

# ПРОЦЕССЫ, АППАРАТЫ И ОБОРУДОВАНИЕ ПИЩЕВЫХ ПРОИЗВОДСТВ

УДК 636.085.622.001.5

## МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ УДАРНОГО ДАВЛЕНИЯ КАВИТАЦИОННЫХ ПУЗЫРЬКОВ В РОТОРНОМ ИЗМЕЛЬЧИТЕЛЕ-ДИСПЕРГАТОРЕ

*В.А. Шариунов, А.В. Червяков, П.Ю. Крупенин*

Предложена методика для определения ударного давления кавитационных пузырьков в роторном измельчителе-диспергаторе. Приводится описание измерительного комплекса на базе цифрового осциллографа.

### Введение

Стратегической задачей в развитии животноводства является увеличение объемов производства молока, мяса и другой продукции на основе повышения продуктивности животных. Основным сдерживающим фактором в реализации возможностей отрасли является низкий уровень обеспеченности ее кормами. При сложившейся структуре рационов и фактическом содержании в них питательных веществ продуктивное действие кормов не превышает 60 %.

Причиной такого положения является неполное использование кормового потенциала зерна, доля которого в структуре кормов составляет до 80%, при применении традиционных технологий обработки, основанных на физико-механических преобразованиях его структуры.

Зерно содержит антипитательные вещества, такие как фермент уреазы и ингибиторы трипсина. Эти вещества, попадая в кишечно-пищевой тракт животных и птицы, блокируют в нем активные центры внутренней секреции, что приводит к подавлению ферментативного расщепления белка и уменьшает образование из него аминокислот. Организм животного при этом начинает использовать ранее накопленные аминокислоты собственных тканей. Отсюда обратный эффект от кормления такими кормами, заключающийся в снижении продуктивности животных и птицы и в ухудшении состояния их здоровья [1].

Кроме того, фуражное зерно в той либо иной степени обсеменено патогенной микро- и макрофлорой, наличие которой также отрицательно сказывается на продуктивности и здоровье животных.

В настоящее время ведется активный поиск способов углубленной обработки для разрушения барьеров, препятствующих более полному использованию кормового потенциала зерна.

В ходе анализа применения кавитационных технологий в различных областях промышленности выдвинута гипотеза о возможности использования эффекта кавитации при производстве жидких кормовых смесей для интенсификации процессов диспергирования, инактивации антипитательных веществ и обеззараживания кормосмеси, поскольку локальные значения температур и давлений в кавитирующей жидкости не только сопоста-

вимы, но и значительно превышают значения данных параметров в известных технологиях углубленной обработки кормов [2].

### Результаты исследований и их обсуждение

Авторами разработана технология кавитационного диспергирования кормов и лабораторная установка для исследования рабочего процесса кавитационного роторного измельчителя-диспергатора [3]. Главной задачей экспериментальных исследований являлось определение конструктивных параметров измельчителя-диспергатора и технологических режимов кавитационной обработки плющеного зерна при приготовлении жидких кормовых смесей.

В связи с тем, что конечным результатом кавитационной обработки является получение кормосмесей с глубокой переработкой плющеного зерна, соответствующего ветеринарно-санитарным требованиям, то в качестве основного критерия оптимизации экспериментальных исследований принимали параметр, характеризующий интенсивность кавитационной обработки кормовой смеси.

Методы исследования кавитации можно разделить на прямые и косвенные [4–6].

К прямым методам относятся:

- визуальные – фото-, кино- и видеосъемка кавитационных образований;
- акустические – измерение давления в ударной волне, излучаемой одним или совокупностью кавитационных пузырьков при пульсациях и схлопывании.

Косвенные методы включают в себя такие методы, как:

- фотоэлектрический – регистрация сополуминесценции при кавитации;
- химические – исследование изменения массы, концентрации или объема химических реагентов за счет звукохимических реакций в кавитационном поле;
- гидродинамические – изменение гидродинамических параметров потока жидкости, связанных с интенсивностью кавитации;
- механические – измерение величины кавитационной эрозии, которую обычно выражают через убыль веса образцов в виде алюминиевых цилиндров или через площадь вырывов в алюминиевой фольге;
- технологические – изменения качественных показателей обрабатываемой среды, связанных с интенсивностью кавитации (в качестве обрабатываемой среды используют эмульсии, суспензии и т.п., в которых протекают гидромеханические и тепломассообменные процессы).

При проведении исследований кавитационной обработки жидкостей роторными импульсными аппаратами интенсивность кавитации характеризуется величиной ударного давления  $P_k$  [6, 7].

Величина ударного давления  $P_k$  схлопывающихся кавитационных пузырьков была принята за основной критерий оптимизации при проведении лабораторных исследований рабочего процесса роторного измельчителя-диспергатора.

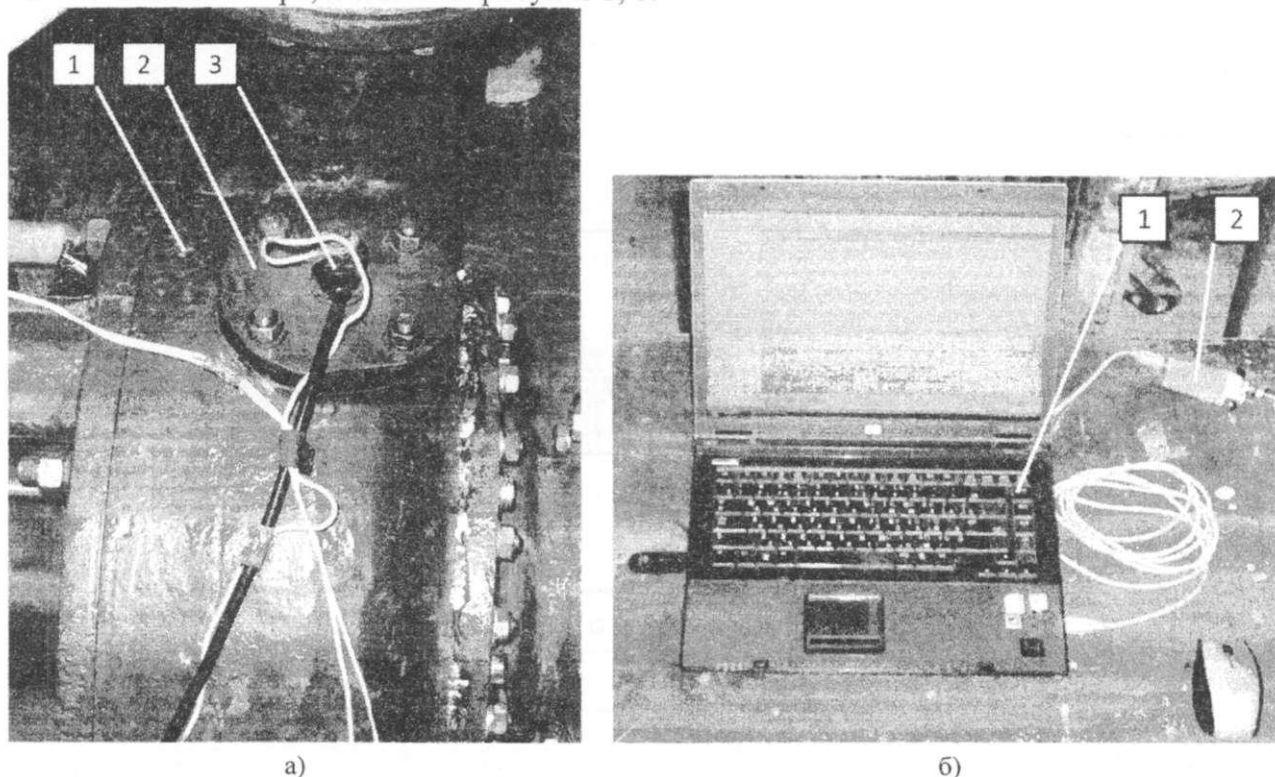
Сложность определения данного параметра заключается в том, что кавитационные образования возникают и исчезают за один период основных колебаний в канале статора. При каждом совпадении и перекрытии канала статора возникают, развиваются и коллапсируют новые кавитационные пузырьки. Если пузырьки не схлопываются за один период, то они выносятся из канала статора и схлопываются в рабочей камере. Сложность исследования импульсной акустической кавитации заключается еще и в том, что кавитация возникает в движущемся потоке, и при этом жидкость подвергается изотермическому сжатию и разрежению, то есть колебания давления являются псевдозвуковыми, и приемник звука, движущийся со скоростью потока, не будет регистрировать изменение давления [7, 8].

Звуковое давление, генерируемое схлопывающимися кавитационными пузырьками, регистрировали с помощью пьезокерамического датчика Bosch 0231231007. Сигнал с датчика подавали на вход цифрового осциллографа VM8020, подключенного по шине USB к

персональному компьютеру. Данные, поступающие с осциллографа, записывались на жесткий диск компьютера в виде осциллограмм при помощи программного обеспечения USB DiSco 3.04.

Пьезокерамический датчик 3 (рисунок 1, а) устанавливался в спиральном корпусе 1 диспергатора напротив канала статора. Учитывая тот факт, что звуковое давление подчиняется закону Паскаля [9], то возможное незначительное отклонение от осевого направления датчика не вносит существенного искажения в общую картину эксперимента.

Измерительный комплекс, состоящий из цифрового осциллографа VM8020 и персонального компьютера, показан на рисунке 1, б).



а) – установка пьезокерамического датчика: 1 – отвод диспергатора, 2 – крышка смотрового окна, 3 – датчик;  
б) – регистрирующие устройства: 1 – персональный компьютер; 2 – цифровой осциллограф VM8020USB

### Рисунок 1 – Общий вид измерительного комплекса

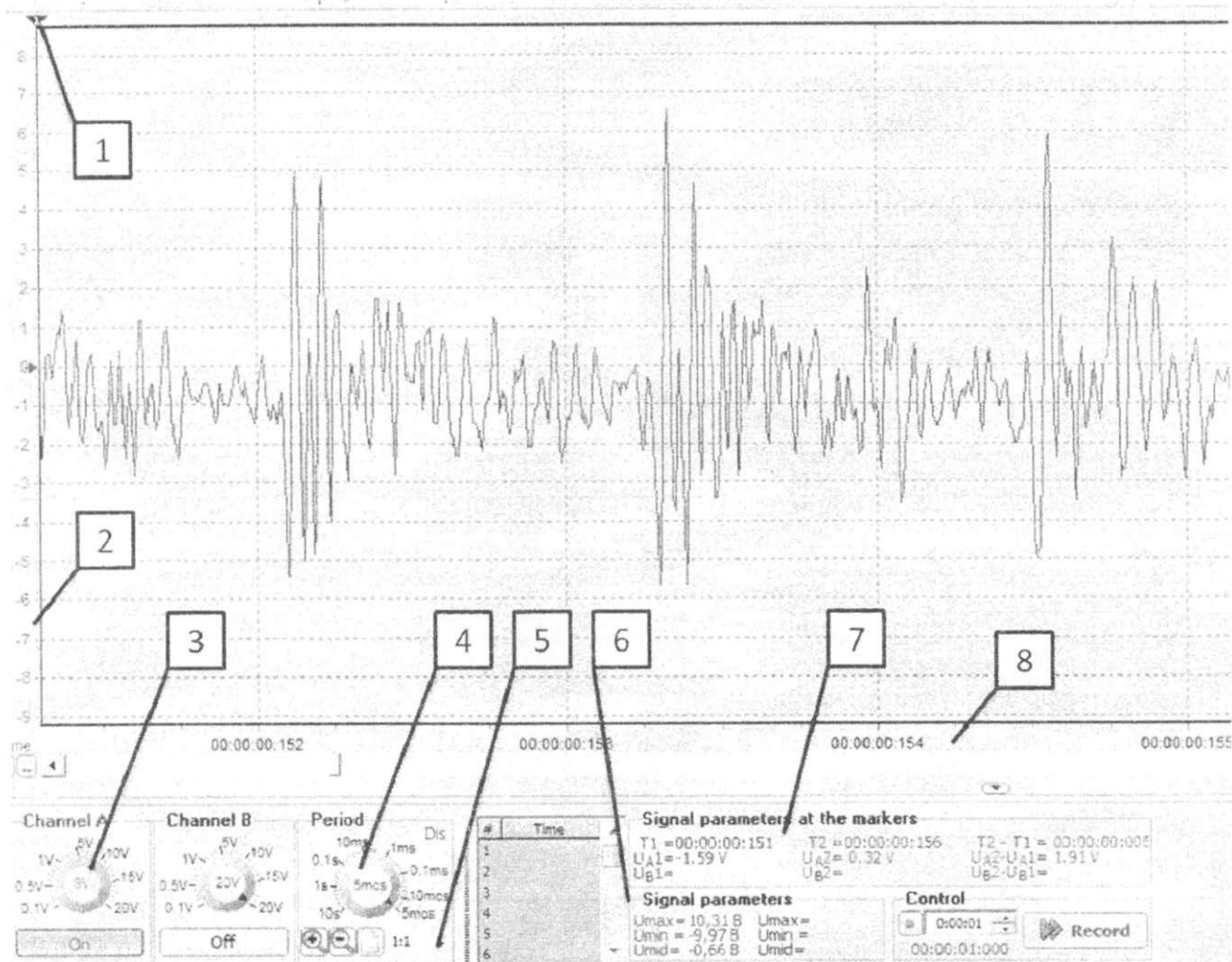
Ниже приведены основные технические характеристики осциллографа VM8020USB:

количество каналов	2
частота дискретизации	100 Гц–100 кГц
входное напряжение	–20...+20 В
разрядность АЦП	10 Бит
входное сопротивление	1 МОм
входная емкость	30 пФ

С целью проведения прямого сравнительного анализа различных режимов работы диспергатора по звуковому давлению сохраненные осциллограммы обрабатываются при помощи программного обеспечения USB DiSco 3.04, рабочее окно которого представлено на рисунке 2.

Основной задачей при обработке экспериментальных осциллограмм является определение максимальной амплитуды звукового давления, снимаемого пьезокерамическим датчиком. На рисунке 2 показана типичная осциллограмма звукового давления, создаваемого схлопывающимися кавитационными пузырьками. Пики на осциллограмме, образующиеся в момент перекрытия канала статора, представляют собой экстремальные значения ударного звукового давления. В данном случае, по оси ординат 2 отложена величина напряже-

ния, снимаемого с датчика. Перевод из значений напряжения в значения давления осуществляется при помощи переводного коэффициента, одинакового для всех осциллограмм. Таким образом, амплитуда напряжения, определяемая маркерными измерениями в блоке «Общие параметры осциллограммы» 6 параметрами  $U_{A1}$  и  $U_{A2}$ , коррелирует с амплитудой звукового давления  $P_k$ , принятой за критерий оптимизации, и может быть использована для сравнительного анализа различных режимов работы диспергатора.



1 – маркер; 2 – ось напряжения; 3 – размах шкалы напряжения; 4 – период дискретизации; 5 – масштаб оси времени; 6 – общие параметры осциллограммы; 7 – параметры осциллограммы под маркерами; 8 – ось времени

**Рисунок 2 – Рабочее окно программы USB DiSCO 3.04**

Для привода диспергатора применялись асинхронные электродвигатели, соединяемые с валом как напрямую, через МУВП, так и при помощи ременной передачи. Для определения точных значений угловых скоростей ротора осциллограммы, записанные в соответствующих режимах работы диспергатора, обрабатывались при помощи программного обеспечения MT Pro (рисунок 3).

Программное обеспечение MT Pro позволяет с высокой точностью установить продолжительность одного рабочего цикла  $T_{\omega}$  канала статора, определяемого отрезком времени между соседними пиками на осциллограмме. Зная величину  $T_{\omega}$  и количество каналов ротора  $z_p$ , можно определить угловую скорость ротора. Для снижения погрешностей при измерении  $T_{\omega}$  маркерными измерениями в MT Pro определяем суммарную продолжительность нескольких соседних циклов на осциллограмме.

Угловая скорость ротора определяется по формуле

$$\omega = 2\pi \frac{z_u}{z_p \Delta T}, \text{ с}^{-1}, \quad (1)$$

где  $z_u$  – количество циклов между маркерами  $T_1$  и  $T_2$  (рисунок 3);

$z_p$  – количество каналов ротора;

$\Delta T$  – отрезок времени между маркерами  $T_1$  и  $T_2$  (рисунок 3), с.

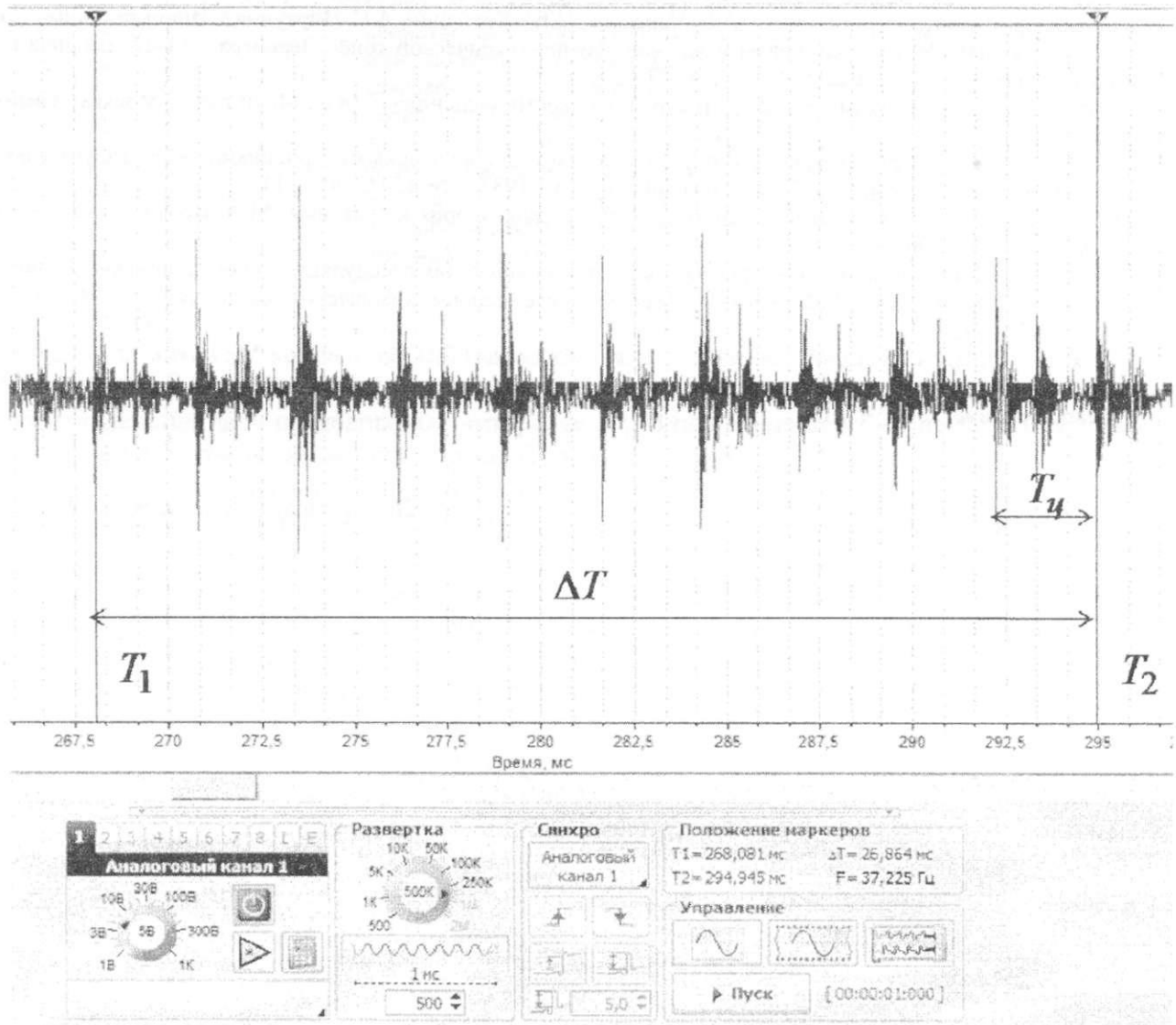


Рисунок 3 – Определение угловой скорости ротора в программе MT Pro

Вышеописанные измерения повторяли на различных участках осциллограммы, после чего определяли среднее значение угловой скорости ротора  $\omega$ .

### Заключение

Предложенная методика позволяет производить сравнительный анализ режимов работы роторного измельчителя-диспергатора по амплитуде ударного звукового давления кавитационных пузырьков. После дополнительной обработки осциллограмм специальным программным обеспечением становится возможным определение угловой скорости ротора, что, в свою очередь, позволяет исключить применение специальных измерительных средств для регистрации данного параметра.

**Литература**

- 1 Шаршунов, В.А. Биохимические и биофизические предпосылки для внедрения технологий углубленной переработки сырья при производстве комбикормов / В.А. Шаршунов, А.В. Червяков, С.В. Курзенков [и др.] // Известия Академии аграрных наук Республики Беларусь. – 1999. – №2. – С. 6–10.
- 2 Червяков, А.В. Повышение качества обработки плющеного зерна при производстве жидких кормовых смесей / А.В. Червяков, П.Ю. Крупенин // Наука. Образование. Технологии–2009: материалы II Междунар. научно-практической конф., Барановичи, 10–11 сентября 2009 г. / УО "БарГУ". – Барановичи: РИО БарГУ, 2009. – Ч. 1. – С. 237–239.
- 3 Червяков, А.В. Теоретические исследования процесса измельчения зерновой массы в насосах-диспергаторах кавитационного типа / А.В. Червяков, П.Ю. Крупенин, А.С. Циркунов // Инновационные технологии для АПК России: материалы междунар. научно-технической конф., Зеленоград, 14–15 мая 2008 г. / ВНИПТИМЭСХ. – Зеленоград, 2008. – С. 36–51.
- 4 Маргулис, М.А. Звукохимические реакции и сонолюминисценция / М.А. Маргулис. – Москва: Химия, 1986. – 288 с.
- 5 Курочкин, А.К. Экспериментальные исследования кавитации в роторных гидродинамических излучателях / А.К. Курочкин, Е.А. Смородов // Акустический журнал – 1987. – № 4. – С. 707–711.
- 6 Промтов, М.А. Пульсационные аппараты роторного типа: теория и практика / М.А. Промтов. – М.: «Машиностроение-1», 2001. – 247 с.
- 7 Юдаев, В.Ф. Гидромеханические процессы в роторных аппаратах с модуляцией проходного сечения потока обрабатываемой среды / В.Ф. Юдаев // Теоретические основы химических технологий. – 1994. – Т. 28. № 6. – С. 581–590.
- 8 Блохинцев, Д.И. Акустика неоднородной движущейся среды / Д.И. Блохинцев. – М.: Наука, 1981. – 208 с.
- 9 Макаров, Л.О. Акустические измерения в процессах ультразвуковой технологии. / Л.О. Макаров. – М.: Машиностроение, 1983. – 56 с.

*Поступила в редакцию 17.12.2010*