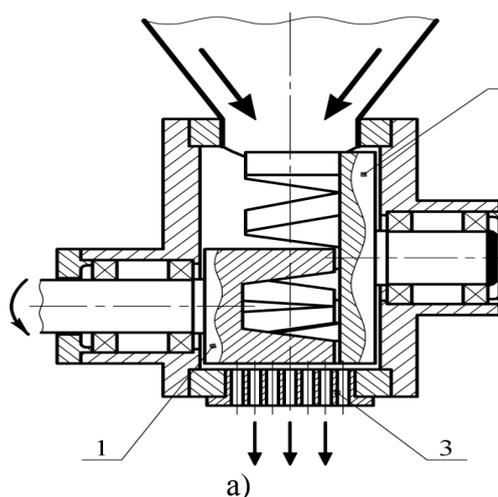


Рис. 1 Универсальный измельчитель торцевого зацепления ИТЗ-01:
а) принципиальная схема: 1 – шестерня; 2 – колесо; 3 – решетка сменная;
б) общий вид

Принцип работы измельчителей (рис. 1 -2) заключается в следующем. Исходное сырье из бункера поступает в камеру размола, при этом основное разрушение сырья происходит в полостях, образованных впадинами зубьев колеса и стенкой камеры. При

вращении зубья ведущей шестерни «закрывают» эти полости, в результате чего, сырье подвергается всестороннему сжатию, сдвигу, измельчается и отводится через отверстия в решетке 3 в приемную тару.

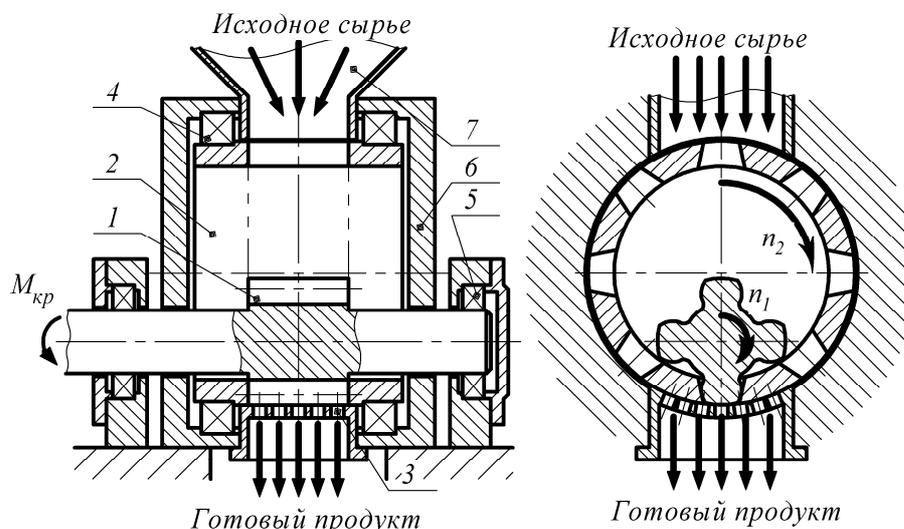


Рис. 2 Универсальный измельчитель цилиндрического зацепления ИЦЗ-08
 1 – шестерня; 2 – колесо внутреннего зацепления; 3 – решетка сменная; 4 – подшипник качения колеса; 5 – опорные подшипники вала-шестерни; 6 – корпус измельчителя; 7 – бункер с исходным сырьем.

Разработанные конструкции измельчителей ИТЗ-01 и ИЦЗ-08 прошли предварительные исследования в лаборатории «Эффективные методы измельчения материалов» на экспериментальном стенде (рис. 3), созданном на базе техники фирмы *Siemens* и технологий *National Instruments*.

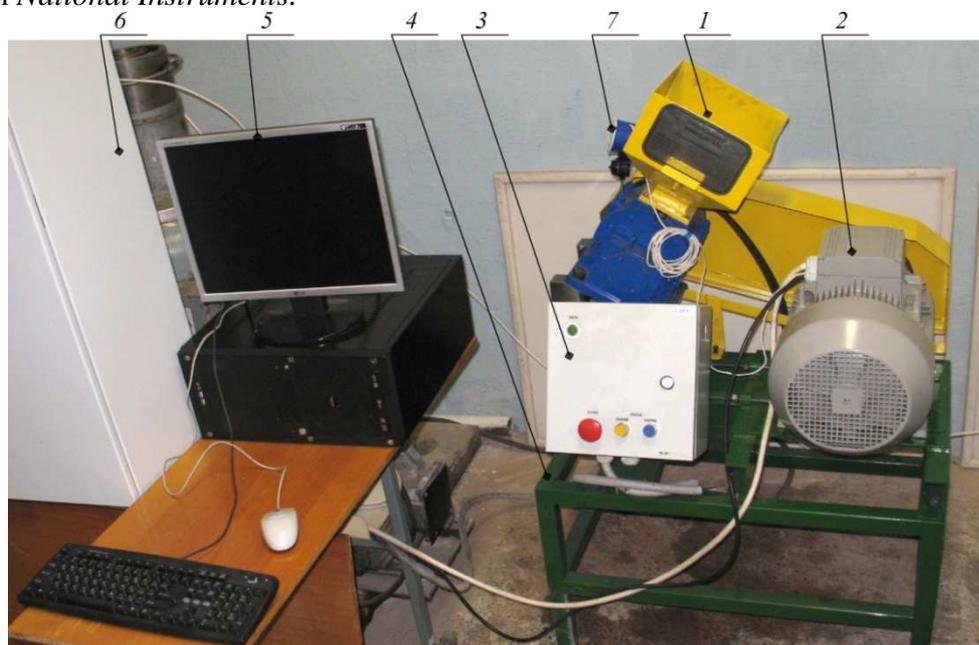


Рис. 3 Экспериментальный стенд для исследования измельчителей

На рис. 3 обозначено: 1 – измельчитель ИЦЗ-08; 2 – электродвигатель *Siemens* ($N = 5,5$ кВт, $n = 750$ об/мин); 3 – пульт управления; 4 – каркас несущий; 5 - управляющий компьютер на базе *LabVIEW* и *Simatic Net*; 6 – шкаф управления

Процесс дробления исследовался при измельчении зерновых культур, минеральных добавок – хлористого и йодистого калия, а также известняка, который входит в рацион птиц. Эксперименты показали, что измельчители способны измельчать не только сухое зерно (рис. 4-а), но и влажное, что весьма актуально для малых фермерских хозяйств, где нет зерносушилок. При переработке влажного зерна, наблюдается экструзионное измельчение, при котором из отверстий сменной решетки продукт выходит в виде «гранул» или «жгутов» (рис. 4, б-г). Диаметр «жгутов» определяется размером d_p отверстий в решетке.



а) измельчение сухого овса,
 $d_p = 5,0\text{мм}$



б) гранулы овса, $d_p = 3,0\text{мм}$



в) жгуты ячменя, $d_p = 8,0\text{мм}$



г) жгуты пшеницы, $d_p = 8,0\text{мм}$

Рис. 4 Виды готового продукта

На вид готового продукта существенное влияние оказывают влажность исходного сырья, а также температура и давление, возникающее в полостях размола. Для процесса гранулирования, необходимо обеспечить зерну влажность - 18-25%, при этом в зоне размола (установившийся режим) температура должна быть не более 50-60°C, а давление – от 3,0 до 4,0 МПа.

Для реализации процесса экструдирования необходимо продукту создать температуру от 120 до 140°C и давление в зоне размола от 3,0 до 5,0 МПа. Данные величины были зафиксированы в ходе предварительных экспериментов.

Следует сказать, что если производительность измельчителя, при заданной частоте вращения шестерни ($n_1 = 750...1500\text{об / мин}$), в основном определяется проходным отверстием D_{dz} загрузочного дозатора, установленного на выходе бункера, то качество измельчения и вид получаемого продукта (рис. 4) – определяются сменной решеткой с отверстиями размером d_p , которые имеют специальный вид, а их количество равно n_p .

Для экспериментального исследования технологических возможностей измельчителей использовали контрольно-измерительную и регистрирующую аппаратуру, которая включала в себя: датчик частоты вращения приводного вала, ИК-термометр, цифровой таймер, электронные весы GF-600, набор сит, влагомер, датчик давления, а также электронные штангенциркуль и микрометр.

При исследовании процесса измельчения (гранулирования) зернового продукта, была разработана методика, которая установила ряд параметров, влияющих на качество и производительность работы измельчителей.

В качестве *исходных параметров* принимали: частоту вращения приводного вала - $n_1, \text{об/мин}$; отверстие дозатора - $D_{dz}, \text{мм}$; количество отверстий - n_p и диаметр отверстий - $d_p, \text{мм}$ в сменной решетке; исходное сырье: масса - $m, \text{кг}$; размеры фракций - $a \times b, \text{мм}$; температура - $t_1, ^\circ\text{C}$ и влажность, % сырья.

Выходными параметрами являлись: вид полученного продукта – «размол», либо «экструзия»; масса - $m_1, \text{кг}$; размеры фракций - $a_1 \times b_1, \text{мм}$ продукта; время измельчения - $T, \text{с}$; производительность - $Q = \frac{m}{T}, \text{кг/ч}$; степень измельчения - $I = \frac{a_{cp}}{a_{1,cp}} \cdot 100\%$.

Здесь: a_{cp} – средневзвешенный размер частиц (зерен) исходного сырья; $a_{1,cp}$ – средневзвешенный размер частиц измельченного (сухого) продукта.

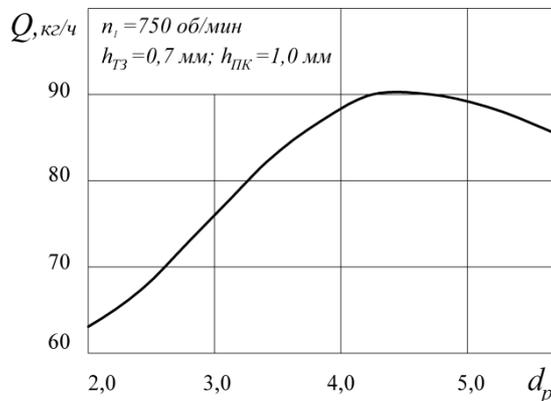


Рис. 5 Производительность измельчения

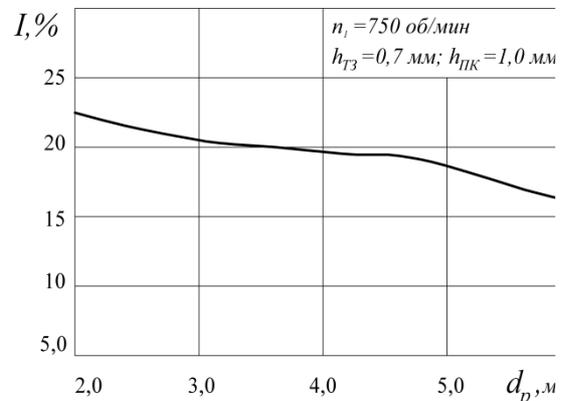


Рис. 6 Средняя степень измельчения

В ходе экспериментального исследования технологических характеристик измельчителя ИТЗ-01 было установлено, что с увеличением частоты вращения шестерни n_1 производительность измельчения возрастает, но вместе этим возрастает и температура внутри камеры размола, которая оказывает существенное влияние на экструзионный процесс измельчения влажного зерна. Для стабилизации режима экструзионного измельчения необходимо устанавливать частоту вращения шестерни $n_1 = 750 \text{об/мин}$, в сменной решетке диаметры отверстий должны быть равны $d_p = 3,0 \dots 5,0 \text{мм}$, проходное сечение дозатора должно обеспечивать оптимальную производительность (рис. 5).

Анализ результатов измельчения сухого сырья, в частности, известняка, показал, что основным фактором, определяющим среднюю степень измельчения является диаметр d_p отверстий в решетке (рис. 6).

Влияние таких параметров, как зазор в торцевой передаче $h_{ТЗ}$ и зазор между колесом и решеткой $h_{ПК}$, неоднозначно. С увеличением зазора $h_{ПК}$ значительно понижается степень измельчения продукта, а поэтому к выбору этого параметра необходимо подходить с учетом температурных деформаций элементов измельчителя. С уменьшением величины торцевого зазора $h_{ТЗ}$ повышается степень измельчения и возрастает износ зубьев шестерни.

Данные конструкции защищены патентами РФ, и в настоящее время продолжаются работы по исследованию эксплуатационных характеристик и по расширению области применения универсальных измельчителей, использующих специальные зубчатые передачи.