

УДК 621.9

**Применение метода акустической эмиссии для оценки производительности  
процесса ультразвукового микросуспензирования**

**А.С. Проваторов<sup>1</sup>, Ю.В. Ермакова<sup>2</sup>**

<sup>1,2</sup>*Студенты, кафедра «Технологии ракетно-космического машиностроения»  
МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия*

*Научный руководитель: А.Л. Галиновский, д.п.н., к.т.н., профессор кафедры «Технологии  
ракетно-космического машиностроения» МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия*

МГТУ им. Н.Э. Баумана

[m-khafizov@mail.ru](mailto:m-khafizov@mail.ru)

Процесс управляемой гидроэрозии поверхности твердотельной мишени (заготовки) в зоне удара ультразвука жидкости с мишенью может быть эффективно использован для осуществления технологического процесса получения суспензий. В зависимости от технологических параметров обработки могут быть изменены конечные характеристики суспензии, такие как концентрация материала мишени в жидкости, размеры частиц, свойства самой жидкости и т.д. [1, 2]. Таким образом, можно говорить, что процесс ударно-динамического взаимодействия ультразвука жидкости с твердым телом и сопутствующие ему явления в целом обладают широкими физико-технологическими возможностями и изучение их является актуальной научно-технической задачей.

Под ультразвуковым суспензированием (УСУ) будем понимать совокупность физических методов и технических средств, реализация которых позволит обеспечить изменение состояние и свойств гидросреды, подвергнутой ультразвуковому воздействию (обработке). При этом получение суспензий осуществляется путем насыщения рабочей жидкости микрочастицами гидродиспергируемого, размываемого ультразвуком материала мишени. Именно процесс гидроэрозионного разрушения ультразвуком жидкости

поверхностного слоя материала мишени различной производительности является основным, базовым физическим процессом УСУ

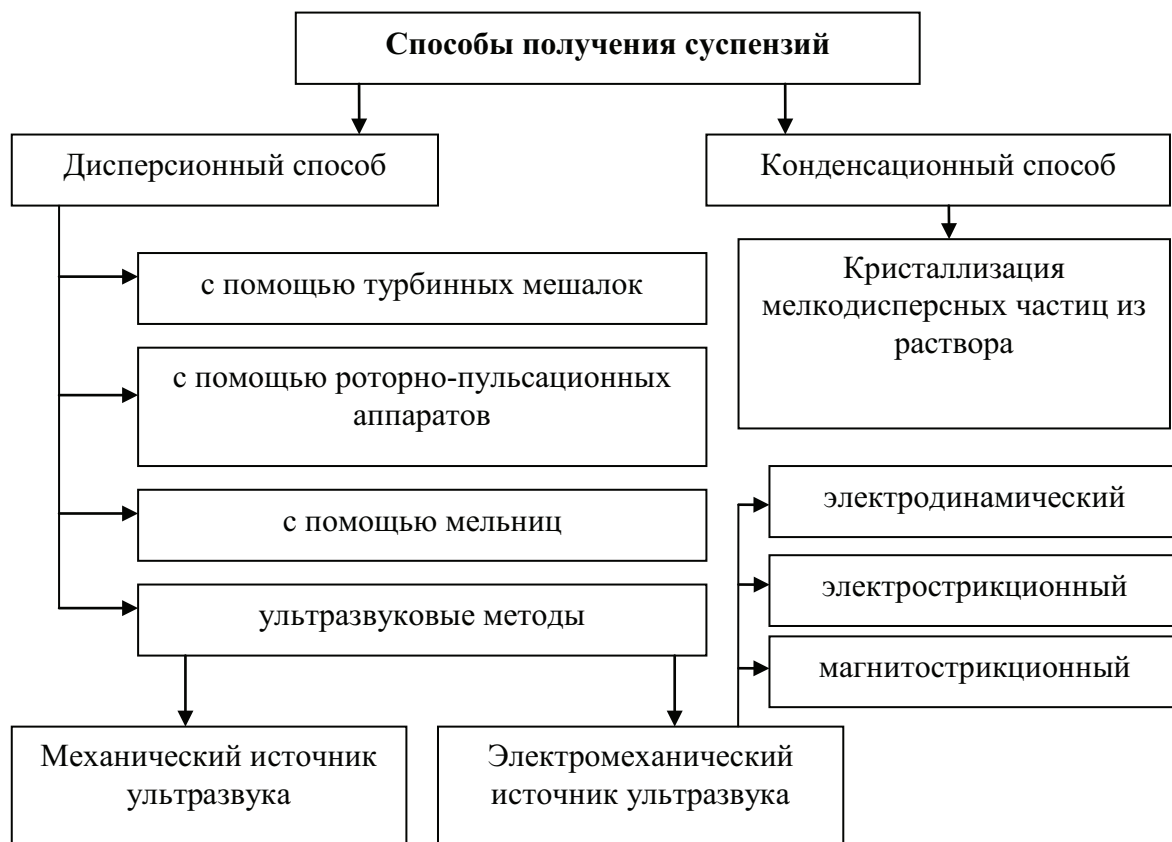


Рис. 1. Классификация основных способов получения суспензий

Предложенная технология УСУ дополняет арсенал известных способов получения суспензий (рис. 1), причем ультраструйные суспензии, обладают рядом уникальных свойств. Эти свойства обусловлены как активирующим физико-химическим действием удара ультраструи жидкости о мишень, так и условиями формирования самих твердофазных частиц.

Однако практика использования метода УСУ выявила ряд недостатков, связанных, прежде всего, с отсутствием подходов по контролю за состоянием процесса производства суспензии в режиме реального времени. Опыт применения метода акустической эмиссии (АЭ) для экспресс диагностики механических методов обработки материалов позволил выдвинуть гипотезу о возможности применения данного информационно-диагностического обеспечения для контроля технологического процесса производства суспензий. Действительно в процессе УСУ имеет место нарушение атомарно-молекулярной сплошности среды являющейся основной причиной возникновения мощной, энергетически весьма значимой, инициированной АЭ [3]. Другими словами при

Молодежный научно-технический вестник ФС77-51038

реализации данной технологии происходит разрушение обрабатываемого материала и разрыв адгезионных связей, локализованных в зоне структуро- и формообразования в области максимального сдвигообразования.

Вместе с тем при реализации данной гипотезы на практике остаются не решенными ряд физико-технических задач, представленные на рис. 2.

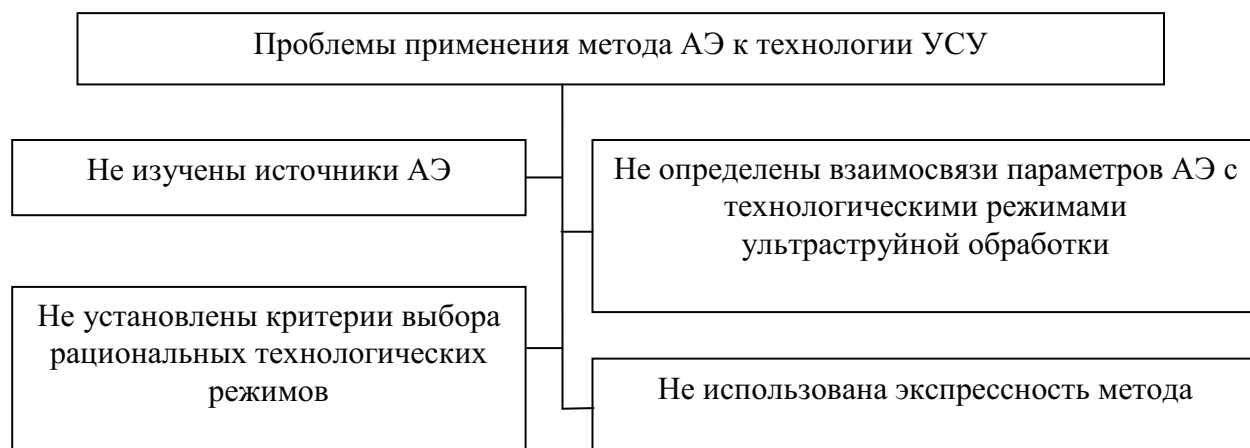
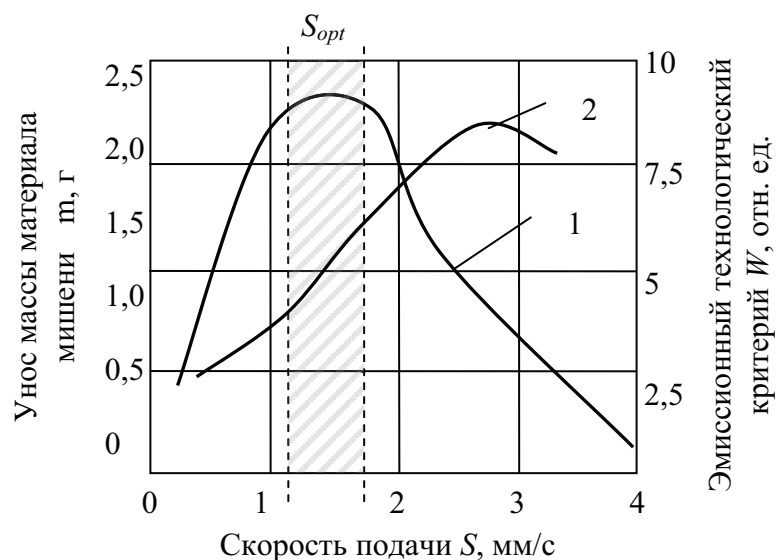


Рис. 2. Проблемы реализации информационно-диагностических возможностей метода АЭ к УСУ

Применение метода АЭ применительно к УСУ может развиваться в ряде направлений:

- оптимизация режимов УСУ;
- диагностика процесса получения суспензий;
- оценка обрабатываемости материалов мишени;
- контроль и прогнозирование износа расходных элементов технологического оборудования (фокусирующих сопловых насадок).

В качестве иллюстрации на рис. 3 предложен вариант реализации метода на практике по оптимизации режимов получения суспензий.



$W = gAN/V$  - эмиссионный технологический критерий,  
 $A, N$  - амплитуда и интенсивность АЭ  
 1.-  $\Delta m = f(S)$ ; 2-  $W = f(S)$

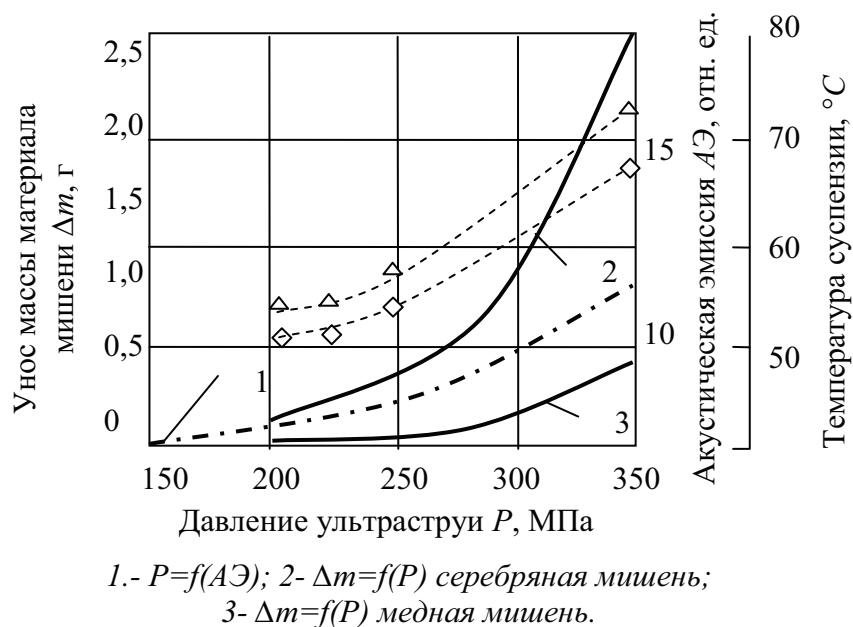


Рис. 3. Диагностика УСУ (  $\triangle$  - температура суспензии для медной мишени,  
 $\diamond$  - температура суспензии для серебряной мишени)

Для оценки возможностей диагностики процесса УСУ методом АЭ были проведены эксперименты по получению суспензий на основе мишеней, изготовленных из химически чистого серебра и меди. Схема подключения акустической системы показана на рис. 4. Технологические параметры УСУ были следующими:

- давление гидроструи ( $P=200, 250, 350$  МПа);
- угол взаимодействия ультразвука с мишенью  $\alpha=90^\circ$ ;

- траектория движения струи по поверхности мишени – спиралевидная (длина реза  $L=575$  мм, скорость подачи  $S=2$  мм/с);
- расстояние от мишени до среза сопла:  $h=2$  мм.
- время воздействия ультразвука на мишень  $t=240$  с.
- 

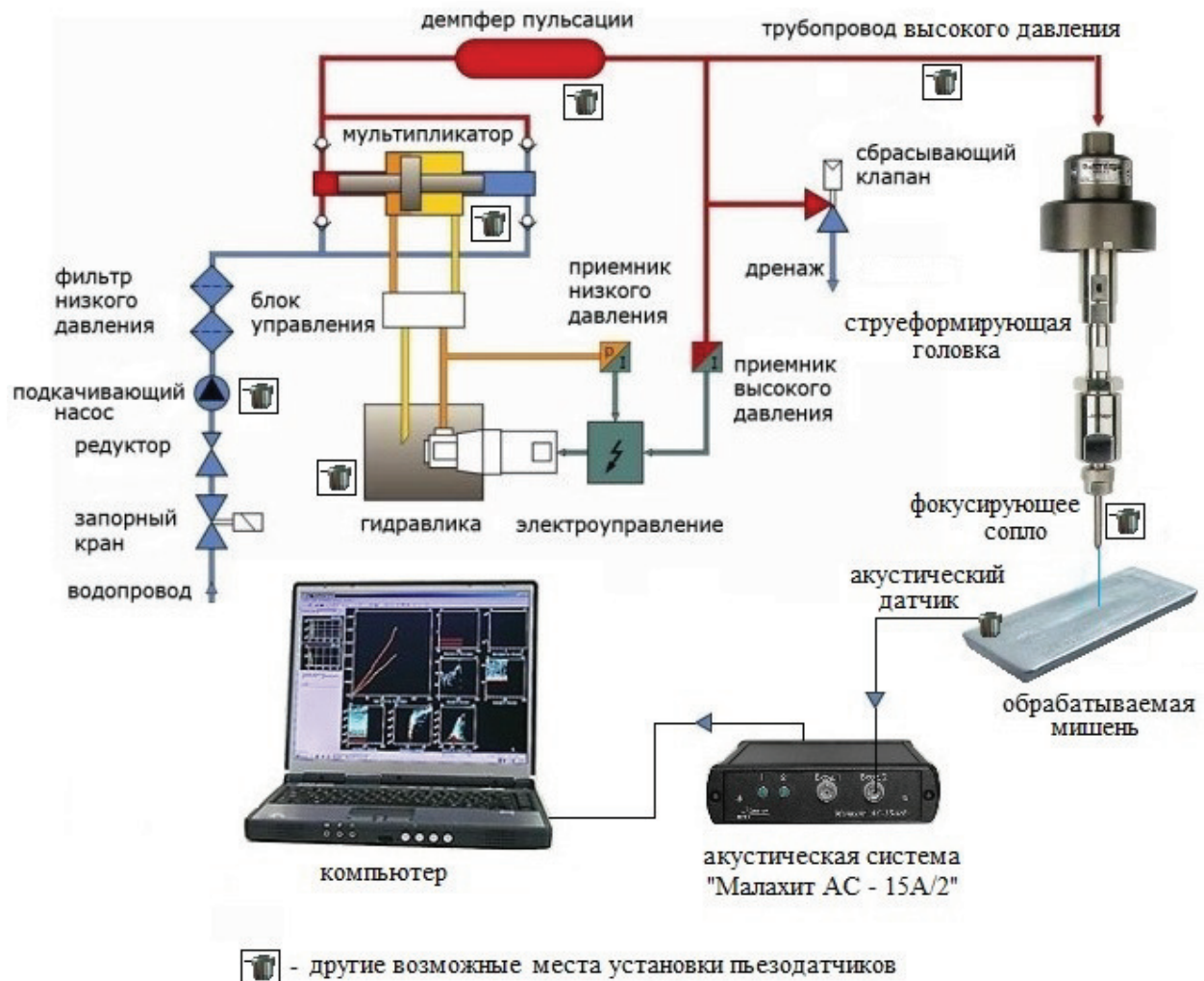


Рис. 4. Схема по использованию акустической системы для определения параметров процесса УСУ

В качестве инструментально фиксируемых параметров суспензирования определялись: унос массы материала мишени, форма, размеры и распределение частиц твердой фазы, образующихся при гидродиспергировании мишеней, относительные значения АЭ.

В таблицах 1,2 приведены результаты эксперимента по получению ультразвуковых суспензий.

Таблица 1

## Экспериментальные данные ультразвукового суспензирования

| Варьируемый технологический параметр |     | Материал мишени      |                   | Оцениваемый технологический параметр |
|--------------------------------------|-----|----------------------|-------------------|--------------------------------------|
|                                      |     | Серебро<br><i>Ag</i> | Медь<br><i>Cu</i> |                                      |
| Рабочее давление, МПа                | 200 | 0,24                 | 0,04              | Унос массы мишени, мг                |
|                                      | 250 | 0,31                 | 0,07              |                                      |
|                                      | 350 | 2,67                 | 0,46              |                                      |
|                                      | 200 | 52,0                 | 54,0              | Температура суспензии, °C            |
|                                      | 250 | 54,0                 | 57,0              |                                      |
|                                      | 350 | 69,4                 | 73,0              |                                      |
|                                      | 200 | 320                  | 360               | Акустическая эмиссия, отн. ед.       |
|                                      | 250 | 390                  | 435               |                                      |
|                                      | 350 | 490                  | 540               |                                      |

Таблица 2

## Коэффициенты корреляции технологических параметров

| Медь <i>Cu</i>    |          |            |       |             |
|-------------------|----------|------------|-------|-------------|
| -                 | Давление | Унос массы | АЭ    | Температура |
| Давление          | -        | 0,963      | 0,982 | 0,995       |
| Унос массы        | 0,963    | -          | 0,934 | 0,996       |
| АЭ                | 0,982    | 0,934      | -     | 0,961       |
| Температура       | 0,995    | 0,996      | 0,961 | -           |
| Серебро <i>Ag</i> |          |            |       |             |
| -                 | Давление | Унос массы | АЭ    | Температура |
| Давление          | -        | 0,952      | 0,974 | 0,996       |
| Унос массы        | 0,952    | -          | 0,923 | 0,997       |
| АЭ                | 0,974    | 0,923      | -     | 0,950       |
| Температура       | 0,996    | 0,997      | 0,950 | -           |

В заключении следует отметить, что экспериментально установленные физические обусловленные прямые и обратные связи между волнами упругих деформаций (АЭ) и физико-химическими процессами суспензирования определяют перспективу развития метода эмиссионной диагностики. При этом удельный физико-технологический критерий,

связывающий совокупность процессов различной физической природы в зоне взаимодействия ультразвука и мишени с выходными параметрами обработки, в частности массой унесенного материала или его объемом может быть записан как [7]:

$$K_{УСУ} = g \frac{A\dot{N}}{\dot{V}_{жс}} \sim \frac{\dot{V}_M}{\dot{V}_{жс}},$$

где  $\dot{V}_M$  - удельный объем унесенного материала мишени;

$\dot{V}_{жс}$  - удельный объем рабочей жидкости (воды);

$g$  - коэффициент постоянный для данных условий УСУ;

$A, \dot{N}$  - амплитуда и интенсивность эмиссионного процесса.

Дальнейшее расширение практических возможностей метода АЭ может быть также направлено на решение вопросов диагностики гидроструйного оборудования применяемого для УСУ, что представлено на рис. 5.



Рис. 5. Возможности и направления применения метода акустической эмиссии для технологии получения ультразвуковых суспензий

В ходе выполнения исследований было установлено:

1. Корреляционная связь между параметрами волн упругих деформаций (АЭ), режимами и физико-технологическими особенностями суспензирования с использованием различных материалов мишеней;
2. Возможность эффективного использования метода АЭ для оценки текущего состояния элементов технологической системы (сопловых насадок, трубопроводов, систем высокого давления и др.)

Полученные результаты позволили сформировать структурную схему инженерного информационно-аналитического обеспечения технологии УСУ, которая представлена на рис. 6.



Рис. 6. Структурная схема инженерного информационно-аналитического обеспечения технологии УСУ



Перспективными задачами научных исследований по развитию технологии УСУ являются следующие:

1. Проведение численного моделирования процесса суспензирования при варьировании ряда технологических параметров, таких как: давление жидкости, угол наклона ультразвуку жидкости к преграде, скорость подачи сопловой головки и др. с целью количественной оценки выходных параметров обработки, в частности концентрации материала мишени в жидкости. Проведение сопоставительного анализа теоретических данных численного моделирования методом конечных элементов с результатами экспериментальной отработки.
2. Расширить экспериментальную базу исследований, в первую очередь в направлении оценки рациональных режимов суспензирования методом акустической эмиссии на основе химически чистых металлов и монокристаллов (Zn, Mo, Si и т.д.).
3. Техничко-технологические совершенствование и повышение производительности УСУ за счет наложения на зону ультразвукуйного взаимодействия физических полей, например температуры.

Рассматриваемая технология УСУ синергетически объединяет положительные черты двух во многом подобных гидротехнологий: кавитационно-волновой и ультразвуковой обработки жидкостей, однако присущая ей высокая энергетическая вариативность предопределяет расширение технологических возможностей, а также получение новых ультразвукуйных суспензий, обладающих рядом уникальных свойств.

В результате исследования были установлены корреляционные связи между параметрами волн упругих деформаций (АЭ), режимами и физико-технологическими особенностями суспензирования с использованием различных материалов мишеней, что позволит использовать АЭ в качестве основы при создании методики контроля процесса производства суспензии в режиме реального времени.

Данные исследования были проведены за счет средств гранта Президента РФ №16.120.11.5069-МД и гранта РФФИ №12-08-33022-мол\_а\_вед.

### **Список литературы**

1. Тарасов В.А., Полухин А.Н. Оценка геометрических параметров формируемой поверхности при гидроабразивной обработке. Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Серия "Машиностроение".-№1(86).-2012.-С.107-116.

2. Галиновский А.Л. Анализ инновационного потенциала ультраструйных технологий в оборонных отраслях промышленности//Оборонная техника.-2008.- №6.- с. 54-59.
3. Подураев В.Н., Барзов А.А., Горелов В.А. Технологическая диагностика резания методом акустической эмиссии. – М: Машиностроение, 1988. – 56 с.
4. Струйная интенсификация функциональной активности жидкостей. Барзов А.А, Королев А.Ф., Пузаков В.С., Сидельников К.Е., Сысоев Н.Н. Физическая гидродинамика. Препринт №7, 2004. Физический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова, 13 с.
5. Журков С.Н., Веттегрень В.И., Корсуков В.Б., Новак И.И.//Физика твердого тела.- 1969.-11.№2.-с.290-295.
6. Пажи Д.Г., Галустов В.С. Распылители жидкостей. – М.: Химия, 1979. – 216 с.
7. Барзов А.А. Эмиссионная технологическая диагностика. Библиотека технолога. - М.: Машиностроение, 2005, 384 с.