

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ
ЭФФЕКТИВНОСТИ ВОЗДЕЙСТВИЯ АКУСТИЧЕСКИМИ
КОЛЕБАНИЯМИ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ЧАСТОТЫ
НА ВОЗДУШНО-КАПЕЛЬНЫЕ ДИСПЕРСИИ**

В.Н. Хмелев, А.В. Шалунов, С.Н. Цыганок, К.В. Шалунова

*Кафедра методов и средств измерений и автоматизации,
Бийский технологический институт (филиал),
ГОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет
им. И.И. Ползунова»; vnh@bti.secna.ru*

Представлена членом редколлегии профессором В.И. Коноваловым

Ключевые слова и фразы: акустические колебания; излучатели; туман; ультразвук.

Аннотация: Представлена разработка ультразвуковых излучателей для разрушения природных туманов. Были созданы практические конструкции излучателей в виде титановых дисков диаметром до 420 мм, возбуждаемых пьезоэлектрическими преобразователями. Экспериментальные исследования по определению эффективности разрушения туманов проводились в аэрозольной камере объемом 250 м³. Туман создавался при помощи ультразвуковых распылителей. Результаты экспериментов показали, что излучатели, работающие на частотах более 25 кГц и уровне звукового давления 150 дБ, обеспечивают сокращение времени разрушения воздушно-капельной дисперсии в аэрозольной камере до 11,5 раз при энергопотреблении не более 2,4 Вт/м³. В результате исследований выработаны рекомендации по конструированию и промышленному применению ультразвуковых излучателей в виде титановых дисков для разрушения туманов.

Туманы являются устойчивой структурой и, при неизменных естественных условиях, эволюционируют слабо. Разрушение (рассеивание) тумана в естественных условиях происходит, как правило, вследствие изменения термодинамических параметров среды (температуры, влажности, давления) и длится от нескольких часов до нескольких суток.

Для улучшения метеорологических условий в период образования тумана и, прежде всего, уменьшения вероятности ограничения видимости ниже допустимых пределов, осуществляются различные воздействия на туман для ускорения процесса его рассеивания [1]. На сегодняшний день наибольшее распространение получили способы рассеивания туманов, основанные на использовании специальных реагентов для искусственной конденсации паров воды [2, 3]. Однако, несмотря на накопленный опыт практического применения, такие способы характеризуются рядом существенных недостатков, снижающих их эффективность:

- ухудшение экологии окружающей среды;
- возможность применения только к переохлажденным туманам;
- значительный расход материальных ресурсов.

Вышеперечисленные недостатки обуславливают необходимость поиска и разработки новых способов рассеивания туманов, основанных на энергетическом воздействии на воздушно-капельные дисперсии.

Одним из наиболее перспективных является способ рассеивания туманов под действием акустических (в том числе и ультразвуковых) колебаний высокой интенсивности [4].

К сожалению, все проведенные до настоящего времени исследования не позволили создать оборудование, пригодное для практического применения акустического способа разрушения туманов. Это обусловлено тем, что применяемыми до настоящего времени излучателями высокоинтенсивных акустических колебаний были динамические или статические сирены, обеспечивающие преобразование энергии потока сжатого воздуха в колебания воздушной среды [5]. Такие излучатели обладают рядом существенных недостатков:

- низким КПД (менее 20 %);
- быстрым износом механических узлов абразивными частицами в сжатом газе (ресурс менее 100 ч);
- необходимостью использования мощных и дорогих компрессоров (для обеспечения работы свистка частотой 2 кГц и мощностью 2 кВт необходим компрессор стоимостью 1 млн руб.);
- низкой интенсивностью акустического излучения на частотах ультразвукового диапазона. Так, газоструйные излучатели не способны генерировать колебания мощностью более 1...10 Вт с частотой более 20 кГц (диаметр сопла газоструйного излучателя менее 1 мм). Необходимость формирования колебаний высокой интенсивности (более 135 дБ) обуславливает необходимость применения излучателей с сопловыми отверстиями диаметром 5...10 мм, формирующих колебания низкой частоты (1...4 кГц). Это делает невозможным применение акустического способа рассеивания туманов на открытых пространствах в присутствии людей и животных.

Отсутствие высокоинтенсивных излучателей ультразвуковых колебаний не позволяло до настоящего времени исследовать возможность и эффективность воздействия на туманы акустическими колебаниями ультразвукового диапазона частот. Для восполнения существующего пробела и проведения исследований эффективности акустического воздействия на туманы в ультразвуковом диапазоне частот были разработаны излучатели в виде изгибно-колеблющихся дисков [6].

Новизной технического решения, положенного в основу разработанных излучателей, является использование пьезоэлектрических ультразвуковых колебательных систем (УЗКС) с развитой излучающей поверхностью специальной формы, которая обеспечивает преобразование энергии продольных колебаний пьезоэлектрического преобразователя в изгибные колебания титановых дисков. Размеры и форма дисков выбираются из условия обеспечения необходимой частоты и направленности излучения ультразвуковых колебаний [7].

Схематично конструкция разработанного излучателя представлена на рис. 1. Излучатель состоит из двухполуволнового преобразователя 3–5, концентратора 2 и диска 1. Поверхность диска 1 является источником ультразвуковых колебаний. Изгибные колебания диска возбуждаются продольными колебаниями, создаваемые пьезоэлектрическими элементами 4. Акустическая связь внутри УЗКС обеспечивается за счет того, что пьезоэлектрические элементы зажаты между преобразователем 3 и задней частотно-понижающей накладкой 5 с силой, многократно превышающей величину знакопеременной силы, создаваемой пьезоэлектрическими элементами. Стягивающее усилие обеспечивается задними частотно-понижающими накладками и шпильками 6. Для питания излучателей созданы специальные генераторы электрических колебаний ультразвуковой частоты [8].

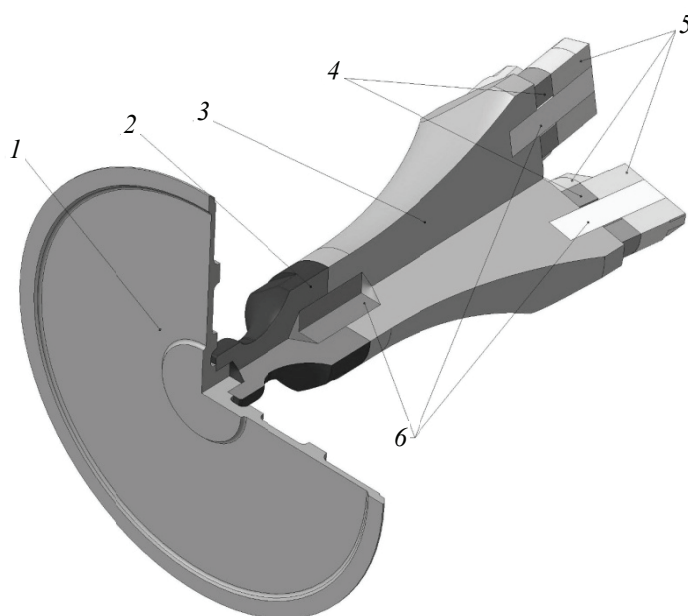


Рис. 1. Разработанный излучатель

Для проведения экспериментальных исследований было разработано и изготовлено 4 излучателя, отличающихся диаметром диска и мощностью создаваемых ультразвуковых колебаний. Технические характеристики излучателей (в сборе с электронными генераторами) приведены в табл. 1.

Для увеличения площади излучающей поверхности (использования излучения обратной стороны диска) излучатель был установлен на подвижной поворотной платформе и снабжен отражателем специальной формы. Внешний вид излучателя, установленного на подвижной платформе, показан на рис. 2.

Для проведения исследований эффективности разрушения туманов, путем воздействия акустическими колебаниями ультразвуковой частоты, была разработана лабораторная установка, позволяющая визуально наблюдать за исследуемым процессом и осуществлять регистрацию изменения плотности и дисперсного состава тумана в процессе его разрушения. Внешний вид лабораторной установки представлен на рис. 3.

Таблица 1

Технические характеристики излучателей

Наименование параметра	Значение
Напряжение в сети переменного тока, В	220±22
Диаметр диска излучателя, мм	250; 320; 360; 420
Максимальная потребляемая мощность, Вт, не более	270; 270; 400; 600
Диапазон регулирования мощности излучения, %	10...100
Масса, кг, не более	5
Уровень звукового давления на расстоянии 1 м, дБ, не менее	140; 144; 146; 150
Частота механических колебаний, кГц	27±2,0



Рис. 2. Фото излучателя в сборе с отражателем

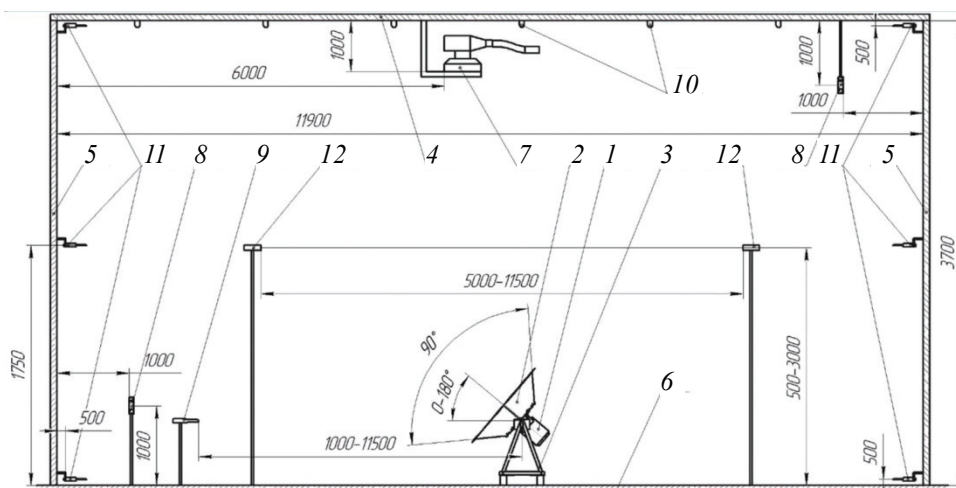


Рис. 3. Эскиз лабораторной установки:

- 1 – ультразвуковая колебательная система с излучателем дискового типа; 2 – отражатель;
 3 – поворотное устройство; 4 – верхнее перекрытие камеры; 5 – боковые стены камеры;
 6 – основание камеры; 7 – ультразвуковые распылители; 8 – вентиляторы;
 9 – микрофон шумомера; 10 – люминесцентные лампы;
 11 – термометры сопротивления; 12 – оптические датчики

Основой лабораторной установки является аэрозольная камера, представляющая собой технологическое помещение, состоящее из верхнего перекрытия, боковых стен и основания, на котором устанавливается поворотное устройство с отражателем и ультразвуковым излучателем. К верхнему перекрытию на кронштейне монтируются ультразвуковые распылители в количестве 3 штук, предназначенные для имитации природного радиационного тумана и обеспечивающие создание воздушно-капельной дисперсии со средним диаметром капель 5...20 мкм. Применение ультразвуковых распылителей позволяет получить воздушно-капельную дисперсию, устойчивую в течение длительного промежутка времени, необходимого и достаточного для выполнения эксперимента [9]. Для равномерно-

сти заполнения внутреннего пространства аэрозольной камеры внутри устанавливается вентилятор. Объем аэрозольной камеры равен 250 м^3 .

Для измерения параметров звукового давления предназначен микрофон шумомера 9. Для измерения температурных полей внутри аэрозольной камеры установлены термометры сопротивления 11. Термометры сопротивления через согласующее устройство и аналого-цифровой преобразователь подключались к персональному компьютеру.

Для получения количественных характеристик эффективности акустического воздействия ультразвукового диапазона использовались оптические датчики 12. Измерение прозрачности воздушно-капельной дисперсии позволяет определить количественный показатель, характеризующий туман, – водность тумана. Этот показатель изменялся от нескольких тысячных до $1,5 \dots 2 \text{ г/м}^3$ (от дымки до очень сильного тумана).

Все экспериментальные исследования, проводимые в аэрозольной камере, были разделены на четыре этапа.

1. Определение степени ослабления (затухания и расхождения) ультразвуковых колебаний в воздушно-водном тумане.

2. Исследование эволюции дисперсного состава воздушно-капельной дисперсии в аэрозольной камере в процессе акустического воздействия и при естественном разрушении аэрозоля.

3. Определение дальности видимости в аэрозольной камере в процессе ультразвукового воздействия и без него.

4. Измерение удельной потребляемой мощности электронного генератора.

Для получения достоверных результатов обеспечивались постоянные условия проведения эксперимента (табл. 2). Для измерения температуры были использованы температурные сенсоры ТСМ 9417, расположенные в разных частях аэрозольной камеры. Влажность оценивалась при помощи психрометра ПБУ-1, размещенного в центре аэрозольной камеры на высоте 1500 мм. Измерение уровня звукового давления осуществлялось при помощи шумомера Роботрон 00024, работающего в ультразвуковом диапазоне. Измерение давления осуществлялось при помощи лабораторного барометра LB-750. Скорость перемещения воздушных потоков внутри аэрозольной камеры измерялась при помощи анемометра LV 110. Начальная высота воздушно-капельной дисперсии, имитирующей туман, была равна высоте аэрозольной камеры (4000 мм). Определение дальности видимости осуществлялось путем измерения коэффициента ослабления излучения лазера с длиной волны 0,63 мкм по методике, описанной в [10]. Дисперсный состав аэрозоля определялся при помощи модифицированного метода малоуглового рассеяния излучения лазера каплями аэрозоля [11].

Таблица 2

Условия проведения экспериментов в аэрозольной камере

Наименование параметра	Измеренное значение
Высота тумана, м	4
Влажность, %	92
Стратификация, град/м	0,6
Средняя температура в камере, °С	2,2
Скорость движения потоков, м/с	0,2
Давление в большой аэрозольной камере, мм рт. ст.	751

На первом этапе экспериментальных исследований производилось определение степени ослабления ультразвуковых колебаний в воздушно-водном тумане в зависимости от расстояния до источника колебаний. Для этого объем аэрозольной камеры охлаждался путем подачи воздуха, с температурой $+2...+3$ °С, с относительной влажностью 90 %. Распыление аэрозоля происходило в центральной части камеры на высоте 4000 мм. Для равномерного заполнения камеры воздушно-капельной дисперсией внутри камеры работали тихоходные вентиляторы, создавая дополнительные потоки со средней скоростью 0,2 м/с. Камера наполнялась воздушно-капельной дисперсией до достижения начальной видимости, не более 20 м. Максимальное расстояние, на котором производились измерения, было ограничено размером аэрозольной камеры и составило 12 м. На рис. 4 представлена зависимость уровня звукового давления SPL от расстояния от излучателя L , полученная для излучателей различного диаметра.

Исходя из представленных данных видно, что зависимость уровня звукового давления от расстояния от источника ультразвукового воздействия является нелинейной и ослабление в среднем составляет 0,6 дБ/м. При этом для всех исследуемых излучателей уровень звукового давления не опускался ниже 120 дБ – минимально достаточного для коагуляции воздушно-капельной дисперсии [4]. Однако для коагуляции туманов на открытых пространствах (на расстояниях, значительно превышающих 12 м) требуются излучатели с большей мощностью (более 150 дБ).

Далее проводилось исследование эволюции дисперсного состава воздушно-капельной дисперсии в процессе ее естественного разрушения и при воздействии акустическими колебаниями ультразвуковой частоты. Условия создания тумана соответствовали предыдущему эксперименту, начальная дальность видимости составляла 20 м. Далее осуществлялся отбор проб: через каждые 15 мин для случая естественного разрушения воздушно-капельной дисперсии и каждые 2 мин при воздействии акустическими колебаниями. Эксперимент продолжался до достижения видимости, равной 100 м. На рис. 5 представлены зависимости, характеризующие изменение среднего диаметра частиц тумана D_{cp} от времени t в процессе его распада.

Как и следовало ожидать, при осуществлении акустического воздействия происходит увеличение среднего диаметра капель воздушно-капельной дисперсии за счет их коагуляции. Этот процесс происходит тем быстрее, чем больше диаметр излучателя акустических колебаний и выше создаваемый им уровень звукового давления. При этом в контрольном эксперименте, без акустического

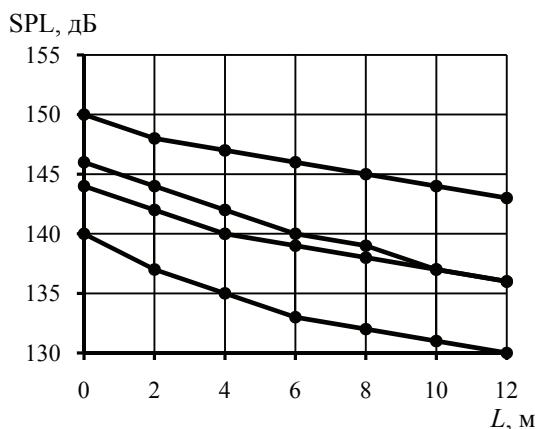


Рис. 4. Зависимость уровня звукового давления от расстояния до источника

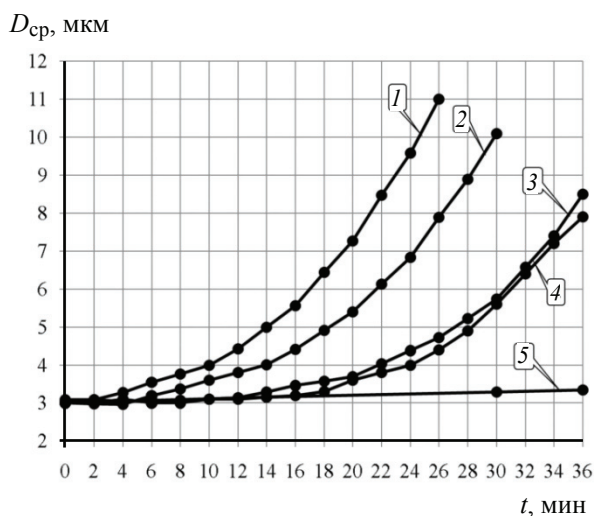


Рис. 5. Зависимость изменения среднего диаметра воздушно-капельной дисперсии в процессе ее распада под воздействием излучателя диаметром, мм:

1 – 420; 2 – 360; 3 – 320; 4 – 250; 5 – без акустического воздействия

воздействия, за максимальное время проведения эксперимента (36 мин) эволюции дисперсного состава не происходило и увеличения дальности видимости не наблюдалось.

Следующим этапом экспериментов являлось определение степени эффективности воздействия созданными излучателями акустических колебаний ультразвуковой частоты на туман. В качестве меры эффективности воздействия оценивалась наиболее критическая величина – время установления требуемой дальности видимости (100 м). Как и в предыдущей серии экспериментов, камера наполнялась воздушно-капельной дисперсией до достижения начальной видимости, не более 20 м. Акустическое воздействие осуществлялось до достижения видимости, равной 100 м.

Первоначально было определено контрольное время увеличения дальности видимости с 20 до 100 м в процессе естественного разрушения воздушно-капельной дисперсии. Измерения проводились каждые 15 мин. Было установлено, что время увеличения видимости до 100 м составляет 5 ч.

На рис. 6 представлены графики изменения видимости S_M в аэрозольной камере от времени t в процессе ультразвукового воздействия излучателями различного диаметра.

Дальнейшие исследования были направлены на определение зависимости скорости разрушения воздушно-капельной дисперсии от мощности акустического воздействия, которая изменялась в пределах 200...600 Вт с шагом 50 Вт. Нижний предел был ограничен 200 Вт, поскольку при меньшей потребляемой мощности, эффект от акустического воздействия на воздушно-капельную дисперсию проявлялся слабо. В качестве источника акустических колебаний использовался излучатель диаметром 420 мм с максимальной потребляемой мощностью 600 Вт.

Измерения проводились при помощи измерителя качества электрической энергии МТ-1010. Перед началом каждого эксперимента аэрозольная камера заполнялась воздушно-капельной дисперсией до достижения начальной видимости, не более 20 м. Акустическое воздействие осуществлялось до достижения дальности видимости 100 м. На рис. 7 представлена зависимость времени t разрушения воздушно-капельной дисперсии в аэрозольной камере от мощности акустического

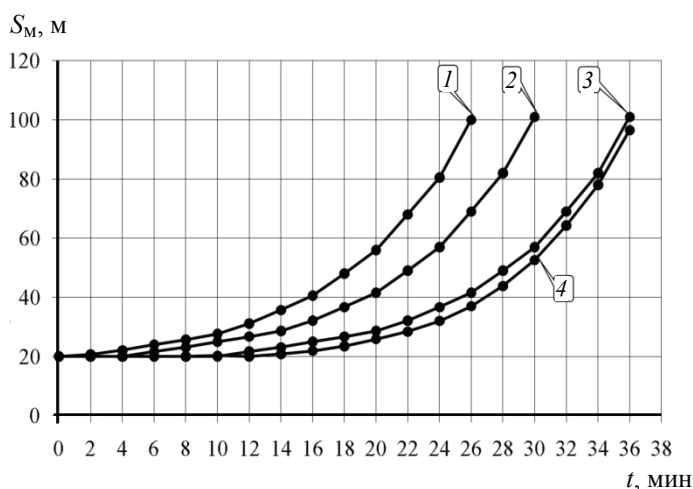


Рис. 6. Зависимость изменения дальности видимости в камере от времени (отбор проб проводился каждые 2 мин) в процессе акустического воздействия излучателем диаметром, мм:
 1 – 420; 2 – 360; 3 – 320; 4 – 250

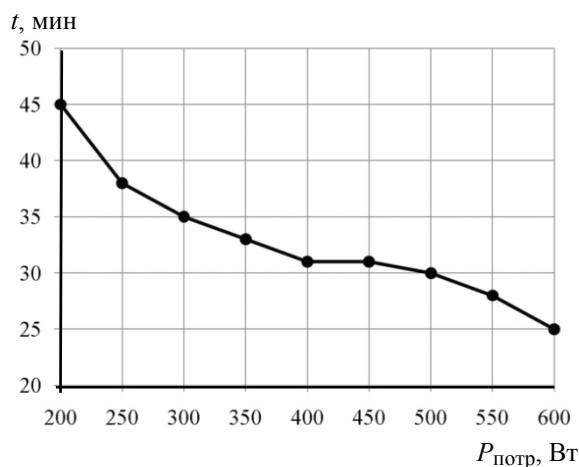


Рис. 7. Зависимость времени разрушения воздушно-капельной дисперсии в аэрозольной камере от мощности акустического воздействия

воздействия $P_{\text{потр}}$. Полученные зависимости позволяют утверждать, что применение более мощных ультразвуковых излучателей существенно сократит время разрушения воздушно-капельных дисперсий.

Последним этапом проводимых экспериментов являлось определение удельной электрической мощности, затрачиваемой на разрушение 1 м^3 воздушно-капельной дисперсии. Измерения проводились в процессе непосредственной работы ультразвукового генератора на максимальной мощности. Расчет удельной мощности электронного генератора осуществлялся с использованием выражения

$$P_{\text{уд}} = \frac{P_{\text{э.г}}}{V_{\text{а.к}}},$$

где $P_{\text{э.г}}$ – мощность, потребляемая электронным генератором, Вт; $V_{\text{а.к}}$ – объем аэрозольной камеры, м^3 , равный 250 м^3 .

Мощностные характеристики акустических излучателей разного диаметра

Диаметр дискового излучателя, мм	Потребляемая мощность, Вт	Удельная мощность, Вт/м ³
250	270	1,08
320	270	1,08
360	400	1,6
420	600	2,4

В табл. 3 представлены полученные результаты.

Из полученных результатов следует, что самым выгодным по соотношению энергетические затраты/время воздействия является дисковый излучатель диаметром 320 мм. Однако следует учитывать, что полученные оценки справедливы только для небольших объемов воздушно-капельной дисперсии (250 м³). В реальных условиях применения излучателей для рассеивания природных радиационных туманов, наиболее целесообразно использовать излучатель диаметром 420 мм и более, так как они обладают достаточным запасом мощности для работы на открытых пространствах.

Таким образом, в результате проведенных исследований получены следующие результаты.

1. Показана эффективность акустического воздействия в ультразвуковом диапазоне частот на воздушно-капельные дисперсии, а также пригодность созданных излучателей дискового типа для разрушения природных туманов.

2. Установлено, что созданные излучатели обеспечивают максимальный уровень звукового давления в пределах 140...150 дБ, в частотном диапазоне (27 ± 2,0) кГц.

3. Обеспечено сокращение времени естественного разрушения воздушно-капельной дисперсии в аэрозольной камере до 11,5 раз при энергопотреблении не более 2,4 Вт/м³ и уровне звукового давления 150 дБ.

4. На основании полученных результатов установлено, что применение более мощных излучателей существенно сократит время разрушения воздушно-капельных дисперсий.

5. Получены экспериментальные данные, показывающие необходимость проектирования и практического применения больших по диаметру и мощности ультразвуковых излучателей для повышения эффективности коагуляции воздушно-капельных дисперсий различного происхождения (в том числе туманов) на открытых пространствах.

Работа выполнена при поддержке ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 гг.

Список литературы

1. Качурин, Л.Г. Физические основы воздействия на атмосферные процессы / Л.Г. Качурин. – Л. : Гидрометеиздат, 1973. – 366 с.

2. Пат. 2014773 Российская Федерация, МПК⁵ А01G15/00, E01H13/00. Противотуманное устройство / Серогодский А.В. ; заявитель и патентообладатель Малое внедренческое научно-техническое предприятие «Метеор». – № 5023396/23 ; заявл. 24.01.1992 ; опубл. 30.06.1994, Бюл. № 16. – 3 с.

3. Pat. 5810248 USA, IPC⁸ E01H 13/00. Method for the Prevention or Elimination of Fog over a Terrain, as Well as System for the Performance of this Method / Vielberth; Johann ; applicant and patent holder is Institut fur Entwicklung und Forschung Dr. Vielberth KG. – № 08/537,735 ; appl. 12.10.1995 ; publ. 22.09.1998. – 10 с.
4. Розенберг, Л.Д. Источники мощного ультразвука / Л.Д. Розенберг. – М. : Наука, 1967. – 265 с.
5. Юдаев, Б.Ф. Акустическая коагуляция аэрозолей / Б.Ф. Юдаев // Бюл. строит. техники. – 2004. – № 6. – С. 32–34.
6. Ультразвуковые многофункциональные и специализированные аппараты для интенсификации технологических процессов в промышленности / В.Н. Хмелев [и др.]. – Барнаул : Изд-во АлтГТУ, 2007. – 416 с.
7. Ultrasonic Oscillating System for Radiators of Gas Media / A.V. Shalunov [and others] // International Workshops and Tutorials on Electron Devices and Materials EDM'2008. – 2008. – P. 267–271.
8. Technology of Definition of Limiting Parameters of Ultrasonic Electronic Generators / V.N. Khmelev [and others] // International Workshops and Tutorials on Electron Devices and Materials EDM'2007. – 2007. – P. 259–262.
9. Управление процессом ультразвукового распыления вязких жидкостей / В.Н. Хмелев [и др.] // Изв. Тул. гос. ун-та. Сер. «Технол. системотехника». – 2006. – № 8. – С. 12–19.
10. Грин, Х. Аэрозоли: пыли, дымы и туманы / Х. Грин, В. Лейн. – Л. : Химия, 1972. – 428 с.
11. Ахмадеев, И.Р. Модифицированный метод малоуглового рассеяния для измерения дисперсности аэрозольных частиц / И.Р. Ахмадеев // Фундаментальные и прикладные проблемы современной механики : материалы V всерос. науч. конф., Томск, 3–5 окт. 2006 г. / Томский гос. ун-т. – Томск, 2006. – С. 55–56.

Experimental Research on the Influence Efficiency of the Ultrasonic Acoustic Vibrations on Airdrop Dispersions

V.N. Khmelev, A.V. Shalunov, S.N. Tsyganok, K.V. Shalunova

*Department “Methods and Means of Measurement and Automation”
Biysk Nanotechnology Institute (Affiliate) Altay State Technical University
named after I.I. Polzunov; vnh@bti.secna.ru*

Key words and phrases: acoustic vibrations; fog; radiators; ultrasound.

Abstract: The aim of this work is the development of ultrasonic radiators for destruction of fogs. The constructions of radiators in the form of titanium disks (with the diameter up to 420 mm) generated by piezoelectric transducers have been created. In order to define the effectiveness of fog destruction the experimental investigations have been carried out in the aerosol chamber with the volume of 250 m³. The fog was generated by ultrasonic atomizers. The results of the experiments have showed that radiators working at the frequency of more than 25 kHz and at the sound pressure of 150 dB provide reduction of the destruction time of droplet dispersion in the aerosol chamber in 11,5 time if the power consumption is no more than 2,4 W/m³. As a result of the investigations recommendations on construction and industrial application of ultrasonic radiators in the form of titanium disks for fog destruction have been formulated.

Experimentelle Untersuchung der Effektivität der Einwirkung von den akustischen Schwingungen der Ultraschallfrequenz auf die lufttropfbaren Dispersionen

Zusammenfassung: Das Ziel dieser Arbeit ist die Erarbeitung der Ultraschallstrahler für die Zerstörung der Naturnebel. Es wurden die praktischen Konstruktionen der Strahler als von piezoelektrischen Umformer erregenden Titanscheiben mit Durchmesser bis 420 mm geschaffen. Experimentelle Untersuchungen nach Bestimmung der Effektivität der Nebelzerstörung wurden im Aerosolkamer mit Volumen 250 m³ durchgeführt. Der Nebel wurde mit Hilfe der Ultraschallzerstäuber geschaffen. Die Resultate der Experimenten haben gezeigt, daß die Strahler, die auf Frequenzen höher als 25 kHz und auf Niveau des Schalldrucks 150 dB arbeiten, versorgen die Verkürzung der Zeit der Zerstörung der lufttropfbaren Dispersion im Aerosolkamer bis 11,5 Mal bei dem Energieverbrauch nicht mehr als 2,4 W/m³. Im Resultat der Untersuchungen wurden die Empfehlungen für die Konstruierung und industriellen Verwendung der Ultraschallstrahler in der Form von Titandisken für die Nebelzerstörung erarbeitet.

Etude expérimentale de l'efficacité de l'action des oscillations acoustiques de la fréquence supersonique sur les dispersions air-goutte

Résumé: Le but de l'ouvrage est l'élaboration des émetteurs supersoniques pour la destruction des brumes. Ont été créées des constructions pratiques en vue de disques de titane de diamètre de 420 mm générées par les convertisseurs piézo-électriques. Les études expérimentales sur la définition de l'efficacité de la destructions des brumes ont été réalisées dans une chambre aérosol de volume de 250 m³. La brume a été créée à l'aide des pulvérisateurs supersoniques. Les résultats des expériences ont montré que les émetteurs fonctionnant sur les fréquences de plus de 25 kHz et le niveau de la pression sonore de 150 dB assurent la diminution de temps de la destruction de la dispersion air-goutte dans la chambre aérosol jusqu'à 11,5 fois avec la consommation énergétique pas plus de 2,4 W/m³. A l'issue des études sont élaborées les recommandations sur la construction et l'application industrielle des émetteurs supersoniques en vue de disques de titane pour la destruction des brumes.

Авторы: *Хмелев Владимир Николаевич* – доктор технических наук, профессор, заместитель директора по научной работе; *Шалунов Андрей Викторович* – кандидат технических наук, доцент кафедры методов и средств измерений и автоматизации; *Цыганок Сергей Николаевич* – кандидат технических наук, доцент кафедры методов и средств измерений и автоматизации; *Шалунова Ксения Викторовна* – аспирант кафедры методов и средств измерений и автоматизации, Бийский технологического институт (филиал), ГОУ ВПО «АлтГТУ».

Рецензент: *Леонов Геннадий Валентинович* – доктор технических наук, профессор, директор Бийского технологического института (филиала), ГОУ ВПО «АлтГТУ».
