

МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ СТРУЙ ВИБРАЦИОННЫХ ВОЛН

© 2011 Н. И. Лиманова¹, Ю. С. Левкин²

¹Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва (национальный исследовательский университет)

²Тольяттинский государственный университет

В настоящей работе рассматриваются физические процессы, происходящие с жидкой фазой двухфазного потока при вибрационных воздействиях на структуру жидкой фазы на примере взвешенных белых частиц в бегущей волне с разным процентом её отражения. Амплитуда этой волны составляет 4% её длины, а глубина воды равна 22% длины волны [1]. Учитывая распространение вибрационных волн в виде концентрических сфер и импульсивную идентичность природы вибраций, автор предлагает метод определения внутреннего энергетического состояния волны жидкой фазы.

Двухфазные потоки, вибрационные волны, энергетическое состояние волны, энергетическое состояние струи, жидкая фаза, гребень волны, впадина волны, импульс воздействия, структура.

Авиационное топливо в процессе эксплуатации трансформируется при температурных колебаниях в двухфазную (жидкость и газ), а также в трёхфазную (жидкость, газ и лёд) субстанции. Задача исследователя обосновать эти превращения. Борьба с технической вибрацией проходит на уровне снижения её параметрических показателей, без учёта влияния на гидродинамические закономерности изменения их структурных моделей.

Вопросы физической природы двухфазных течений при воздействии на них вибрации остаются открытыми. Известные структурные модели, которые связаны с работающими двигателями, не учитывают как вынужденную, так и собственную вибрацию. Эти структурные модели, несмотря на их присутствие во всех трубопроводах с работающими двигателями, никем не рассматривались, тогда как расчёты двухфазных потоков возможны при знании этих структур. Режим раздельного течения является также наиболее актуальным, т.к. часто встречается в нефтегазовой, химической, авиационной и других промышленности, а поперечная вибрация (ПВ) – их технологический спутник.

Как известно, интенсивность внутрифазного обмена (выделение пузырьков газа) в двухфазных пузырьковых структурах связана с двумя её внутрифазными параметра-

ми температурой и давлением. Задача авторов работы показать влияние полезных сторон вибрационных процессов на структурные изменения в двухфазных потоках. Ультразвуковой эффект воздействия на жидкую фазу (ЖФ) приводит к увеличению её температуры [2]. Низкочастотные и колебания средней частоты, как и импульсное отражение волн, приводят к перераспределению давления в самой структуре волны ЖФ. Изменение давления в ЖФ от воздействия вибрации, приводит к выделению растворённого газа, сепарации. В работе рассматривается закономерность влияния импульса вибрации на распределение давления в неразрывном потоке ЖФ.

Для определения вибрационно-энергетических уровней (струй волн, из которых состоит ЖФ), используем относительную величину $\delta = \frac{d}{h}$, где d – длина траектории светлой частицы (мм); h – её высота (мм).

Эта величина характеризует положение струи в общем потоке ЖФ. Движение отдельно взятой струи соответствует радиусу концентрической окружности*, полученной от вибрационного воздействия (рис. 1).

* Концентрическая окружность – это окружность, которой соответствует любое сечение сферы, являясь её определителем.

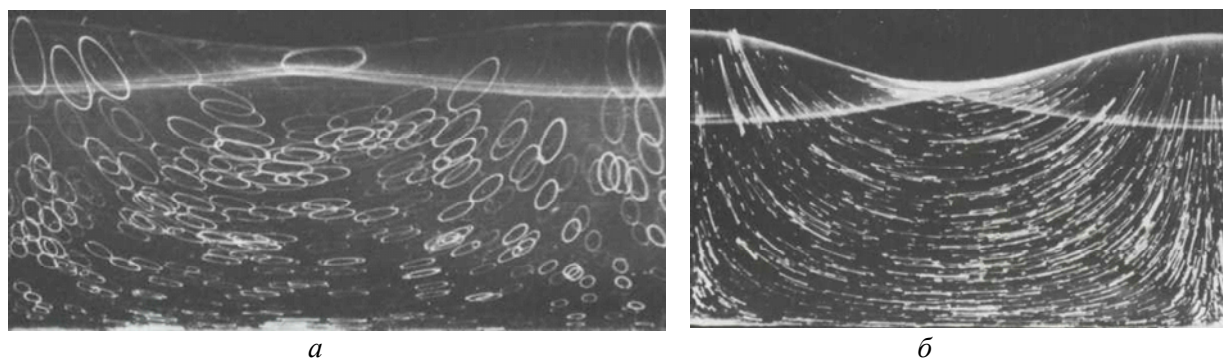


Рис.1. Траектории светлых частиц

На рис. 1 видны “ожерелая” траекторий светлых частиц, каждое из которых вписывается в концентрическую окружность и соответствует своей δ , которая определяется величиной своего радиуса. L_c – расстояние, равное концентрическому радиусу импульса вибрационной волны (мм). Началом отсчёта является точка приложения импульса вибрации. Изменение относительной величины (δ) не связано с изменением внутрискрутного давления, величина δ определяется вибрационным импульсом [3]. Чем выше материальная точка воды к гребню, тем меньше её давление, выше скорость и шире живое сечение струи, к которому она принадлежит. Деформация концентрических окружностей зависит от тесноты близлежащих волн, полученных от увеличения процента их отражения (рис. 1) или вибрационного ускорения. В пределах энергетического уровня, несмотря на разные абсолютные величины траекторий светлых частиц, относительная их величина δ одинакова. Из табл. 1 видно, что нормальное (перпендикулярное к касательной

любой точки концентрической окружности) движение вибрационной волны уменьшает абсолютные значения траекторий светлых частиц во впадине рис. 1, увеличивая давление в этом участке ЖФ.

Таблица 1. Зависимость соответствия вибрационного энергетического уровня глубине воздействия на него вибрационного импульса

L_c	δ	δ	δ
70	2	1,6	1,8
60	2,3	1,8	2,0
55	3,0	2	2,4
50	3,2	2,6	2,4
48	3,6	3,2	2,8

Верхняя стенка трубы является местом отсчёта движения волны. Табличные показания сняты при импульсном 38% отражении волны, как пример расчёта одного из замеров, которые представлены в табл. 2. По результатам расчетов построен график (рис. 2).

Таблица 2. Зависимость глубины воздействия вибрационного импульса в виде концентрического радиуса, посылаемого подошвой волны, от процента её отражения

P	L													
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140
0,1	7,7	4,91	3,77	3,13	2,71	2,4	2,17	1,99	1,85	1,72	1,62	1,53	1,45	1,39
0,2	8,39	5,54	4,34	3,65	3,19	2,86	2,61	2,41	2,24	2,11	1,99	1,89	1,8	1,72
0,3	9,13	6,24	4,99	4,26	3,77	3,41	3,13	2,91	2,73	2,57	2,44	2,33	2,23	2,14
0,4	9,93	7,02	5,73	4,96	4,44	4,05	3,75	3,51	3,31	3,14	2,99	2,87	2,75	2,65
0,5	10,8	7,9	6,58	5,78	5,23	4,82	4,49	4,23	4,01	3,83	3,67	3,53	3,4	3,29
0,6	11,7	8,87	7,54	6,72	6,15	5,72	5,37	5,09	4,86	4,66	4,49	4,33	4,2	4,07
0,7	12,7	9,95	8,64	7,81	7,22	6,78	6,42	6,13	5,88	5,67	5,48	5,32	5,17	5,04
0,8	13,7	11,2	9,88	9,06	8,47	8,02	7,66	7,36	7,1	6,88	6,69	6,52	6,36	6,22
0,9	14,8	12,5	11,3	10,5	9,93	9,49	9,13	8,83	8,57	8,35	8,15	7,98	7,82	7,67

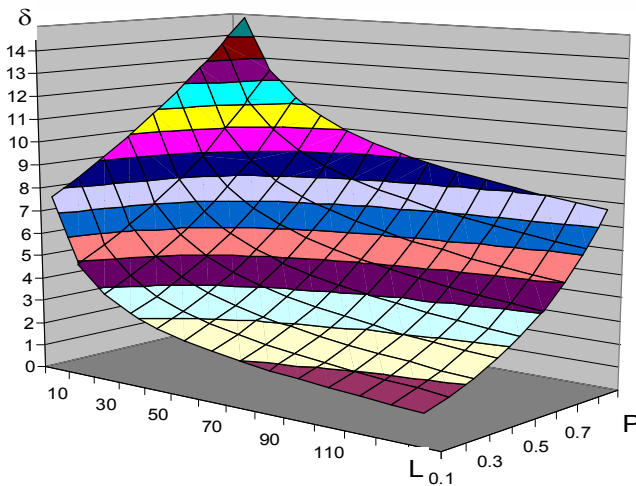


Рис. 2. Зависимость вибрационного энергетического уровня подошвы волны от расстояния, на котором действует волна, с соответствующим ей процентом отражения

Графическая зависимость характеризуется формулой (1)

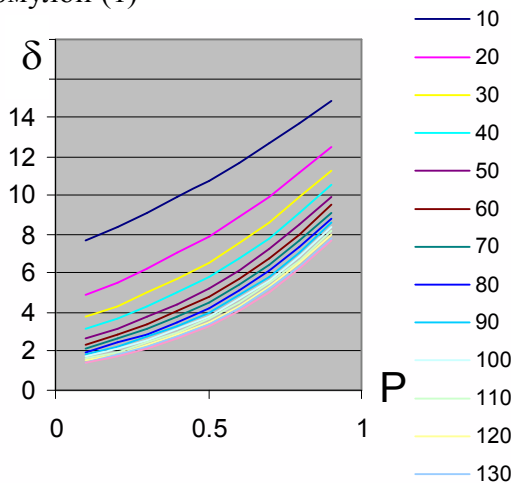


Рис. 3. Зависимость вибрационного энергетического уровня от процента отражения

$$\delta = (-10P + 35,4)L^{0,5P-0,7}, \quad (1)$$

где δ – вибрационный энергетический уровень подошвы волны; L – расстояние импульса воздействия волны (мм); P – процент отражения.

Двухмерные графики фактически являются фронтальными и профильными проекциями (рис. 2), которые образуют сетчатую поверхность. Любая из этих проекций может быть спроецирована на одноимённую плоскость и отразить простейшую зависимость между двумя параметрами (рис. 3 и 4, табл. 3).

Любую точку, лежащую на поверхности, можно спроецировать на три плоскости проекций перпендикулярами, исходящими из этой точки, каждая из полученных проекций заданной точки является решением соответствия конкретной задачи по определению задающих её параметров.

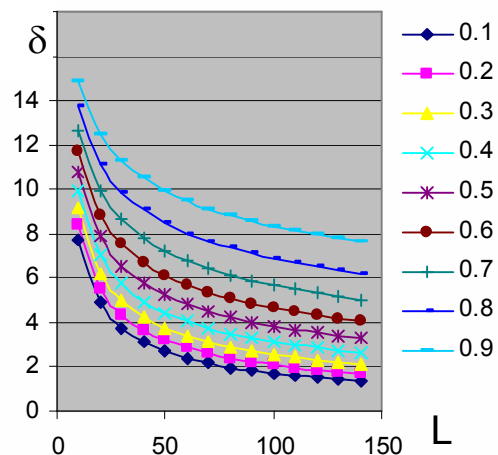


Рис. 4. Зависимость вибрационного энергетического уровня от воздействия импульса вибрационной волны

Таблица 3. Зависимость расстояния воздействия энергетических уровней вибрационных волн гребня от процента их отражения

P	L																			
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
0,05	10	7	5,3	4,3	3,5	3	2,5	2,2	2	1,8	1,6	1,5	1,4	1,3	1,2	1,1	1,1	1,1	1	1
0,1	8,5	6,2	4,9	3,9	3,3	2,8	2,4	2,1	1,8	1,7	1,5	1,4	1,3	1,2	1,1	1,1	1,1	1	1	1
0,2	6,7	5,2	4,1	3,3	2,8	2,4	2	1,8	1,6	1,4	1,3	1,2	1,1	1,1	1,1	1	1	1	1	1
0,3	5,6	4,3	3,5	2,8	2,4	2	1,7	1,5	1,4	1,3	1,2	1,1	1	1	1	1	1	1	1	1,1
0,4	4,7	3,7	2,9	2,4	2	1,7	1,5	1,3	1,2	1,1	1,1	1	1	1	1	1	1,1	1,1	1,2	1,2
0,5	4	3,1	2,4	2	1,7	1,4	1,3	1,1	1,1	1	1	1	1	1,1	1,1	1,2	1,2	1,3	1,4	1,5
0,6	3,4	2,6	2	1,6	1,4	1,2	1,1	1	1	1	1	1,1	1,2	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,8	1,9
0,7	2,9	2,1	1,6	1,3	1,2	1	1	1	1	1,1	1,2	1,3	1,4	1,6	1,7	1,9	2	2,2	2,3	2,5
0,8	2,4	1,7	1,3	1,1	1	1	1	1,1	1,2	1,4	1,6	1,7	1,9	2,1	2,3	2,6	2,8	3	3,2	3,4
0,9	2	1,4	1,1	1	1	1,1	1,3	1,5	1,7	2	2,2	2,5	2,8	3,1	3,4	3,7	4	4,3	4,6	4,9
0,95	1,8	1,2	1	1	1,1	1,3	1,5	1,8	2,1	2,4	2,7	3,1	3,4	3,8	4,1	4,5	4,8	5,2	5,5	5,9

Графическая зависимость (рис. 5) характеризуется формулой

$$\delta = 1 + 6(1 + 2P) \lg^2 \left(\frac{L + 15P(4 - 3P)^2}{30(4 - 3P)} \right), \quad (2)$$

где δ – величина вибрационно-энергетического уровня гребня волны; L – расстояние импульса воздействия волны (мм); P – процент отражения.

В работах [1, 3, 4] использованы экспериментальные замеры определения энергетического состояния жидкой фазы при поперечных вибрационных нагрузках и при заданных значениях отражения волн.

Рис. 6 и 7 примеры двух значений принадлежащих поверхности (её сетки) т.е. горизонтальной и профильной её плоскостям (рис. 5).

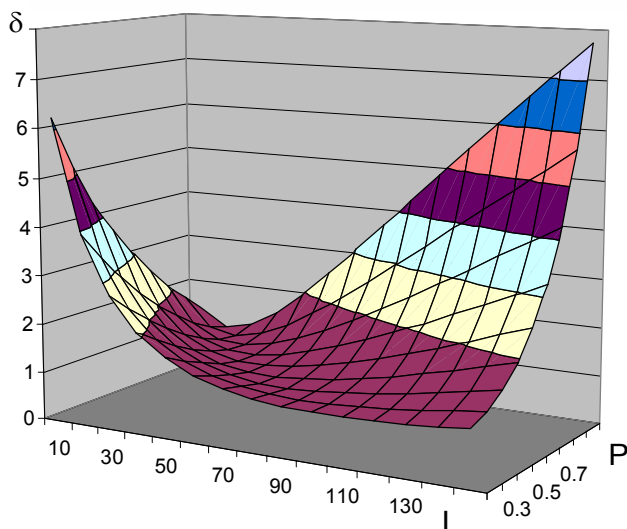


Рис. 5. Зависимость вибрационного энергетического уровня вершины волны от расстояния, на котором воздействует волна, с соответствующим процентом отражения

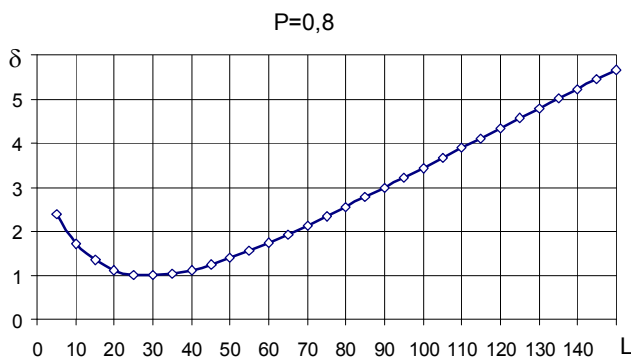


Рис. 6. Зависимость вибрационного энергетического уровня от воздействия импульса вибрационной волны при указанном проценте отражения

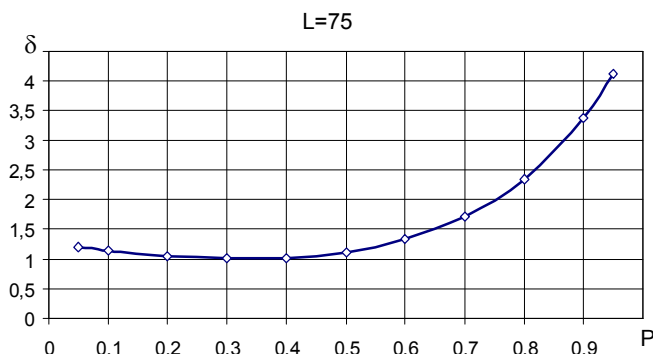


Рис. 7. Зависимость вибрационного энергетического уровня от процента отражения, при указанном расстоянии воздействия вибрационного энергетического импульса

Воздействие ПВ при неразрывном потоке ЖФ и наличии пьезометрического давления столба жидкости формирует синусоидальное движение как струй, составляющих поток ЖФ, так и сам поток. Формирование вибрационных энергетических уровней δ связано с глубиной, которую пересекают движущиеся вибрационные волны с постоянно изменяющейся ориентацией траекторий светлых частиц, как по глубине, так и по живому сечению самой струи. Это говорит о том, что если рассеять струю перпендикулярно её течению и пометить каждую струйку, то можно заметить увеличение их толщин по мере подъёма к вершине.

Этот эффект виден на рис. 1, а, где с увеличением высоты подъёма струи увеличиваются траектории светлых частиц, т.к.

происходит уменьшение давления внутри траекторий этих частиц [3] каждого вибрационно-энергетического уровня (рис. 8) и что свидетельствует:

1) об увеличении скорости движения струйки к вершине волны, т. к. размеры траекторий светлых частиц с подъёмом к вершине увеличиваются, что говорит о снижении внутрискрутного давления;

2) об увеличении толщины восходящего потока ЖФ, т.к. траектории светлой частицы по высоте h увеличиваются;

3) самый нижний вибрационно-энергетический уровень не касается нижней стенки трубы, а отстоит от неё на 1,5 мм. На этой глубине траектории светлых частиц стелятся по нижней стенке трубы;

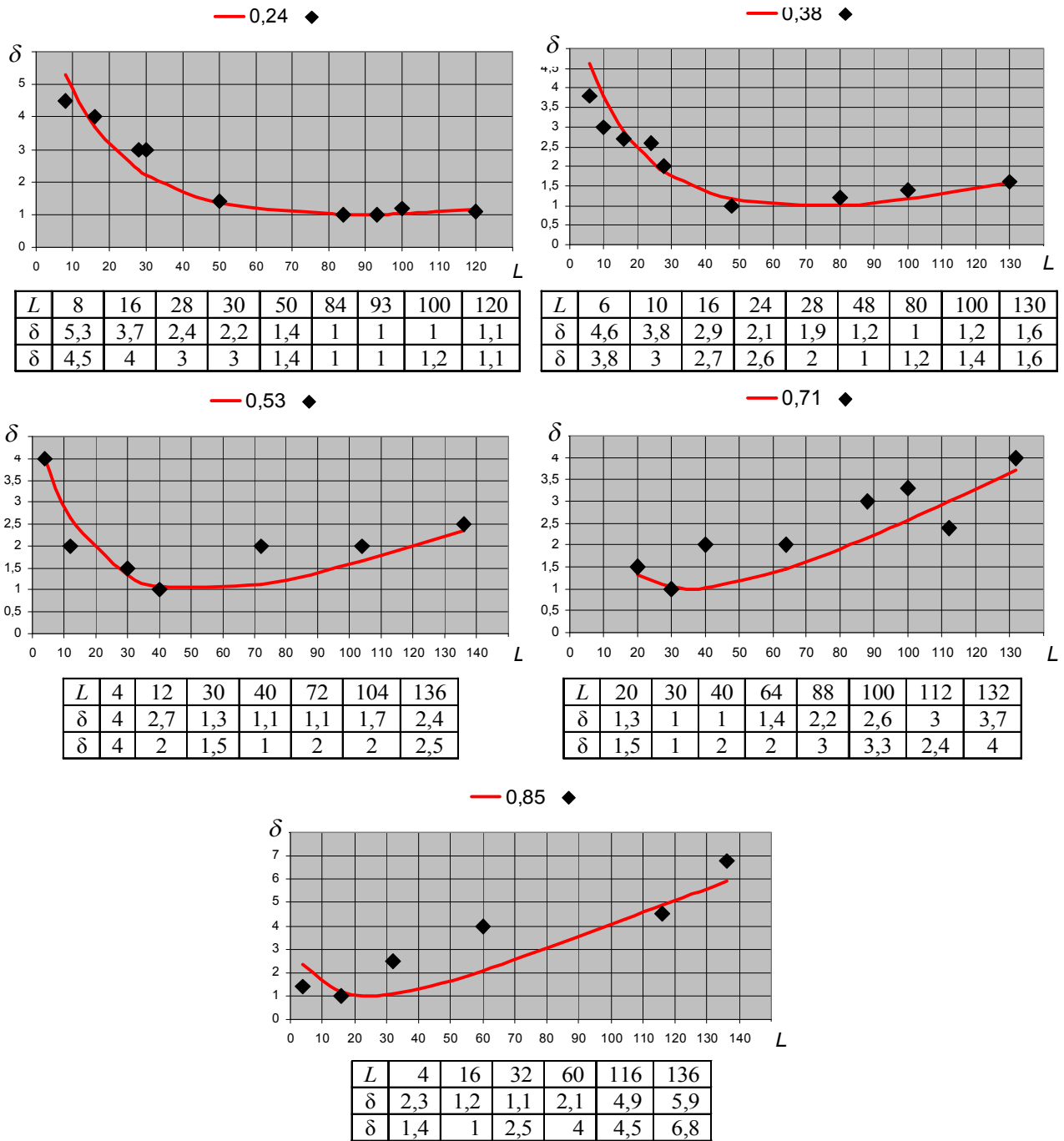


Рис. 8. Зависимость энергетических вибрационных уровней от глубин их дислокаций

4) вне энергетических вибрационных уровней находится и сам источник гидравлических возмущений;

5) вне энергетических уровней находится зона между двумя волнами и нижней стенкой трубы, на рис. 1 эти зоны находятся в нижних её углах.

“Гидравлическая насадка” – это участок жидкости в трубе, который создаёт

гребень волны, его образуют две гиперболы близлежащих волн (рис. 1, б), вынуждая струю преодолевать гидравлическую преграду. Продолжительность существования и её частота зависят от f_b , а c (высота насадки) от n_b или от процента отражения волн (табл. 4, рис. 9).

Таблица 4. Экспериментальные данные зависимости высоты гидронасадки от процента отражения

$P, \%$	24	38	53	71	85
$c, \text{мм}$	6	5,5	3	1,7	1,1



Рис. 9. Зависимость гидравлической насадки от процента отражения волны

Так как число гидронасадок будет эквивалентно числу импульсов частоты, гармонические колебания будут на любом участке живого сечения.

Библиографический список

1. Ван-Дайк, М. Альбом «Течений жидкости и газа». - М.: Мир; 1986. -С. 112-113.

2. Горшков, С.И. Биологическое действие ультразвука [Текст]/ С.И. Горшков, О.Н. Горбунов, Г.А. Антропов – М.: Медицина, 1965.

3. Левкин, Ю.С. Об использовании электромагнитных колебаний для отпугивания молоди рыб от фронта водозабора [Текст]/ Ю.С. Левкин // Сб. ст. V Всерос. науч.-практ. конф. «Водохозяйственный комплекс России: состояние, проблемы, перспективы». –Пенза, 2007.

4. Левкин, Ю.С. Визуально-логическая характеристика совместного истечения жидкости и газа в трубах с поперечной вибрацией [Текст]/ Ю.С. Левкин // Изв. Самар. науч. центра Российской академии наук: Спец. выпуск «ELPIT-2005». – Самара, 2005. Т. 2–С. 107-111.

5. Левкин, Ю.С. Нефтегазовые технологии [Текст]/ Ю.С. Левкин // Тр. VI - VII Междунар. науч.-практ. конф. «Псевдоламинарный режим» 14-16 октября 2009. – Самара, Россия. – Т. II – С. 281-286.

METHOD FOR DETERMINING THE ENERGY OF JETS VIBRATION WAVES

© 2011 N. I. Limanova¹, Yu. S. Levkin²

¹Samara State Aerospace University named after academician S.P. Korolyov (National Research University)

²Togliatti State University

In this paper we consider the physical processes occurring in the liquid phase of two-phase flow under vibration load on the structure of the liquid phase as an example of white particles suspended in a traveling wave with a different percentage of its reflection. The amplitude of this wave is 4% of its length and depth of water is equal to 22% of the wavelength [1]. Given the proliferation of vibration waves in the form of concentric spheres, and the identity of the impulsive nature of vibrations, the author offers a method of determining the internal energy state of the wave of the liquid phase.

Two-phase flows, vibration wave, the energy state of the wave, the energy state of the jet, the liquid phase, the crest of a wave, a wave trough, the momentum effect, structure.

Информация об авторах

Лиманова Наталия Игоревна, доктор технических наук, профессор, Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва (национальный исследовательский университет). E-mail: Nataliya.I.Limanova@gmail.com. Область научных интересов: автоматизированные системы управления, датчики для систем измерения, контроля и управления, моделирование гетерогенных систем.

Левкин Юрий Степанович, кандидат технических наук, доцент Тольяттинского государственного университета. Тел.: (8482) 36-19-88, (8482) 53-95-65. E-mail: pe@tltsu.ru. Область научных интересов: математическое и компьютерное моделирование гетерогенных систем.

Limanova Nataliya Igorevna, doctor of technical sciences, professor, Samara State Aerospace University named after academician S.P. Korolyov (National Research University). E-mail: Nataliya.I.Limanova@gmail.com. Area of research: systems of automatic control, sensors for automatic systems, modeling of the processes in heterogeneous systems.

Levkin Yuriy Stepanovich, candidate of technical Sciences, associate professor of Togliatti State University. Phone: (8482) 36-19-88, (8482) 53-95-65. E-mail: pe@tltsu.ru. Area of research: mathematical and computer modeling of the processes in heterogeneous systems.