

УДК 620.9:33

ДИССИПАТИВНЫЙ ЭФФЕКТ В ЖИДКОСТИ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ НИЗКОЧАСТОТНЫХ ЗВУКОВЫХ КОЛЕБАНИЙ*

В.А. Сафонов, М.В. Лана, Ю.М. Быковский

ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»
д. 33, ул. Университетская, г. Севастополь, 299053, Россия
тел.: +7(978)037-03-95; e-mail: siver_info@mail.ru, hydrogen18@mail.ru

doi: 10.15518/isjaee.2019.16-18.51-58

Заключение совета рецензентов: 07.06.19 Заключение совета экспертов: 11.06.19 Принято к публикации: 14.06.19

Рассмотрено образование диссипативных структур в жидкости, находящейся в металлической чаше при воздействии на нее низкочастотных звуковых колебаний. Исследованы флуктуирующие объемы в толстом слое жидкости, то есть кластеры из молекул, совершающие колебательное движение и при потере устойчивости занимающие новое положение в жидкости. Внешнее синхронное воздействие на группу молекул может привести к усилению колебаний и потере устойчивости не только внутри жидкости, но и к тому, что эти группы молекул могут покинуть жидкость через свободную поверхность.

Трение о наружную поверхность чаши, выполненной из звукопроводящего бронзо-содержащего сплава, инициирующее возникновение звуковых колебаний, порождает возникновение новых структур в жидкости, находящейся внутри чаши (толщина слоя жидкости порядка 50 мм). Согласованное добавление энергии к колеблющимся микрообъемам воды позволяет освободить их потенциальную энергию и превратить ее в кинетическую. Вылетающие вертикально капли воды свидетельствуют о существовании интенсивного вертикального движения отдельных объемов жидкости, которые и создают новые структуры и ячейки, как и ячейки Бенара, получающиеся вследствие нагрева и вертикальной конвекции, но меньших размеров. Наблюдаемое явление похоже на «холодное кипение». Предположительно, под воздействием внешних звуковых колебаний высвобождается и потенциальная энергия сжатых частичек воды. Анализ звука проведен с помощью аудиоредактора для нескольких экспериментов различной продолжительности.

В данной работе впервые исследован диссипативный эффект в толстом слое жидкости при воздействии низкочастотных звуковых колебаний и возникновение структур, идентичных ячейкам Бенара, в ограниченных объемах воды (а не в тонком слое). Предположительно, воздействие звуковых колебаний может приводить к турбулизации крови и изменению физического состояния живых организмов, что по физическому воздействию может быть аналогично состоянию вскипания крови при быстром подъеме с глубины моря. Это явление можно использовать для интенсификации тепло- и массообмена в теплообменных установках.

Ключевые слова: трение; диссипация; жидкость; звуковые колебания; ячейки Бенара.

DISSIPATIVE EFFECT IN LIQUID UNDER EXPOSURE TO LOW-FREQUENCY SOUND VIBRATIONS

V.A. Safonov, M.V. Lapa, Yu.M. Bykovsky

Sevastopol State University
33 Universitetskaya Str., Sevastopol, 299053, Russia
tel.: +7 978 037 03 95, e-mail: siver_info@mail.ru, hydrogen18@mail.ru

* Сафонов В.А., Лана М.В., Быковский Ю.М. Диссипативный эффект в жидкости при воздействии низкочастотных звуковых колебаний // Международный научный журнал «Альтернативная энергетика и экология» (ISJAEE), 2019;16-18:51-58.



The article describes the formation of dissipative structures in a liquid in a metal bowl when exposed to low-frequency sound vibrations. The fluctuating volumes in a thick layer of liquid, that is, clusters of molecules, which make an oscillatory motion and with a loss of stability occupying a new position in the liquid, are investigated. An external synchronous effect on a group of molecules can lead to increasing oscillations and loss of stability not only inside the liquid, but these groups of molecules can leave the liquid through the free surface.

Friction on the outer surface of a bowl made of a conductive bronze-containing alloy, which initiates the occurrence of sound vibrations, gives rise to the appearance of new structures in the fluid inside the bowl. The thickness of the liquid layer is about 50 mm. The coordinated addition of energy to the oscillating microvolumes of water allows them to release their potential energy and turn it into kinetic. Water droplets ejected vertically indicate the existence of intense vertical movement of individual volumes of fluid which create new structures and cells, like Benard cells, resulting from heating and vertical convection, but smaller sizes. The observed phenomenon is similar to "cold boiling". Here, probably, the potential energy of the compressed water particles is released under the influence of external sound vibrations. Sound analysis was performed using an audio editor for several experiments of various lengths.

In this work, the dissipative effect in a thick layer of liquid when exposed to low-frequency sound vibrations and the appearance of structures identical to Benard cells in limited volumes of water (and not in a thin layer) is first investigated. It should be assumed that the effect of sound vibrations can lead to blood turbulization and a change in the physical state of living organisms, which in terms of physical effect can be similar to the state of blood boiling with a rapid rise from the depth of the sea. The phenomenon can be used for the intensification of heat and mass transfer in heat exchange installations.

Keywords: friction; dissipation; liquid; sound oscillations; Benard cells.



Владимир Александрович Сафонов
Vladimir Safonov

Сведения об авторе: д-р техн. наук, профессор, ФГБОУ ВО «СевГУ».

Образование: Харьковский авиационный институт (1965 г.).

Область научных интересов: возобновляемые и нетрадиционные источники энергии; вихревой эффект.

Публикации: 170.

Information about the author: D.Sc. in Engineering, Professor, SevSU.

Education: Kharkov Aviation Institute, 1965.

Research interests: renewable and unconventional energy sources; vortex effect.

Publications: 170.



Юрий Михайлович Быковский
Yuri Bykovsky

Сведения об авторе: канд. техн. наук, доцент, ФГБОУ ВО «СевГУ».

Образование: Севастопольское высшее военно-морское инженерное училище (1969 г.).

Область научных интересов: методы исследования двухфазных потоков.

Публикации: 175.

Information about the author: Ph.D. in Engineering, Associate Professor, FSBEI HE "SevSU".

Education: Sevastopol Higher Naval School of Engineering, 1969.

Research interests: biphasic flow test methods.

Publications: 175.



Марина Владимировна Лапа
Marina Lapa

Сведения об авторе: канд. техн. наук, доцент, ФГБОУ ВО «СевГУ».

Образование: Харьковский авиационный институт (1989 г.).

Область научных интересов: метрологическое обеспечение; математическое моделирование.

Публикации: 81.

h-index 3

Information about the author: Ph.D. in Engineering, Associate Professor, FSBEI HE "SevSU".

Education: Kharkov Aviation Institute, 1989.

Research interests: metrological support; mathematical modeling.

Publications: 81.

1. Введение

Образованию диссипативных структур в воздухе и других газах посвящено значительное количество работ. К примеру, диссипативные структуры образуются в вихревой трубе Ранка, а также в пульсационных трубах [1–4]. Менее изученным является вопрос образования новых структур в жидкостях – известны работы И. Пригожина [3, 5], при этом большинство описанных экспериментов выполнялось для вязкой жидкости в тонком слое. В данной работе впервые исследован диссипативный эффект в жидкости при воздействии низкочастотных звуковых колебаний и возникновение структур, идентичных

ячейкам Бенара в толстом слое воды в отличие от тонкого слоя вязкой жидкости в [3].

Кроме того, изучено образование диссипативных структур в толстом слое воды в ограниченных объемах при воздействии на них низкочастотных звуковых колебаний.

Рассматриваемый эффект, по-видимому наблюдается, в генераторах Потапова, которые являются экологически чистыми альтернативными источниками энергии, где температура вращающейся жидкости повышается за счет увеличения энергии кластеров, воспринимающих звуковые колебания, которые увеличивают энергию этих кластеров, а соответственно, и температуру.

Список обозначений	
Единицы измерения	
Гц	Герц
мм	Миллиметр
дБ	Децибел
м	Метр
м/с	Метр в секунду

2. Теоретический анализ

Особый интерес представляют флуктуирующие объемы в жидкости, то есть кластеры из молекул, совершающие колебательное движение и при потере устойчивости занимающие новое положение в жидкости. Внешнее синхронное воздействие на группу молекул может привести к усилению колебаний и потере устойчивости не только внутри жидкости, но и к тому, что эти группы молекул могут покинуть жидкость через свободную поверхность.

Согласно работам И. Пригожина [3, 5], образование диссипативных структур в газах имеет место при наличии флуктуаций числа молекул, наличия внешних потоков энергии, подводимой к флуктуирующим объемам, согласованного поведения этих объемов, увеличения амплитуды колебаний и потери ими устойчивости.

3. Экспериментальная часть

При проведении эксперимента использовался слой воды толщиной порядка 50 мм. Можно считать, что выполняются условия, описанные в теоретической части для газов. При круговом вращении замши с частотой 0,5–0,8 Гц и трении о наружную поверхность чаши, выполненной из звукопроводящего бронзо-содержащего сплава, через 5–6 оборотов после начала вращения устанавливается устойчивое звучание с частотой около 215–230 Гц, которая не изменяется в процессе эксперимента, и силой звука 15–30 дБ. Частота определена при анализе звуковой дорожки при помощи аудиоредактора. Из воды начинают во множестве вылетать капли, а затем в объеме жидкости устанавливается структура, идентичная ячейкам Бенара (рис. 1–3). Здесь, надо полагать, звуковые колебания совпадают с частотой кластеров, и из-за резонанса амплитуда колебаний частичек

воды резко увеличивается, они устремляются к свободной поверхности, образуя новую макроскопическую структуру, движущуюся со дна чаши к свободной поверхности. На рис. 3d отчетливо видны восходящие структуры, предположительно вихревые. На рис. 3e показаны структуры – вид сверху. Жидкость как бы интенсивно «кипит», но газовые пузырьки очень редкие. Наблюдаемое явление похоже на «холодное кипение». Температура воды всего 15 °С. Звук появляется вследствие трения замши о чашу, то есть диссипации, которая приводит к образованию новых структур на воде и даже вне жидкости: капли вылетают в воздух.

Условия проведенных экспериментов приведены в таблице.

Таблица
Условия эксперимента
Table
Experimental Conditions

Параметр	Значение
Частота вращения палочки с замшей	0,5–0,8 Гц
Частота звука	215–230 Гц
Толщина слоя воды	50 мм
Температура воды	15 °С
Сила звука	15–30 дБ
Время от начала эксперимента	указано на рис. 1–4
Число оборотов от начала движения	указано на рис. 1–4

Рассмотрим ход эксперимента. На фото (рис. 1) показано положение спокойной воды в начале вращения палочкой с замшей, а на рис. 2 показана поверхность жидкости через 3 с после 2 оборотов с начала вращения замши с трением, где отчетливо видны вылетающие с поверхности воды множественные капли и структура поверхности жидкости в чаше. Фотографии выполнены в динамике с видеосъемки.



Рис. 1 – Начало вращения палочкой с замшей (1 секунда, 0 оборотов)
Fig. 1 – The beginning of the rotation with a suede wand (1st second, 0 turns)



Рис. 2 – Образование диссипативных структур: 3-я секунда вращения, 2 оборота
Fig. 2 – Formation of dissipative structures: 3rd second of rotation, 2 turns

На рис. 3–7 показано развитие ситуации и процесс образования диссипативных структур с течением времени.



a



b



c



d



e

Рис. 3 – Образование диссипативных структур: *a* – 4-я секунда вращения, 2,5 оборота; *b* – 5-я секунда вращения, 4 оборота; *c* – 11-я секунда вращения, 7 оборотов; *d* – 15-я секунда вращения, 9 оборотов; *e* – 18-я секунда вращения, 11 оборотов

Fig. 3 – Formation of dissipative structures: *a* – 4th second rotation, 2.5 turns; *b* – 5th second rotation, 4 turns; *c* – 11th second rotation, 7 turns; *d* – 15th second rotation, 9 turns; *e* – 18th second rotation, 11 turns



На рис. 4а видны образующиеся структуры, а на 4б – представлен фрагмент этих структур в чаше в увеличенном виде.

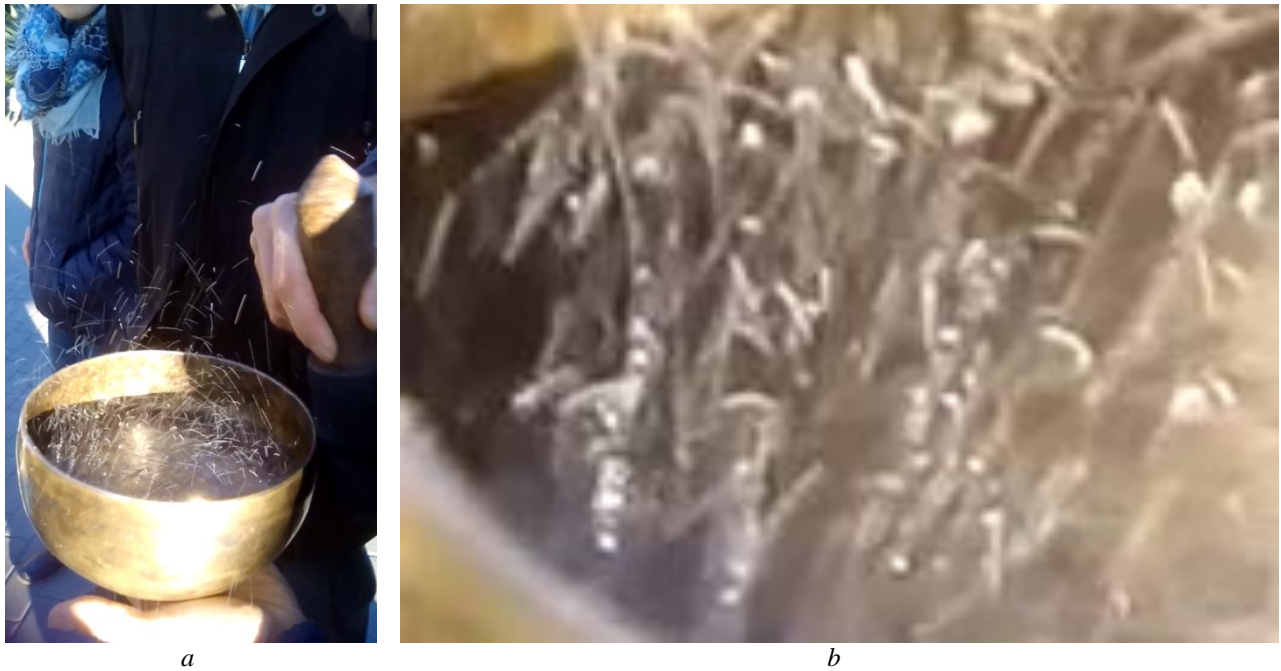


Рис. 4 – Образование диссипативных структур:
 а – 19-я секунда вращения, 12 оборотов; б – фрагмент этих структур в чаше в увеличенном виде
Fig. 4 – Formation of dissipative structures; а – 19th second rotation, 12 turns);
 б – fragment of dissipative structures in the bowl in an enlarged form

Анализ звука для определения условий эксперимента проведен с помощью аудиоредактора Adobe Audition для нескольких экспериментов различной продолжительности при одинаковых условиях эксперимента (рис. 5–6).



Рис. 5 – Анализ звуковой дорожки (эксперимент 1)
Fig. 5 – Sound track analysis (experiment 1)

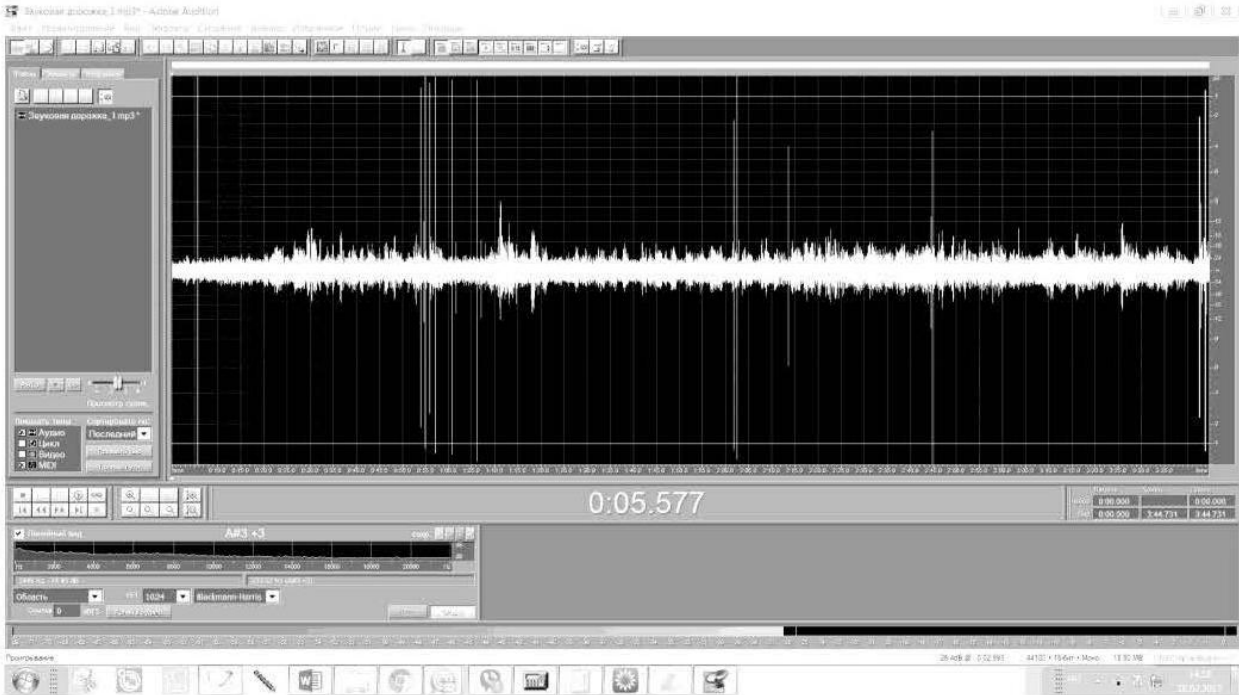


Рис. 6 – Анализ звуковой дорожки (эксперимент 2)
 Fig. 6 – Sound track analysis (experiment 2)

Определение частоты сигнала и силы звука с помощью аудиоредактора показано на рис. 7, для представленного фрагмента звуковой дорожки частота составляла порядка 217 Гц.

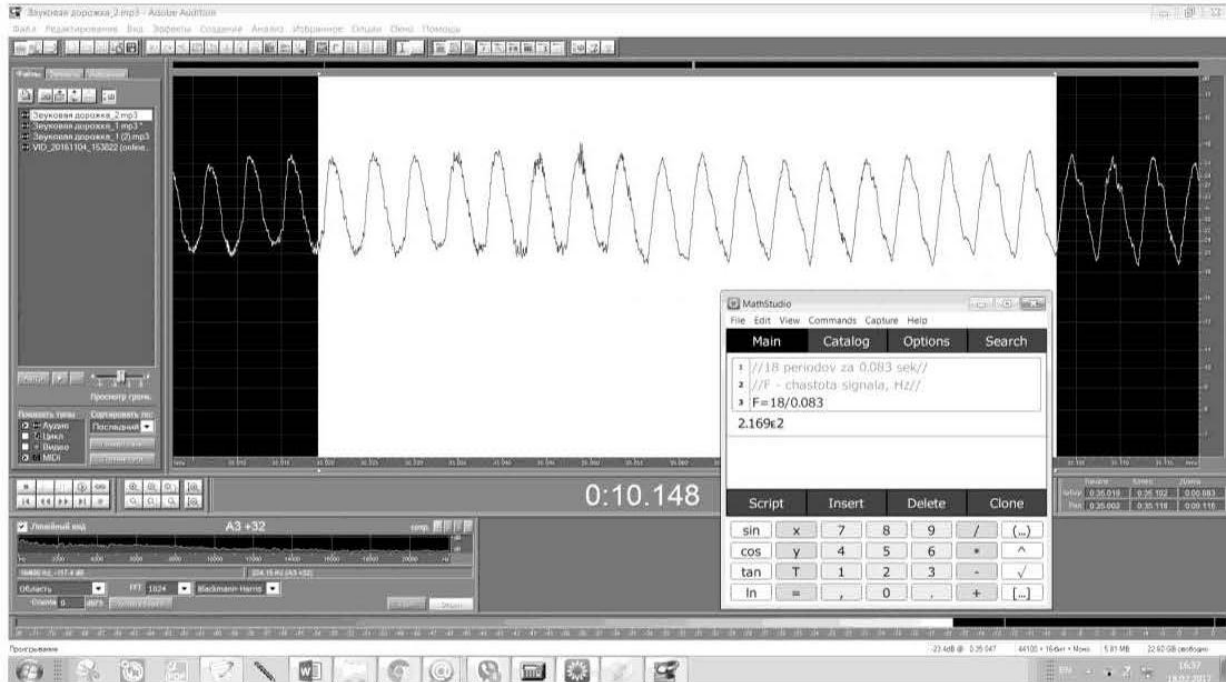


Рис. 7 – Определение частоты звукового сигнала с помощью аудиоредактора
 Fig. 7 – Determining the frequency of the audio signal using the audio editor



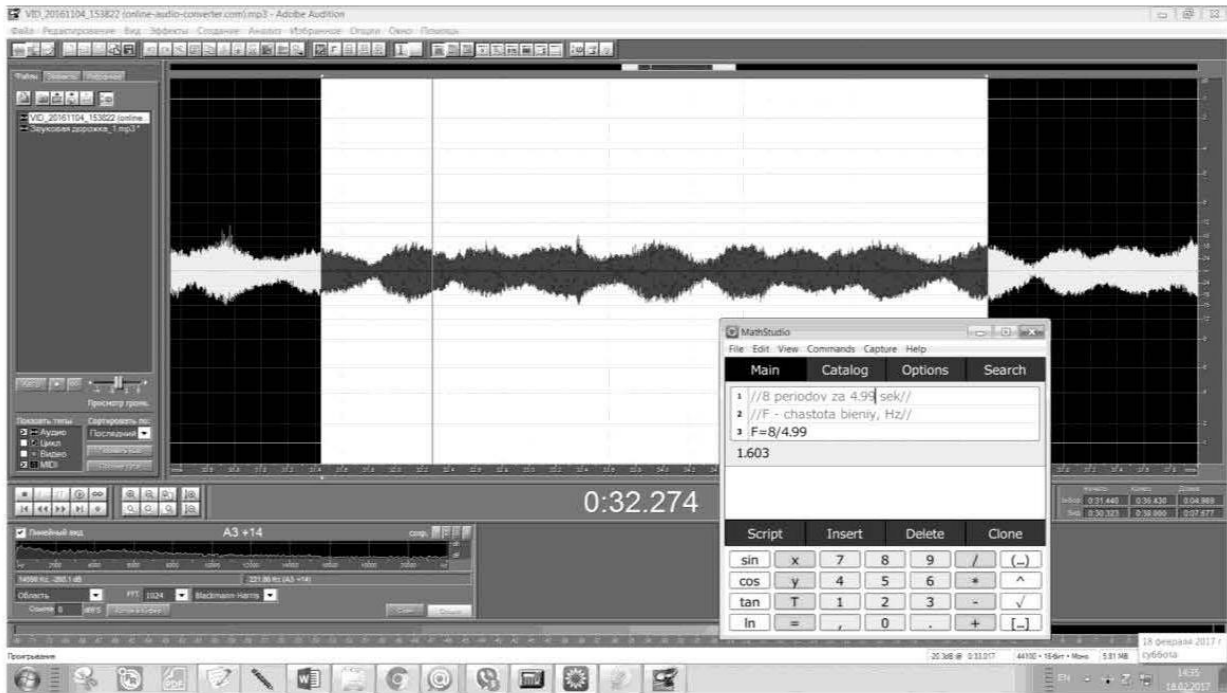


Рис. 8 – Пульсации звука
 Pic. 8 – Pulsations of sound

На графике (рис. 8) хорошо видны пульсации исходного звука, связанного с круговыми движениями трущейся о поверхность чаши замши, один оборот которой составлял порядка 1,6 с. Съемка велась со скоростью 30 кадров в секунду, то есть это «стробоскопическая съемка» по отношению к движущимся каплям.

Так называемое холодное кипение может быть использовано для интенсификации теплообмена в закрытых сосудах и пр. Здесь, возможно, под воздействием внешних звуковых колебаний высвобождается и потенциальная энергия сжатых частичек воды.

4. Результаты и их обсуждение

Вылетающие вертикально капли воды свидетельствуют о существовании интенсивного вертикального движения отдельных объемов жидкости, которые и создают на поверхности и в объеме новые структуры и ячейки, запечатленные и описанные выше.

Частицы воды в атмосфере вылетают на расстояние $0,3 \div 0,5$ м, отдельные – и более, а скорость их движения в воздухе ориентировочно составляет $1,5 \div 2$ м/с. По идее, эти частицы должны иметь такую же форму, как и ячейки Бенара, получающиеся вследствие нагрева и вертикальной конвекции, но меньших размеров.

Безусловно, в вихревой трубе, работающей на жидкости, где также возникают звуковые колебания, должны быть такие структуры. Об этом свидетельствуют работы С.В. Алексеевко и др. [6, 8]. Эти структуры должны присутствовать и в генераторах Пота-

пова и других авторов, использующих вихревую трубу для повышения температуры воды [9, 10]. Здесь необходимо отметить, что первые исследования вихревых труб на жидкостях были проведены Д. Фестером и Дж. Уайльдом [11] в 1965 г. в США на жидком водороде. В этих исследованиях температуру жидкого водорода удалось повысить на $4,5^\circ$ по Фаренгейту, а затем, значительно позже, примерно через 20 лет Потапов провел исследования на воде. Однако коэффициент преобразования, указанный Потаповым и др., больше 1, вызывает сомнения, поскольку опыты, проведенные А.А. Халатовым, показали, что он не превышает 0,97 [7].

5. Заключение

Трение (диссипация), инициирующее возникновение низкочастотных звуковых колебаний, порождает возникновение новых структур в толстом слое жидкости.

Согласованное добавление энергии к колеблющимся микрообъемам жидкости позволяет освободить их потенциальную энергию и превратить ее в кинетическую.

В дальнейшем необходимо исследовать теплоотдачу, теплопроводность и теплоемкость воды, а также провести аналогичный эксперимент с другими жидкостями при различной толщине слоя. Предположительно, воздействие звуковых колебаний может приводить к турбулизации крови и изменению физического состояния живых организмов, что по физическому воздействию может быть аналогично со-



стоянию вскипания крови при быстром подъеме с глубины моря. Это явление можно использовать для интенсификации тепло- и массообмена в теплообменных установках.

Список литературы

- [1] Сафонов, В.А. Об эффекте Ранка и флуктуациях [Текст] / В.А. Сафонов // Прикладные задачи теории переноса: сборник трудов ИТМО АН БССР/ В.А. Сафонов. – Минск, 1981. – С. 140–147.
- [2] Сафонов, В.А. Образование диссипативных структур при вихревом эффекте [Текст] / В.А. Сафонов // Математические методы теории энергопереноса в неравновесных и неоднородных средах: сборник трудов ИТМО АН БССР / В.А. Сафонов. – Минск, 1982. – С. 119–126.
- [3] Гленсдорф, П. Термодинамическая теория структуры, устойчивости и флуктуаций / П. Гленсдорф, И. Пригожин. – М: Мир, 1973. – 280 с.
- [4] Эбелинг, В. Образование структур при необратимых процессах / В. Эбелинг – М.: Мир, 1979. – 280 с.
- [5] Prigogine, I. Order out of chaos: Man's new dialogue with nature / I. Prigogine, I. Stengers. – Bantam Books, 1984. – 349 p.
- [6] Алексеенко, С.В. Введение в теорию концентрированных вихрей / С.В. Алексеенко, П.А. Куйбин, В.А. Окулов. – Новосибирск: Институт теплофизики СО РАН, 2003. – 503 с.
- [7] Халатов, А.А. Теория и практика закрученных потоков / А.А. Халатов. – Киев: Наук. Думка, 1989.
- [8] Алексеенко, С.В. Закрученные потоки в технических приложениях (обзор) [Текст] / С.В. Алексеенко, В.Л. Окулов // Теплофизика и аэромеханика. – 1996. – Т. 3. – № 2. – С.101–138.
- [9] Потапов, Ю.С. Вихревая энергетика и холодный ядерный синтез с позиций теории движения / Ю.С. Потапов, Л.П. Фоминский. – Кишинев : ОКО-Плюс, 2000. – 387 с.
- [10] Специальные вопросы возобновляемой энергетики: монография / под ред. В.А. Сафонова. – Севастополь: Изд-во ФГБНУН Института природно-технических систем РАН, 2017. – 338 с.
- [11] Fester, D.A. An analytical an experimental study of the vortex subcooler [Text] / D.A. Fester, J.R. Wilde // *Dezigne news*. – 1965. – No. 20.

References

- [1] Safonov V.A. On the Ranque effect and fluctuations (Ob effekte Ranka i fluktuatsiyakh). *Prikladnye zadachi teorii perenosa*, Minsk: ITMO AN BSSR, 1981, pp. 140–147 (in Russ.).
- [2] Safonov V.A. The formation of dissipative structures with the vortex effect (Obrazovanie dissipativnykh struktur pri vikhrevom effekte). *Matematicheskie metody teorii energoperenosa v neravnovesnykh i neodnorodnykh sredakh*, Minsk:ITMO AN BSSR, 1982, pp. 119–126 (in Russ.).
- [3] Glensdorf P., Prigozhin I. Thermodynamic theory of structure, stability and fluctuations (Termodinamicheskaya teoriya struktury, ustoichivosti i fluktuatsii). Moscow: Mir Publ., 1973, 280 p. (in Russ.).
- [4] Ebeling V. Formation of structures in irreversible processes (Obrazovanie struktur pri neobratimyykh protsessakh). Moscow: Mir Publ., 1979 (in Russ.).
- [5] Prigogine I., Stengers I. Order out of chaos: Man's new dialogue with nature, Bantam Books, 1984, 349 p. (in Eng.).
- [6] Alekseenko S.V, Kuibin P.A., Okulov V.A.. Introduction to the theory of concentrated eddies (Vvedenie v teoriyu kontsentrirrovannykh vikhrei). Novosibirsk: Institut teplofiziki SO RAN, 2003, 503 p. (in Russ.).
- [7] Khalatov A.A.. Theory and practice of swirling threads (Teoriya i praktika zakruchennykh potokov). Kiev: Nauk. Dumka Publ., 1989 (in Russ.).
- [8] Alekseenko S.V., Okulov V.L. Spun flows in technical applications (Zakruchennyye potoki v tekhnicheskikh prilozheniyakh (obzor)). *Teplofizika i aeromekhanika*, 1996;3(2):101–138 (in Russ.).
- [9] Potapov Yu.S., Fominsky L.P.Vortex energy and cold fusion from the standpoint of the theory of motion (Vikhrevaya energetika i kholodnyi yadernyi sintez s pozitsii teorii dvizheniya). Chisinau: OKO-Plus, 2000, 387 p.
- [10] Special renewable energy issues (Spetsial'nye voprosy vozobnovlyaemoi energetiki) / Ed. Safonov V.A. 2017; 338 p.(in Russ.)
- [11] Fester D.A, Wilde J.R. An analytical an experimental study of the vortex subcooler. *Dezigne news*, 1965, 20 p. (in Eng.).

Транслитерация по BSI

