

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫНЫҢ БІЛІМ ЖӘНЕ
ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ

Л.Н. ГУМИЛЕВ АТЫНДАҒЫ ЕУРАЗИЯ ҰЛТТЫҚ УНИВЕРСИТЕТІ
КӨЛІК – ЭНЕРГЕТИКА ФАКУЛЬТЕТІ



**«КӨЛІК ЖӘНЕ ЭНЕРГЕТИКАНЫҢ ӨЗЕКТІ МӘСЕЛЕЛЕРІ:
ИННОВАЦИЯЛЫҚ ШЕШУ ТӘСІЛДЕРІ» X ХАЛЫҚАРАЛЫҚ
ҒЫЛЫМИ-ТӘЖІРИБЕЛІК КОНФЕРЕНЦИЯСЫНЫҢ БАЯНДАМАЛАР
ЖИНАҒЫ**

**СБОРНИК МАТЕРИАЛОВ
X МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНО – ПРАКТИЧЕСКОЙ
КОНФЕРЕНЦИИ: «АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ТРАНСПОРТА И
ЭНЕРГЕТИКИ: ПУТИ ИХ ИННОВАЦИОННОГО РЕШЕНИЯ»**

**PROCEEDINGS OF THE X INTERNATIONAL SCIENTIFIC-PRACTICE
CONFERENCE «ACTUAL PROBLEMS OF TRANSPORT AND ENERGY:
THE WAYS OF ITS INNOVATIVE SOLUTIONS»**

Нұр-Сұлтан, 2022

УДК 656/621.31
ББК 39/31
А43

Редакционная коллегия:

Председатель – Мерзадинова Г.Т., Член Правления – Проректор по науке, коммерциализации и интернационализации ЕНУ им. Л.Н. Гумилева, д.т.н., профессор; Заместитель председателя – Султанов Т.Т., заместитель декана по научной работе, к.т.н., доцент; Сулейменов Т.Б. – декан транспортно-энергетического факультета ЕНУ им. Л.Н.Гумилева, д.т.н., профессор; Председатель «Әдеп» – Ахмедьянов А.У., к.т.н., доцент; Арпабеков М.И. – заведующий кафедрой «Организация перевозок, движения и эксплуатация транспорта», д.т.н. профессор; Тогизбаева Б.Б. – заведующий кафедрой «Транспорт, транспортная техника и технологии», д.т.н. профессор; Байхожаева Б.У. – заведующий кафедрой «Стандартизация, сертификация и метрология», д.т.н. профессор; Жакишев Б.А.– заведующий кафедрой «Теплоэнергетика», к.т.н., доцент.

А43 Актуальные проблемы транспорта и энергетики: пути их инновационного решения: X Международная научно – практическая конференция, Нур-Султан, 17 марта 2022 /Подгот. Г.Т. Мерзадинова, Т.Б. Сулейменов, Т.Т. Султанов – Нур-Султан, 2022. – 597с.

ISBN 978-601-337-661-5

В сборник включены материалы X Международной научно – практической конференции на тему: «Актуальные проблемы транспорта и энергетики: пути их инновационного решения», проходившей в г. Нур-Султан 17 марта 2022 года.

Тематика статей и докладов участников конференции посвящена актуальным вопросам организации перевозок, движения и эксплуатации транспорта, стандартизации, метрологии и сертификации, транспорту, транспортной техники и технологии, теплоэнергетики и электроэнергетики.

Материалы конференции дают отражение научной деятельности ведущих ученых дальнего, ближнего зарубежья, Республики Казахстан и могут быть полезными для докторантов, магистрантов и студентов.



© ЕНУ имени Л.Н.Гумилева, 2022

2. Васильев А. М. Развитие тепличных хозяйств при условии использования потенциала энерговырабатывающих предприятий / А. М. Васильев // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. 2011. № 2. С.

3. Преобразование энергии биомассы [Электронный ресурс]. URL: <http://recyclers.ru/> (дата обращения 14.11.2015).

4. СНиП 2.10.04-85 Теплицы и парники: Строительные нормы и правила, 1986.

5. Климов В. В. Расчет системы отопления культивационных сооружений [Электронный ресурс] URL: <http://greenhouses.ru/> (дата обращения 12.10.2015).

УДК 541.64

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ЭФФЕКТОВ КАВИТАЦИИ В РАЗЛИЧНЫХ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПРИЛОЖЕНИЯХ

Мырзабай Бекжан Бекмуратулы

mr.enu.tef@mail.ru

Докторант 1-го курса ЕНУ им. Л.Н.Гумилева, Нур-Султан, Казахстан

Дюсенов Канат Махметович

и.о. доцента, к.т.н. ЕНУ им. Л.Н. Гумилева, Нур-Султан, Казахстан

kdyussenov@yandex.ru

Гаряев Андрей Борисович

профессор, д.т.н. МЭИ, г. Москва, Российская Федерация

gariayev@mpei.ru

Аннотация: Проведен анализ кавитационного воздействия на жидкость. Показано, что кавитация существенно интенсифицирует многие физико-химические процессы в жидкостях. Приведены примеры применения кавитационных технологий для интенсификации гидромеханических и массообменных процессов, деструкции веществ.

Ключевые слова: кавитация, каверны, диспергация, экстрагирование, деструкция.

Одним из эффективных методов интенсификации технологических процессов в жидкостях является кавитационное воздействие на обрабатываемую среду [1–19]. Кавитация представляет собой средство локальной концентрации энергии низкой плотности в высокую плотность энергии, связанную с пульсациями и захлопыванием кавитационных пузырьков. В фазе разрежения акустической волны или за счет местного понижения давления при обтекании твердого тела, в жидкости образуются каверны (кавитационные пузырьки), которые заполняются насыщенным паром данной жидкости. В фазе сжатия под действием повышенного давления и сил поверхностного натяжения каверна захлопывается, а пар конденсируется на границе раздела фаз. Через стены каверны в нее диффундирует растворенный в жидкости газ, который затем подвергается сильному адиабатическому сжатию.

В момент схлопывания кавитационной каверны, давление и температура газа локально могут достичь значительных величин (по расчетным данным до 100 МПа и до 10000 К соответственно) [10]. После схлопывания каверны в окружающей жидкости распространяется сферическая ударная волна, быстро затухающая в пространстве. При генерировании импульсных растягивающих напряжений в жидкости, присутствующие в ней зародыши кавитации (устойчивые паровые и газовые пузырьки малых размеров) начинают расти, образуя кавитационный кластер, форма и размеры которого определяются начальным спектром размеров кавитационных зародышей, характером прикладываемого напряжения и граничными условиями.

В кавитационную каверну могут проникать пары жидкости, растворенные газы, а также вещества с высокой упругостью пара и не могут проникать ионы или молекулы нелетучих растворенных веществ. Выделяющейся в процессе схлопывания каверны энергии достаточно

для возбуждения, ионизации и диссоциации молекул воды, газов и веществ с высокой упругостью пара внутри кавитационной камеры.

Эрозия твердого тела (разрушение поверхности), очистка поверхностей, диспергирование твердых частиц, растворение, экстрагирование, эмульгирование, гомогенизация, пенообразование осуществляются, в основном, за счет двух характерных проявлений кавитации: ударных волн и кумулятивных струек, образующихся при схлопывании кавитационных пузырьков.

Кумулятивные струйки разрушают поверхностные слои и поверхность твердого тела за счет кинетической энергии жидкости. Мелкие частицы твердого тела, размеры которых соизмеримы с поперечным сечением кумулятивных струй, увлекаются ими и дают дополнительный вклад в процесс разрушения поверхностных слоев и самих твердых частиц, находящихся в жидкости.

В промышленности для кавитационного воздействия на жидкость используются гидродинамические, электродинамические, пьезоэлектрические, магнитострикционные и механические генераторы кавитации.

В гидродинамических кавитаторах типа роторных импульсных аппаратов, в основном, реализуется гидродинамическое и акустическое воздействие в жидкости за счет развитой турбулентности, пульсаций давления и скорости потока жидкости, интенсивной кавитации, ударных волн и вторичных нелинейных акустических эффектов [11-12]. При вращении ротора, его каналы периодически совмещаются с каналами статора. Скорость потока жидкости в канале статора является переменной величиной. При распространении в канале статора импульса избыточного давления, вслед за ним возникает кратковременный импульс пониженного давления, инерционные силы создают растягивающие напряжения в жидкости, что вызывает кавитацию.

В резонансных гидродинамических генераторах используется возбуждение колебаний резонирующих элементов в виде пластин, стержней или мембран набегающей струей жидкости [1]. Колебания резонирующих элементов создают акустическое поле излучателя. Наиболее распространенной модификацией таких излучателей являются пластинчатые излучатели с консольным или двухточечным креплением вибрирующей пластины. Струя, вытекающая с большой скоростью из конусно-цилиндрического или щелевого сопла, попадает на пластину с клиновидным краем. При этом происходит срыв струи, и возникают вихревые пульсации и кавитация.

Аналогичный принцип превращения кинетической энергии струи в энергию акустических колебаний используют в многостержневых гидродинамических излучателях. Струя круглого сечения, вытекающая из сопла, ударяется в лункообразный отражатель и веерообразно расходится, попадая на заостренные выступы стержней, закрепленных по цилиндрической образующей параллельно оси сопла. Происходит возбуждение колебаний стержней, которые создают в окружающей среде достаточно мощное звуковое поле. При использовании конусно-цилиндрического сопла и отражателя с лункой, близкой по форме к параболоиду вращения между торцами сопла и отражателя, формируется пульсирующая кавитационная область, определяющая параметры образующегося акустического поля.

Суперкавитирующие гидродинамические устройства по принципу работы разделяются на: динамические – с вращающимися рабочими органами, в основном лопастными; статические – с неподвижными рабочими органами; струйные – со струйными кавитаторами; комбинированные – состоящие из различных комбинаций первых трех типов [3,4]. Рабочие органы таких аппаратов устанавливаются в специально профилированных проточных участках (например, труба Вентури).

Сочетание кавитационных генераторов различного типа может усилить эффект кавитации. Благоприятно сказывается генерирование колебаний с разными частотами, отличающимися друг от друга на порядок и выше [8]. Это обусловлено тем, что для возбуждения зародыша кавитации определенного радиуса необходимо генерировать колебания на определенной частоте. Чем меньше размеры зародышей кавитации, тем выше должна быть

частота и тем больше должно быть акустическое давление, вызывающее кавитацию. Если генераторы кавитации работают на различных частотах, и прохождение жидкости через них осуществляется последовательно, то жидкость должна сначала проходить через генератор с большей частотой, а затем через генератор с меньшей частотой. В генераторе с высокой частотой возбуждаются зародыши кавитации наименьшего размера, которые быстро увеличиваются. Эти кавитационные пузырьки служат зародышами кавитации в генераторе с низкой частотой и увеличиваются в размере еще больше, что приводит к увеличению импульсов кавитационного давления. Кавитационное воздействие на жидкость позволяет получать высококачественные технологические, пищевые и биологически активные растворы экстрактов, эмульсии и суспензии [1–6, 12–14]. К таким системам относятся овощные и фруктовые соки, пюре, пасты, майонезы, гомогенизированное и восстановленное молоко, йогурты, мази, кремы, системы, содержащие биологически активные вещества (пектин, танин, аминокислоты, вытяжки и экстракты), водотопливные эмульсии и суспензии, лакокрасочные материалы и т.п.

Кавитация используется для гомогенизации и пастеризации молока. Кавитационное воздействие не только способствует повышению дисперсности эмульсии, но и уничтожает вредные микроорганизмы. При обработке молока при температуре 70 °С общее микробное число снижается в $10^3 - 10^5$ раз. При этом происходит полное уничтожение вегетативных форм дрожжей и плесеней, а также патогенных микроорганизмов группы кишечной палочки и нейтрализация фосфатазы. Такая обработка позволяет увеличить сроки хранения молока при температуре 9...12°С в неасептической упаковке не менее 5 суток без признаков его скисания. Кавитационное воздействие эффективно используется для интенсификации процессов растворения и экстрагирования, например, пектина, каротина, танина и других ценных веществ из биомассы. Кавитация изменяет свойства водных растворов и гидрогелей полисахаридов: крахмала, амилопектина, альгината натрия, хитозана, натриевой соли карбоксиметилцеллюлозы и т.п. [1–6, 12–14]. Многие лекарственные вещества получают методами экстрагирования сырья растительного и животного происхождения. Применение кавитационных технологий позволяет повысить качество мягких лекарственных форм суспензионного и эмульсионного типов.

Перспективным направлением в энергетике является использование дисперсионно-топливных систем [3,4]. Кавитационное воздействие служит эффективным средством для получения водо-угольных суспензий и угольно-масляных паст. Использование качественных угле-мазутных суспензий позволяет уменьшить расход мазута на 20–25%. Сжигание угле-мазутных и водо-угольных суспензий позволяет снизить вредные выбросы (СОх, NOх), утилизировать угольный шлам, снизить себестоимость получения тепловой и электрической энергии [15-18].

Кавитационное воздействие на мазут позволяет снизить вязкость на 20–30 %, увеличить температуру вспышки на 5–10 %. После кавитационной обработки в мазуте образуется до 35 % дизельного топлива (температура отгонки 250...290 °С). Экспериментальные исследования показали, что нефть, обработанная в кавитационном генераторе, начинает перегоняться под атмосферным давлением при температуре ниже на 10...15 °С, чем необработанная нефть, 50 % необработанной нефти перегоняется при температуре 328°С, а 50 % обработанной нефти перегоняется при температуре 265°С под атмосферным давлением, что ниже на 63°С [15-18].

Теплогенераторы кавитационного оборудования – одна из неэффективных видов тепловых машин, преобразующих механическое и акустическое воздействия на жидкость в тепло. Нагрев теплоносителя осуществляется при преобразовании кинетической энергии жидкости в тепловую энергию за счет кавитационных и вихревых эффектов [19].

Кавитационные генераторы могут также использоваться для процесса очистки от накипеобразования, различных отложений и загрязнений на внутренних поверхностях и в труднодоступных местах технологического оборудования и трубопроводов. Кавитационная обработка воды изменяет ее физико-химические свойства, увеличивает рН воды,

способствует ее активации. В результате кавитационного воздействия вода временно становится активным растворителем труднорастворимых веществ без введения химических реагентов.

Можно и дальше приводить примеры эффективности кавитационного воздействия на обрабатываемые жидкости. Области применения кавитации в различных технологических процессах очень широки. Все это становится возможным за счет концентрации энергии в пространстве и во времени, как это происходит при коллапсе кавитационного пузыря.

Список использованных источников

1. Долинский А.А. [и др.] Дискретно-импульсный ввод энергии в теплотехнологиях. – К.: ИТТФ НАНУ, 1996. – 206 с.
2. Промтов М.А. Машины и аппараты с импульсными энергетическими воздействиями на обрабатываемые вещества: учеб. пособие. – М.: Машиностроение, 2004. – 136 с.
3. Федоткин И.М., Гулый И.С. Кавитация, кавитационная техника и технология, их использование в промышленности. Ч. II. – Киев: ОКО, 2000. – 898 с.
4. Немчин А.Ф. Новые технологические эффекты тепломассопереноса при использовании кавитации // Пром. теплотехника. – 1997. – Т. 19, № 6. – С. 39–47.
5. Богданов В.В., Христофоров Б.И., Клоцунг Б.А. Эффективные малообъемные смесители. – Л.: Химия, 1989. – 224 с.
6. Young F.R. Cavitation. - London, U.K.: Imperial College Press, 1999. – 418 p.
7. Leighton T.G. The Acoustic bubble. – London, U.K.: Academic Press, 1994. – 240 p.
8. Suslick K.S. The chemical effects of ultrasound // Scientific American.- 1989.February. – P. 80-86.
9. Витенько Т.Н., Гумницкий Я.М. Механизм активирующего действия гидродинамической кавитации на воду // Химия и технология воды. – 2007. – Т. 29, № 5. – С. 422–432.
10. Кнэпп Р., Дейли Дж., Хэммит Ф. Кавитация. – М.: Мир, 1974. – 668 с.
11. Промтов М.А. Пульсационные аппараты роторного типа: теория и практика. – М.: Машиностроение, 2001. – 260 с.
12. Балабышко А.М., Зимин А.И., Ружицкий В.П. Гидромеханическое диспергирование. – М.: Наука, 1998. – 330 с.
13. Кудимов Ю.Н., Казуб В.Т., Голов Е.В. Электроразрядные процессы в жидкости и кинетика экстрагирования биологически активных компонентов. Часть 1. Ударные волны и кавитация // Вестн. Тамб. гос. техн. ун-та. – 2002. – Т. 8, № 2. – С. 253–264.
14. Лосев Н.В. [и др.] Влияние гидроакустического воздействия на свойства растворов и гидрогелей природных полисахаридов // Изв. вузов. Химия и хим. технология. – 2007. – Т. 50, вып. 3. – С. 44–48.
15. Кулагин В.А. Суперкавитация в энергетике и гидротехнике. – Красноярск: ИПЦ КГТУ, 2000. – 107 с.
16. Кормилицын В.И., Лысков М.Г., Румынский А.А. Подготовка мазута к сжиганию для улучшения технико-экономических и экологических характеристик котельных установок // Новости теплоснабжения. – 2000, № 4. – С. 19–21.
17. Промтов М.А., Промтов М.А., Авсеев А.С. Импульсные технологии переработки нефти и нефтепродуктов // Нефтепереработка и нефтехимия. – 2007. – № 6. – С. 22–24.
18. Золотухин В.А. Новая технология для переработки тяжелой нефти и осадков нефтеперерабатывающих производств // Хим. и нефте-газовое машиностроение. – 2004, № 10. – С. 8–11.
19. Немчин А.Ф. [и др.] Влияние кавитационного воздействия на углеводородное топливо // Пром. теплотехника. – 2002. – Т. 24, № 6. – С. 60–63.
20. Дюсенов К.М., Жакишев Б.А., Саттинова З.К., Шарифов Д.М. Некоторые аспекты энергоэффективности кавитационных технологий для автономных систем отопления // Пром. Энергетика. - №5, 2021. - С.21-27.