

УДК 534.143

ОБ ЭФФЕКТЕ РЕЗКОГО ПОВЫШЕНИЯ ИНТЕНСИВНОСТИ ПРОТЕКАНИЯ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ И НЕЛИНЕЙНЫХ ВОЛНОВЫХ ПРОЦЕССОВ ПРИ ИЗМЕНЕНИИ ГЕОМЕТРИИ ПРОТОЧНОЙ ЧАСТИ И ДАВЛЕНИЯ НА ВХОДЕ И ВЫХОДЕ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ ГЕНЕРАТОРОВ ВИХРЕВОГО ТИПА

© 2020 г. С. Р. Ганиев¹, О. В. Шмырков¹, Д. В. Курменев^{1,*}

Представлено академиком РАН Р.Ф. Ганиевым 11.02.2020 г.

Поступило 14.09.2020 г.

После доработки 14.09.2020 г.

Принято к публикации 20.09.2020 г.

Приведены результаты экспериментальных исследований влияния геометрии проточной части камеры и давления на входе и выходе генератора вихревого типа на интенсивность и характер протекания нелинейных волновых и гидродинамических процессов.

Ключевые слова: волновые процессы, нелинейность, гидродинамика, генератор вихревого типа, давление, пульсации, спектр

DOI: 10.31857/S2686740020060115

Базовой задачей волновой технологии является разработка научных основ проектирования волновых машин и аппаратов. Теоретические основы протекания волновых процессов в многофазных средах изложены в работах [1–3]. Расчетные и экспериментальные исследования в этом направлении ведутся в основном на конкретных типах волновых устройств. В волновой технологии, базирующейся на возбуждении нелинейных колебаний и волн в многофазных средах, важную роль играют проточные гидродинамические генераторы вихревого типа [4]. В таких генераторах колебания давления возбуждаются проходящим высокотурбулентным закрученным и завихренным потоком жидкости, которая одновременно является обрабатываемой и рабочей средой. В ряде работ [5–9], посвященных исследованию течения в проточном гидродинамическом генераторе вихревого типа, было показано, что в проточной части реализуется сложная картина течения. В ней одновременно протекают взаимодействующие между собой гидродинамические, кавитационные и нелинейные волновые процессы. Интенсивность этих процессов существенно зависит от расположения отверстий тангенциальных каналов подачи рабочей среды, давления на входе и

выходе, степени закрутки потока, длине и диаметре камеры и сопла генератора. Однако, как показал анализ, несмотря на важность имеющихся в этих работах расчетных и экспериментальных данных, их оказалось недостаточно для описания реальной картины течения и процессов, протекающих в камере генератора и, соответственно, для модернизации существующих физико-математических моделей с целью получения достоверных расчетных данных.

Результаты расчетных исследований, приведенные в этих работах, в ряде случаев заметно отличаются от экспериментальных.

Целью данной работы являлось исследование влияния геометрии проточной части и давления на входе и выходе гидродинамического генератора вихревого типа на интенсивность и характер протекания гидродинамических и нелинейных волновых процессов при изменении в широком диапазоне определяющих параметров.

МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ЭКСПЕРИМЕНТА

Испытание модели проточного гидродинамического генератора вихревого типа проводилось на экспериментальной базе Научного центра нелинейной волновой механики и технологии ИМАШ РАН.

Принципиальная схема стенда представлена на рис. 1. Генератор представлял собой цилиндрический стакан, в боковой стенке которого бы-

¹ *Институт машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук, Москва, Россия*

*E-mail: kurmenyov_dv@mail.ru

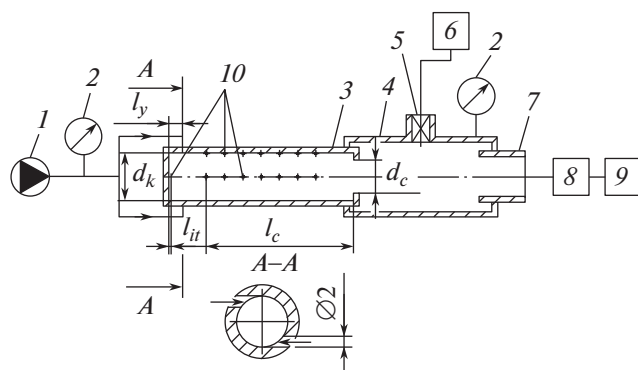


Рис. 1. Принципиальная схема гидродинамического стенда и кавитационно-волнового генератора вихревого типа: 1 – плунжерный насос, 2 – манометры, 3 – гидродинамический генератор колебаний давлений вихревого типа, 4 – рабочая камера, 5 – датчик динамического давления, 6 – осциллограф, 7 – дроссель, 8 – расходомер, 9 – регулировочный вентиль, 10 – точки измерения статического давления.

ли выполнены два тангенциальных канала диаметром $d_y = 2$ мм для подачи жидкости в камеру генератора. Расстояние от плоскости осевого сечения подающих каналов до дна камеры $l_y = 5$ мм. Диаметр камеры генератора $d_k = 10$ мм. Камера генератора была выполнена длиной $l_k = 40$ мм для получения максимальной амплитуды колебаний давления в нем [5]. В качестве рабочей среды использована водопроводная вода при температуре $T = 25^\circ\text{C}$. Давление воды на входе в генератор изменялось в диапазоне $P_{in} = 0.1\text{--}5.0$ МПа; на выходе $P_{out} = 0.1\text{--}1.0$ МПа. Эти давления измерялись манометрами класса 1, расход и температура воды измерялась датчиками с погрешностью $\pm 1\%$. Для измерения пульсаций давления в рабочей части за генератором установлен пьезоэлектрический датчик динамического давления типа 701A фирмы “Kistler”. Сигнал с датчика поступал на усилитель-преобразователь “Kistler 5011”, а затем для записи и обработки на осциллограф “Lesroy HRO 66Zi”. В центре дна и на боковой поверхности камеры генератора на расстоянии $l = 30$ мм от дна проводили измерение давления манометрами и мановакуметрами класса 0.5.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В результате экспериментальных исследований модели проточного гидродинамического генератора вихревого типа было получено, что при изменении диаметра сопла в диапазоне $d_c/d_k = 0.3\text{--}0.45$ при $P_{in} = 5.0$ МПа, $P_{out} = 0.1$ МПа в проточной части генератора на частотах $f = 4.0\text{--}4.3$ кГц возбуждаются пики давления резонансного типа. С увеличением гидростатического давления на выходе до $P_{out} = 0.3$ МПа амплитуда этих

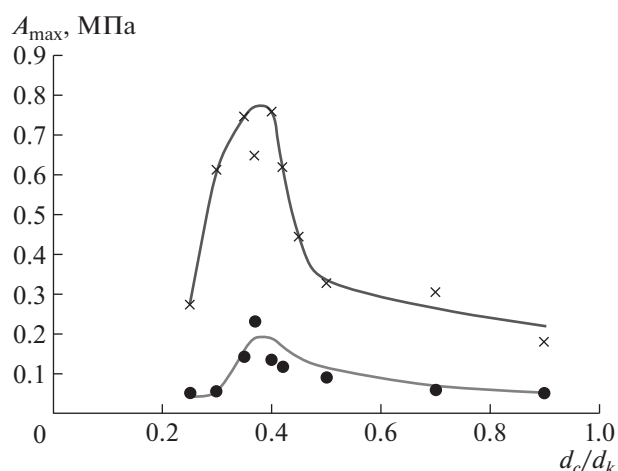


Рис. 2. Зависимость $A_{max} = f(d_c/d_k, P_{out})$ при $P_{in} = 5.0$ МПа: ● – $P_{out} = 0.1$ МПа, × – $P_{out} = 0.3$ МПа.

пиков пульсации давления возрастает в 5 раз и достигает величины $A = 0.8$ МПа (рис. 2).

При дальнейшем увеличении давления на выходе до $P_{out} = 1.0$ МПа амплитуда этих пиков снижается. Зависимость $A_{max} = f(d_c/d_k)$ является существенно нелинейной с характерным максимумом при $d_c/d_k = 0.35$. Эти данные свидетельствуют о резком повышении интенсивности протекания волновых процессов в камере генератора при изменении диаметра сопла в пределах $d_c/d_k = 0.35\text{--}0.45$ (рис. 3). Давление на дне камеры генератора с уменьшением диаметра сопла в пределах $d_c/d_k = 0.9\text{--}0.25$ при $P_{in} = 5.0$ МПа и $P_{out} = 0.1$ МПа плавно возрастает с $P_d = 0.003$ МПа до $P_d = 1.6$ МПа (рис. 4).

Зависимость $P_d = f(P_{in}, d_c/d_k)$ носит сложный нелинейный характер. Так при $d_c/d_k > 0.5$ донное давление при всех P_{in} ниже атмосферного и с увеличением P_{in} до 5 МПа плавно снижается до $P_d = 0.003$ МПа. При $d_c/d_k \leq 0.5$ с увеличением P_{in} донное давление вначале плавно снижается ниже атмосферного, а затем при определенной величине P_{in} для конкретного диаметра сопла начинает резко возрастать до величины, существенно превышающей атмосферное давление.

Это связано с тем, что при уменьшении диаметра сопла в конце камеры образуется кольцевая площадка, перпендикулярная оси генератора. По-видимому, это приводит к возникновению обратного течения части основного потока от сопла к дну камеры. Наличие вращательной составляющей потока может приводить к появлению тороидальных вихрей, размеры которых возрастают по мере уменьшения диаметра сопла. Это приводит к повышению донного давления. Вих-

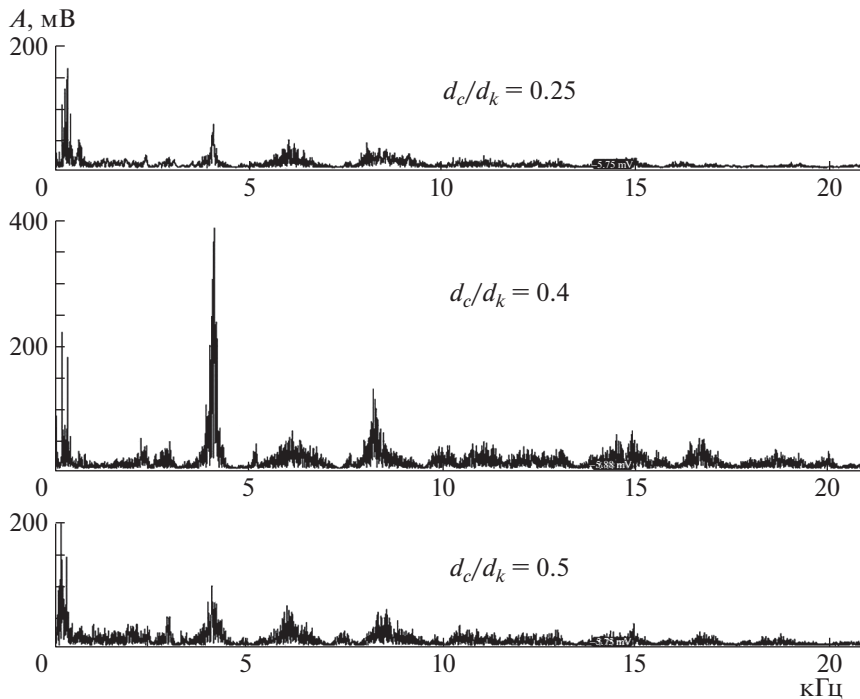


Рис. 3. Амплитудно-частотные характеристики пульсаций давления в проточном гидродинамическом генераторе вихревого типа при $P_{in} = 5.0$ МПа, $P_{out} = 0.3$ МПа.

ревая кавитационная каверна, возникающая в приосевой области камеры генератора при $P_{in} = 5.0$ МПа, $P_{out} = 0.1$ МПа, $d_c/d_k = 0.9$ [6], отрывается от дна и по мере уменьшения диаметра сопла смещается к нему. При $d_c/d_k = 0.3-0.45$ возникает неустойчивое положение вихревой каверны относительно сопла. Она возникает то перед соплом, то за ним, при этом периодически частично перекрывает проходное сечение сопла, в результате чего возбуждаются мощные пики давления. Причем этот процесс носит автоколебательный

характер. Давление на боковой поверхности камеры генератора с увеличением P_{in} , P_{out} и уменьшением соотношения d_c/d_k также возрастает и при $P_{in} = 5.0$ МПа, $P_{out} = 0.3$ МПа, $d_c/d_k = 0.25$ достигает величины $P_k = 3.5$ МПа, что составляет 70% от максимальной величины входного давления.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведения исследований было выявлено следующее: при изменении геометрии проточной части камеры гидродинамического генератора вихревого типа возможно резкое повышение интенсивности протекания волновых и гидродинамических процессов. Так, при изменении диаметра сопла в пределах $d_c/d_k = 0.3-0.45$ в проточной части генератора при $P_{in} = 5.0$ МПа и $P_{out} = 0.3$ МПа в диапазоне частот $f = 4.0-4.3$ кГц возбуждаются мощные нелинейные волны, амплитуда которых достигает 0.8 МПа. Донное давление в камере генератора с уменьшением диаметра сопла диапазоне $d_c/d_k = 0.9-0.25$ при $P_{in} = 5.0$ МПа и $P_{out} = 0.1$ МПа возрастает с 0.003 МПа до 1.6 МПа (почти в 500 раз). Давление на боковой поверхности камеры генератора с увеличением P_{in} , P_{out} и уменьшением диаметра сопла также возрастает и при $P_{in} = 5.0$ МПа, $P_{out} = 0.3$ МПа, $d_c/d_k = 0.25$ достигает величины $P_k = 3.5$ МПа, что

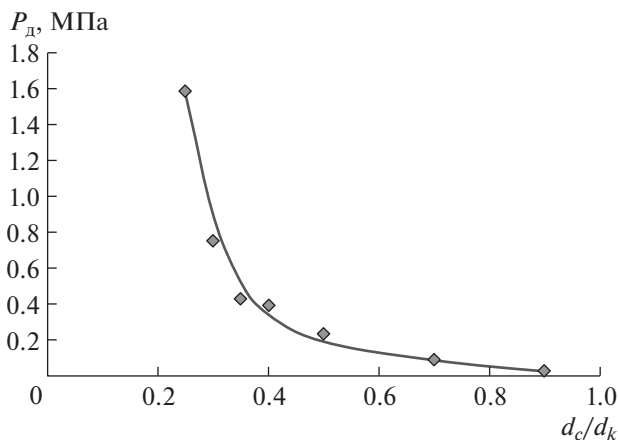


Рис. 4. Зависимость $P_d = f(d_c/d_k)$ при $P_{in} = 5.0$ МПа, $P_{out} = 0.1$ МПа.

составляет 70% от максимальной величины входного давления.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Ганиев Р.Ф.* Волновые машины и технологии (введение в волновую технологию). М.: Науч.-изд. центр РХД, 2008. 192 с.
2. *Ганиев Р.Ф., Украинский Л.Е.* Нелинейная волновая механика и технологии. М.: Науч.-изд. центр РХД, 2008. 712 с.
3. *Ганиев Р.Ф.* Нелинейные резонансы и катастрофы. Надежность, безопасность и бесшумность. М.: Науч.-изд. центр РХД, 2013. 592 с.
4. *Авдеевский В.С., Ганиев Р.Ф., Калашиников Г.А., Костров С.А., Муфазалов Р.Ш.* Гидродинамический генератор колебаний: Патент 2015749 РФ // Бюллетень изобретений. 1994. № 13. С. 34.
5. *Ганиев Р.Ф., Шмырков О.В., Жебынев Д.А., Ганиев О.Р., Ганиев С.Р., Фельдман А.М.* Исследование влияния геометрических размеров гидродинамического вихревого генератора колебаний давления на спектральные характеристики // Справочник. Инженерный журн. 2010. № 5. С. 15–19.
6. *Шмырков О.В.* Исследование кавитации в вихревом генераторе проточного типа // Известия РАН. Механика жидкости и газа. 2015. № 3. С. 22–31.
7. *Корнеев А.С., Шмырков О.В.* Влияние закрутки потока на характеристики гидродинамических генераторов колебаний // Проблемы машиностроения и надежности машин. 2019. № 5. С. 27–33.
8. *Корнеев А.С., Шмырков О.В.* Влияние геометрических параметров на характеристики гидродинамических генераторов колебаний // Проблемы машиностроения и надежности машин. 2017. № 4. С. 46–53.
9. *Ганиев Р.Ф., Корнеев А.С., Шмырков О.В.* Амплитудно-частотные характеристики гидродинамических генераторов колебаний // ДАН. 2015. Т. 465. № 2. С. 167–169.

ON THE EFFECTS OF A SHARP INCREASE IN INTENSITY OF COURSE HYDRODYNAMIC AND NONLINEAR WAVE PROCESSES WHERE CHANGES FLOW AND PRESSURE INLET AND OUTLET HYDRODYNAMIC GENERATOR VORTEX TYPE

S. R. Ganiev^a, O. V. Shmyrkov^a, and D. V. Kurmenev^a

^a *Mechanical Engineering Research Institute of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation*

Presented by Academician of the RAS R.F. Ganiev

The paper presents the results of experimental studies of the influence of the geometry of the flow part of the chamber and the pressure at the inlet and outlet of the vortex-type generator on the intensity and nature of the occurrence of nonlinear wave and hydrodynamic processes.

Keywords: wave processes, nonlinearity, hydrodynamics, vortex type generator, pressure, pulsations, spectrum