

## ПУТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭФФЕКТА ГИДРОДИНАМИЧЕСКОЙ КАВИТАЦИИ ПРИ ОБРАБОТКИ ЖИДКИХ ПИЩЕВЫХ СРЕД

*Е. А. Денисюк, к. т.н., профессор;*

*С. П. Шевелев, аспирант ФГОУ ВПО НГСХА*

**Аннотация.** Рассмотрены и проанализированы гидродинамические и акустические навигации. Определена сфера целесообразности применения различных типов кавитации. Рассмотрены схемы конструкций гидродинамических теплогенераторов и область их применения в мясном, молочном производстве и в технологиях переработки продукции растениеводства.

**Ключевые слова:** кавитация, акустика, нагрев, гидродинамика, теплогенераторы.

Начиная с середины прошлого столетия, в научных кругах появляются идеи использования энергии кавитации в пищевой промышленности. В связи с недорогими на тот момент энергоресурсами и отработанной традиционной технологией, данный способ обработки пищевого сырья не получил реализации вплоть до конца прошлого столетия. Отсутствие эффективных аппаратов для проведения кавитационного воздействия и разработанной теории процесса приводило к тому, что метод не использовался. Исключение составляет лишь применение гидродинамической кавитации в аппаратах роторно-пульсационного типа для пастеризации и гомогенизации молока.

Данное научное направление вновь обрело актуальность с развитием мирового уровня техники, позволяющей создавать аппараты большой мощности, способные справляться с обработкой больших объемов жидкостей. Разви-

тие новых методик исследований процесса сделали проблему использования энергии кавитации как гидродинамической, так и акустической природы более актуальной и привлекательной [1]. В настоящее время данному явлению во всем мире посвящено множество работ. Не менее важной проблемой является определение соотношения практической возможности применения того или иного типа кавитации.

Наиболее разработанной темой подобных исследований можно считать теорию кавитационной дезинтеграции - процессов, происходящих в кавитационном реакторе [2]. Кавитационный реактор - аппарат, в котором реализуется явление кавитации в жидкостях, сопровождающее трансформацию акустической энергии, так называемого вынуждающего осциллятора низкой плотности в энергию высокой плотности схлопывающихся кавитационных пузырьков. В ряде публикаций [3] отмечено, что акустическая кавитация при правильном подборе параметров обладает значительно большей энергетикой, нежели гидродинамическая. Отмечена независимость акустической кавитации от скорости обрабатываемой среды, что позволяет более точно дозировать энергию, передаваемую среде путем установления производительности аппарата, в котором происходит процесс. При этом передача энергии для направленного изменения энергетического состояния обрабатываемой среды происходит без заметного увеличения ее температуры, т.е. «надтепловым» способом. С преимуществом акустической кавитации в виде способности изменять энергетическое состояние воды (активировать) без заметного увеличения ее температуры можно согласиться. Так как при работе любых аппаратов, работа которых основана на явлении гидродинамической кавитации, передача энергии среде происходит не только за счет импульсов давления и температуры, возникающих в парогазовых пу-

зырьках в момент их коллапса, но и за счет прямой трансформации механической энергии в тепловую, при возникающем внутреннем трении в обрабатываемой жидкости и рассеянии энергии акустических колебаний, сопровождающих коллапс парогазового пузырька. Поэтому работа подобных аппаратов сопровождается интенсивным нагревом среды, нежелательной для некоторых технологических процессов. С утверждением о значительно большей эффективности акустической кавитации по сравнению с гидродинамической можно поспорить. Известны следующие наиболее простые способы интенсификации образования и коллапса парогазовых каверн в воде, т.е. процесса кавитации, - это увеличение числа и частоты пульсаций этих каверн. А также увеличения импульса давления, возникающего при коллапсе отдельных пузырьков. В отношении последних двух способов, частоты и величины импульса давления отдельного пузырька акустическая кавитация позволяет изменять в широких пределах амплитуду и частоту вынуждающего осциллятора. Изменением последних можно добиться условия, необходимого для синхронизации коллапса с концом положительного полупериода изменения давления вынуждающего осциллятора. Однако при аналогичных условиях зарождения кавитационных полостей, гидродинамическая кавитация характеризуется особым режимом течения жидкости. Термин «кавитационный режим течения жидкости» наиболее полно характеризует происходящие явления [4]. Сущность его в том, что вся масса жидкости участвует в процессах образования (развития и схлопывания) кавитационных полостей, а именно - создаются условия генерирования кавитационных пузырьков, близких по величине диаметра и не зависящих от положения, относительно природы возникновения. Поэтому количество пульсирующих парогазовых каверн при гидродинамической кавитации во много раз больше, чем это

можно было бы наблюдать при акустической кавитации и по производимому эффекту она не может сильно отличаться от последней.

Акустическая кавитация предпочтительней при обработке сред, которые требуют «надтеплого» способа передачи энергии, т.е. без ощутимого нагрева. Примером здесь может служить кавитационная обработка воды, используемая при холодном способе кондиционирования зерна. При этом показано, что количество белков клейковины, получаемой из муки, возрастает в большей мере, чем при увлажнении зерна обычной водой [5]. Данный способ возможен в приготовлении и стабилизации эмульсий, используемых в хлебопекарной промышленности [6]. В тоже время нельзя не отметить сложность установок, а следовательно, их высокую стоимость, применяемых для такого типа воздействия на жидкие пищевые среды. Попытки изготовления самостоятельно таких аппаратов часто заканчиваются неудачей. Последнее можно объяснить необходимостью тщательного подбора геометрии и акустических свойств сосуда в зависимости от типа ультразвукового излучателя. В противном случае, рассчитывать на эффективность установки не приходится. Поэтому использование таких установок при всех их положительных свойствах оказываемых на обрабатываемую среду, в небольших перерабатывающих предприятиях и фермерских хозяйствах затруднено.

Учитывая, что многие технологические операции, осуществляемые при выработке продукции в подобных хозяйствах, требуют как раз повышения температуры среды. Решением противоречия соотношения производимого эффекта кавитации и стоимости оборудования для ее проведения может стать использование гидродинамической кавитации, осуществляемой при работе гидродинамических теплогенераторов.

Прежде чем систематизировать имеющиеся в научной литературе данные о возможности получаемых эффектов от применения гидродинамической кавитации при обработки жидких пищевых сред следует остановиться на гидродинамических теплогенераторах [7]. Гидродинамические теплогенераторы - это объединенное название ряда тепловых машин, использующих в качестве рабочего тела жидкость, преимущественно - воду. В результате ряда процессов, происходящих при работе установки, осуществляется нагревание рабочего тела. Гидродинамические теплогенераторы отличаются необычно высокой эффективностью - отношением производимой теплоты к потребляемой энергии. Независимо от конструкции теплогенератора, основным при его работе считают процесс протекания гидродинамической кавитации. Известно большое количество самых разнообразных конструкций подобных машин. Однако при всем разнообразии можно выделить три группы:

- 1) пассивные тангенциальные;
- 2) пассивные аксиальные;
- 3) активные.

Пассивный гидродинамический теплогенератор с тангенциальным вводом потока жидкости, часто называемый вихревым, фактически является модификацией широко известной вихревой трубы, основанной на эффекте Ранка-Хильша, и предназначенной для охлаждения газового потока. Основное отличие вихревого теплогенератора от вихревой трубы Ранка состоит в замене газообразного рабочего тела (воздуха) жидким. Существенными элементами этого генератора служат инжекционный патрубок (1), струезакручивающий аппарат (2), рабочая или вихревая камера (3), тормозное устройство (4) и (6), перепускная магистраль (5) (рис.1) [8].

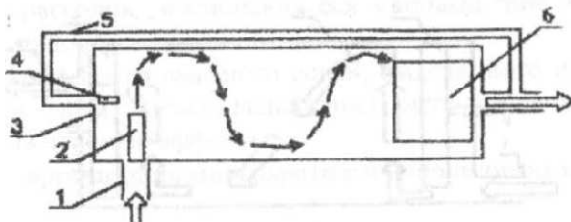


Рис. 2. Пассивный тангенциальный теплогенератор

Пассивный аксиальный теплогенератор представляет еще более простую конструкцию. Схематично конструкция подобных аппаратов, отражающая многообразие технических решений, представлена на рис.2. Основными элементами такого генератора служат входной патрубок для холодной воды (1), рабочая камера (2) с формирователем потока (3), сужающее устройство (4) с выходным патрубком для горячей воды (5).

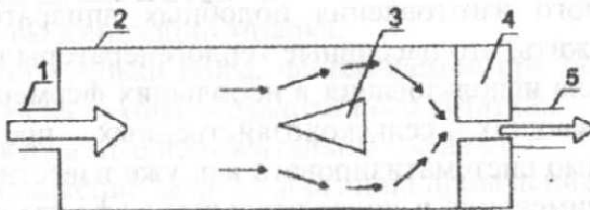


Рис. 2. Пассивный аксиальный теплогенератор

В генераторах третьей группы воздействие на рабочее тело производится с помощью размещенных в их рабочих камерах подвижных активирующих элементов, как правило - элементов ротационного типа с принудительным вращением (рис.3). Основными элементами подобных аппаратов служат входной патрубок для холодной воды (1), подвижный активирующий элемент (2) расположенный в рабочей камере (3), тормозное устройство (4) с выходным патрубком для горячей воды (5).

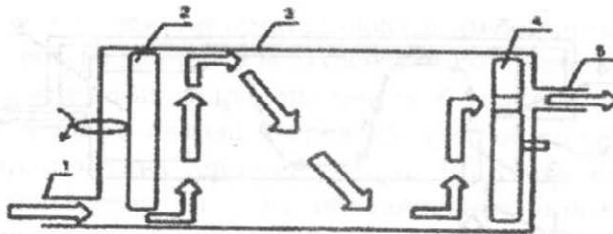


Рис. 3. Активный теплогенератор

Основное отличие приведенных групп машин проявляется в их эффективности по степени воздействия на обрабатываемую среду. Активные теплогенераторы наиболее эффективны в этом плане. Однако они и наиболее сложные, а следовательно, и дорогие в производстве. Первые две группы, в свою очередь благодаря простой конструкции, надежны, так как не имеют изнашиваемых деталей. Учитывая последнее, а также факт возможности самостоятельного изготовления подобных аппаратов, можно предположить, что пассивные теплогенераторы предпочтительней для использования в небольших фермерских и перерабатывающих сельскохозяйственных предприятиях. Необходимо систематизировать как уже известное практическое применение и положительные эффекты гидродинамической кавитации, происходящих в этих аппаратах в случае использования их для обработки жидких пищевых сред, так и теоретически возможное применение их как аналог акустической кавитационной обработки.

Гидродинамическая кавитация в мясном производстве может быть использована в следующих процессах:

- регенерации рассолов с целью их повторного использования;
- подготовка рассолов непосредственно перед их использованием с целью целенаправленного изменения

свойств рассолов, заключающееся в повышение химической активности воды;

- обработка «мясного сока», выделяемого при дефростации сырья, с целью дальнейшего использования.

Ожидаемые эффекты:

- организация многократного использования жидких сред;

- сохранение и дальнейшее использование в качестве ценного сырья (а не утилизации) «мясного сока»;

- снижение количества или полный отказ при производстве мясопродуктов от химических влагосвязывающих добавок.

Гидродинамическая кавитация в молочном производстве применяется достаточно давно [9,10,11] и может использоваться для:

- тепловой обработки молока, аналогичной пастеризации или стерилизации в зависимости от технологической необходимости;

- гомогенизации молока;

- подготовки воды, используемой при восстановлении молока из сухого обезжиренного остатка.

Ожидаемые положительные эффекты:

- снижение затрат энергии на проведение энергоемких технологических операций;

- возможность совмещения технологических операций (например, пастеризации и гомогенизации) с целью сокращения продолжительности и снижение затрат на их проведение;

- улучшение технологических характеристик молочных смесей и получаемых из них молочных продуктов за счет изменения свойств компонентов молока (в частности, интенсивной гидратации белков) в результате кавитационного воздействия.



Гидродинамическая кавитация теоретически может находить применение в технологиях переработки продукции растениеводства:

- подготовка воды в технологических схемах, предназначенных для восстановления концентрированных соков, или замена ванн длительной пастеризации гидродинамическим теплогенератором;
- осветление, пастеризация и стерилизация соков, в т.ч. восстановленных;
- подготовка воды, направляемой на обессахаривание свекловичной стружки методом диффузии;
- подготовка воды (или обработка непосредственно суслу), направляемой для смешивания с крахмалсодержащим сырьем перед его развариванием;
- тепловая обработка виноматериалов. Ожидаемые положительные эффекты:
  - снижение затрат энергии на энергоемкие технологические операции, интенсификация процесса и улучшение качества готовой продукции;
  - увеличение коэффициента диффузии и содержания сахарозы в диффузионном соке, более эффективное подавление микроорганизмов;
  - снижение расхода энергии на разваривание, интенсификация процессов брожения при общем увеличении выхода спирта.

Учитывая отсутствие в научных публикациях информации, посвященной возможности использования гидродинамической кавитации, протекающей при работе пассивных теплогенераторов в производстве мясных продуктов, йами предложена попытка теоретического и практического обоснования возможности применения такой обработки с целью регенерации рассолов и их обработки непосредственно перед использованием, а также возможности регенерации рассолов, предназначенных для посола сыров.

В качестве установки для экспериментов был выбран наиболее простой в плане конструкции и производства пассивный теплогенератор изображенный на рис. 1, известный также как «вихревой теплогенератор Потапова». Подобные аппараты на таких энергоемких процессах, как снижение микробиологической обсемененности, требующих по традиционной технологии нагрева до высоких температур, способны значительно снизить затраты на их проведение. Учитывая способность насыщенных рассолов, применяемых при производстве мясопродуктов, сохранять текучесть даже при низких температурах (т.е. не замерзать), нами предлагается использовать это свойство для нагрева посолочного рассола в вихревом теплогенераторе от отрицательной температуры до температуры, установленной технологической инструкцией на данную операцию. При проведении исследовательской работы на первом этапе планируется установить следующие показатели:

- оптимальную температуру обработки среды;
- оптимальные режимы обработки рассолов, направляемых непосредственно на технологическую операцию;
- оптимальные показатели геометрических параметров, и, прежде всего, непосредственно обтекаемых гидродинамическим потоком внутренних элементов конструкции.

### Литература

1. Margulis M.A. Sonochemistry and Cavitation. - London: Gordon & Breach, 1995.
2. Шестаков, С. Д. Основы технологии кавитационной дезинтеграции. Теория кавитационного реактора. - М.:ЕВА - пресс, 2001.
3. Рогов, И. А. «Надтепловое» изменение термодинамического равновесия воды и водных растворов: заблуждения

ждение и реальность // Хранение и переработка сельхозсырья. 2004. № 7, № Ю. С. 24-28, 9-13.

4. Патент RU 2131094, 14.04.1997.

5. Шестаков, С. Д. Энергетическое состояние воды и ее связываемость, биополимерами пищевого сырья: новые возможности // Хранение и переработка сельхозсырья. 2003. №4. С. 35-37.

6. Шестаков, С. Д. Кавитационный реактор как средство приготовления и стабилизации эмульсий для хлебопекарной промышленности // Хранение и переработка сельхозсырья. 2003. № 3. С. 27-30.

7. Геллер, С. В. Гидродинамические источники тепла // Нефтегазовое дело. Электронный научный журнал. Выпуск 1/2006,

<<http://www.oigbus.ru/authors/Geller/Geller1.pdf>>.

8. Патент RU 2045715, 10.10.1995.

9. Патент RU 2222952, 29.07. 2002.

10. Головнев, А. Н. Пастеризация и стерилизация с помощью роторных нагревателей // Переработка молока. 2007. №9. С. 10-11.

11. Михалкина, Г. С. Пастеризация молока и сыворотки в супер-кавитирующем аппарате роторно-пульсационного типа // Молочная промышленность. 1999. №8. С. 32-33.

## WAYS OF USE OF EFFECT HYDRODYNAMICAL CAVITATION AT PROCESSING LIQUID FOOD ENVIRONMENTS

*E. A. Denisuk, the post-graduate student, the candidate of technical sciences, the professor;*

*S. P. Shevelev, Nizhniy Novgorod State Agricultural Academy, Nizhniy Novgorod*

**Annotation.** Hydrodynamical and acoustic navigation are considered and analysed. The area of expediency of application of various types cavitation is made. Diagrams of designs hydrodynamical warmgenerators and area of their application in meat, dairy manufacture and in technologies of processing of production plant growing are considered.

**The keywords.** Cavitation, acoustics, heating, hydrodynamics, warmgenerator.

## ФОРМИРОВАНИЕ СТРУКТУР СЕРОГО ЧУГУНА В ЗОНЕ ЛАЗЕРНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

*Ю. И. Матвеев, д.т.н., профессор, зав. кафедрой «Эксплуатации судовых энергетических установок» ГОУ ВПО «Волжская государственная академия водного транспорта»;*

*С. С. Казаков, ст. преподаватель кафедры «Тракторы и автомобили» ГОУ ВПО «Нижегородский государственный инженерно-экономический институт»*

**Аннотация.** В работе приведены исследования структурных превращений серого чугуна после лазерной