АКУСТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ, 2012, том 58, № 3, с. 396–401

АКУСТИЧЕСКАЯ ЭКОЛОГИЯ. ШУМЫ И ВИБРАЦИЯ

УДК 534.833

ЭФФЕКТИВНОСТЬ РАБОТЫ РЕЗОНАТОРОВ ГЕЛЬМГОЛЬЦА В ЗАМКНУТЫХ ВОЛНОВОДАХ С ЖИДКИМИ РАБОЧИМИ СРЕДАМИ

© 2012 г. С. В. Горин, М. В. Куклин

Севмашвтуз – филиал Санкт-Петербургского государственного морского технического университета

164500 Северодвинск, Архангельская область

E-mail: kuklinmikhail@rambler.ru

Поступила в редакцию 26.12.2009 г.

Представлены экспериментальные исследования работы резонаторов Гельмгольца в замкнутом волноводе, представляющем собой реальную гидравлическую систему с центробежным насосом. На примере дискретных составляющих спектра гидродинамического шума рассмотренного волновода показано, что использование резонаторов может как снижать уровни шума, так и приводить к их росту.

Ключевые слова: резонатор Гельмгольца, колебания рабочей среды, трубопроводная система.

В настоящее время одной из актуальных задач прикладной акустики является снижение низкочастотных колебаний в рабочих средах волноводов, например в вентиляционных и гидравлических системах. Для снижения уровней колебаний на низких частотах применяются реактивные глушители шума, предлагаются методы расчета эффективности их использования в воздуховодах конечных размеров [1, 2]. Наиболее простыми и известными реактивными глушителями являются резонаторы Гельмгольца, использование которых позволяет снижать как уровни колебаний, так и улучшать тяговые характеристики волноводов [3]. Большинство теоретических и экспериментальных исследований эффективности работы резонаторов Гельмгольца выполнено для незамкнутых волноводов с газообразными рабочими средами. Однако в судостроении, атомной энергетике, космической, авиационной и других областях техники широко используются замкнутые волноводы с жидкими рабочими средами.

С этой целью были проведены испытания резонаторов Гельмгольца в реальном волноводе. Источником колебаний являлся циркуляционный насос *1* марки ЦН-104, обороты которого плавно регулировались от 500 до 3000 об/мин. Объект исследований включал в себя емкость *2* объемом 5 м^3 с клапаном вентиляции воздуха *3*, бак подпитки *4*, трубопровод *5* $D_у$150, невозвратные клапаны *6*. Давлением рабочей среды (воды) варьировалось системой подпитки, состоящей из трубок *7*, ручного *8* и плунжерного *9* насосов (рис. 1).

Испытаниям подвергались резонаторы с объемом полости 0.011 м^3, длиной горла 0.195 м, диаметром горла 0.05 м (рис. 2). Частота собственных колебаний резонатора равнялась 197 Гц. Резонаторы устанавливались перед и после источника колебаний – насоса, т.е. на всасывающем и напорном участках. Для измерения и анализа колебаний в рабочей среде волновода использовался виброакустический измерительный комплекс на базе персонального компьютера [4]. Приемником звука служил гидрофон типа 8103 (фирма "Брюль и Къер"), сигналы от которого через предварительный усилитель типа 2635 (фирма "Брюль и Къер") поступали на персональный компьютер.

Эффективность работы резонатора, области частот ослабления и усиления звука можно определить как [5]

$$L = 20\lg\left|1 + \frac{Z_И Z_Н}{Z_В(Z_И + Z_Н)}\right|,$$

где $Z_И$, $Z_Н$, $Z_В$ – акустические сопротивления (импедансы) волновода со стороны источника колебаний, со стороны нагрузки (защищаемой части трубопроводной системы) и собственно импедансного включения соответственно.

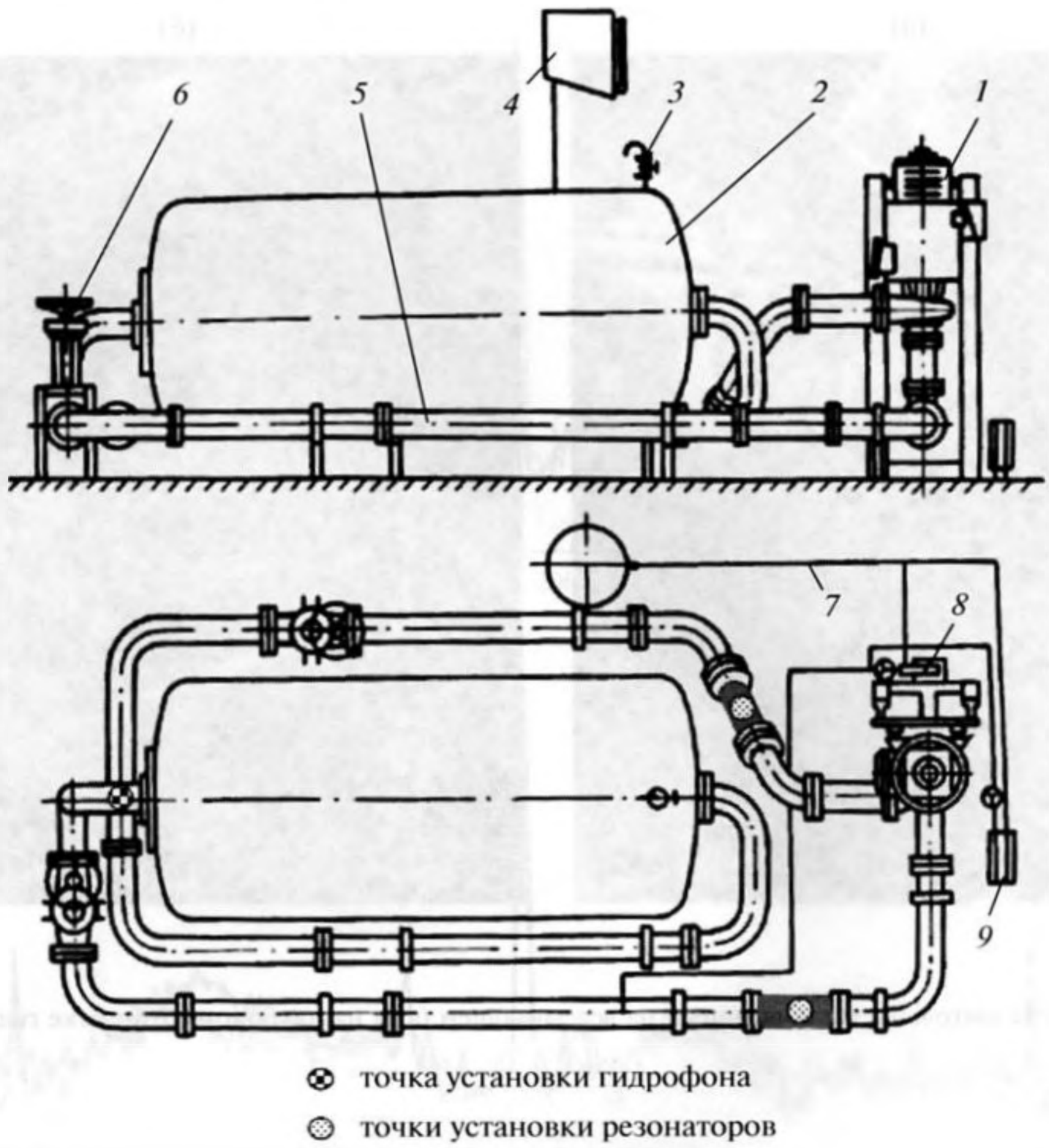

Рис. 1. Стенд гидродинамический.

Для повышения эффективности снижения колебаний необходимо свести к минимуму акустическое сопротивление импедансного включения. Эффективность работы резонаторов определялась по разнице уровней пульсаций давления рабочей среды в трубопроводной системе стенда до и после установки резонаторов. Анализ спектрограмм колебаний давления рабочей среды подтверждает, что снижение колебаний давления имеет место только в области частот, лежащих вблизи частоты собственных колебаний резонатора. Наибольшее снижение колебаний давления отмечено на лопастной частоте насоса при совпадении с частотой собственных колебаний резонатора. Уровень пульсации давления на лопастной частоте циркуляционного насоса ($f_{лоп}$ = 197 Гц) при установке резонатора на напорном участке снизился на 22.5 дБ (рис. 3а), при установке на всасывающем участке – всего на 3 дБ (рис. 3б). При одновременной установке двух резонаторов и на всасывающем, и на напорном участках волновода уровни колебаний давления на лопастной частоте насоса $f_{лоп}$ = 197 Гц снижаются на 23.5 дБ по сравнению с уровнями колебаний без резонаторов (рис. 3в). Изменение статического давления рабочей среды от 0.1 до 2 МПа не оказывает влияния на эффективность резонаторов.

Резонаторы были изготовлены из металла и не имели демпфирующих элементов, их добротность была высока, а резонансная область частот мала. Так, увеличение лопастной частоты всего на 4 Гц – со 197 до 201 Гц привело к возрастанию уровней колебаний на лопастной частоте насоса со 107.5 до 136 дБ, т.е. на 28.5 дБ (рис. 4а). При этом уровни колебаний на лопастной частоте насоса в трубопроводной системе с резонаторами оказались существенно выше уровней колебаний в случае, когда резонаторов не было, т.е. имелась

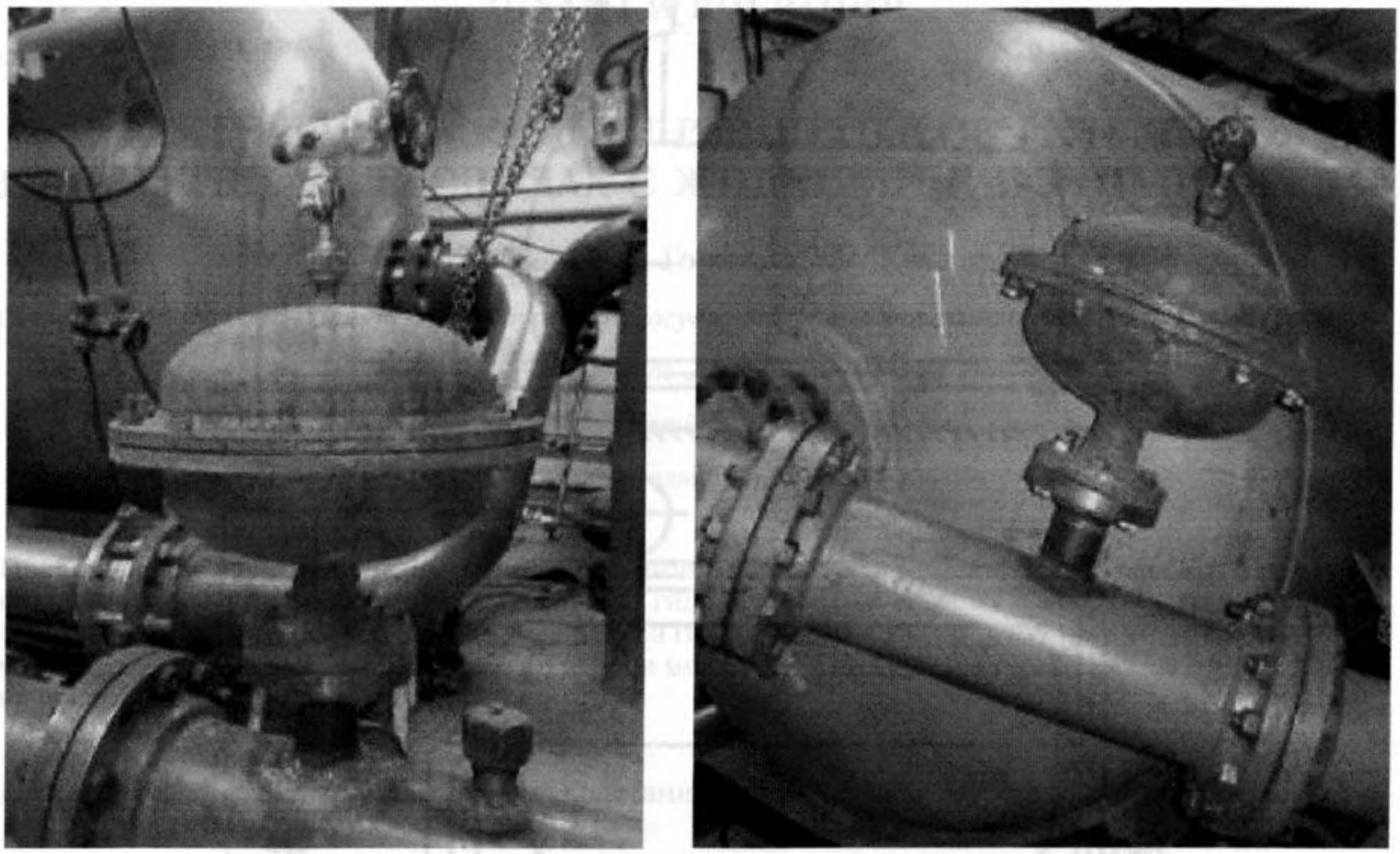

Рис. 2. Резонатор Гельмгольца, установленный на всасывающем (а) и на напорном (б) участке гидродинамического стенда.

отрицательная эффективность. Аналогичная картина наблюдалась и при уменьшении лопастной частоты на 4 Гц – со 197 до 193 Гц (рис. 4а), что приводило к возрастанию уровней пульсаций давления на лопастной частоте насоса со 107.5 до 134 дБ, т.е. на 26.5 дБ. Уровни колебаний давления на лопастных частотах циркуляционного насоса $f_{лоп}$ = 193 Гц (рис. 4б), $f_{лоп}$ = 201 Гц (рис. 4в) при установке резонаторов на всасывающем и напорном участках увеличились на 15 дБ. Отмеченное обстоятельство ограничивает область применения классических резонаторов Гельмгольца.

Выполненные экспериментальные исследования работы резонаторов Гельмгольца в замкнутом волноводе показали, что наряду с положительной эффективностью в области резонансных частот гасителя пульсаций будет иметь место слева и справа от этой области отрицательные эффективности. Это необходимо учитывать при решении практических задач. Резонаторы Гельмгольца можно применять в трубопроводных системах, где величина статического давления меняется, а также в любых замкнутых системах с однофазными жидкими средами.

ВЫВОДЫ

Для снижения дискретных составляющих уровней колебаний в замкнутых волноводах с жидкими рабочими средами возможно использование низкочастотных гасителей – резонаторов Гельмгольца.

Наряду с положительной эффективностью снижения колебаний резонатором в области его резонансных частот, слева и справа от этой области имеются частотные диапазоны с отрицательной эффективностью, в которых уровни колебаний при установке резонатора возрастают.

Наибольшее снижение уровней колебаний происходит на частоте собственных колебаний резонатора Гельмгольца, величина этого снижения в существенной мере зависит от места установки резонатора в волноводе.

На эффективность снижения колебаний резонатором в волноводе не влияют такие факторы, как величина статического давления среды и скорость потока.

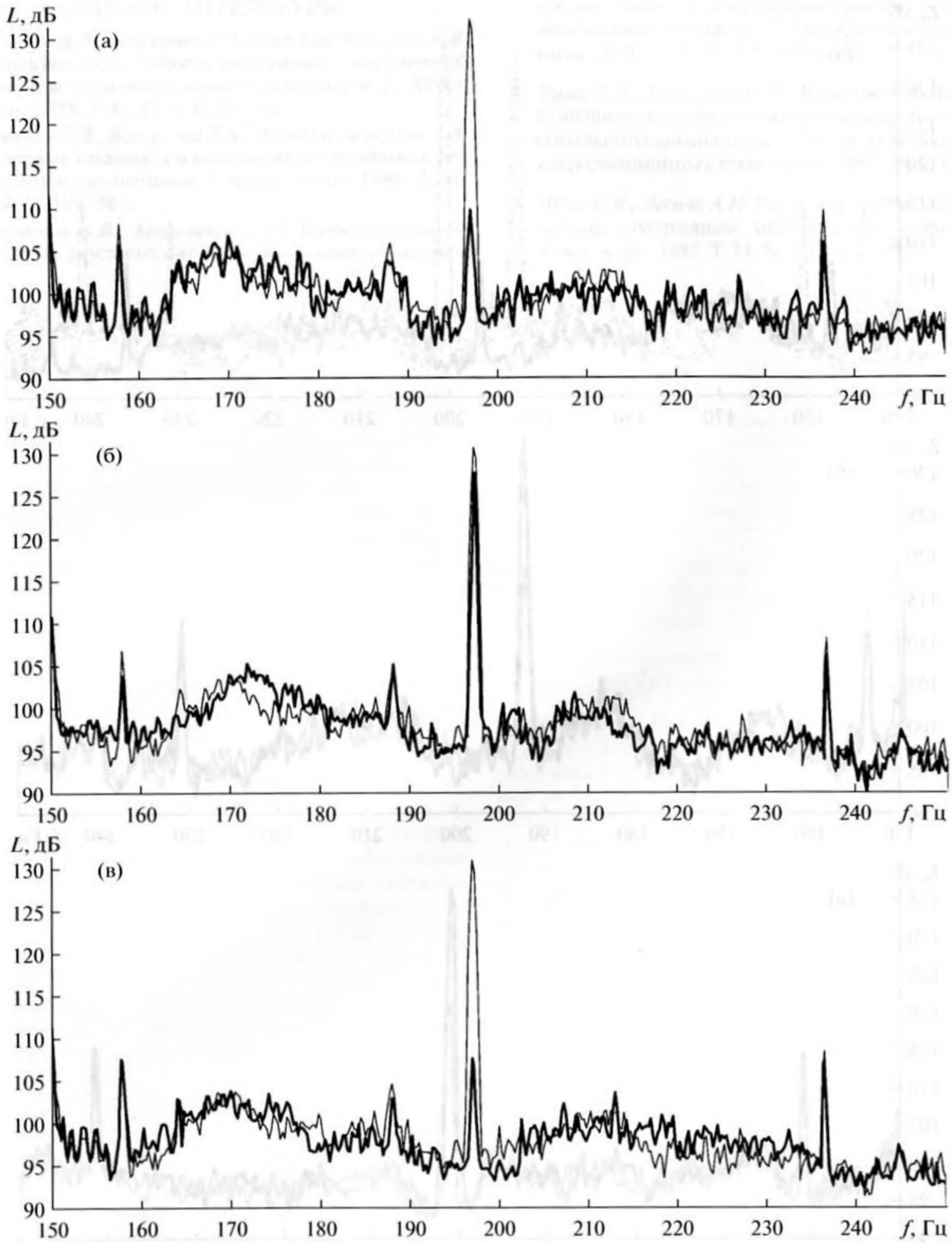

Рис. 3. Спектрограммы уровней пульсаций давления в трубопроводной системе: с резонатором ($f_р$ = 197 Гц), установленным на напорном (а), всасывающем (б) участке; с двумя резонаторами ($f_р$ = 197 Гц), установленными на напорном и всасывающем участке (в) с лопастной частотой циркуляционного насоса $f_{лоп}$ = 197 Гц. Тонкая линия – без резонаторов, толстая линия – с резонаторами.

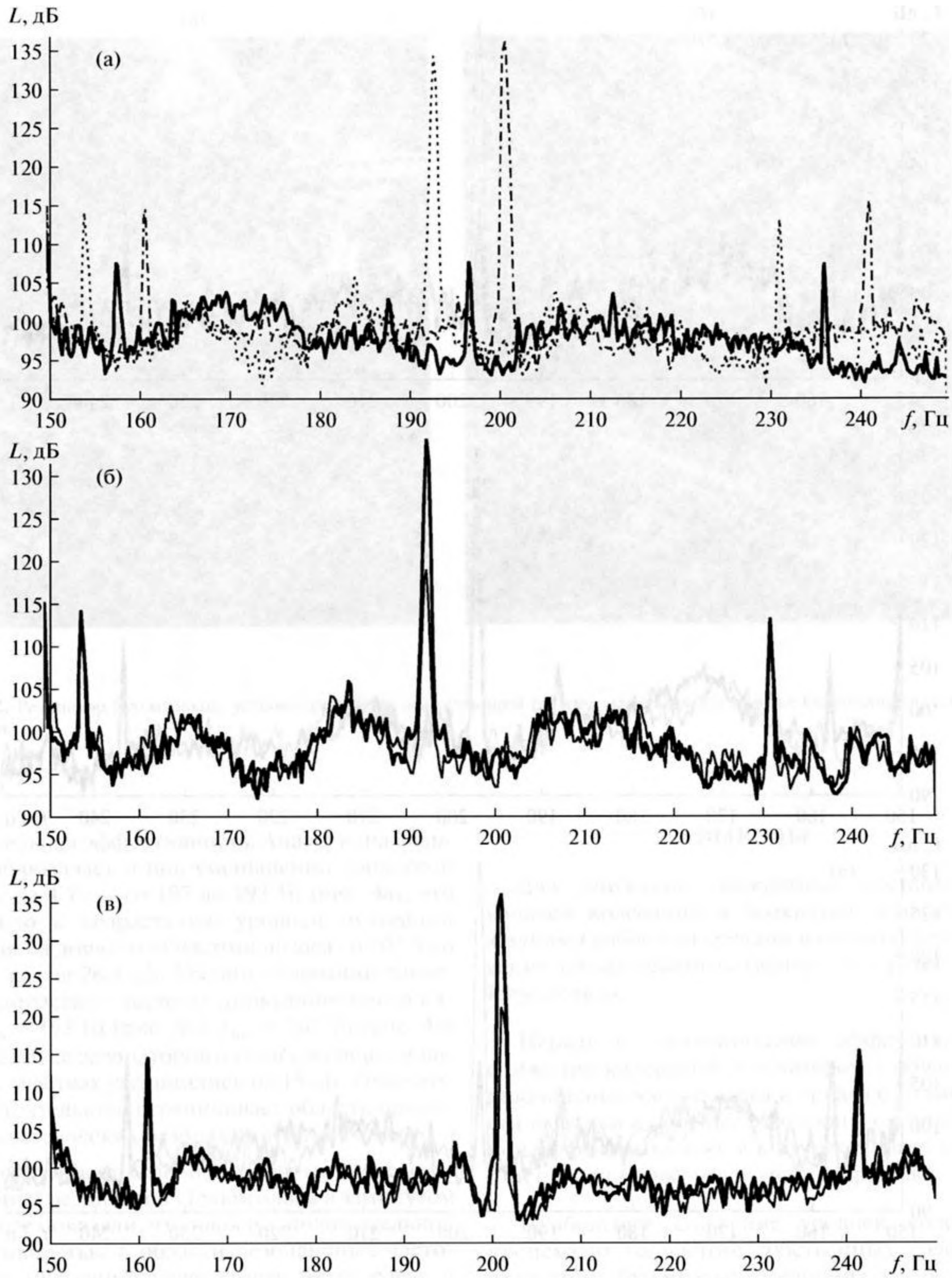

Рис. 4. Спектрограммы уровней пульсаций давления в трубопроводной системе с двумя резонаторами ($f_р$ = 197 Гц), установленными на напорном и всасывающем участке с лопастной частотой циркуляционного насоса (а): толстая линия – $f_{лоп}$ = 197 Гц, пунктир – $f_{лоп}$ = 193 Гц, тонкая линия – $f_{лоп}$ = 201 Гц; $f_{лоп}$ = 193 Гц (б), $f_{лоп}$ = 201 Гц (в): тонкая линия – без резонаторов, толстая линия – с резонаторами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Баженов Д.В., Баженова Л.А., Римский-Корсаков А.В.* Эффективность работы реактивных глушителей шума в воздуховодах конечных размеров // Акуст. журн. 1995. Т. 41. № 1. С. 22–26.
2. *Баженов Д.В., Баженова Л.А., Римский-Корсаков А.В.* Волновые процессы в конечном воздуховоде с реактивным глушителем // Акуст. журн. 1995. Т. 41. № 4. С. 559–562.
3. *Потапкин А.В., Москвичев Д.Ю.* Влияние резонаторов на акустические и тяговые характеристики прямоточной эжекторной камеры при вибрационном горении водорода // Теплофизика и аэромеханика. 2008. Т. 15. № 3. С. 535–540.
4. *Горин С.В., Макарова О.В., Шувалов А.А.* Виброакустический измерительный комплекс на базе персонального компьютера // Вестн. компьютерных и информационных технологий. 2007. № 2. С. 54–56.
5. *Горин С.В., Лесняк А.Н.* Распространение звука в волноводе, содержащем импедансные включения // Акуст. журн. 1987. Т. 33. № 5. С. 856–862.