

---

---

**НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ  
В МАШИНОСТРОЕНИИ**

---

---

УДК 532.517;534.1

**ВОЛНОВЫЕ ГИДРОМАССАЖЕРЫ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ**© 2022 г. **Е. И. Велиев<sup>1</sup>, Р. Ф. Ганиев<sup>2</sup>, А. С. Корнеев<sup>2,\*</sup>, Л. Е. Украинский<sup>2</sup>**<sup>1</sup>*Городская клиническая больница им. С.П. Боткина  
Департамента здравоохранения города Москвы, Москва, Россия*<sup>2</sup>*Институт машиноведения им. А.А. Благонравова РАН,  
Научный центр нелинейной волновой механики и технологии РАН, Москва, Россия**\*e-mail: korneev47@gmail.com*

Поступила в редакцию 12.06.2022 г.

Принята к публикации 19.08.2022 г.

Представлены результаты экспериментальных исследований нового типа волновых гидромассажеров, способных работать как в воде, так и в воздухе, что обеспечивает удобство их использования. Такие устройства создают трехмерные (в частности, спиральные) волны с амплитудами и частотами скоростей и давлений широкого спектра, в том числе с зонами разрежения на обрабатываемой поверхности. Это позволяет усилить физиотерапевтический эффект. Полученные данные можно использовать при проектировании волновых гидромассажеров и других гидродинамических генераторов колебаний различного назначения.

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

**DOI:** 10.31857/S0235711922060116

**Постановка задачи.** 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.

Ранее разработанные гидроволновые устройства [1–8] для своей работы требуют погружения в воду, что создает определенные неудобства в использовании. В настоящей статье представлено волновое устройство для гидромассажа [9] (рис. 1), которое может работать при истечении рабочей жидкости, как в воду, так и в воздух.

Устройство работает следующим образом. Водопроводная вода или вода с лекарственными добавками подается через гибкий трубопровод во входной штуцер, расположенный на корпусе 1, проходит через тангенциально-аксиальные отверстия в вихрителе 2 и выходит через сопло 3. Вращением прорезного дефлектора 5 по резьбе на внешней поверхности сопла обеспечивается его осевое перемещение и тем самым регулируется расстояние от торца сопла до тела человека. После установки требуемого расстояния оно фиксируется путем вращения резьбового кольца 4 до его прижатия к дефлектору 5. Отсутствие протечек воды между элементами устройства обеспечивает

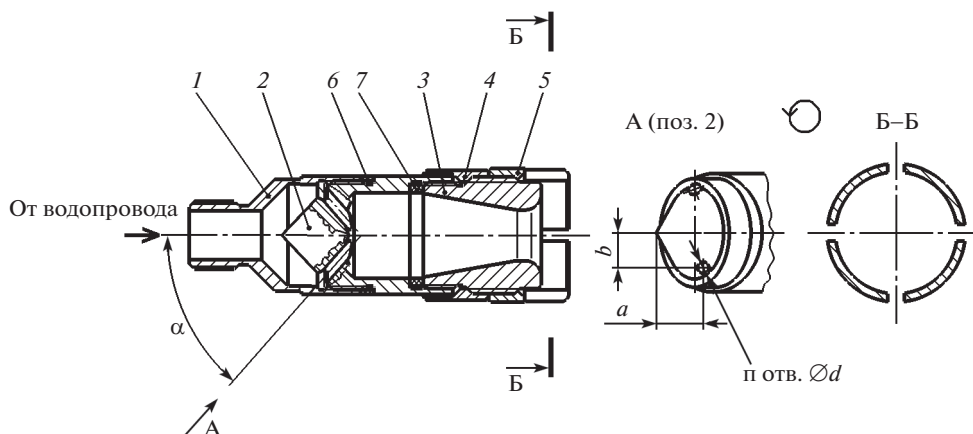


Рис. 1. Схема исследованного гидромассажера: 1 – корпус; 2 – завихритель; 3 – сопло; 4 – кольцо фиксирующее; 5 – дефлектор прорезной; 6, 7 – прокладки.

ся с помощью прокладок 6 и 7, выполненных из мягкого материала, например, фторопласта или резины.

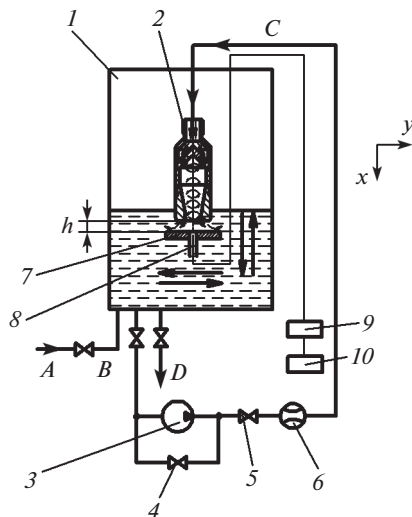
Подающие отверстия в завихрителе 2, показанные на рис. 1 условно, выполнены таким образом, что они обеспечивают комбинированную аксиально-тангенциальную подачу рабочей жидкости. За счет возникающих центробежных эффектов внутри устройства возникает вакуум, а за счет нестационарных процессов течения жидкости – пульсации давления.

Между соплом 3 и дефлектором 5 образуется полость, заполненная водой, через которую хорошо передаются волны давления и разрежения. Тем самым обеспечивается нормальная работа гидромассажера при истечении рабочей жидкости, как в воду, так и в воздух. Это позволяет пользоваться массажером не только в ванне, но и в душе, а при массаже рук – над раковиной.

Математическое моделирование волновых гидромассажеров проводилось с помощью коммерческой программы ANSYS Fluent (США) [10]. Осуществлялось решение системы уравнений неразрывности и Навье–Стокса [11] с моделью турбулентности крупных вихрей (LES – Large Eddy Simulation) [13–15]. Результаты были представлены в работе [16].

**Методика проведения экспериментов.** Экспериментальная установка (рис. 2) содержала водяной бак 1, выполненный из органического стекла для обеспечения возможности визуальных наблюдений.

Водопроводная вода заливалась в бак по магистрали А. Непрерывная циркуляция воды через гидромассажер 2 осуществлялась при помощи насоса 3 по магистралям В и С. Регулировка расхода воды через гидромассажер осуществлялась с помощью вентиля байпаса 4 и регулировочного вентиля 5. Измерение расхода производилось с помощью расходомера 6 (ротаметра) с точностью  $\pm 5\%$ . Слив воды по окончании эксперимента осуществлялся через магистраль D. Обрабатываемая поверхность 7 (размером  $150 \times 150$  мм) с датчиком давления 8 имела возможность перемещения в продольном направлении  $x$  и в поперечном направлении  $y$  по отношению к гидромассажеру. Размеры обрабатываемой поверхности в поперечном направлении существенно превышали размеры исследуемой зоны течений, что позволяло путем ее смещения в поперечном направлении от оси симметрии гидромассажера измерять пульсации давления в различных точках на поверхности при заданном расстоянии от гидромассажера без



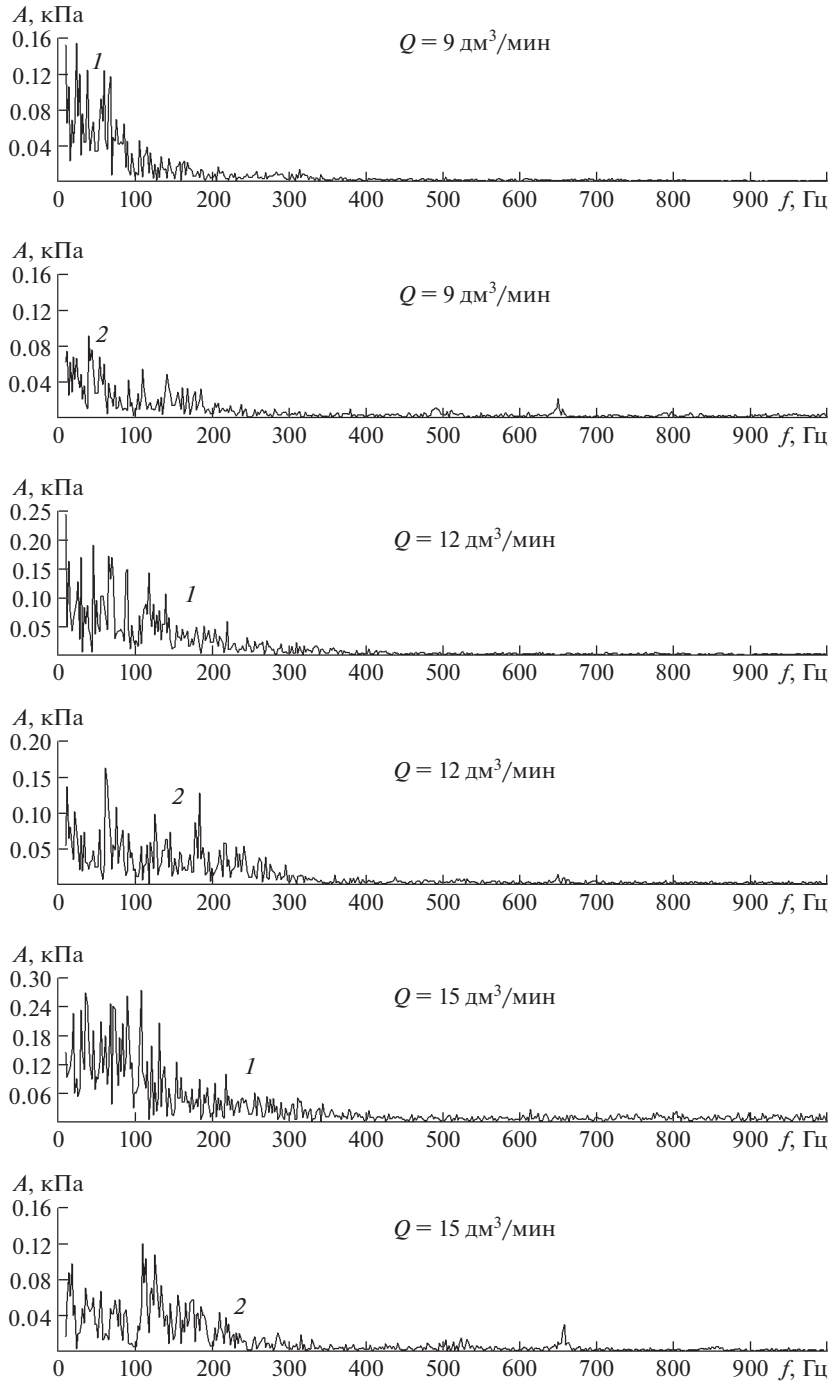
**Рис. 2.** Схема экспериментальной установки: 1 – водяной бак; 2 – исследуемый гидромассажер; 3 – гидравлический насос; 4 – вентиль байпаса; 5 – вентиль регулировки расхода; 6 – измеритель расхода; 7 – обрабатываемая поверхность; 8 – датчик давления; 9 – усилитель; 10 – осциллограф.

существенного искажения течений в исследуемой области. Проведена серия экспериментов, в результате которых получены осциллограммы пульсаций давления на обрабатываемой поверхности при различном расстоянии  $u$  от оси симметрии гидромассажера и их частотные спектры.

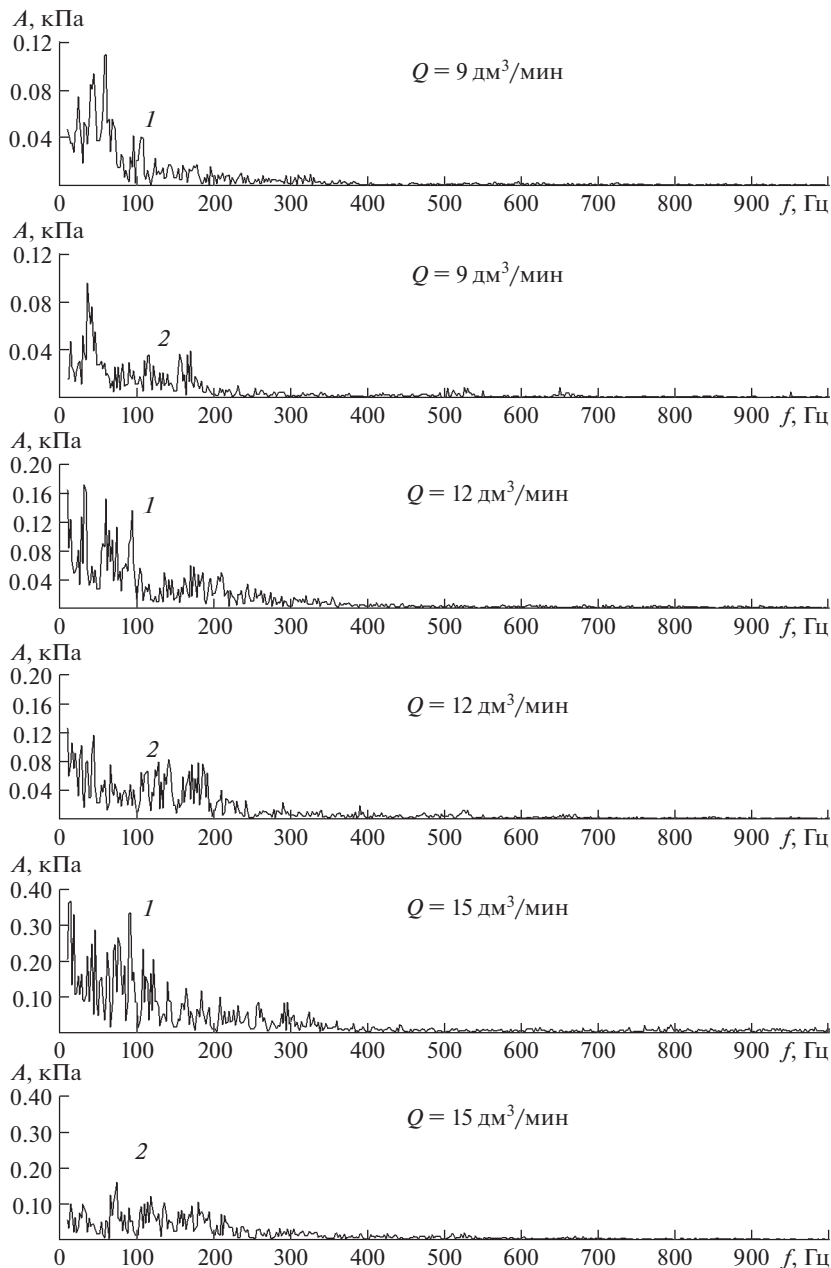
В экспериментах для измерения пульсаций давления использовался датчик динамического давления PS2001-5-01, усилитель сигнала AS07 (коэффициент усиления 100) производства “ГлобалТест” (г. Саров, Россия) и осциллограф WaveSurfer MXs-B компании “LeCroy”. Для измерения статического разрежения на обрабатываемой поверхности использовался мановакуумметр EN-837-1 с пределами измерений от  $-100$  до  $+150$  кПа класса 1.0.

**Результаты исследований.** Амплитудно-частотные характеристики волнового гидромассажера с дефлектором при зазоре  $h = 2$  мм на различных расстояниях  $u$  от оси симметрии и при различных расходах воды  $Q$  представлены на рис. 3–6.

На оси симметрии ( $y = 0$ ) при расходе  $Q = 9$  дм<sup>3</sup>/мин для случая истечения в воду наибольшие амплитуды колебаний наблюдались в диапазоне частот  $f = 10–70$  Гц, а при истечении в воздух – в диапазоне  $f = 40–140$  Гц (рис. 3). Величины максимальных амплитуд, при переходе от истечения в воду к истечению в воздух, в диапазоне частот  $f = 10–70$  Гц уменьшились приблизительно в 2 раза, а в диапазоне  $f = 110–140$  Гц увеличились. При расходе  $Q = 12$  дм<sup>3</sup>/мин в случае истечения в воду область наибольших амплитуд находилась в диапазоне частот  $f = 10–140$  Гц, а при истечении в воздух – в диапазоне  $f = 12–180$  Гц. Максимальные амплитуды колебаний, при переходе от истечения в воду к истечению в воздух, уменьшились незначительно. Дальнейшее увеличение расхода до  $Q = 15$  дм<sup>3</sup>/мин расширило диапазон максимальных амплитуд при истечении в воду до  $f = 30–220$  Гц, а при истечении в воздух – до  $f = 14–220$  Гц. Максимальные амплитуды колебаний для случая  $Q = 15$  дм<sup>3</sup>/мин, при переходе от истечения в воду к истечению в воздух, уменьшились в 2–3 раза.

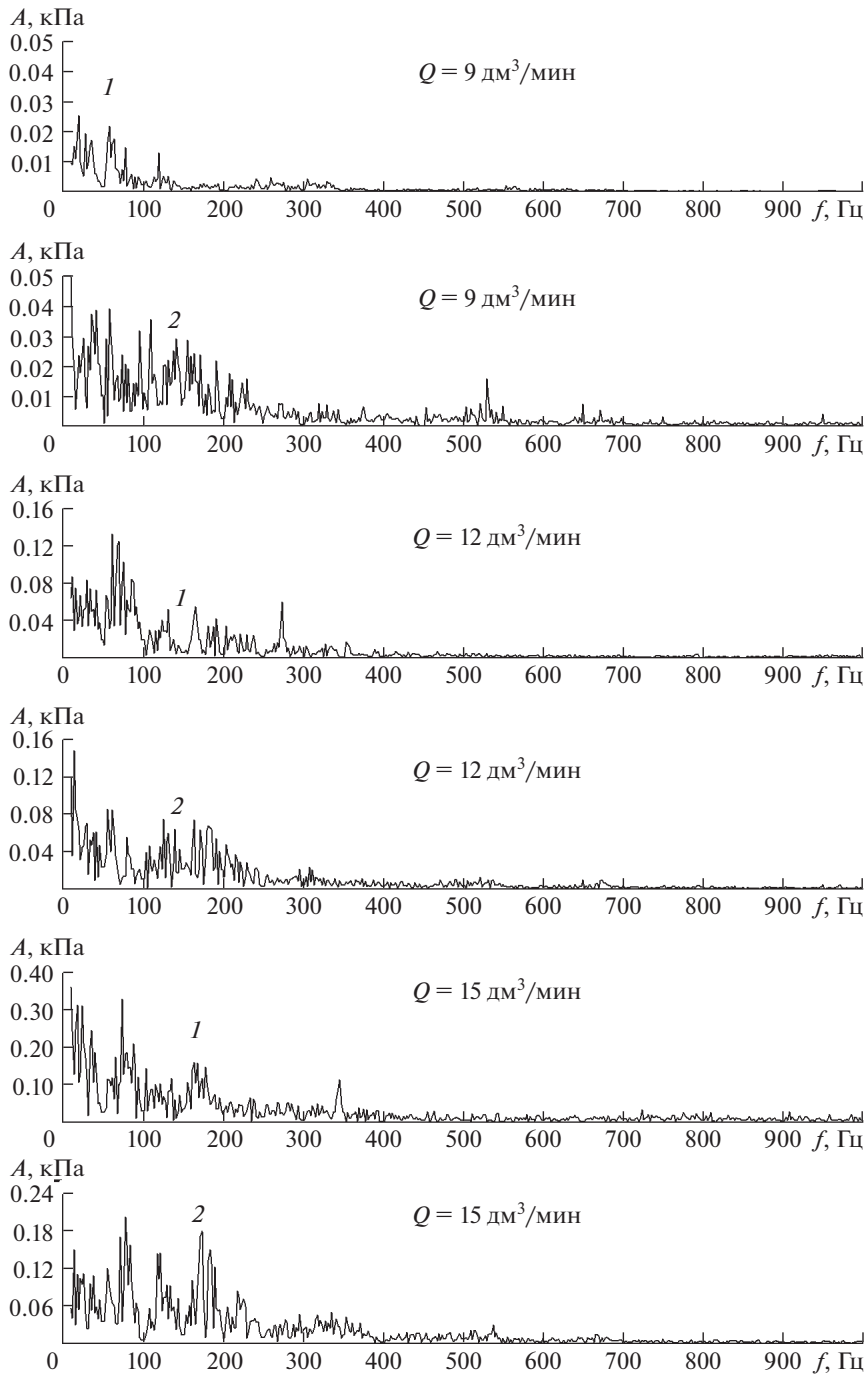


**Рис. 3.** Амплитудно-частотные характеристики волнового гидромассажера с дефлектором на оси симметрии ( $y = 0$ ) при различных расходах воды  $Q$ : 1 – истечение в воду; 2 – истечение в воздух.

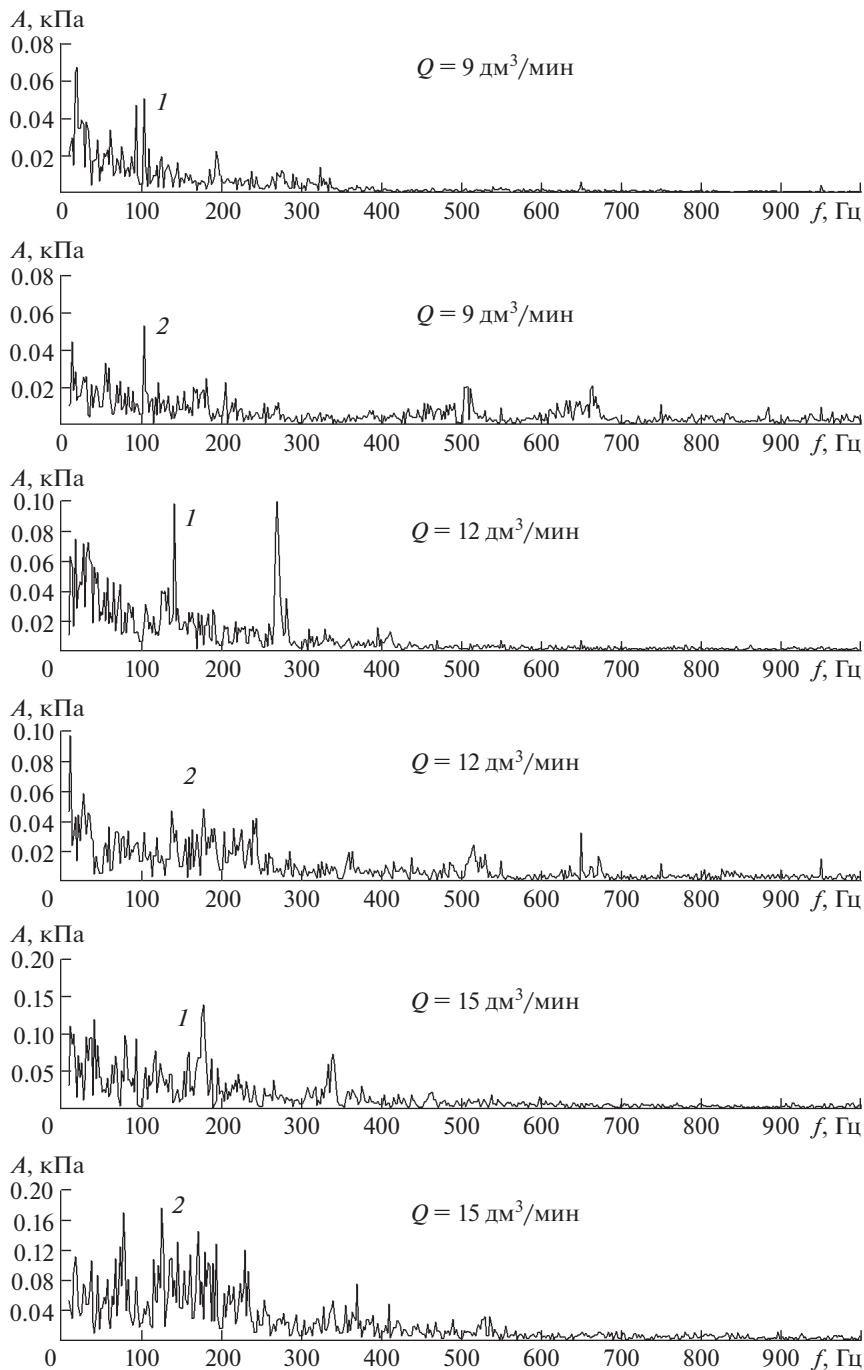


**Рис. 4.** Амплитудно-частотные характеристики волнового гидромассажера с дефлектором на расстоянии  $y = 2$  мм от оси симметрии при различных расходах воды  $Q$ : 1 – истечение в воду; 2 – истечение в воздух.

На расстоянии  $y = 2$  мм от оси симметрии (рис. 4) при расходе  $Q = 9$  дм<sup>3</sup>/мин наибольшие амплитуды колебаний были более явно выражены и для случая истечения в воду наблюдались в диапазоне частот  $f = 40$ – $70$  Гц, а при истечении в воздух – в диапазоне  $f = 36$ – $38$  Гц и  $f = 120$ – $180$  Гц. Величины максимальных амплитуд, при пе-



**Рис. 5.** Амплитудно-частотные характеристики волнового гидромассажера с дефлектором на расстоянии  $y = 4 \text{ мм}$  от оси симметрии при различных расходах воды  $Q$ : 1 – истечение в воду; 2 – истечение в воздух.



**Рис. 6.** Амплитудно-частотные характеристики волнового гидромассажера с дефлектором на расстоянии  $y = 6 \text{ мм}$  от оси симметрии при различных расходах воды  $Q$ : 1 – истечение в воду; 2 – истечение в воздух.

переходе от истечения в воду к истечению в воздух, уменьшились незначительно, а при  $f = 160\text{--}180$  Гц даже увеличились. При расходе  $Q = 12$  дм<sup>3</sup>/мин в точке  $y = 2$  мм при истечении в воду область наибольших амплитуд располагалась в диапазоне частот  $f = 10\text{--}90$  Гц, а при истечении в воздух – в диапазоне  $f = 12\text{--}180$  Гц. Максимальные амплитуды колебаний, при переходе от истечения в воду к истечению в воздух при  $f = 10\text{--}90$  Гц, уменьшились в 1.5–2 раза, а в диапазоне  $f = 110\text{--}180$  Гц, увеличились более, чем в 2 раза. Дальнейшее увеличение расхода до  $Q = 15$  дм<sup>3</sup>/мин привело к возникновению максимумов при истечении в воду в области  $f = 10\text{--}120$  Гц, а при истечении в воздух –  $f = 14\text{--}120$  Гц. Максимальные амплитуды колебаний для случая  $Q = 15$  дм<sup>3</sup>/мин в точке  $y = 2$  мм, при переходе от истечения в воду к истечению в воздух при  $f = 10\text{--}120$  Гц, уменьшились более чем в 3 раза, а в диапазоне  $f = 120\text{--}180$  Гц изменились незначительно.

С дальнейшим удалением от оси симметрии до  $y = 4$  мм (рис. 5) спектры колебаний существенно перестроились. При расходе  $Q = 9$  дм<sup>3</sup>/мин амплитуды колебаний при истечении в воздух оказались существенно больше, чем при истечении в воду. Для расходов  $Q = 12$  и  $15$  дм<sup>3</sup>/мин максимальные амплитуды колебаний для этих двух случаев истечения были примерно одинаковыми, но соответствовали разным частотам. При этом частотный диапазон максимумов сместился от  $f = 10\text{--}90$  Гц для случая истечения в воду до  $f = 50\text{--}190$  Гц при истечении в воздух.

На расстоянии  $y = 6$  мм от оси симметрии амплитуды спектров колебаний оказались более острыми, чем на меньших расстояниях (рис. 6). На этом расстоянии с увеличением расхода воды  $Q$  при истечении в воду происходило монотонное возрастание максимальных амплитуд. Для случая истечения в воздух монотонность зависимости амплитуд от расхода воды сохранялась до  $y = 6$  мм, а с увеличением этого расстояния эта монотонность нарушилась. При этом на расстояниях  $y = 8\text{--}12$  мм от оси наиболее интенсивные колебания при истечении в воздух наблюдались для расхода  $Q = 12$  дм<sup>3</sup>/мин, а при  $Q = 15$  дм<sup>3</sup>/мин интенсивность колебаний существенно уменьшилась.

Обобщая результаты, можно отметить, что максимальные амплитуды колебаний при истечении в воду наблюдались на расстояниях  $y = 10\text{--}12$  мм от оси симметрии и монотонно возрастали с увеличением расхода воды  $Q$ . В случае истечения в воздух при расходах  $Q = 9$  и  $12$  дм<sup>3</sup>/мин максимальные амплитуды  $A_{\max}$  возникали вблизи оси симметрии и незначительно изменялись до расстояний  $y = 10\text{--}14$  мм, после чего происходило их уменьшение. Для расхода  $Q = 15$  дм<sup>3</sup>/мин максимальная амплитуда колебаний была зарегистрирована при  $y = 4$  мм, а начиная с  $y = 8$  мм, наблюдалось существенное уменьшение амплитуд.

При истечении в воду частоты  $f_{\max}$ , соответствующие максимальным амплитудам колебаний, повышаются, начиная с расстояний  $y = 6$  мм. В случае истечения в воздух значения  $f_{\max}$  с удалением от оси симметрии сначала повышаются, а затем понижаются.

**Заключение. 1.** Исследованный гидромассажер с дефлектором создает колебания давления на обрабатываемой поверхности как при истечении в воду, так и при истечении в воздух. **2.** Наибольшие амплитуды колебаний наблюдались не на оси симметрии ( $y = 0$ ), а на расстояниях  $y = 8\text{--}14$  мм от оси при истечении в воду и на расстояниях  $y = 2\text{--}6$  мм от оси при истечении в воздух. **3.** При переходе от истечения в воду к истечению в воздух частотный диапазон максимальных амплитуд сдвинулся в область более высоких частот. **4.** В случае расхода воды  $Q = 9$  дм<sup>3</sup>/мин переход от истечения в воду к истечению в воздух привел к некоторому снижению максимальных амплитуд колебаний, а для расходов  $Q = 12$  и  $15$  дм<sup>3</sup>/мин в некоторых точках обрабатываемой поверхности при истечении в воздух максимальные амплитуды колебаний увеличились по сравнению со случаем истечения в воду.



## ФИНАНСИРОВАНИЕ

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

## КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Ганиев Р.Ф., Васильев Р.Х., Муфазалов Р.Ш. и др.* Устройство для гидромассажа. РФ Патент 2010559, 1994.
2. *Ганиев Р.Ф., Муфазалов Р.Ш., Васильев Р.Х. и др.* Устройство для физиотерапии. РФ Патент 2012319, 1994.
3. *Велиев Е.И., Ганиев Р.Ф., Ганиев С.Р. и др.* Гидроволновой массажер для физиотерапевтического лечения заболеваний мочевого пузыря. РФ Патент 189154, 2019.
4. *Ганиев Р.Ф., Корнеев А.С.* Волновые гидромассажеры // Проблемы машиностроения и надежности машин. 2014. № 4. С. 99.
5. *Ганиев Р.Ф., Украинский Л.Е., Ганиев О.Р. и др.* Волновой гидродинамический генератор для гидромассажных процедур. РФ Патент 124564, 2013.
6. *Велиев Е.И., Ганиев Р.Ф., Ганиев С.Р. и др.* Гидроволновой массажер для лечения сексуального расстройства. РФ Патент 189155, 2019.
7. *Кныш Ю.А., Кныш О.Ю., Карлова Т.Ю.* Душ – массажный аппарат. РФ Патент 2221539С2, 2004. <https://patenton.ru/patent/RU2221539C2>
8. *Федоров Ю.А., Юминов В.Г.* Гидромассажное устройство. РФ Патент 2437644С2, 2011. <https://patenton.ru/patent/RU2437644C2>
9. *Велиев Е.И., Ганиев Р.Ф., Корнеев А.С. и др.* Волновое устройство для гидромассажа. РФ Патент 210193, 2022. <https://patents.google.com/patent/RU210193U9/ru>
10. ANSYS Fluent Release 12.1. ANSYS, Inc., Canonsburg, USA, 2009. <http://www.ansys.com>
11. *ANSYS Fluent* 12.0. Theory Guide. ANSYS, Inc., 2009. 816 с.
12. *Batchelor G.K.* An Introduction to Fluid Dynamics. Cambridge University Press, Cambridge, England, 1967. 615 p.
13. *Smagorinsky J.* General Circulation Experiments with the Primitive Equations. I. The Basic Experiment // Monthly Weather Review. 1963. V. 91. P. 99.
14. *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.
15. *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.
16. *Велиев Е.И., Ганиев Р.Ф., Корнеев А.С., Украинский Л.Е.* Расчетное и экспериментальное исследование волновых гидромассажеров // Проблемы машиностроения и надежности машин. 2022. № 1. С. 3.