

А.Ф. Луговской, д-р техн.наук, проф., В.И. Чорный, инж.
НТУ Украины “Киевский политехнический институт”, г.Киев, Украина

ПОСТРОЕНИЕ МЕХАТРОННЫХ СИСТЕМ ИСКУССТВЕННОГО МИКРОКЛИМАТА С УЛЬТРАЗВУКОВЫМ РАСПЫЛЕНИЕМ ЖИДКОСТИ

Розглянуто особливості побудови систем штучного мікроклімату з використанням рідинного аерозолі, що отримується різними способами. Показано можливості застосування ультразвукового розпилення в подібних системах автоматичного керування.

The features of artificial climate mechatronic systems with using of liquid aerosol which is produced by various methods are considered. The possibilities of ultrasonic spraying in such systems using are showed.

Мехатронные системы искусственного микроклимата находят широкое применение в промышленности, медицине и сельском хозяйстве. При построении подобных систем приходится в пределах ограниченного объема решать проблему поддержания заданных влажности, давления и температуры. Если задачу поддержания необходимой температуры обычно решают с помощью традиционных электронагревательных приборов в составе системы автоматического регулирования, то обеспечение заданной влажности имеет целый ряд особенностей, определяемых специфическими требованиями, связанными с областью применения системы искусственного микроклимата.

Прежде всего, при создании системы искусственного микроклимата приходится решать проблему выбора способа распыления жидкости [1–3].

Использование способа получения жидкостного аэрозоля путем испарения жидкости при нагреве позволит получить очень качественный мелкодисперсный аэрозоль. Однако быстродействие регулирования данного процесса очень низкое, а требуемые дополнительные источники тепла нарушают тепловой баланс замкнутого объема. В случае построения системы искусственного микроклимата для области низких температур данный тепловой испарительный способ распыления вообще недопустим.

Способы распыления за счет пробрызгивания жидкости под давлением через малые отверстия или за счет скоростного потока воздуха позволяют получить аэрозоль с дисперсностью 30...100 мкм. При этом может быть обеспечена и достаточно высокая скорость регулирования производительности распыления. Однако, если система искусственного микроклимата создается в замкнутом объеме и требует поддержания стабильного внутреннего давления, то впрыскивание жидкостного аэрозоля под давлением является весьма не желательным. Примером могут являться медицинские барокамеры с искусственной, насыщенной лечебными препаратами, атмосферой.

Распыление жидкости за счет центробежных сил не нарушает давление в объеме, однако позволяет получить аэрозоль с дисперсностью лишь 150...400 мкм. Если создается система искусственного микроклимата для сельскохозяйственной теплицы, то такие крупные капли жидкости, оседая на листьях растений, играют роль оптических линз, которые, фокусируя свет от мощных тепличных источников освещения, прожигают листья.

Целью данной работы является рассмотрение вопросов создания систем искусственного микроклимата на базе ультразвукового способа распыления жидкости, выгодно отличающегося от названных выше.

Ультразвуковое распыление может осуществляться двумя способами – способом подвода акустической энергии со стороны газовой среды, в которую распыляется аэрозоль, и способом подвода акустической энергии со стороны распыляемой жидкости.

Первый способ распыления реализуется с помощью мощных аэромеханических генераторов-излучателей, построенных, например, по принципу генератора Гартмана. Он позволяет создать диспергаторы производительностью 120...6000 л/час при дисперсности аэрозоля 80...130 мкм. Образование аэрозоля при этом происходит вследствие разрушения струй и капель жидкости турбулентными пульсациями давления в акустических волнах и с помощью кавитационного механизма [4]. Такие диспергаторы нашли широкое применение в химической и нефтеперерабатывающей промышленности, например, для интенсификации процессов тепло- и массообмена. Известно использование указанного способа для распыления жидкого топлива на электростанциях, в металлургических печах, а также вращающихся печах для выжигания цемента. В системах искусственного микроклимата данный способ распыления применения не нашел.

Ультразвуковое распыление с подводом акустической энергии со стороны жидкости может быть реализовано способом распыления в тонком слое и способом распыления в фонтане (рис.1).

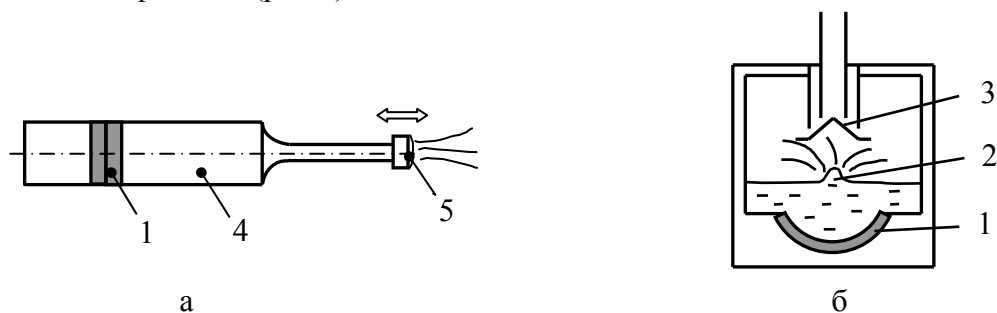


Рис.1. Схемы реализации ультразвукового распыления в тонком слое (а) и в фонтане (б) с подводом акустической энергии со стороны жидкости (1 – плоский и полусферический пьезоэлектрические преобразователи; 2 - ультразвуковой фонтан; 3 – отражатель крупных капель; 4 - трансформатор скорости; 5 – слой жидкости на вибрирующей поверхности)

Ультразвуковое распыление в тонком слое осуществляется на торцевой поверхности трансформатора скорости, которая нормально вибрирует и покрыта слоем жидкости. Ультразвуковой трансформатор скорости является элементом резонансной акустической системы диспергатора, который обеспечивает концентрацию ультразвуковой энергии до уровня, необходимого для возникновения процесса распыления. Слой жидкости, покрывающий вибрирующую поверхность, представляет собой двухфазную газожидкостную смесь. На поверхности слоя при достаточном уровне

подведенной ультразвуковой энергии образуются стоячие капиллярные волны конечной амплитуды. При этом, в зависимости от режима колебаний и уровня ультразвуковой энергии, возможно как чередование, так и одновременное существование кавитационного распыления и распыления, вызванного потерей капиллярными волнами устойчивости, которое называется волновым [5]. Такие диспергаторы работают в диапазоне частот 20...100 кГц и обеспечивают получение близкого к монодисперсному аэрозолю с дисперсностью в пределах 5...30 мкм. Производительность и стабильность процесса распыления в тонком слое зависят от многих факторов, наиболее важными из которых являются реологические особенности жидкости, стабильность параметров слоя жидкости (толщина и площадь) и форма поверхности распыления диспергатора. Равномерность распределения жидкости по вибрирующей поверхности может достигаться, например, с помощью многоканальной рассредоточенной подачи, при которой несколько отверстий соединяют поверхность распыления с основным каналом, подводящим жидкость. Капли аэрозоля, обладая определенным количеством движения, отлетают нормально к поверхности распыления, что позволяет сформировать заданную форму факела распыления. В табл.1 приведена зависимость производительности процесса ультразвукового распыления в тонком слое от реологических свойств жидкости при различных уровнях подведенной мощности и различных частотах ультразвуковых колебаний.

Таблица 1.

Зависимость производительности распыления в тонком слое от реологических особенностей жидкости

Тип жидкости	N , Вт	f , кГц	ε_k , мкм	$t^{\circ}C$	μ , 10^{-3} нс/м ²	σ , Н/м	Q , 10^{-5} м ³ /с
Вода	70	22	25	20±1	1,0	0,081	3,4
Вода	20	66	10	20±1	1,0	0,081	0,067
Ацетон	70	22	25	20±1	0,32	0,023	21,4
Бензин	70	22	25	20±1	0,6	0,021	38,5
Керосин	70	22	25	20±1	0,217	0,026	15,7

Здесь: ε_k - амплитуда колебаний поверхности распыления; σ - коэффициент поверхностного натяжения; μ - коэффициент вязкости жидкости; f - частота ультразвуковых колебаний; N - потребляемая мощность; Q - производительность.

Возможность электронного быстродействующего регулирования производительности дает возможность использовать подобные диспергаторы в современных системах автоматического регулирования.

Ультразвуковое распыление жидкости в фонтане происходит с поверхности струй и крупных капель, которые вырываются из объема жидкости в зоне фокальной точки вследствие интенсивных кавитационных процессов. Мелкодисперсный аэрозоль образуется при разрушении стоячих капиллярных волн, которые возникают на

поверхности крупнодисперсных капель. Большие капли с помощью системы отражателей отделяются от мелкодисперсного аэрозоля и возвращаются обратно в объем жидкости (рис.1б). Такие диспергаторы работают, как правило, в диапазоне 1...5 мгц и обеспечивают получение аэрозоля с дисперсностью на уровне 0,5...5 мкм. Диспергаторы этого типа очень чувствительны к уровню жидкости в зоне распыления и не допускают регулирование производительности процесса. Производительность таких диспергаторов также существенно зависит типа распыливаемой жидкости (табл.2).

Таблица 2.

Зависимость производительности распыления в фонтане от реологических особенностей жидкости

Тип жидкости	N , Вт	f , мгц	t , °C	μ , 10^{-3} нс/м ²	σ , н/м	Q , 10^{-8} м ³ /с
Этиловый спирт	18	2,6	20±1	1,2	0,022	2,2
вода	18	2,6	20±1	1,0	0,081	0,8
Метиловый спирт	18	2,6	20±1	0,6		3,7
Ацетон	18	2,6	20±1	0,32	0,023	5,3
Бензин	18	2,6	20±1	0,6	0,021	9,6

Вследствие высокого уровня дисперсности капли аэрозоля, полученные в ультразвуковом фонтане, имеют очень малое количество движения и легко относятся при малейшем движении воздуха. Поэтому нет возможности говорить о какой бы то ни было стабильности формы факела распыла. Указанные особенности значительно сужают области возможного использования этого способа распыления в системах мехатроники. Основное применение указанный способ нашел в высокочастотных медицинских ингаляторах, которые позволяют получить мелкодисперсный аэрозоль жидких лекарственных препаратов, способный достигать бронхиол легких, а также альвеолярных ходов нижних дыхательных путей. Целесообразно применение данного способа распыления и в системах искусственного микроклимата медицинских барокамер.

При создании систем искусственного микроклимата возможны различные способы насыщения замкнутого объема жидкостным аэрозолем.

Жидкость можно распылять в систему вентиляции помещения. При этом ультразвуковые диспергаторы размещают вблизи входа системы вентиляции в помещение, что снижает вероятность оседания аэрозоля на стенках воздуховода (рис.2).

Такая система обеспечивает хорошую гомогенизацию, подаваемой в помещение смеси, и благодаря компактности проста в обслуживании. Для получения необходимой концентрации аэрозоля часто приходится ставить не один, а несколько диспергаторов, имеющих общую систему подачи воды и возбуждаемых либо от одного общего генератора ультразвуковых колебаний, либо от индивидуальных генераторов (рис.3).

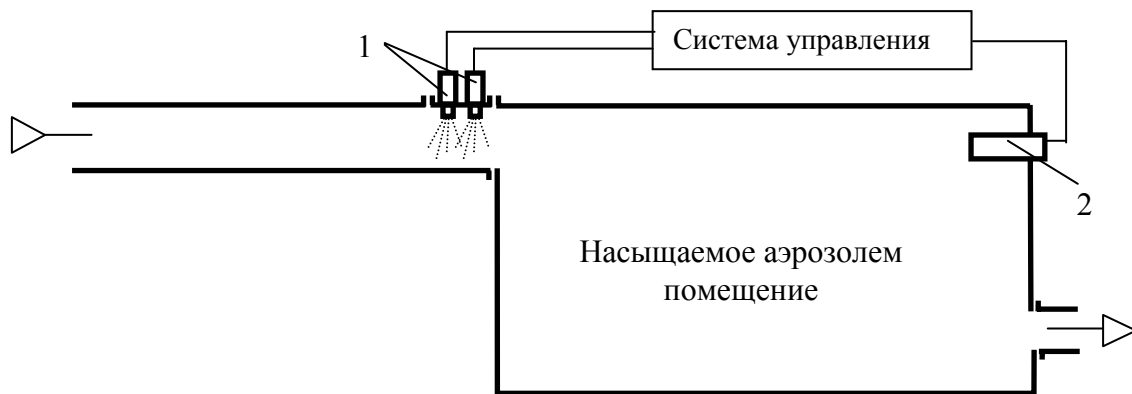


Рис.2. Система искусственного микроклимата с диспергаторами в системе вентиляции (1 – ультразвуковые диспергаторы с распылением в тонком слое; 2 – датчик влажности)

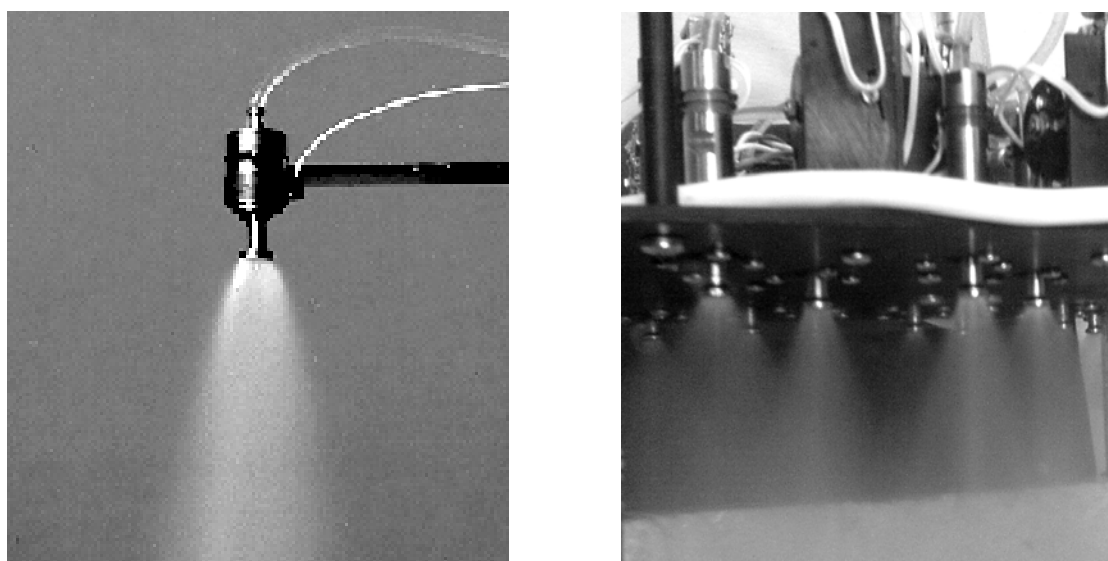


Рис.3. Одиночный ультразвуковой диспергатор и многоточечная панель диспергаторов для мехатронных систем искусственного микроклимата

Проблемы, возникающие при выборе того или иного варианта возбуждения диспергаторов, обусловлены разбросом их характеристик, достигаемой надежностью системы и подробно рассмотрены в работе [6].

Такой способ насыщения воздуха аэрозолем целесообразен для помещений, в которых условиями производства предусмотрена система вентиляции и в которых примерно одинаковый тепловой режим в различных частях помещения. Примером могут служить ткацкие цеха, в которых количество обрывов нитей зависит от влажности атмосферы, цеха полиграфического производства многослойных рисунков, в которых от влажности атмосферы зависит степень коробления подложки и, соответственно, качество рисунка, затененные грибные теплицы, требующие высокой степени влажности.

При создании подобных мехатронных систем для реализации автоматического регулирования достаточно одного датчика влажности, а количество аэрозоля в воздухе

может регулироваться за счет широтно-импульсной модуляции управляющего сигнала, подаваемого на ультразвуковые диспергаторы.

Если же помещение имеет разные тепловые участки, то центральное распыление аэрозоля не позволит добиться постоянной влажности во всем помещении. Примером могут служить большие стеклянные сельскохозяйственные теплицы. При наличии на небе облаков солнце не равномерно обогревает такие теплицы, создавая участки повышенной и пониженной температуры. Для достижения равномерной влажности в таком помещении необходимо применять многоточечную распределенную систему ультразвукового распыления с соответствующим количеством датчиков влажности. При этом площадь теплицы разбивается на секторы, обслуживаемые одним или несколькими диспергаторами. Каждый сектор имеет свой датчик влажности. Площадь таких секторов зависит от размера факела распыла, создаваемого диспергатором. Для подобных случаев созданы специальные диспергаторы с расширенным факелом распыла (рис.4). Благодаря вентилятору и вращающемуся направляющему аппарату такие диспергаторы способны создавать факел распыла диаметром до 3 метров. Диспергаторы устанавливаются с возможностью покрытия своими факелами всей площади теплицы.

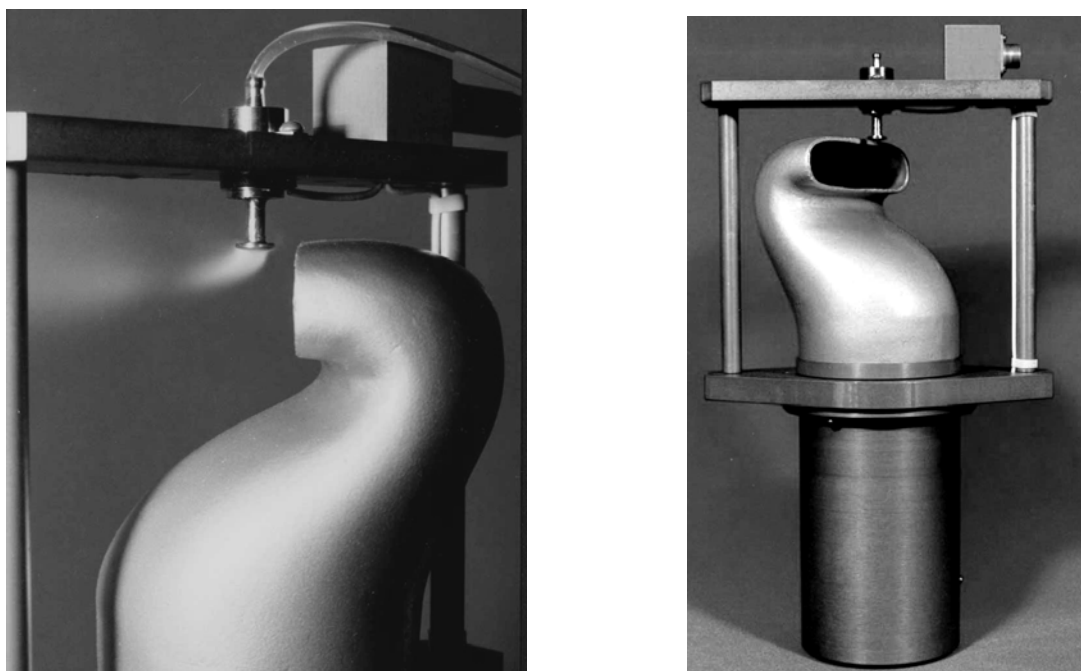


Рис.4. Ультразвуковой диспергатор с распылением в тонком слое и вращающимся пневматическим направляющим аппаратом

Учитывая большие площади сельскохозяйственных теплиц и, соответственно, большие протяженности цепей управления, целесообразно каждый подобный диспергатор оснащать индивидуальным генератором ультразвуковых колебаний, располагаемым вблизи диспергатора. В этом случае удастся настроить каждый диспергатор на оптимальный режим работы, поддерживающий волновой механизм распыления.

Разнос аэрозоля вращающимся воздушным потоком позволяет избежать коагуляции капелек аэрозоля в факеле, что способствует повышению качества аэрозоля и обеспечивает высокую степень гомогенизации смеси.

В таких мехатронных системах искусственного микроклимата система управления по сигналам датчиков влажности подключает ту или иную группу исполнительных устройств – диспергаторов, позволяя поддерживать постоянной влажность всех участков теплицы, не зависимо от их освещенности солнцем. При такой организации автоматической системы возможно программируемое изменение влажности или поддержание разного уровня влажности в отдельных секторах теплицы, что необходимо в случаях выращивания в одной большой теплице на отдельных участках различных сельскохозяйственных культур, например, различных сортов цветов.

Применение ультразвуковых диспергаторов в системах искусственного микроклимата благодаря возможностям электронного управления процессом распыления позволяет строить быстродействующие системы автоматического регулирования с микропроцессорным управлением, а высокое качество аэрозоля, получаемого при ультразвуковом распылении, позволяет существенно расширить круг технологических задач, решаемых с помощью таких мехатронных систем.

Список использованной литературы

1. Пажи Д.Г., Галустов В.С. Основы техники распыления жидкостей. – М.: Химия, 1984. - 256 с.
2. Луговський О.Ф. Отримання дрібнодисперсного аерозолю шляхом ультразвукового диспергування // Вестник Национального технического университета Украины «КПИ». Машиностроение.- 1999. - Вип. 34. - С. 193– 202.
3. Луговський О.Ф., Яхно О.М. Ультразвукове розпилення рідини та можливості його застосування в технологічних процесах // Гірничі, будівельні, дорожні та меліоративні машини. Всеукраїнський збірник наукових праць. – 2004. – Вип. 64. - С. 49-55.
4. Экнадиосянц О.К. Получение аэрозолей. - В кн.: Физические основы ультразвуковой технологии. Под ред. Л.Д. Розенберга. - М.: Наука, 1970. - С. 339-392.
5. Луговской А.Ф. Физическая модель процесса ультразвукового распыления в тонком слое // Вестник Национального технического университета Украины «КПИ». Машиностроение.- 1999. - Вип. 36. - Том 2. - С. 299 – 308.
6. Луговський О.Ф., Мовчанюк А.В., Чорний В.І. Проблеми побудови багатоточкових систем ультразвукового розпилення рідини // Вибрации в технике и технологиях. – 2003. - № 3 (29). - С. 3-8.