

УДК 629. 78. 064

**ВЛИЯНИЕ ВИБРАЦИОННЫХ СОПРОТИВЛЕНИЙ 3g И 4g НА ДИСПЕРСНУЮ СТРУКТУРУ НИЗКО- И СРЕДНЕЧАСТОТНЫХ КОЛЕБАНИЙ**

© 2015 Ю. С. Левкин, И. А. Лушкин

Тольяттинский государственный университет

Экспериментальные опыты проводились на стационарном стенде ДЭВС-200 А-1. Результатом работы было получение изменений гидродинамических процессов в дисперсной структуре под влиянием поперечной вибрации. Воздействие вибрационных параметров (частоты вибрации и вибрационных ускорений) меняет структурную модель двухфазных потоков. Классическая двухфазная структура, попав в поле поперечной вибрации всей поверхностью упругой трубы, находится в исходном состоянии до определённого порога вибрационного ускорения. В работе не рассматриваются вопросы структурных изменений. На двухмерных графиках показана зависимость гидравлических параметров в поле вибрационных воздействий. Трёхмерные пространственные модели характеризуют взаимозависимость между тремя гидравлическими параметрами, на которые воздействуют вибрационные процессы. Приведены графики и номограммы, характеризующие наглядность гидродинамических зависимостей от влияний на них вибрации.

*Двухфазный поток, дисперсная структура, режим, поперечная вибрация, частота вибрации, вибрационное ускорение.*

doi: 10.18287/2412-7329-2015-14-4-135-142

Вибрация на современном техническом уровне является неотъемлемой характеристикой большинства производственных процессов. Поэтому задачи управления вибрационными процессами и качественно более глубокое изучение физических процессов, связанных с воздействием вибрации, являются весьма актуальными.

Основы изучения двухфазных течений и их развитие заложили Г.Уоллис, Дж. Хьюитт и Холл-Тейлор, С. С. Кутариладзе и М. А. Стыркевич, В.Е. Дорошук, Б. С. Петухов, А. М. Кутепов и др. [1-5].

Количество нерастворённого воздуха рабочей жидкости зависит от многих параметров: давления, температуры, скорости движения потока, физических свойств жидкости, конструктивных особенностей гидравлических механизмов и т.д. [6].

Необходимость проектирования и монтажа гидравлической аппаратуры, строительных и дорожных машин с учётом фактора вибрации обуславливает исследование потерь в вибрирующих элементах систем [7].

При смене режима течения происходят изменения показаний параметров, в частности, изменения гидравлических потерь установившегося потока при переходе его в другую структуру. В двухфазных потоках происходит аналогичный эффект, но только объектом исследования становятся уже не одна, а две фазы. Так, при псевдотурбулентном режиме увеличение вибрационного ускорения приводит к изменению расхода жидкости в поле поперечной вибрации [8].

Предшествующие опыты наложения поперечной вибрации на структуры двухфазных потоков показали изменения структур от варьирования вибрационных ускорений. Дисперсные структуры встречаются в агрегатах турбовинтовых летательных аппаратов. Частоты, на которых проводились опыты, значительно ниже, чем рабочие частоты авиационных двигателей. Интерес может представлять последовательность, которая наблюдается при трансформации дисперсной структуры с последующим переходом её в плёночно-дисперсную структуру. Изменения первоначальной структуры определяют

вибрационные параметры. Экспериментальные опыты проводились на стационарном стенде ДЭВС-200А – 1 [9,10]. Настоящая работа является продолжением работы «Влияние поперечной вибрации на изменения первоначальной дисперсной структуры двухфазного потока».

Подставим первоначальные значения скорости из [11] в (1), где скорость двухфазного дисперсного потока определяется скоростью газовой фазы, на которую воздействуют вибрационные процессы. Скорость мельчайших капель жидкой фазы рассматривается как спутник скорости газа:

$$\Delta v = \frac{\Delta Q}{\Delta \omega}, \quad (1)$$

где  $\Delta \omega$  – живые сечения с учётом вибрационных смещений канала трубы, см<sup>2</sup>;  $\Delta Q$  – расход с учётом вибрационных смещений канала трубы, л/мин;  $\Delta v$  – скорость с учётом вибрационных воздействий, м/с.

Влияние поперечной вибрации в диапазоне 30÷60 Гц изменяет первоначальные гидродинамические параметры дисперсной структуры [11], что и отражает табл. 1 для 30, 40, 50 и 60 Гц соответственно.

Таблица 1. Влияние низкочастотных колебаний при постоянном вибрационном ускорении 3 g на параметры гидравлических характеристик

$\Delta Q$ , л/мин	1,023	1,032	1,039	1,084
$\Delta \omega$ , см <sup>2</sup>	0,628	0,618	0,616	0,614
$\Delta v$ , м/с	1,629	1,670	1,687	1,765

По табл. 1 построим зависимости изменения скорости дисперсной структуры от её расхода и живых сечений при вибрационных воздействиях 30÷60 Гц [9] (рис. 1, 2).

На рис. 1 зависимость скорости дисперсной структуры от её расхода представлена полиномиальной кривой и эмпирической формулой.

На рис. 2 зависимость скорости дисперсной структуры от её живых сечений представлена полиномиальной кривой и эмпирической формулой.

На рис. 2 дисперсная структура при  $\Delta \omega \geq 0,624$  л/мин переходит в плёночно-дисперсную структуру, что показывает изменение направления кривой в сторону увеличения параметра скорости. Порогом перехода в дисперсионно-плёночную структуру можно считать вибрационную скорость  $\Delta v \approx 1,608$  м/с.

На базе двух двумерных диаграмм (рис. 1, 2) построим графическую характеристику влияния низкочастотной вибрации в диапазоне 30÷60 Гц на гидравлические параметры дисперсной структуры (рис.3).

Рассматриваемая номограмма показывает влияние частоты вибрации на параметры как живых сечений, так и расходных характеристик рассматриваемого двухфазного потока при постоянном вибрационном ускорении.

Закрашенные в тёмные тона плоскости (рис. 3) характеризуют каким скоростям соответствуют сочетания расхода и живых сечений при точечном замере в данный момент времени. Так, закрашенные прямоугольники показывают, что с увеличением скорости уменьшаются показатели живых сечений.

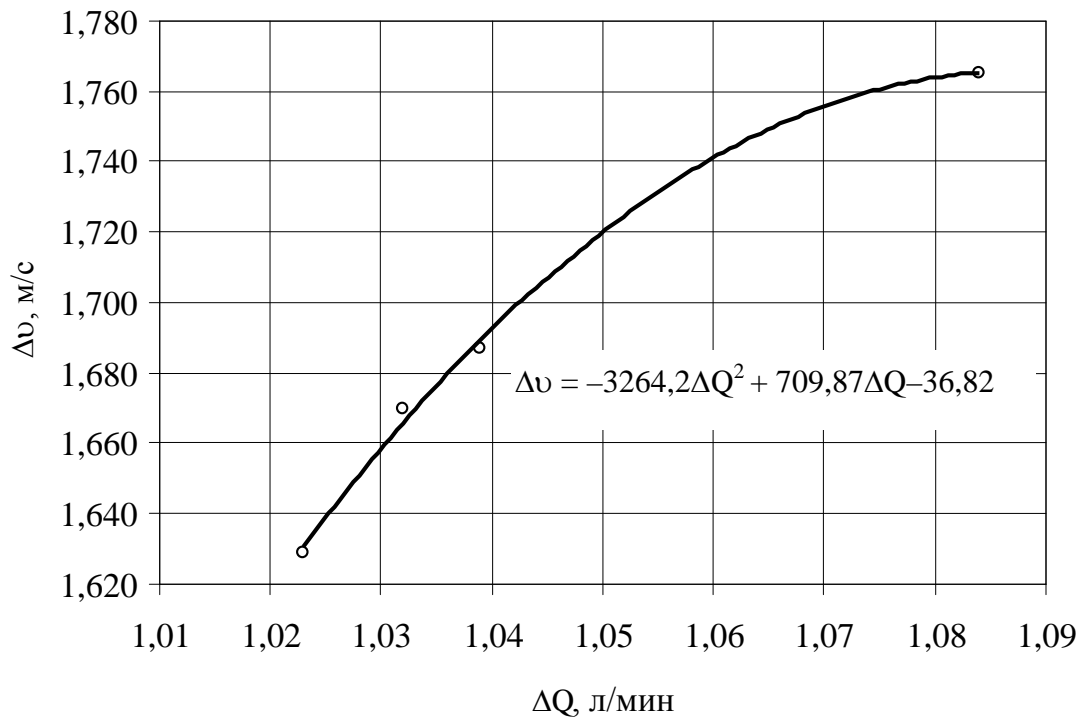


Рис. 1. Зависимость изменения скорости газовой фазы от изменения её расхода при вибрационных воздействиях 30÷60 Гц на первоначальную структуру при  $n_g=3g$

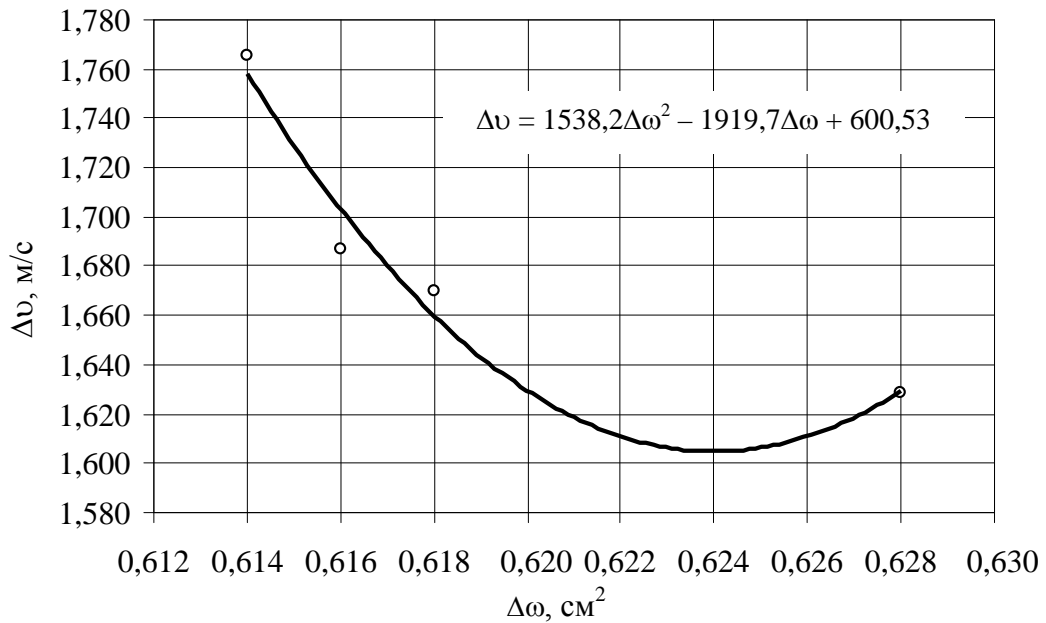


Рис. 2. Зависимость изменения скорости газовой фазы от изменения живых сечений при вибрационных воздействиях 30÷60 Гц на первоначальную структуру при  $n_g=3g$

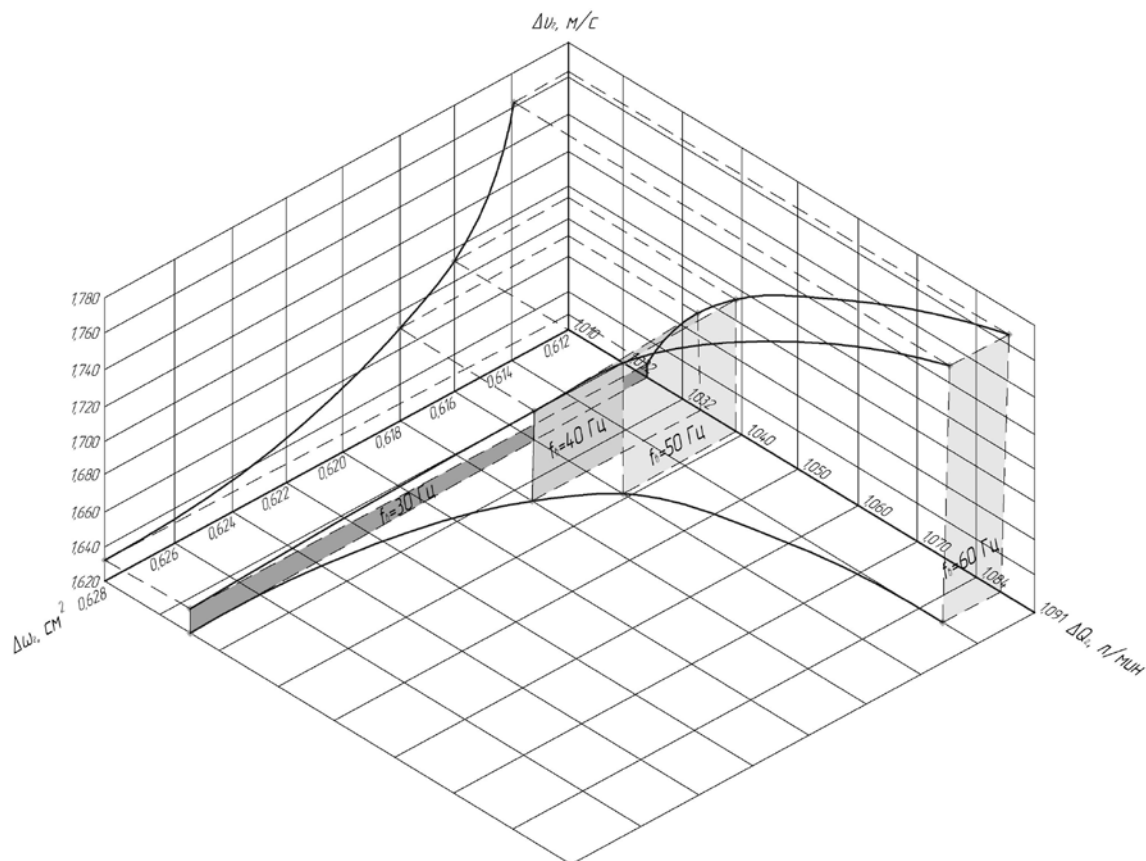


Рис. 3. Влияние соотношений расхода и живого сечения дисперсной структуры в поле поперечной вибрации постоянного вибрационного ускорения 3g на скорость

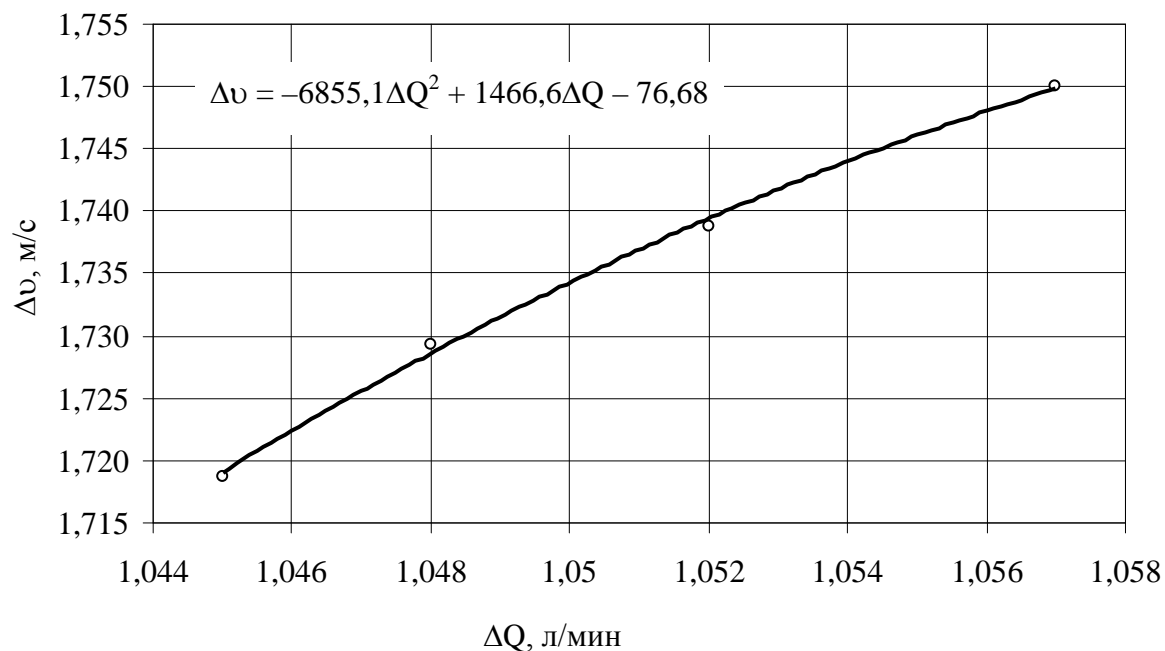


Рис. 4. Зависимость изменения скорости газовой фазы от изменения её расхода при вибрационных воздействиях 70÷100 Гц на первоначальную структуру при  $n_0=4g$

Влияние поперечной вибрации в рассматриваемом диапазоне изменяет первоначальные гидродинамические параметры дисперсной структуры [11], что и отражает табл. 2 для 70, 80, 90 и 100 Гц соответственно.

По табл.2 построим зависимости изменения скорости дисперсной структуры от изменения её расхода и живых сечений в диапазоне 70÷100 Гц [11] (рис. 4, 5).

На базе этих двухмерных диаграмм построим пространственную графическую характеристику влияния поперечной вибрации в диапазоне 70÷100 Гц на гидравлические параметры дисперсной структуры (рис. 6).

При рассмотрении пространственной номограммы можно отметить, что из-

менённые гидравлические показатели от вибрационных импульсных воздействий живых сечений дисперсной структуры обратно пропорциональны, а её расходы прямо пропорциональны их скоростям.

На рис. 6 закрашенные в тёмные тона плоскости характеризуют скоростную зависимость от расхода и живых сечений при точечном замере в данный момент времени. Так при увеличении или уменьшении координаты одного параметра физической величины изменяются координаты других.

На рис. 6 углы закрашенных плоскостей являются носителями значений параметров, изменение одного из которых изменит место её нахождения в пространственной модели.

Таблица 2. Влияние низкочастотных колебаний при постоянном вибрационном ускорении 4 g на параметры гидравлических характеристик

$\Delta Q$ , л/с	1,045	1,048	1,052	1,057
$\Delta \omega$ , см <sup>2</sup>	0,608	0,606	0,605	0,604
$\Delta v$ , м/с	1,719	1,729	1,739	1,750

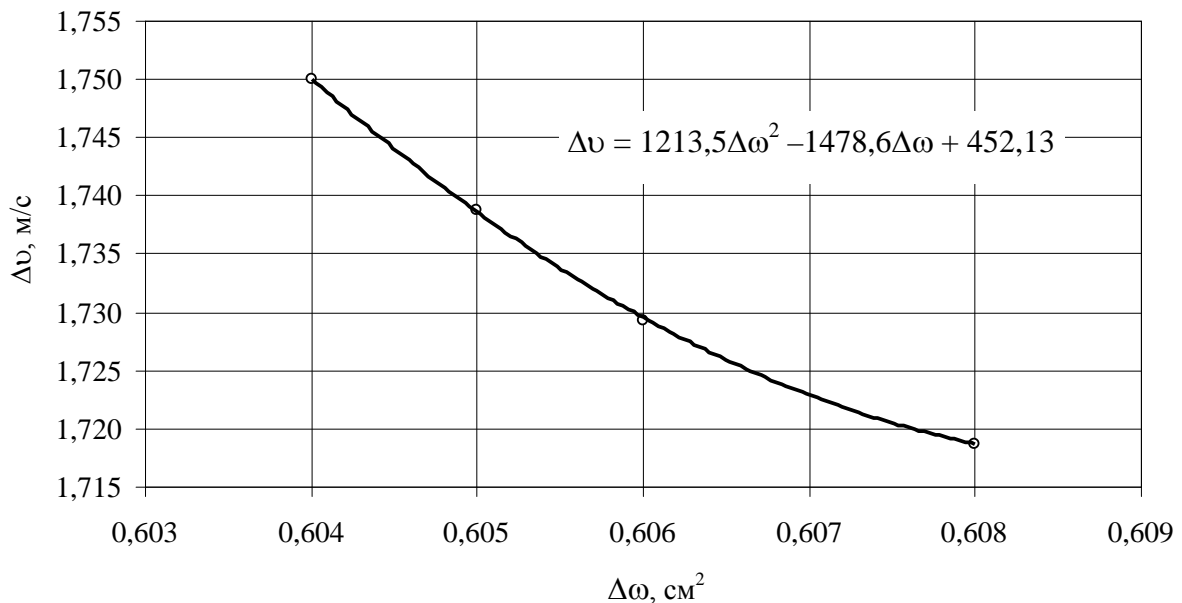


Рис. 5. Зависимость изменения скорости газовой фазы от изменения живых сечений при вибрационных воздействиях 70÷100 Гц на первоначальную структуру при  $n_e=4g$

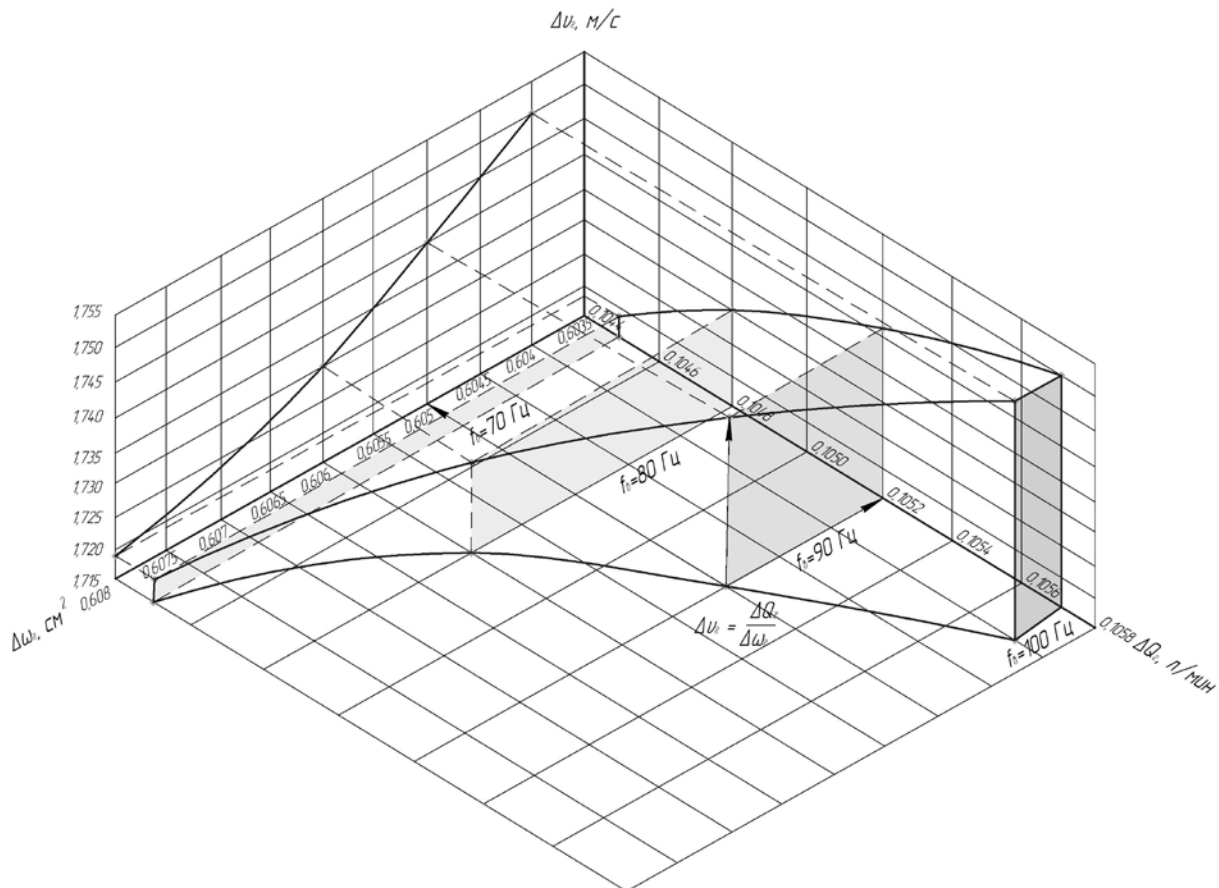


Рис. 6. Влияние соотношений расхода и живого сечения дисперсной структуры в поле поперечной вибрации постоянного вибрационного ускорения 4 g на скорость

### Выводы

1. Пространственная графика помогает конкретному восприятию физических процессов эксперимента. Любой параметр с помощью линии связи характеризует полный пакет точечного замера всех экспериментальных точек.

2. При увеличении живых сечений происходит переход дисперсной структуры в дисперсионно-плёночную.

3. Увеличение вибрационных ускорений изменяет первоначальную структуру двухфазного потока.

### Библиографический список

1. Уоллис Г. Неравновесные двухфазные течения // Труды американского общества инженеров-механиков «Теоретические основы инженерных расчётов». Сер. D. М.: Мир, 1974.

2. Баттерворс Д., Хьюитт Г. Теплопередача в двухфазном потоке. М.: Энергия, 1980. 328 с.

3. Хьюитт Дж., Холл-Тейлор Н. Кольцевые двухфазные течения. М.: Энергия, 1974. 408 с.

4. Хаббард М.Д., Даклер А.Э. Характеристики режимов течения газожидкостного двухфазного потока // В кн. «Достижения в области теплообмена». М.: Мир, 1970.

5. Davis M.R. Pressure fluctuations in a vapor-liquid mixture flow // International Journal of Heat and Mass Transfer. 1973. V. 16, Iss. 11. P. 2043-2054. doi.org/10.1016/0017-9310(73)90107-5

6. Прокофьев В.Н. Динамика гидропривода. М.: Машиностроение, 1972. 288 с.

7. Слобожанин Г.Д., Мельков В.И. О потерях давления в гидроаппаратуре при вибрации // Межвузовский сборник статей «Гидропривод и системы управления строительных и тяговых дорожных машин». Новосибирск: Новосибирский университет, 1977. С. 48-52.

8. Левкин Ю.С. Псевдо-турбулентный вибрационный режим стратифицированного двухфазного потока // Сборник научных трудов «Наука и технологии». М.: РАН, 2005. С. 115-117.

9. Левкин Ю.С. Влияние поперечной вибрации на изменения первоначальной дисперсной структуры двухфазного потока // Труды второй международной науч-

но-технической конференции «Динамика и виброакустика машин». Самара: Самарский государственный аэрокосмический университет, 2014. С. 20-26.

10. Левкин Ю.С., Лиманова Н.И. Диагностика состояния газожидкостных потоков в поле поперечной вибрации // Международная научно-техническая конференция «Проблемы и перспективы развития двигателестроения». Самара: Самарский государственный аэрокосмический университет, 2011.

11. Левкин Ю.С. Исследование влияния поперечной вибрации на скорость двухфазного потока дисперсной структурной модели // Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Серия: Технические науки. 2012. № 3. С. 63-67.

#### Информация об авторах

**Левкин Юрий Степанович**, заведующий лабораторией, Тольяттинский государственный университет. E-mail: [pe@tltsu.ru](mailto:pe@tltsu.ru) Область научных интересов: вибрационные структуры двухфазных газожидкостных потоков.

**Лушкин Игорь Александрович**, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Теплогасоснабжение, вентиляция, водоснабжение и водоотведение», Тольяттинский государственный университет. E-mail: [Waterkafedra@tltsu.ru](mailto:Waterkafedra@tltsu.ru). Область научных интересов: гидравлика и гидродинамика.

### THE INFLUENCE OF 3G AND 4G VIBRATION ON THE DISPERSE STRUCTURE OF LOW-FREQUENCY AND MEDIUM-FREQUENCY OSCILLATION

© 2015 Y. S. Levkin, I. A. Lushkin

Togliatti State University, Togliatti, Russian Federation

The paper is devoted to experiments carried out on the DEVS– 200 A – 1 stationary testing bench that resulted in changes of hydrodynamic processes in the disperse structure under the influence of lateral vibration. The influence of vibration parameters (frequency of vibration and vibration accelerations) changes the structural model of two-phase flows. A classical two-phase structure wherein the whole surface of the elastic tube is caught in the field of lateral vibration is in its initial state prior to a certain threshold of vibration acceleration. The work is not concerned with the problems of structural changes. Two-dimensional graphs show the dependence of hydraulic parameters in the field of vibration influences. Three-dimensional spatial models characterize interdependence between three hydraulic parameters acted upon by vibration processes. Four schedules and two nomograms characterizing the obviousness of hydrodynamic dependences on the influences of vibration on them are presented.

*Two-phase flow; dispersed structure; mode; lateral vibration; frequency of vibration; vibration acceleration.*

## References

1. Wallace G. Nonequilibrium two-phase currents. *Transactions of the ASME. Ser. D. Journal of Basic Engineering*. 1974.
2. Battervors D., Hewitt G. *Teploperedacha v dvukhfaznom potoke* [Heat transfer in a two-phase flow]. Moscow: Energiya Publ., 1980. 328 p.
3. Hewitt J., Hall-Taylor N. *Kol'tsevye dvukhfaznye techeniya* [Annular two-phase flows]. Moscow: Energiya Publ., 1974. 408 p.
4. Hubbard M.D., Dakler A.E. Characteristics of gas-liquid two-phase flows. In the book *«Achievements in the field of heat exchange»*. Moscow: Mir Publ., 1970.
5. Davis M.R. Pressure fluctuations in a vapor-liquid mixture flow. *International Journal of Heat and Mass Transfer*. 1973. V. 16, Iss. 11. P. 2043-2054. doi: 10.1016/0017-9310(73)90107-5
6. Prkofyev V.N. *Dinamika gidroprivoda* [Dynamics of a hydraulic actuator]. Moscow: Mashinostroenie Publ., 1973. 288 p.
7. Slobozhanin G.D., Melkov V.I. O poteryakh davleniya v gidroapparature pri vibratsii. *Mezhvuzovskiy sbornik statey «Gidroprivodi sistemy upravleniya stroitel'nykh i tyagovykh dorozhnykh mashin»*. Novosibirsk: Novosibirskiy universitet Publ., 1977. P. 48-52. (In Russ.)
8. Levkin Yu.S. Pseudo-turbulentnyy vibratsionnyy rezhim stratifitsirovannogo dvukhfaznogo potoka. *Sbornik nauchnykh trudov «Nauka i tekhnologii»*. Moscow: RAN Publ., P. 115-117. (In Russ.)
9. Levkin Y.S. The influence of the lateral vibration at the dispersed structure of the original two-phase flow. *The Second International Conference on Dynamics and Vibroacoustics of Machines*. Samara: Samara State Aerospace University Publ., 2014. P. 20-26. (In Russ.)
10. Levkin Yu.S., Limanova N.I. Problems and prospects of development of engine-building. *Diagnostics of the condition of gas-liquid flows in the field of lateral vibration*. Samara: Samara State Aerospace University Publ., 2011. (In Russ.)
11. Levkin Y.S. Study of influence of transverse vibration on speed two-phase flow dispersed structural model. *University news. North-Caucasian region. Technical sciences series*. 2012. No. 3. P. 63-67. (In Russ.)

## About the authors

**Levkin Yury Stepanovich**, Head of Laboratory, Togliatti State University, Togliatti, Russian Federation. E-mail: [pe@tltsu.ru](mailto:pe@tltsu.ru). Area of Research: vibration structures of two-phase gas-liquid flows.

**Lushkin Igor Aleksandrovich**, Candidate of Science (Engineering), Associate Pro-

fessor, Assistant Professor of the Department of Heat and Gas Supply and Ventilation, Water Supply and Disposal, Togliatti State University, Togliatti, Russian Federation. E-mail: [Waterkafedra@tltsu.ru](mailto:Waterkafedra@tltsu.ru). Area of Research: hydraulics and hydrodynamics.