

УДК 532.59; 534.7

## ГИДРОДИНАМИЧЕСКИЕ ГЕНЕРАТОРЫ КОЛЕБАНИЙ – НОВЫЙ ТИП УСТРОЙСТВ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ПЕРИОДИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ

© 2021 г. Е. И. Велиев<sup>1</sup>, академик РАН Р. Ф. Ганиев<sup>2</sup>, А. С. Корнеев<sup>2,\*</sup>,  
член-корреспондент РАН Л. Е. Украинский<sup>2</sup>

Поступило 21.09.2021 г.  
После доработки 01.10.2021 г.  
Принято к публикации 10.11.2021 г.

Для проведения исследований механических периодических воздействий на человека предлагается использовать новый тип устройств – гидродинамические генераторы колебаний (волновые гидромассажеры), способные создавать в гидродинамических течениях трехмерные (в частности, спиральные) волны с амплитудами и частотами скоростей и давлений широкого спектра, в том числе с зонами разрежения на обрабатываемой поверхности. Полученные данные могут быть использованы при проектировании гидромассажных устройств для физиотерапии.

*Ключевые слова:* гидродинамические генераторы колебаний, волновые гидромассажеры, эксперимент, амплитудно-частотные характеристики

**DOI:** 10.31857/S268674002106016X

Периодические воздействия на кожный покров человека могут влиять не только на поверхностные слои кожного покрова и на эпителий, но также на подкожные мышцы, на элементы кровеносной и лимфатических систем, на биохимические превращения, в частности, на насыщение крови связанным кислородом, на внутренние органы, на кровоток и лимфоток, а также на приток крови, лимфы и лекарственных препаратов к внутренним органам. Исследование этого требует широкого диапазона параметров воздействий: давление должно изменяться от нулевых значений (разрежение) до существенных положительных (сжатие), скорости должны иметь все три пульсирующие компоненты, частоты и амплитуды воздействий должны быть управляемыми и находиться в широком диапазоне значений.

Для осуществления периодических воздействий известно большое число массажных устройств разного принципа действия: электромеханические, ультразвуковые, жидкостные струйные и другие.

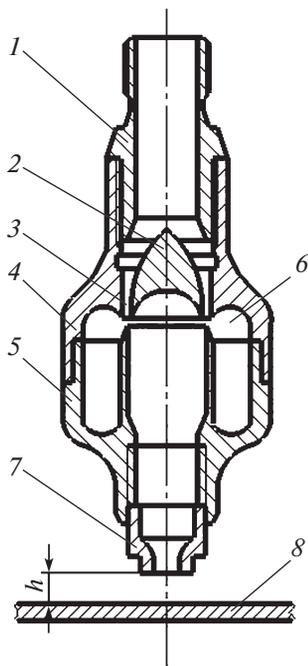
Однако достаточной широты диапазона изменений параметров как скоростей жидкости, воздействующей на кожный покров, так и давлений они не достигают.

Авторами разработаны гидроволновые устройства [1, 2], которые обеспечивают волновое воздействие на кожный покров человека трехмерными (в частности, спиральными) волнами, в широком диапазоне частот и амплитуд. При этом происходит циклическое вакуум-прессующее многомерное воздействие на кожный покров. Пульсирующие компоненты скоростей жидкости в струе (продольных, поперечных и азимутальных) сопровождаются пульсациями давления, в процессе которых сжатие сменяется разрежением. Разрежение и сжатие обеспечиваются автоколебаниями жидкости, возбуждаемыми в струе жидкости. Механизмы возбуждения автоколебаний обусловлены взаимодействием жидких струй между собой внутри корпуса устройства, либо с образующимися в ней парогазовыми включениями. Частота возбуждаемых автоколебаний поддается регулированию путем изменения расхода жидкости, протекающей через устройство. Усиление автоколебаний обеспечивается резонаторами различной природы. Трехмерный характер течения жидкости в струе обеспечивается волноводными эффектами. В частности, спиральные скорости обеспечиваются генерацией в течении поперечных и азимутальных составляющих скоростей.

<sup>1</sup> Городская клиническая больница им. С.П. Боткина  
Департамента здравоохранения г. Москвы,  
Москва, Россия

<sup>2</sup> Институт машиноведения им. А.А. Благонравова  
Российской академии наук, Научный центр нелинейной  
волновой механики и технологии  
Российской академии наук, Москва, Россия

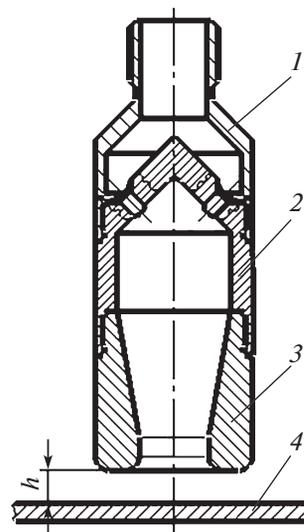
\*E-mail: korneev47@gmail.com



**Рис. 1.** Конструктивная схема гидромассажера струйного типа: 1 – штуцер входной, 2 – обтекатель, 3 – сопло кольцевое, 4 – корпус верхний, 5 – корпус нижний, 6 – камера резонансная, 7 – сопло, 8 – обрабатываемая поверхность.

Это принципиально отличает данные гидростимуляторы от сертифицированных в Минздраве России традиционных гидромассажных устройств, в которых с помощью одномерной водяной струи обеспечивается давящее давление переменной величины, флуктуирующей вокруг значения атмосферного давления, без создания фазы разрежения (фазы “присасывающего”, отрицательного давления) и без поперечных и азимутальных составляющих скорости, обеспечивающих спиралевидное течение. В настоящее время не известны сертифицированные устройства с трехмерными волнами и такими функциональными свойствами.

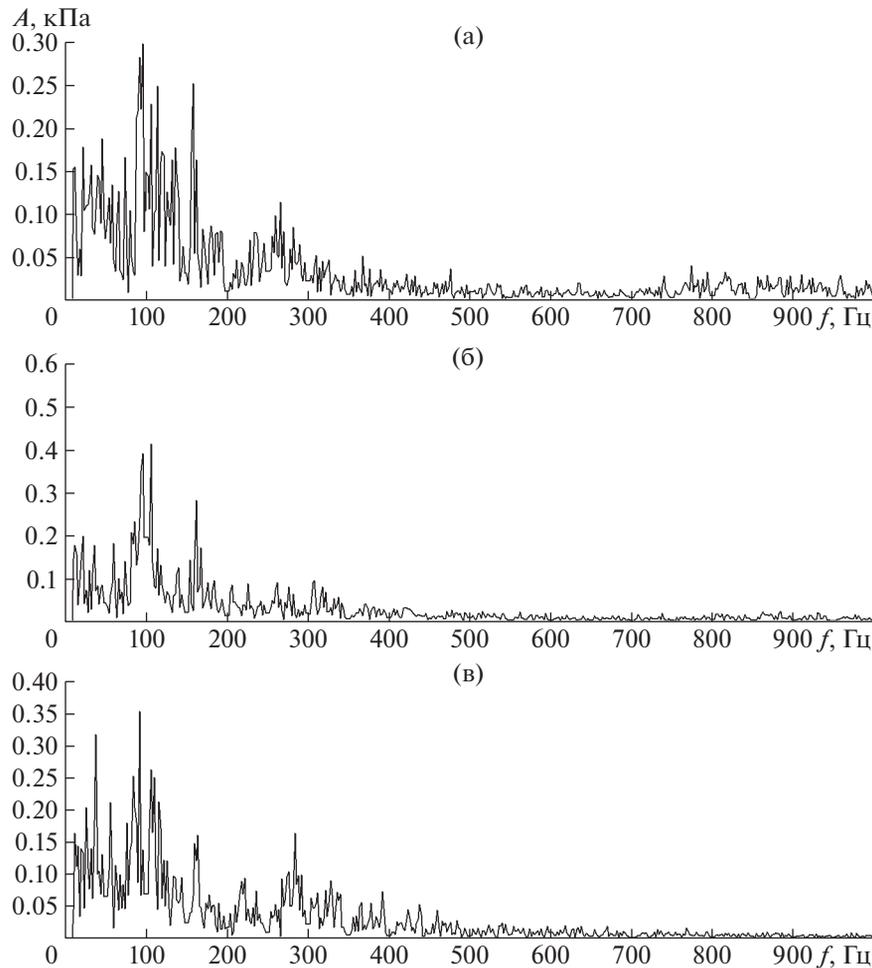
Представляется, что данная уникальная особенность этих гидроволновых массажеров после проведения комплекса клинических исследований может быть использована не только для проведения лабораторных экспериментов, но и может привести также к разработке прототипов аппаратов для лечебной практики, а также в целях профилактики и реабилитации при широком круге заболеваний бронхолегочной, пищеварительной, мочеполовой систем, а также в спортивной медицине и травматологии. Конструкции гидроволновых массажеров весьма разнообразны. Здесь для примера покажем две схемы гидромассажеров струйного (рис. 1) [1] и струйно-вихревого типа (рис. 2) [2].



**Рис. 2.** Конструктивная схема гидромассажера струйно-вихревого типа: 1 – корпус, 2 – завихритель, 3 – сопло, 4 – обрабатываемая поверхность.

В первом случае (рис. 1) рабочая жидкость (водопроводная вода) подавалась с помощью гибкого шланга во входной штуцер 1 и с помощью обтекателя 2 через кольцевое сопло 3 направлялась в верхний корпус 4, который совместно с нижним корпусом 5 образовывал тороидальную резонансную камеру 6. Затем вода выходила из массажера через сопло 7 к обрабатываемой поверхности 8. Кольцевой поток воды, выходящий из тороидальной резонансной камеры 6 с определенной частотой, зависящей от частоты собственных колебаний всей системы, прерывал основную кольцевую струю, истекающую из кольцевого сопла 3. Вследствие этого у активной кольцевой кромки тороидальной резонансной камеры 6 генерировались периодические гидродинамические импульсы в виде сжатия и разрежения потока воды. Под воздействием кольцевого потока, выходящего из тороидальной резонансной камеры, под нижней сферической поверхностью обтекателя 2 образовывалась зона разрежения, которая способствовала усилению амплитуды генерируемых волн. Амплитудно-частотные (спектральные) характеристики данного устройства зависят от площади поверхности и объема резонансной камеры, скорости истечения воды из кольцеобразного сопла и ее расхода. Их можно менять путем взаимного перемещения верхнего 4 и нижнего 5 корпусов.

Во втором случае (рис. 2) рабочая жидкость (водопроводная вода) подавалась с помощью гибкого шланга в корпус 1 и поступала к завихрителю 2. Особое расположение подающих отверстий в завихрителе, показанных на рис. 2 схематично, обеспечивало создание в течении трехмерных струй, имеющих все компоненты скорости: акси-



**Рис. 3.** Амплитудно-частотные характеристики колебаний давления на оси симметрии при расходе воды  $Q = 14 \text{ дм}^3/\text{мин}$  на различных расстояниях  $h$  от гидромассажера: а –  $h = 1 \text{ мм}$ , б –  $h = 2 \text{ мм}$ , в –  $h = 3 \text{ мм}$ .

альную, радиальную и тангенциальную. Как показали эксперименты [2], такой способ подачи жидкости позволил увеличить амплитуду колебаний давления, создаваемых в массажере, в 4–6 раз по сравнению со случаем чисто тангенциальной подачи, при котором подающие отверстия лежат в плоскости, перпендикулярной оси течения. Наличие тангенциальной компоненты скорости обеспечивало закрутку потока. За счет центробежных эффектов в приосевой зоне цилиндрического канала завихрителя 2 и сопла 3 возникали области пониженного давления, что обеспечивало эффект разрежения. При определенных значениях параметров закрученного течения устанавливался режим автоколебаний, приводящий к появлению трехмерных волн давления, распространявшихся от гидромассажера, корпус которого выступает в данном случае как цилиндрический волновод [3].

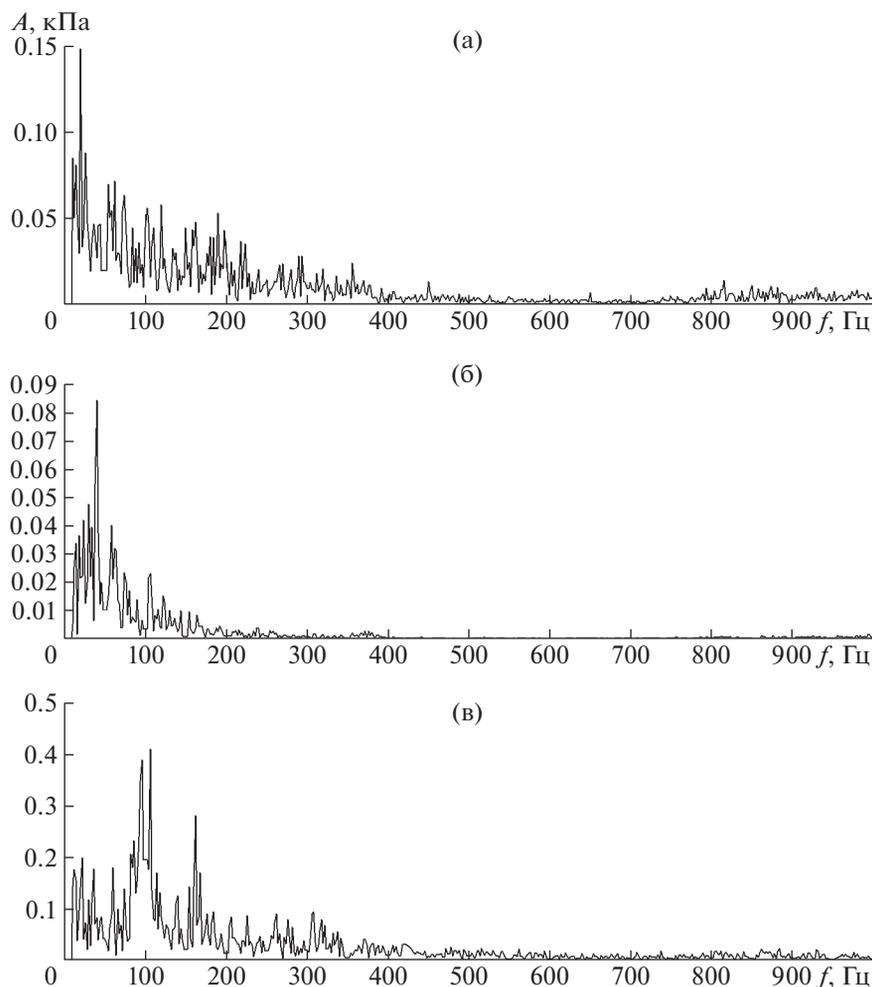
Отметим, что конструкции массажеров не сводятся к приведенным схемам. Они могут быть

весьма разнообразными [4, 5]. В данной работе результаты представлены для массажеров струйно-вихревого типа (рис. 2).

Теоретические исследования течений в массажерах разных схем, проведенные с помощью оригинальных математических моделей [3], а также с помощью пакета ANSYS FLUENT [6, 7] по модели турбулентности LES [8–10], показало возникновение трехмерных, в том числе спиральных, волн в вытекающих струях жидкости, что было подтверждено экспериментально.

В процессе исследований были получены амплитудно-частотные характеристики колебаний давления на оси симметрии, на различных расстояниях  $h$  от гидромассажера, представленные на рис. 3. Использовался датчик динамического давления PS2001-5-01 производства “Глобал-Тест” (г. Саров, Россия) и осциллограф WaveSurfer MXs-B компании “LeCroy”.

Можно видеть, что с увеличением зазора  $h$  положения спектральных максимумов изменяются



**Рис. 4.** Влияние расхода воды  $Q$  на спектры колебаний при зазоре  $h = 2$  мм: а –  $Q = 9$  дм<sup>3</sup>/мин, б –  $Q = 12$  дм<sup>3</sup>/мин, в –  $Q = 14$  дм<sup>3</sup>/мин.

незначительно, в пределах частот от 92 до 106 Гц. В то же время амплитуда колебаний достигает максимального значения при  $h = 2$  мм. Это связано с резонансными эффектами, возникающими при отражении волн давления от обрабатываемой поверхности.

С увеличением расхода воды  $Q$  через массажер происходит заметное перестроение амплитудно-частотной характеристики (рис. 4).

При  $Q = 9$  дм<sup>3</sup>/мин наблюдается острый максимум на частоте  $f = 20$  Гц величиной 0.15 кПа, соответствующий продольной резонансной волне. С увеличением расхода до  $Q = 12$  дм<sup>3</sup>/мин этот максимум перемещается до  $f = 40$  Гц, а его величина составляет 0.085 кПа. Уменьшение амплитуды в данном случае вызвано уширением соответствующей спектральной линии. Появление второго максимума вызвано появлением поперечной волны. Последующее увеличение расхода до  $Q = 14$  дм<sup>3</sup>/мин приводит к дальнейшему сдвигу максимумов в вы-

сокочастотном направлении. Наблюдаются два близко расположенных максимума на частотах  $f = 96$  и 106 Гц, а их величины составляют 0.39 и 0.41 кПа соответственно.

Таким образом, путем изменения расхода воды через массажер можно регулировать спектр колебаний, а также интенсивность и формы волнового воздействия.

Уровень разрежения, создаваемого струйно-вихревым гидромассажером, иллюстрируется табл. 1. Здесь  $p_0 = 100$  кПа – нормальное атмосферное давление.

**Таблица 1.** Зависимость среднего по времени статического давления в центре обрабатываемой поверхности при зазоре  $h = 2$  мм от расхода воды

$Q$ , дм <sup>3</sup> /мин	6	9	12	14
$p - p_0$ , кПа	-2.5	-8.0	-16	-25

Для измерения статического разрежения на обрабатываемой поверхности использовался мановакуумметр EN-837-1 производства компании Wika (Германия) с пределами измерений от  $-100$  до  $+150$  кПа класса 1,0. Максимальное разрежение при расходе  $Q = 14$  дм<sup>3</sup>/мин составило 25 кПа.

Таким образом, теоретическими и экспериментальными исследованиями показано, что предложенные устройства одновременно создают трехмерные волны автоколебательного характера, в том числе спиральные, и эффект разрежения. Частоты и амплитуды генерируемых колебаний скоростей и давлений имеют широкий спектр. Это позволяет рассматривать их как перспективные устройства для физиотерапии нового класса для широкого использования в медицине. Рекомендации по их применению можно будет дать после проведения клинических испытаний.

#### ИСТОЧНИК ФИНАНСИРОВАНИЯ

Работа выполнена по программе ФНИ государственных академий наук на 2013–2020 год, пункт программы № 26, тема “Развитие фундаментальных основ волнового машиностроения. Научные основы волновых технологий получения композитных материалов с уникальными свойствами и новых средств функциональной диагностики”. Номер госрегистрации 01201359375.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ганиев Р.Ф., Васильев Р.Х., Муфазалов Р.Ш. и др. Устройство для физиотерапии. Патент РФ на

изобретение № 2012319. 15.05.94. Бюл. № 9. Доступно по: <http://allpatents.ru/patent/2012319.html>. Ссылка активна на 03.09.2021.

2. Ганиев Р.Ф., Корнеев А.С. Волновые гидромассажи // Проблемы машиностроения и надежности машин. 2014. № 4. С. 99–101.
3. Ганиев Р.Ф., Украинский Л.Е. Нелинейная волновая механика и технологии. М. Научно-издательский центр “Регулярная и хаотическая динамика”, 2011. 780 с.
4. Кныш Ю.А., Кныш О.Ю., Карлова Т.Ю. Душ-массажный аппарат. Патент РФ на изобретение № RU2221539C2. 20.01.2004. Бюл. № 1. Доступно по: <https://patenton.ru/patent/RU2221539C2>. Ссылка активна на 11.11.2021
5. Федоров Ю.А., Юминов В.Г. Гидромассажное устройство. Патент РФ на изобретение RU2437644C2. 27.12.2011. Бюл. № 36. Доступно по: <https://patenton.ru/patent/RU2437644C2>. Ссылка активна на 11.11.2021
6. ANSYS Fluent Release 12.1. ANSYS, Inc., Canonsburg, USA, 2009. <http://www.ansys.com>
7. ANSYS Fluent 12.0. Theory Guide. ANSYS, Inc., 2009. 816 с.
8. Smagorinsky J. General Circulation Experiments with the Primitive Equations. I. The Basic Experiment // Monthly Weather Review. 1963. V. 91. P. 99–164
9. Shur M.L., Spalart P.R., Strelets M.K., et al. A Hybrid RANS-LES Approach with Delayed-DES and Wall-Modelled LES Capabilities // Int. J. Heat and Fluid Flow. 2008. V. 29. P. 1638–1649.
10. Piomelli U., Moin P., Ferziger J.H. Model Consistency in Large-Eddy Simulation of Turbulent Channel Flow // Physics of Fluids. 1988. V. 31. P. 1884–1894.

## HYDRODYNAMIC GENERATORS OF OSCILLATIONS – A NEW TYPE OF DEVICES FOR PERIODIC IMPACTS

**E. I. Veliev<sup>a</sup>, Academician of the RAS R. F. Ganiev<sup>b</sup>, A. S. Korneev<sup>b</sup>,  
and Corresponding Member of the RAS L. E. Ukrainsky<sup>b</sup>**

<sup>a</sup> S.P. Botkin City Clinical Hospital, Moscow, Russian Federation

<sup>b</sup> A.A. Blagonravov Institute of Mechanical Engineering of the Russian Academy of Sciences –  
Research Center for Nonlinear Wave Mechanics and Technology, Moscow, Russian Federation

To conduct research on mechanical periodic effects on a person, it is proposed to use a new type of devices – hydrodynamic oscillators (wave hydromassagers) capable of creating three-dimensional (in particular, spiral) waves in hydrodynamic flows with amplitudes and frequencies of speeds and pressures of a wide spectrum, including zones vacuum on the treated surface. The data obtained can be used in the design of hydromassage devices for physiotherapy.

*Keywords:* hydrodynamic oscillators, wave hydromassagers, experiment, amplitude-frequency characteristics