

## ВЫЯВЛЕНИЕ ПРИЧИН СНИЖЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ УЗ АППАРАТОВ

В.Н. Хмелёв, С.В. Левин, С.С. Хмелёв, С.Н. Цыганок, И.К. Лукаш  
ООО «Центр ультразвуковых технологий АлтГТУ»

Аннотация – В статье представлены результаты исследования, позволяющие анализировать условия эксплуатации ультразвуковых аппаратов с многополуволновыми излучателями для выявления причин снижения эффективности ультразвукового воздействия на технологический процесс и нарушений режимов работы, приводящих к выходу из строя ультразвукового оборудования.

*Ключевые слова:* ультразвук, ультразвуковая колебательная система.

### ВВЕДЕНИЕ

Создание и широкое применение специализированного ультразвукового оборудования с мощностью до 8000 Вт [1] позволило создавать новые и эффективно интенсифицировать известные технологические процессы [2]. Причём современное мощное оборудование не редко используется в

больших проточных линиях по обработке жидких сред и имеет в своём составе несколько последовательно установленных мощных излучателей ультразвука. На рис. 1 показано расположение ультразвуковых многополуволновых излучателей в проточных объёмах.

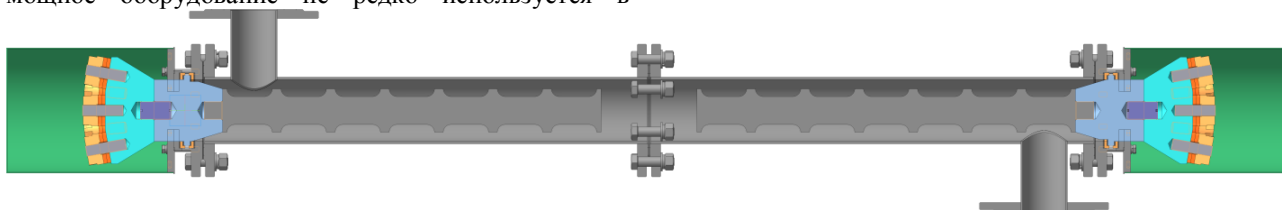


Рис.1. Расположение ультразвуковых излучателей

Обычно комплекс ультразвукового оборудования мощностью до 16000 Вт состоит из двух ультразвуковых колебательных систем, включающих многопакетные пьезопреобразователи и присоединённые к ним многополуволновые ультразвуковые излучатели в виде стержней переменного сечения [3,4,5], помещённых в два соединённых между собой проточных объёма (рис. 2).



Рис.2. Применение ультразвукового оборудования

Как следует из рис. 1 и 2 ультразвуковые излучатели расположены горизонтально на одной оси, а входной и выходной патрубки на проточных объёмах максимально разнесены друг от друга и расположены вертикально, имея диаметрально противоположное позиционирование друг относительно друга для обеспечения оптимального воздействия на обрабатываемую жидкость и предотвращения

образования воздушных полостей в технологической объёме.

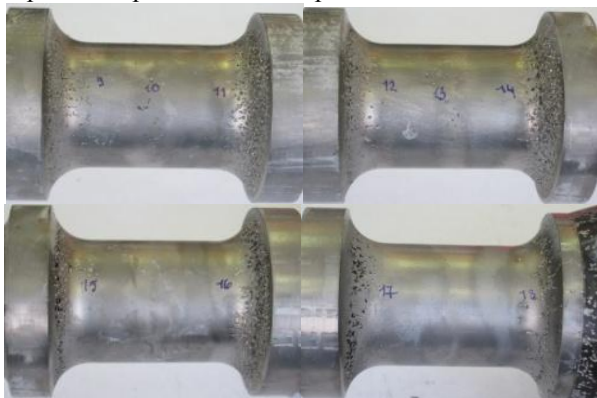
Излучение ультразвуковых колебаний с переходных между различными по диаметрам участков излучателей и излучение с торцевых поверхностей излучателей должно обеспечивать равномерное и эффективное воздействие на технологическую среду, протекающую в обрабатываемом объёме.

### ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Любые ультразвуковые излучатели, обеспечивающие ультразвуковое воздействие на жидкие среды в кавитационном режиме подвергаются равномерному кавитационному разрушению. На рис. 3 показан внешний вид некоторых звеньев многополуволнового рабочего инструмента ступенчато переменного диаметра после нескольких сотен часов работы. Как следует из представленного фото разрушение излучающей поверхности (переходный участок кольцевой формы) при эксплуатации излучателей в жидких средах происходит равномерно. Аналогичный результат получается при анализе разрушения торцевой излучающей поверхности диаметром 70 мм.

Кроме того размеры единичных кавитационных разрушений свидетельствуют о работе оборудования при нормальных условиях или при избыточном давлении.

При эксплуатации излучателей в таких условиях реализуется оптимальный режим согласования электронного генератора с излучателем и обеспечивается максимальный выход акустической энергии в обрабатываемые среды.



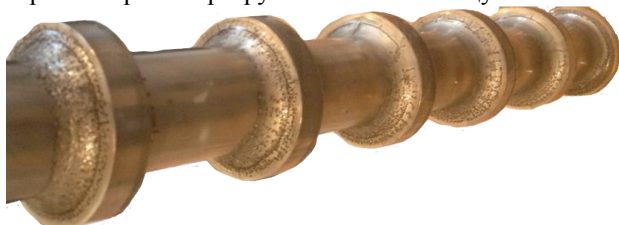
**Рис.3. Равномерный кавитационный износ излучателя**

Таким образом, наличие и распределение кавитационного разрушения на излучающей поверхности может свидетельствовать не только об эффективности использования оборудования, но и о правильности его эксплуатации.

Подтверждением этого является постоянный анализ характера разрушения излучающих поверхностей ультразвуковых аппаратов, эксплуатируемых при реализации различных технологических процессов т.е. при обработке различных жидко – дисперсных сред в различных условиях.

Такой анализ позволяет выявлять аномальные картины разрушения, показывающие, что кавитационное разрушение излучающих поверхностей происходит не равномерно по излучающей поверхности (подвергается разрушению только часть излучающей поверхности кольцевой формы). Кроме того картина кавитационного разрушения изменяется и по длине излучателя (ближние к преобразователю излучающие поверхности подверглись нормальному разрушению, последующие меньшему).

На рис. 4 представлены фото излучателя с неравномерными разрушениями по кольцу.



**Рис.4. Неравномерный кавитационный износ излучателя**

На рис. 5 представлены (попарно, вертикально) для сравнения фотографии диаметрально противоположных участков излучателя одного и того же цилиндрического элемента.



**Рис.5. Неравномерный кавитационный износ модулей**

На рис. 6 представлены фотографии торцевой поверхности излучателя и его ориентация в технологическом объеме при реализации процесса кавитационной обработки протекающей жидко – дисперсной среды.



**Рис.6. Торцевая поверхность излучателя**

Как следует из представленных фото кавитационного разрушения поверхности, реализуемый процесс протекает таким образом, что ультразвуковой излучатель в процессе работы разрушается неравномерно. Наибольший кавитационный износ имеет нижняя часть рабочего инструмента.

Такое расположение зон кавитационного разрушения свидетельствует о том, что менее поврежденная поверхность не была погружена в жидкость все время работы ультразвукового оборудования или большую часть этого времени. В любом случае, или постоянно, или частично эта поверхность не излучала ультразвуковых колебаний в обрабатываемую технологическую среду, т.е. не обеспечивала протекание реализуемого процесса. Очевидно, что технологический процесс был реализован таким образом, что в процессе работы в технологическом объеме формировался значительный по размерам газовый пузырь, снижающий эффективность ультразвукового воздействия. Кроме того, форма и размер образовавшихся кавитационных каверн свидетельствует о работе оборудования под избыточным давлением более 2 атмосфер, что не всегда предусматривается требованиями к условиям эксплуатации оборудования.

В конечном итоге такая эксплуатация оборудования (уменьшение поверхности излучения, изменение этой поверхности, избыточное давление) приводит к возникновению нерегламентного режима работы оборудования и выходу его из строя.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате анализа разрушений излучающих поверхностей ультразвуковых многополуволновых колебательных систем установлено, что эти разрушения являются кавитационными и их характер и распределение свидетельствуют о режимах и условиях эксплуатации оборудования.

Несимметричность кавитационного разрушения по излучающим поверхностям свидетельствует о полном или частичном отсутствии контакта с обрабатываемой средой (наличие воздушных полостей в технологических объемах), уменьшении выводимой акустической энергии и снижении эффективности реализуемого процесса.

Характер кавитационного разрушения (размер и глубина каверн, неравномерность их распределения по излучающей поверхности) свидетельствует о принудительном создании в технологическом объеме избыточного давления, исключающего реализацию оптимальных режимов УЗ воздействия.

Характер и распределение кавитационных разрушений излучающей поверхности позволяют не только выявлять условия эксплуатации оборудования, приводящие к снижению эффективности его применения, но и устанавливать режимы работы электронного генератора, приводящие к выходу его из строя.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Ультразвуковой технологический аппарат «Булава» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.u-sonic.com/catalog/apparaty\\_dlya\\_protocnoy\\_obrabotki\\_zhidkikh\\_sred/apparat\\_ultrazvukovoy\\_protocnyy\\_serii\\_bulava\\_p\\_01/](http://www.u-sonic.com/catalog/apparaty_dlya_protocnoy_obrabotki_zhidkikh_sred/apparat_ultrazvukovoy_protocnyy_serii_bulava_p_01/)
2. Хмелёв, В.Н. Применение ультразвука высокой интенсивности в промышленности / В.Н. Хмелёв, А.Н. Сливин, Р.В. Барсуков, С.Н. Цыганок, А.В. Шалунов; Алт. гос. техн. ун-т, БТИ. – Бийск: изд-во Алт. гос. техн. ун-та, 2010. – 196 С.
3. Патент 2473400 Российская федерация, МПК b06b1/06. Ультразвуковая колебательная система [Текст] / В.Н. Хмелёв, С.Н. Цыганок, С.В. Левин, С.С. Хмелёв; заявитель и патентообладатель Общество с ограниченной ответственностью «Центр ультразвуковых технологий». – № 2011133763/28, заявл. 10.08.2011; опубл. 27.01.2012.
4. Левин С.В., Хмелёв В.Н., Цыганок С.Н., Хмелёв С.С. Создание ультразвуковых колебательных систем с увеличенной поверхностью излучения. Измерения, автоматизация и моделирование в промышленности и научных исследованиях (ИАМП-2010): материалы 7-й всероссийской научно-технической конференции. – Бийск: АЛТГТУ, 2010. – с.147-151.
5. Khmelev V.N., Levin S.V., Tsyganok S.N., Khmelev S.S. Efficiency increase of the processes by the optimization of the ultrasonic vibrating system consisting of half-wave modules of variable cross-section. XII international conference and seminar of young specialists on Micro / Nanotechnologies And Electron Devices EDM 2011, Novosibirsk, NSTU. 2011. – p.275-280.

*Хмелёв Владимир Николаевич – д.т.н., профессор, директор по науке, тел. (3854)432581, e-mail: vnh@bti.secna.ru.*

*Левин Сергей Викторович – зам. директора по производству, тел. (3854)432570, e-mail: lsv@bti.secna.ru.*

*Хмелёв Сергей Сергеевич - к.т.н., ведущий конструктор, тел. (3854)432570, e-mail: ssh@bti.secna.ru.*

*Цыганок Сергей Николаевич - к.т.н., директор по производству, тел. (3854) 432570, e-mail: grey@bti.secna.ru.*

*Лукаш Игорь Константинович – студент группы ТМ-91, Бийский технологический институт (филиал) ГОУВПО АлтГТУ.*