

ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ПРОЦЕССА СУШКИ БЕЛЬЯ В СТИРАЛЬНЫХ МАШИНАХ

Геннадий В. Леонов, Владимир Н. Хмелев, Андрей Н. Заборовский

Бийский технологический институт

Алтайского государственного технического университета, Бийск, Россия

Аннотация – Сушка белья в акустических полях высокой интенсивности является самым перспективным способом, как с точки зрения экономических показателей, так и параметров качества конечного продукта. В статье описываются основные способы организации сушки в стиральных машинах. Анализируются возможные способы технологического оформления процесса.

The summary - Drying of linen in acoustic fields of high intensity is the most perspective way, both on economic parameters, and on parameters of quality of a final product. In clause the basic ways of organization of drying in washing machines are described. The possible ways of technological registration of process are analyzed.

I. Введение.

Сушка – заключительная стадия любой стирки белья и ее проведение в рамках одного устройства – стиральной машины, позволяет полностью автоматизировать процесс стирки, что сводит к минимуму ручной труд.

В настоящее время для сушки белья в стиральных машинах используют конвективный способ, заключающийся в том, что сухой воздух прогревается с использованием встроенного нагревательного элемента, нагретый воздух с помощью вентилятора направляется в барабан, проходит через белье, увлажняется, затем вне пределов барабана охлаждается с помощью холодной воды (воздуха), при этом влага конденсируется, а сухой воздух вновь нагревается. Цикл повторяется столько времени, сколько нужно для высыхания белья.

Современная технология сушки белья в технологическом оформлении стиральных машин обладает следующими недостатками:

- высокая энергоемкость;
- длительное высокотемпературное воздействие на объект сушки;
- стиральные машины с сушкой не могут быть малогабаритными (узкими), так как это уменьшает воздушный объем в барабане, что с одной стороны ограничивает скорость сушки, а с другой увеличивает себестоимость процесса;
- для качественной сушки необходимо либо уменьшать загрузку, либо сушить в два приема;
- принципиальная невозможность сушки в стиральных машинах деликатных тканей;
- возможность пересыхания и порчи белья,
- высокая стоимость электронной системой контроля исключающей пересыхание белья, что значительно увеличивает себестоимость машины.

Приведенные недостатки объясняются не низким уровнем проработанности конструктивных решений, а недостатками положенного в основу метода – конвективной сушки. Использование других, более эффективных методов невозможно в силу бытовой направленности устройств по ряду причин: отсутствие сервисного персонала, необходимость достаточно простой конструкции, требование отсутствия расходных материалов с малым сроком изнашивания и т.д.

Единственно возможным вариантом замены или дополнения конвективного способа сушки является сушка в акустических полях высокой интенсивности, что обусловлено следующими преимуществами метода:

- возможность достижения более высокой (до 10 раз) скорости процесса;
- возможность обеспечения качественной и эффективной сушки при низких температурах, или принципиально, без повышения температуры;
- возможность использования статических сирен (газоструйных излучателей), обеспечивающих прямое преобразование энергии потока воздуха в акустические колебания;
- возможность разработки самонастраивающихся ультразвуковых генераторов, что не требует пользовательского контроля над работой системы.

Необходимо отметить, что акустические колебания интенсифицируют тепло-массообменные процессы на всех стадиях цикла стирки: собственно стирки, полоскания и отжима. Наряду с оптимизацией основных стадий обработки белья, можно выделить сопутствующие возможные

применения акустических колебаний: дезинфекция белья, очистка нагревательных элементов машин от накипи.

Все вышесказанное позволяет быть уверенным в получении положительных результатов при исследовании влияния акустических колебаний на параметры качества процесса сушки и его экономические показатели.

II. Постановка задачи.

Настоящая работа посвящена теоретическому анализу возможностей применения акустической сушки и выработки предложений для практической реализации малогабаритной системы акустической сушки белья.

Цель работы – анализ эффективности акустического способа сушки белья и теоретическое исследование возможность практической реализации указанного способа в бытовых стиральных машинах.

III. Существующие методики акустической сушки.

Акустический способ сушки позволяет сушить широкий спектр различных материалов: продукты сельского хозяйства (зерно, овощи, фрукты и другие), древесина, хлопок, лекарственные препараты и травы, бумага, продукция химической и других отраслей промышленности. Однако, резюмируя все известные способы, можно выделить две основные технологические схемы:

- воздействие через воздух;

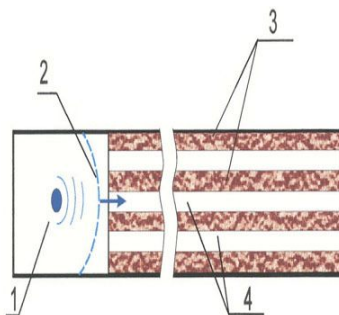


Рисунок 1 - Схема сушильной установки

Способ реализуется в установке (рис. 1), которая представляет собой, как правило, канал прямоугольной формы и включает источник звука 1, кассеты с осушаемым материалом 3, разделенные каналами - звукопроводами 4. При включенном источнике звук 2 распространяется в каналы - звукопроводы и экстрагирует влагу из осушаемого материала. Детали конструкции сушилки зависят от характеристик осушаемого материала, размеры - от требуемой производительности. Для питания источника звука используют компрессор, обеспечивающий давление сжатого воздуха.

- контактное воздействие;

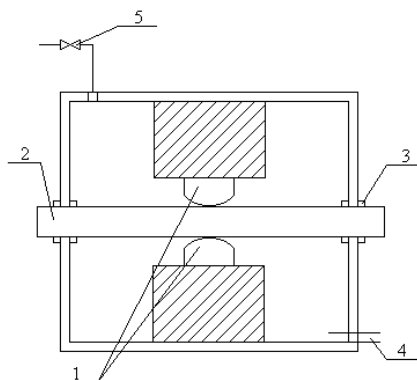


Рисунок 2 - Схема сушильной установки

Способ реализуется в сушильной камере (рис. 2) с размещенными в ней УЗ излучателями (1), которые непосредственно контактируют с высушиваемым материалом (2). Сушильная камера снабжается уплотнителями (3) и устройством слива влаги (4).

Приведенные технологии для реализации процесса сушки используют специально сконструированные и достаточно объемные камеры для сушки, что недопустимо при сушке в рамках стиральных машин. В связи с этим необходимо провести анализ методов введения акустических колебаний в барабан стиральной машины, выступающий в качестве сушильной камеры.

Таким образом, внедрение сушки в технологическом оформлении стиральных машин требует разработки полного комплекта оборудования: УЗ генераторов, УЗ излучателей, концентраторов. Это оборудование, при малых габаритах, должно обеспечивать требуемую мощность акустических колебаний.

IV. Анализ способов организации акустической сушки в стиральных машинах.

Все действия над бельем (в том числе и сушка) в стиральных машинах выполняются во внутреннем объеме барабана машины, в связи с этим, рассмотрим возможные варианты ввода УЗ колебаний в барабан стиральной машины. Рассмотрение будем проводить в рамках двух возможных способов воздействия, указанных выше (контактный и бесконтактный)[2]. Варьируемыми параметрами в рамках выбора вариантов являются:

- тип излучателей ультразвуковых колебаний (УЗ излучателей);
- конструктивные схемы размещения УЗ излучателей;
- конструкции УЗ излучателей;
- наличие, формирование и конструкции резонирующих устройств;

При выборе необходимо учитывать ограничения, накладываемые на способ и проектируемое оборудование, и физические параметры генерируемых колебаний. Сводные данные о применяемых ограничениях и критериях качества приведены в таблице 1.

Таблица 1.

Ограничения	
Технологические (на способ)	Конструктивные (на оборудование)
1. Необходимость создания УЗ колебаний с интенсивностью превышающей пороговую (при которой происходит интенсификация сушки). 2. Возможность снижения внешнего акустического давления в соответствии с санитарными нормами. 3. Невысокая потребляемая мощность устройств в рамках реализуемого способа. 4. Низкая себестоимость практической реализации.	1. Малые размеры создаваемых устройств, позволяющие размещать их в стиральных машинах. 2. Надежность устройств (срок службы должен быть не меньше срока эксплуатации стиральной машины). 3. Возможность функционирования в условиях 100% влажности и забрызгивания водой. 4. Возможность функционирования при вращении.
Критерии оптимальности	
1. Скорость сушки. 2. Качество сушки. 3. КПД способа. 4. Равномерность распределения УЗ колебаний по всему объему сушильной камеры. 5. Стоимость конструкции.	

Анализ конструкции бытовых стиральных машин, с одной стороны, и исследование возможных способов и устройств создания УЗ колебаний, с другой стороны, позволили обобщить возможные принципы и конструктивные схемы организации процесса сушки в стиральных машинах (рис. 3).

Указанные на схеме способы подвода и технологическое оборудование позволяют преодолеть указанные ограничения, однако значительно отличаются по критериям оптимальности.

Дальнейшее рассмотрение будет проводиться в рамках представленной схемы и будет основываться на анализе способов в соответствии с указанными критериями, разработке основных конструктивных схем устройств и рассмотрении способов решения возможных технических проблем.

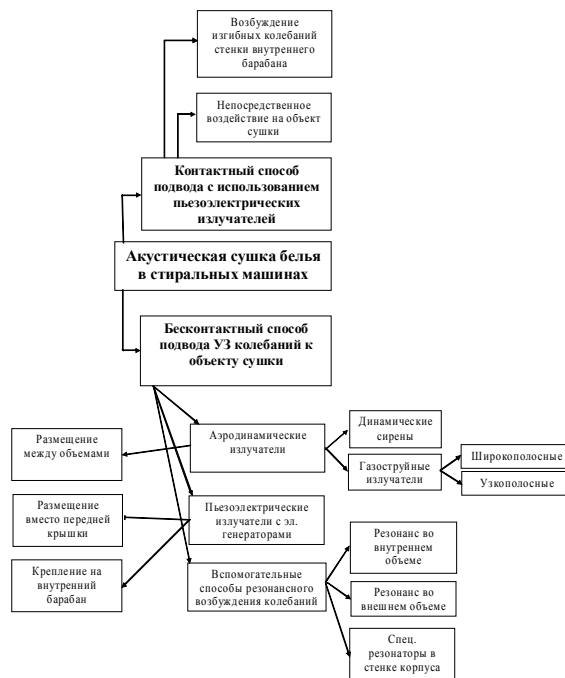


Рисунок 3 - классификация методов сушки в стиральных машинах.

V. Анализ способов ввода ультразвуковых колебаний при контактном способе воздействия и конструктивных схем размещения УЗ излучателей.

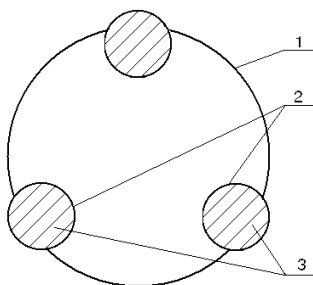
Контактное воздействие УЗ колебаний на объект сушки осуществляют при наличии непосредственного контакта между излучающей поверхностью источника УЗ колебаний, элементами поверхности внутреннего барабана и высушиваемым материалом.

На сегодняшний момент для создания колебаний в различных материалах применяют пьезоэлектрические преобразователи. Пьезоэлектрические преобразователи характеризуются высоким электро - акустическим КПД, требуют относительно низких напряжений питания, обеспечивают генерацию упругих колебаний в широком диапазоне частот, способны работать без принудительного охлаждения при высоких температурах (более 100°C). Конструкция и методика расчета пьезоэлектрических преобразователей подробно описана в литературе, и касаться ее не будем.

Рассмотрим основные способы интеграции контактных ультразвуковых преобразователей в стиральные машины:

- интеграция преобразователя с лопатками для перемешивания белья внутри барабана;
- размещение преобразователя в резиновой прокладке между крышкой и барабаном (в передней крышке машины);
- интеграция преобразователя с системой крепления барабана;
- размещение излучателей на боковой поверхности барабана.

Интеграция преобразователя с лопатками для перемешивания белья внутри барабана

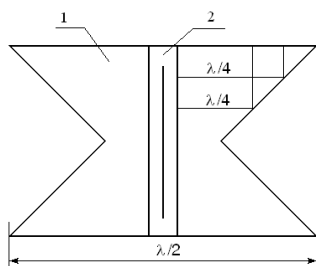


1. Барабан стиральной машины;
2. Лопатки для перемешивания белья;
3. Пьезоэлектрические преобразователи.

Рисунок 4 - Схема интеграции преобразователя с лопатками для перемешивания белья внутри барабана

Пьезоэлектрические преобразователи (3, рис. 4) размещаются внутри лопаток для перемешивания белья (2) вдоль двух боковых поверхностей. Создаются УЗ колебания в металлических стенках лопаток. При непосредственном контакте белья с боковыми стенками лопаток осуществляется контактное воздействие УЗ колебаний на обрабатываемый материал. Наряду с этим, за счет наличия акустического контакта между преобразователями и боковой стенкой барабана, в последней создаются изгибные колебания, а при соприкосновении материала со стенкой барабана осуществляется контактное воздействие УЗ колебаний на высушиваемый объект.

Возможное конструктивное исполнение преобразователя



1. Частотнопонижающие накладки
2. Пьезоэлектрические элементы

Рисунок 5 - Схема конструктивного исполнения преобразователя

Предлагаемая конструктивная форма УЗ преобразователя разработана для размещения внутри барабана. В предлагаемой конструкции (рис. 5) генерируемые колебания будут перенаправляться на боковую поверхность накладок. Эффект достигается за счет того, что колебания от пьезоэлементов (расположенных в центре преобразователя) распространяются от середины в стороны концентратора, при достижении края наклонной боковой кромки отражаются от границы раздела и перенаправляются на рабочую поверхность, с которой осуществляется воздействие на материал.

Достоинства способа:

- высокая эффективность (КПД) метода, так как в этом случае генерируемые колебания имеют наибольшую площадь соприкосновения с бельем и нет никаких промежуточных объектов между материалом для сушки и излучающей поверхностью;
- высокий КПД способа позволяет или форсировать скорость сушки за счет высокоинтенсивного воздействия, или без потери качественных показателей, снижать мощность и экономить электроэнергию;
- имеет место равномерное распределение акустических колебаний по внутреннему объему барабана, так как длина лопаток равна глубине барабана, их число, как правило, равно 3 и размещены под углом 120°.

Недостатки:

- необходимо решение проблемы эффективного подвода энергии к вращающимся вместе с барабаном излучателям;
- по мере снижения влагосодержания материала, эффективность воздействия УЗ колебаний падает.

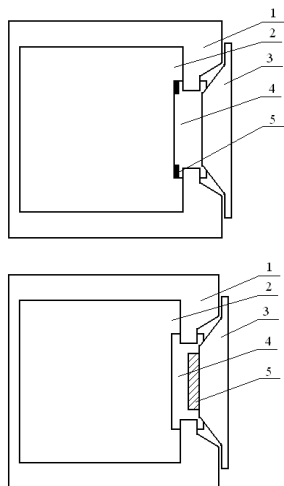
Способ характеризуется высокой эффективностью, а возможные технические проблемы при его реализации на практике имеют практическое решение. Необходима разработка экспериментальной установки и практическое подтверждение основных технологических параметров способа (частота, мощность колебаний, и т.д.)

В рамках экспериментов предполагается произвести выбор следующих технологических параметров:

- частоты колебаний (высокие частоты эффективно поглощаются бельем, что может приводить к неравномерному высушиванию, на низких частотах сложно обеспечить звукоизоляцию);
- мощности колебаний (оптимизация по критериям скорости сушки и потребляемой мощности).

Возможно проведение исследования возможных конструктивных форм излучающей поверхности.

Размещение преобразователя в резиновом уплотнителе между крышкой и барабаном (или при креплении на переднюю дверцу машины)



При размещении в уплотнителе

1. Корпус стиральной машины;
2. Барабан стиральной машины;
3. Передняя дверца;
4. Резиновый уплотнитель;
5. Излучатели.

При размещении в дверце

1. Корпус стиральной машины;
2. Барабан стиральной машины;
3. Передняя дверца;
4. Резиновый уплотнитель;
5. Излучатель.

Рисунок 6 - Схема размещения преобразователя в резиновом уплотнителе и передней дверце.

Пьезоэлектрические преобразователи (5, рис. 6) размещаются или на передней дверце стиральной машины (3), или на резиновом уплотнении (4) используемом для предотвращения утечек воды из барабана. Генерируемые в этом случае колебания в излучателях, за счет того, что фактически излучатели фактически находятся во внутреннем объеме барабана, контактным способом передаются на стенку барабана и на обрабатываемый материал.

Достоинства способа:

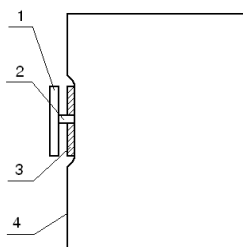
- источник излучения максимально приближен к обрабатываемому материалу;
- излучатели не вращаются, что упрощает конструкцию и существенно удешевляет стоимость системы;
- обширная площадь соприкосновения рабочей поверхности излучателя с бельем при отсутствии промежуточных объектов.

Недостатки:

- неравномерное распределение волн по объему барабана, которое приводит к тому, что белье расположенное ближе к передней дверце, будет подвержено значительно более сильному воздействию, чем то белье, что расположено дальше от передней стенки;
- при креплении излучателя на дверцу будет снижена возможность наблюдения и контроля пользователем происходящих в стиральной машине процессов.

По причине неравномерности воздействия считаем, что дальнейшее исследование способа в представленном выше виде не целесообразно. Рекомендуется разработка схемы с бесконтактным способом подвода УЗ колебаний, так как в этом случае сохраняются положительные стороны метода, и устраняется главный недостаток. Генерируемые в воздушном пространстве колебания будут равномерно распределяться по всему внутреннему объему барабана.

Интеграции преобразователя с системой крепления барабана



1. двигатель стиральной машины;
2. УЗ излучатель;
3. вал крепления барабана;
4. барабан стиральной машины.

Рисунок 7 - Схема интеграции преобразователя с системой крепления барабана.

Пьезоэлектрические преобразователи (3, рис. 7) размещаются между двигателем (1) и задней стенкой барабана стиральной машины (4). Создаются изгибные УЗ колебания в металлическом барабане. Изгибные колебания распространяются по всей поверхности барабана. При непосредственном контакте белья с боковыми стенками осуществляется контактное воздействие УЗ колебаний на обрабатываемый материал. Контакт можно существенно улучшить за счет центробежных сил, возникающих при вращении барабана.

Достоинства способа:

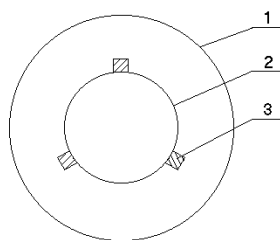
- излучатели не вращаются, что упрощает конструкцию и существенно удешевляет стоимость системы;
- обширная площадь соприкосновения рабочей поверхности излучателя с бельем при отсутствии промежуточных объектов.

Недостатки:

- барабан должен быть металлическим;
- необходимость решения проблемы исключения влияния УЗ колебаний на двигатель;
- неравномерность воздействия по глубине барабана, обусловленная тем, что источник колебаний расположен с одной стороны.

Способ менее эффективен по сравнению с ранее рассмотренными, однако позволяет провести значительно более глубокое обезвоживание материала при его центрифугировании на этапе отжима. Таким образом снизить первоначальную влажность и, как следствие, сократить длительность сушки. Наряду с этим, изгибные колебания в барабане могут интенсифицировать и собственно стирку, ускоряя различные массообменные процессы.

Размещение преобразователей на боковой поверхности барабана



1. Внешний барабан стиральной машины;
2. Барабан стиральной машины;
3. УЗ излучатель.

Рисунок 8 - Схема размещения преобразователей на боковой поверхности барабана

Излучатели (3, рис. 8) крепятся на внешнюю боковую поверхность барабана.

Достоинства способа:

- значительная площадь соприкосновения (вся поверхность барабана) колебательной системы с бельем;
- равномерное распределение акустических колебаний по внутреннему объему барабана;

Недостатки:

- барабан должен быть металлическим;
- необходимо решение проблемы эффективного подвода энергии к вращающимся вместе с барабаном излучателям.

Способ достаточно эффективен, технические проблемы его реализации имеют практическое решение. Также как и предыдущий, способ позволяет проводить значительно более глубокое

обезвоживание материала при его центрифугировании на этапе отжима. Таким образом, снизить первоначальную влажность и, как следствие, сократить длительность сушки. Наряду с этим, изгибные колебания в барабане могут интенсифицировать и собственно стирку, ускоряя различные массообменные процессы.

На основании предложенного анализа установлено, что самыми привлекательными способами ввода контактных колебаний являются: ввод через лопатки для перемешивания белья, ввод через боковую поверхность барабана с возбуждением изгибных колебаний стенок барабана. Возможна также комбинация указанных методов.

VI. Анализ способов ввода ультразвуковых колебаний при бесконтактном способе воздействия.

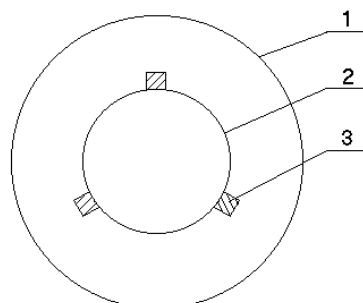
Бесконтактное воздействие осуществляют при отсутствии непосредственного контакта между излучающей поверхностью источника УЗ колебаний и высушиваемым материалом. Способ бесконтактной сушки заключается в генерации акустических ультразвуковых колебаний во внутреннем воздушном объеме сушильной камеры (внутреннем барабане машины). При этом колебания могут, как равномерно распространяться по объему камеры, так с помощью специальных устройств (концентраторов, рефлекторов), фокусироваться на материале.

Анализ внутреннего устройства стиральных машин позволил сформулировать возможные способы подвода колебаний:

- введение непосредственно во внутренний объем барабана (крепление на боковую поверхность барабана, крепление на переднее резиновое уплотнение или на переднюю дверцу);
- введение в объем между барабаном и внешним кожухом (крепление на внешний барабан);
- введение через существующие технологические элементы (например, насосы)

Рассмотрим возможные конструктивные решения по каждому из указанных способов.

Непосредственное введение колебаний во внутренний объем барабана. Крепление на боковую поверхность барабана.



1. внешний барабан (кожух);
2. внутренний барабан;
3. газоструйные преобразователи.

Рисунок 9 - Схема крепления излучателей на боковую поверхность барабана

Введение колебаний можно производить через боковую поверхность и заднюю стенку барабана, при этом излучатели могут быть прикреплены к вращающемуся барабану. Излучатели (3, рис. 9) крепятся к внешней стороне боковой поверхности барабана (2) в необходимом количестве, и, через отверстия в стенке, осуществляют подачу воздуха и генерацию ультразвуковых колебаний.

Конструктивное исполнение - газоструйные излучатели Гартмановского типа [1].

Достоинства способа:

- колебания создаются непосредственно в камере сушки;
- высокий КПД способа;
- равномерное распределение акустических колебаний по внутреннему объему барабана.

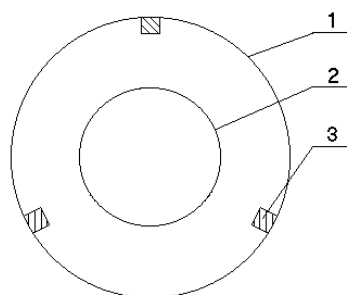
Недостатки:

- расстояние между кожухом и барабаном достаточно мало и, следовательно, необходимо, чтобы габариты излучателя были бы достаточно миниатюрными;

- в силу того, что барабан вращается, вращаются и сами излучатели, таким образом, необходимо решить проблему подвода воздуха к излучателям, что представляет собой достаточно сложную задачу.

В силу сложности подачи воздуха на вращающиеся излучатели дальнейшее исследование способа не целесообразно.

Непосредственное введение колебаний во внутренний объем барабана. Крепление на боковую (заднюю) поверхность внешнего барабана



1. внешний барабан (кожух);
2. внутренний барабан;
3. газоструйные преобразователи.

Рисунок 10 - Схема крепления излучателей на боковую поверхность внешнего барабана

Крепление излучателей (3, рис. 10) производится на внутреннюю стенку внешнего барабана (1). На против излучателей на боковой (задней) плоскости внутреннего барабана выполняют отверстия максимально возможной длины. Генерируемые колебания через отверстия непосредственно попадают в объем внутреннего барабана.

Конструктивное исполнение - газоструйные излучатели Гартмановского типа.

Достоинства способа:

- высокий КПД конструктивной схемы;
- равномерное распределение акустических колебаний по внутреннему объему барабана;

Недостатки:

- нельзя сделать отверстия по значительной части периметра, так как это снижает жесткость конструкции барабана, а в случае малого объема отверстий снижается эффективность процесса

По причине выявленных недостатков практическое применение способа не целесообразно.

Непосредственное введение колебаний во внутренний объем барабана.

Крепление на передней крышке стиральной машины (резиновое уплотнение, передняя дверца)

Принцип работы приведен при описании аналогичной схемы контактного воздействия. Единственное отличие – использование излучателя газоструйного типа.

Конструктивное исполнение - газоструйные излучатели Гартмановского типа.

Достоинства способа:

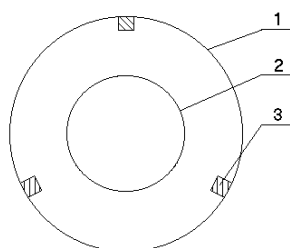
- колебания создаются непосредственно в камере сушки;
- высокий КПД способа;
- равномерное распределение акустических колебаний по внутреннему объему барабана.

Недостатки:

- излучатели расположены в непосредственной близости от высушиваемого белья, которое при возможном непосредственном контакте может нарушать стабильную работу излучателя, затруднять распространение колебаний по объему барабана.

Практическая реализация рассмотренного способа может быть эффективной.

Введение колебаний в объем между внешним и внутренним барабанами



1. Внешний барабан;
2. Внутренний барабан;
3. Газоструйные излучатели.

Рисунок 11 - Схема введения колебаний в объем между внешним и внутренним барабанами

Ввод колебаний осуществляется с использованием газоструйных излучателей (3, рис. 11) в воздушный объем между внутренним (2) и внешним (1) барабанами.

Конструктивное исполнение - газоструйные излучатели Гартмановского типа.

Достоинства способа:

- легкость практической реализации;
- практическая применимость.

Недостатки:

- низкий КПД, связанный с тем, что часть колебаний поглощается вне объема камеры сушки

Недостатки способа устранимы реализацией резонирующих контуров с использованием специальных устройств (отражателей, резонаторов), которые позволяют перенаправить и сфокусировать колебания на объекте сушки. Целесообразность создания практической конструкции для апробации способа и экспериментального подтверждения эффективности применения оптимальных резонирующих контуров.

Введение колебаний с использованием существующих технологических элементов

Способ заключается в использовании для генерации колебаний уже существующего оборудования. Использование существующего оборудования может быть реализовано в любом, из описанных выше способов размещения газоструйных излучателей, и позволяет снизить стоимость разрабатываемого технического решения.

Для работы любого газоструйного преобразователя необходимо избыточное давление, как правило, создаваемое насосом. В стиральных машинах уже присутствует данное оборудование, однако оно имеет различные технические характеристики в зависимости от производителя и модели, что не позволяет оценить возможность его использования для генерации акустических колебаний в общем случае.

Наряду с газоструйными излучателями для генерации УЗ колебаний в воздушной среде возможно использовать и пьезоэлектрические преобразователи.

Схемы размещения пьезоэлектрических преобразователей очень похожи на схемы размещения при контактном способе подвода акустической энергии, описанные выше. Основные из которых, представлены на рис. 12 (заштрихованные области – пьезоэлектрические преобразователи для воздушной среды).

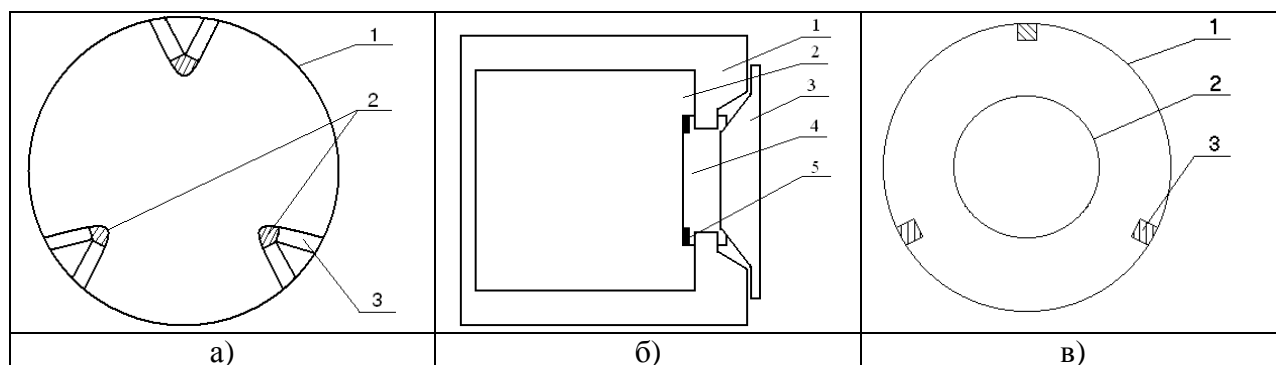


Рисунок 12 - Схемы размещения пьезоэлектрических преобразователей при бесконтактном способе воздействия

Резюмируя вышесказанное можно сформулировать основные принципы технического решения для организации бесконтактного способа сушки в стиральных машинах:

– в качестве генератора колебаний рекомендуется использовать статические газоструйные излучатели, расположенные между барабаном и кожухом (или внутри кожуха) и пьезоэлектрические излучатели, расположенные внутри барабана (передняя стенка, лопатки для перемешивания) и между барабаном и кожухом;

– при внешнем расположении фокусировка и усиление колебаний предлагается осуществлять с использованием специальных устройств-резонаторов (например, Гельмгольца);

VII. Анализ возможностей снижения акустического давления и акустической защиты стиральной машины.

Анализ возможностей звуковой защиты возможно проводить в рамках двух предложенных перспективных способов генерации акустических колебаний:

- генерация контактных колебаний в перемешивающих лопатках внутри барабана, или генерация изгибных колебаний в стенках барабана;
- генерация колебаний в воздушной среде с использованием или газоструйного излучателя, или пьезоэлектрического излучателя.

В первом случае предлагаются следующие меры защиты:

- выбор таких параметров излучателя, чтобы в воздух колебания переходили в малых количествах;
- система электронного управления излучением, которая бы позволяла отслеживать находится ли лопатка под нагрузкой (имеется ли контакт с бельем), если лопатка в текущий момент находится в верхней части, то колебания прекращаются;

Указанными средствами возможно достичь снижения уровня акустического давления вне стиральной машины до 50 Дб. При частоте колебаний в 20 кГц, колебания указанной интенсивности не оказывают влияния на человека.

Акустическую систему сушки можно сделать совсем бесшумной, применяя активную систему погашения звука. В этом случае необходимо во внешнем контуре создавать аналогичные по амплитуде и частоте колебания противоположной направленности (с фазовым сдвигом).

Во втором случае предлагаются следующие меры защиты:

- двойное стекло в передней дверце с зазором порядка 10 микрометра между стеклами;
- многослойное резиновое уплотнение передней стенки с мелкими порами, заполненными воздухом;
- звукопоглотители по периметру внешнего барабана;
- акустическая изоляция внутренней стенки корпуса специальными звукопоглощающими материалами, по своим параметрам схожим с теплоизоляционным (многослойная структура: металлическая фольга, пенополиуретан).

VIII. Заключение.

Рассмотрены возможные способы ультразвуковой сушки белья в стиральных машинах, подвергнуты анализу, как возможные способы генерации колебаний, так и наиболее перспективные способы и конструктивные схемы подвода энергии к высушиваемому материалу.

Разработаны оптимальные конструктивные схемы практических вариантов ультразвуковой сушки белья в стиральных машинах и намеченные пути создания модельной установки для выбора оптимальных (технологических и экономических) режимов сушки.

Проведенные предварительные теоретические и экспериментальные исследования позволили подтвердить эффективность ультразвуковой сушки белья в стиральных машинах, выбрать оптимальные режимы работы устройств, проанализировать влияние различных конструктивных и технологических параметров на скорость, качество процесса сушки и его экономическую эффективность.

IX. Список использованных источников

1. Борисов Ю. Я. Газоструйные излучатели гартмановского типа // Источники мощного ультразвука. Кн. I / Под ред. проф. Л. Д. Розенберга. М.: Наука, 1967.
2. Хмелев В.Н., Заборовский А. Н., Цыганок С.Н. и др. Анализ возможностей и выработка предложений для реализации малогабаритной системы акустической сушки для стиральных машин. Отчет о НИР (заключительный). Бийский технологический институт, 2004, 72 с.