

## ГАЗОСТРУЙНЫЙ ИМПУЛЬСНЫЙ ИСТОЧНИК

**В.Б.Юферов, Ю.В.Холод, Н.А.Косик, В.Ф.Малец, Е.В.Муфель, А.Н.Озеров**  
**Национальный научный центр «Харьковский физико-технический институт»**  
**61108, г.Харьков, ул.Академическая, 1, Украина**  
**e-mail: [v.yuferov@kipt.kharkov.ua](mailto:v.yuferov@kipt.kharkov.ua), тел. 0572-356326**

Розглянуто деякі характеристики імпульсних пневматичних випромінювачів, призначених для збудження акустичних коливань у газоподібних або рідких середовищах. Надано принципову та електричну схему живлення, деякі електричні і геометричні параметри трьох модифікацій пневмовипромінювачів. Надані осцилограми токового імпульсу через обмотку електромагніта пневмовипромінювача, величина кінетичної енергії газового імпульсу від тисків у випромінювачі і камері з рідиною.

Рассмотрены некоторые характеристики импульсных пневматических излучателей, предназначенных для возбуждения акустических колебаний в газообразных или жидких средах. Приведены принципиальная и электрическая схема питания, некоторые электрические и геометрические параметры трех модификаций пневмоизлучателей. Представлены осциллограммы токового импульса через обмотку электромагнита пневмоизлучателя, величина кинетической энергии газового импульса от давлений в излучателе и камере с жидкостью.

Some performances gas-jet pulsed source intended for excitation of acoustic oscillations in aeriform or fluid mediums surveyed. The electrical and geometrical parameters and circuitry of energy supply of three types of pneumoprojectors are given. The current impulse oscillograms through a winding of a pneumoprojector electromagnet, quantity of a kinetic energy of a gas impulse from pressures in an emitter and cabinet with a fluid are given.

### ВВЕДЕНИЕ

Импульсные пневмоакустические излучатели широко используются в различных областях науки и техники [1-5]. Их функциональное назначение – периодическая или стационарная инжекция сжатого газа в газообразные или жидкие среды для возбуждения акустических колебаний с целью осуществления и ускорения проведения различных технологических процессов.

Запасенная в газе энергия ( $pV$ ) при быстром его расширении может быть превращена в работу, величина которой определяется из соотношения  $p_1 v_1^n = p_2 v_2^n$ , где величины  $p$ ,  $v$ , соответственно, давление и объем,  $n$  – так называемый показатель политропы, может изменяться в пределах  $1 \leq n \leq \gamma$ , в зависимости от степени теплообмена со средой. Если  $n = \gamma$ , а  $\gamma = c_p/c_v$  – отношение теплоемкостей, то реализуется адиабатический режим, и работа при расширении газа может быть определена как:

$$A = \mu \cdot R \cdot T \cdot \frac{1 - (v_1/v_2)^\gamma}{\gamma - 1}$$

В изотермическом режиме величина работы, как известно, определится соотношением [8]:

$$A = \mu \cdot R \cdot T \cdot \ln(v_1/v_2)$$

На рис.1 представлены зависимости работы расширения газа от его давления в накопительной емкости для величин  $\gamma = 1.20, 1.30, 1.41$ . Акустическая мощность, с учетом соответствующего КПД, определится скоростью истечения газа.

В настоящей работе рассматривается одна из конструкций пневмоизлучателя, нашедшая широкое применение в различных очистительных технологиях и физических исследованиях [5,6].

На рис.2 представлена принципиальная схема импульсного пневмоизлучателя с электрической схемой питания.

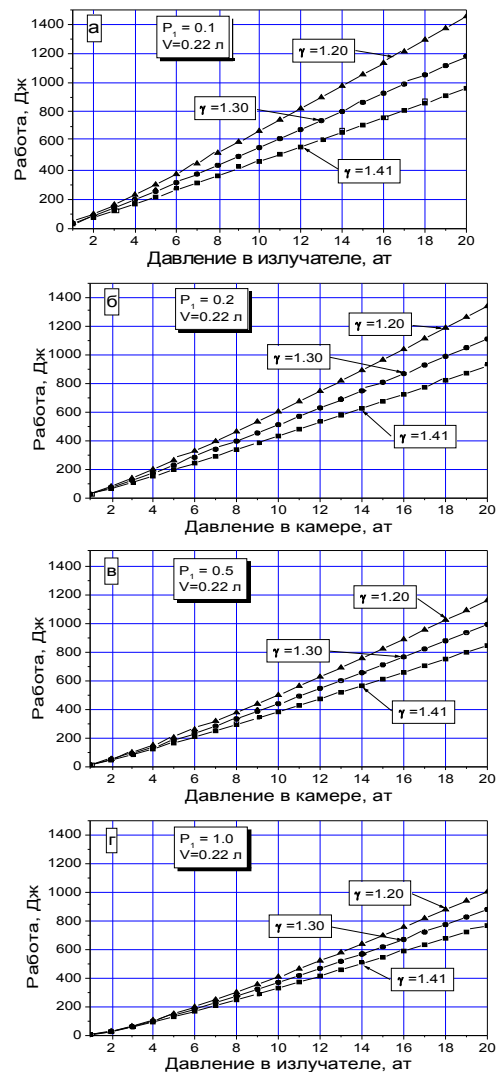


Рис.1 Работа при расширении газа для давлений а – 0.1 ат, б – 0.2 ат, в – 0.5 ат, г – 1 ат

Основными элементами пневмоизлучателя являются электромагнит – 1 с подвижным ярком и запорный элемент – 2, располагающиеся в герметичном корпусе – 3, заполняемом сжатым газом.

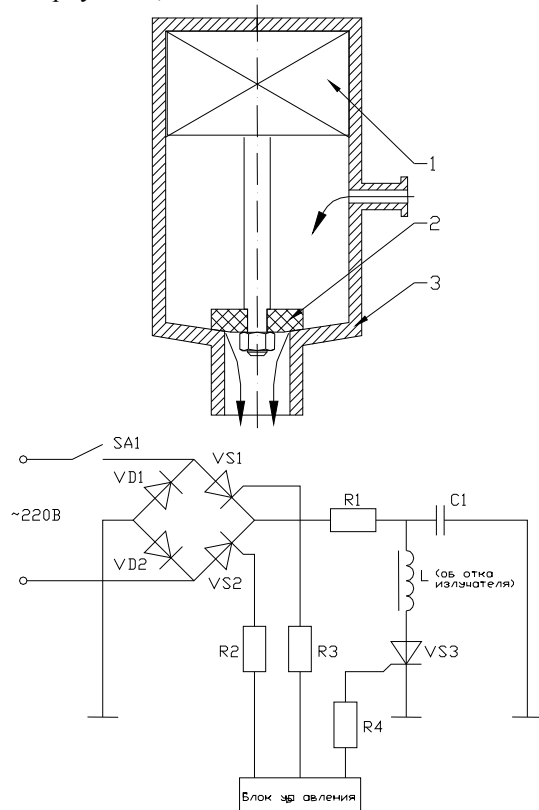


Рис.2. Схематический вид излучателя с электро-схемой питания. 1 – электромагнит, 2 – запорный элемент излучателя, 3 – герметичный корпус

Электромагнит содержит ферромагнитное ярмо, на котором размещена обмотка.

Обмотка электромагнита состоит из двух последовательно соединенных катушек, объединенных в один неподвижный узел с ярмом и корпусом 3 эпоксидной смолой. При подаче импульса тока через обмотку электромагнита, подвижный ярлык, связанный

с запорным элементом, притягивается к ярму электромагнита, открывая запорный элемент и выпуская из объема запасенный сжатый газ.

Для получения токового импульса используется разряд электролитического конденсатора большой ёмкости, являющегося одним из основных элементов электрической схемы. После значительного снижения величины тока через обмотку электромагнита упругий элемент пневмоизлучателя возвращает подвижный ярлык и запорный элемент в первоначальное, закрытое состояние. Корпус излучателя вновь заполняется сжатым газом, и возможен повторный газовый импульс.

Источник питания создает токовые импульсы с амплитудой до 60 А, длительностью около 50 мс, с частотой около 1 Гц.

При такой частоте следования импульсов охлаждение пневмоизлучателя осуществляется как за счет естественной конвекции окружающего воздуха, так и за счет рабочего сжатого газа. При этом температура излучателя при круглосуточной работе не превышает +40 °С. На рис.3. представлен внешний вид пневмоизлучателей ПИК-1 и ПИК-2 в защитных кожухах, с патрубками для отвода сжатого газа. Были исследованы три модификации пневмоизлучателей ПИК 1-3, несколько различающихся по электрическим и пневматическим параметрам. В таблице 1 представлены некоторые параметры этих модификаций пневмоизлучателей.



Рис.3. Внешний вид пневмоизлучателей ПИК-1 и ПИК-2

Таблица 1

**Параметры пневмоизлучателей**

Тип пневмо-излучателя	Индуктивность электромагнита, Гн			Объем камеры для сжатого газа, см <sup>3</sup>
	Якорь расположен на 4 мм от ярма	Якорь прижат к ярму	Якорь удален	
ПИК-1	0.20	1.57	0.125	220
ПИК-2	0.22	1.26	0.126	220
ПИК-3	0.24	0.76	0.086	780

На рис.4. представлены осциллограммы токового импульса через обмотку электромагнита излучателя. Параметром кривых является давление воздуха в пневмоизлучателе. Поскольку электромагнит пневмоизлучателя в процессе прохождения токового импульса является переменной индуктивностью (см данные таблицы 1), форма токового импульса значительно отличается от синусоидальной. Это объясняется не только переходом ярма электромагнита из разомкнутого положения в замкнутое (измерение изменения величины индуктивности при этом было проведено на малых токах), но и достижением со-

стояния насыщения железа при больших токах (резкое уменьшение индуктивности при больших токах, что видно из формы переднего фронта импульса). Момент включения пневмоизлучателя может приходиться как на передний, так и на задний фронты импульса и виден по резкому изменению крутизны. Второй максимум тока при временах около 40... 50 мс, определяется снижением индуктивности разрядного контура, т.е. закрытием пневмоизлучателя. Как уже указывалось, снижение тока через обмотку магнита выводит ярмо из состояния насыщения, и индуктивность системы вновь возрастает, что увели-

чивает длительность токового импульса. Следует заметить, что при открытом отверстии для инъекции, газ выходит из накопительного объема пневмоизлучателя, на 80...90% за время около 5 мс. Параметром кривых является давление в излучателе.

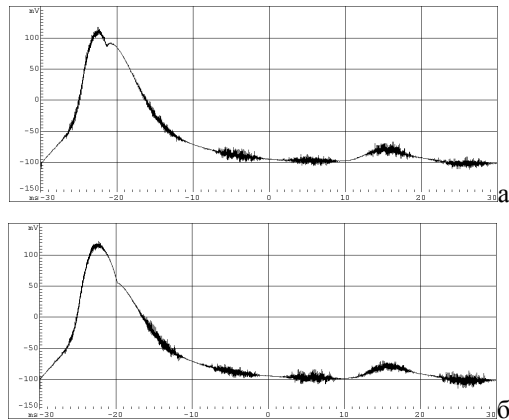


Рис.4. Осциллограммы токового импульса через обмотку электромагнита излучател., а – для  $P=0$  ат, б – для  $P=3$  ат

На рис.5 представлена зависимость кинетической энергии (в относительных единицах), выделившейся в системе в зависимости от величины давления над зеркалом жидкости, при величине давления в пневмоизлучателе ПИК-3 8 атмосфер.

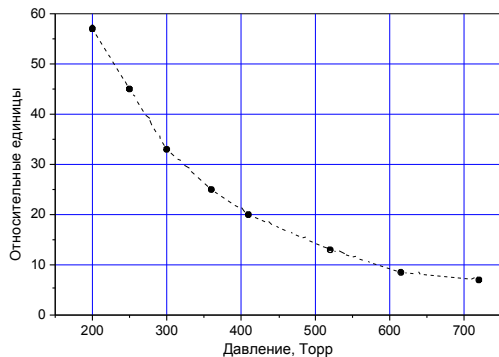


Рис.5. Относительная величина кинетической энергии импульса газа в воду при пониженном давлении (давление в излучателе  $P=8$  ат)

На рис.6 представлены зависимости кинетической энергии, выделившейся в системе в зависимости от величины давления в излучателе, для всех трех образцов пневмоизлучателей ПИК 1-3 при инъекции в жидкость при атмосферном давлении над её зеркалом и в систему с пониженным давлением.

Измерения проводились баллистическим методом. Как видно, величина энергии существенно зависит от конечного давления при расширении газа.

Для излучателей ПИК 1 и 2 положительная производная роста энергии наблюдается при достижении звуковой скорости в критическом сечении, что для воздуха происходит при давлении около 3 ат.

В то же время для излучателя ПИК-3 отрицательная производная связана с неполным выходом газа

из объема излучателя, что наблюдалось для данной системы электропитания.

Описанные модификации пневмоизлучателей использовались в экспериментах по очистке кварцевого песка [9] от поверхностных примесей (в основном гидроокислов железа) и позволили существенно улучшить его качество – чистоту (см. рис. 7, на котором представлены зависимости чистоты песка от количества импульсов пневмоизлучателя).

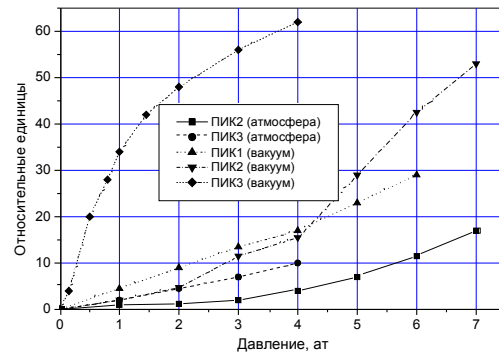


Рис.6. Кинетическая энергия газового импульса для различных излучателей и условий инъекции газа

Следует заметить, что проведенные ресурсные испытания пневматических излучателей позволили получить к настоящему времени при рабочих, для системы очистки, параметрах более 700 тыс. импульсов без поломок.

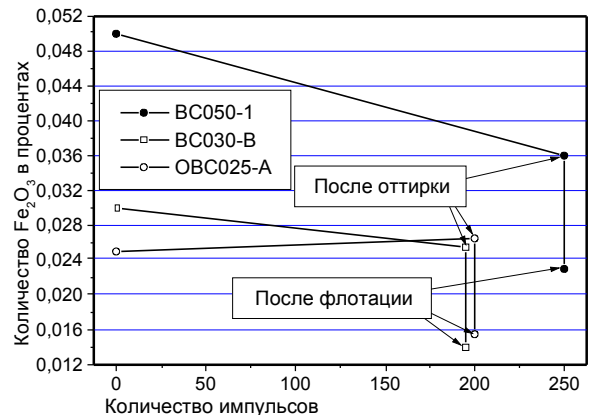


Рис.7. Зависимость чистоты песка от количества импульсов при оттирке и последующей флотации

Исследования ресурсных возможностей излучателей продолжаются.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Б.А.Агранат, М.Н.Дубровин, Н.Н.Хавский, Г.И.Эскин. *Основы физики и техники ультразвука*. М.: "Высшая школа", 1987.
2. Ю.В.Холод, Е.И.Скибенко, Б.С.Гурьянов, В.Г.Артюх, В.Б.Нестеренко, И.Ф.Федотов, В.Б.Юферов, А.А.Разумный, С.Я.Чеканов, Г.Н.Гутник. *Способ очистки изделий*. Патент Украины № 18750 1996 г., кл. В08В 3/04.

3. Ю.В.Холод, В.Б.Юферов, Е.И.Скибенко, В.Б.Нестеренко, И.Ф.Федотов. *Способ мойки полых изделий*. Патент Украины № 19263 1997 г., кл. В08В 3/04.
4. В.Б.Юферов, Е.И.Скибенко, Ю.В.Холод, В.Г.Артюх. Об очистке пространственно-сложных поверхностей в акустических полях с широким спектром излучения // *Труды Украинского Вакуумного Общества*, том 1, 1995 г., с.70–73.
5. В.Б.Юферов, Е.И.Скибенко, Ю.В.Холод, Л.Г.Сороковой, Е.В.Муфель, В.Ф.Малец. Установка стирки, мойки, очистки в акустических полях с широким спектром частот // *Международный симпозиум "Проблемы усовершенствования электрических машин и аппаратов. Теория и практика. SIEMA'2000"*, 20-21 октября 2000 г., г.Харьков, ХГПУ.
6. В.Б.Юферов, Е.И.Скибенко, Ю.В.Холод, Л.Г.Сороковой, Е.В.Муфель, В.Ф.Малец, В.М.Шулаев. Очистка поверхностей изделий машиностроения от индустриальных масел в акустических полях гидродинамических излучателей с широким спектром частот (вакуумная мойка) // *Научно-практический симпозиум ОТТОМ, "Оборудование и технологии термической обработки металлов и сплавов в машиностроении"*, 28-31 августа 2000г., г.Харьков, Украина.
7. Ю.В.Холод, В.Б.Юферов, В.М.Шулаев. *Пневматический излучатель*. Патент Украины 42501 2001г., кл. В08В3/00
8. А.И.Китайгородский. *Введение в физику*. М.: «Наука», 1973.
9. В.Б.Юферов, Ю.В.Холод, Н.А.Косик, Е.В.Муфель, В.Ф.Малец. Очистка кварцевого песка от примесей в акустических полях // *Вестник НТУ "ХПИ" Сборник научных трудов. Тематический выпуск: Проблемы усовершенствования электрических машин и аппаратов. Теория и практика*. г.Харьков, 2001, №16, с.174–175.