

УДК 699.844:004.94

**ПРИМЕНЕНИЕ СТЕКЛЯННЫХ ТРУБОК НА ОКОННЫХ ОГРАЖДЕНИЯХ
ДЛЯ УВЕЛИЧЕНИЯ ЗАЩИЩЕННОСТИ РЕЧЕВОЙ ИНФОРМАЦИИ**

*д-р техн. наук, проф. В.К. ЖЕЛЕЗНЯК, канд. тех. наук К.Я. РАХАНОВ, А.В. КАЗЮТИН
(Полоцкий государственный университет)*

Предлагается и обосновывается способ увеличения защищенности речевой информации путем крепления стеклянных трубок (ребер жесткости) на оконное ограждение. Приводится методика оценки изменения резонансов оконного ограждения с установленными ребрами жесткости. С помощью разработанной лабораторной установки выполнено исследование оконного ограждения без и с установленными ребрами жесткости, согласно схем размещения. Рассчитаны показатели изменения максимального резонанса оконного ограждения при установленных ребрах жесткости. Определены схемы с наибольшим и наименьшим показателями уровня ослабления общего максимального резонанса, показан эффект смещения резонансов по частоте при установленных ребрах жесткости.

Ключевые слова: защищенность речевой информации, исследование резонанса, оконное ограждение, разборчивость речи.

Введение. Изоляция воздушного шума помещения является важнейшей его характеристикой с точки зрения защиты от утечки речевой информации. Из всех элементов ограждающих конструкций оконные ограждения наиболее уязвимы к ослаблению звуковых частот. В работе [1] приводится оценка звукоизоляции воздушного шума оконными ограждениями за счет изменения расчета толщины стекол и увеличения воздушного промежутка между ними, обосновывается применение стекол с различными толщиной и промежутками между ними для наибольшей защищенности речевой информации. Однако на практике изменение толщины стекол и расстояний между ними не всегда возможно.

Для уменьшения звукового уровня использование звукоизоляции более эффективно, чем использование звукопоглощения внутри помещения [2]. Так, в исследовании металлических конструкций, например в работе [3], для увеличения жесткости оконных ограждений рекомендуют изменять геометрические параметры оконного ограждения – форму сечения. При расчете металлических конструкций главным практическим средством увеличения жесткости является маневрирование геометрическими параметрами системы, а не характеристикой металлов, которая определяется лишь полностью атомно-кристаллической решеткой основного компонента.

Наиболее простой способ уменьшения деформаций металлических конструкций заключается в уменьшении уровня напряжений (усилении конструкции). Однако этот путь не всегда рационален, так как он сопряжен со значительным увеличением массы конструкции. В случае изгиба рациональным способом уменьшения деформаций является выбор наиболее оптимальной формы сечений, условий нагружения, типа и расстановки опор.

По аналогии с металлическими конструкциями в данной работе предлагается установка ребер жесткости на оконное ограждение, что изменяет форму сечения оконного ограждения и является более рациональной альтернативой изменению толщины стекол и расстояний между ними.

Ребра жесткости оконного ограждения. Ребра жесткости могут применяться без замены оконного ограждения. Ребра жесткости представляют собой прозрачные стеклянные трубки, изготовленные из кварцевого песка и некоторых других материалов, которые не нарушают интерьер и экстерьер. На рисунке 1 представлен поперечный разрез ребра жесткости для оконного ограждения с установленной стеклянной трубкой. Крепление ребер жесткости обеспечивается плотным прилеганием к стеклу оконного ограждения и нанесением клеящего состава вдоль места прилегания ребра к оконному ограждению.

Размещение стеклянных трубок на оконном ограждении может выполняться различными способами (схемами ребер жесткости). Схема ребер жесткости – это способ расположения стеклянных трубок на стекле оконного ограждения. Некоторые возможные схемы ребер жесткости, над которыми проводились исследования, представлены на рисунке 2.

Оконное ограждение схематично обозначено квадратом, внутри которого прямыми линиями изображена одна из схем ребер жесткости, вибропреобразователь изображен точкой в центре квадрата.

В зависимости от используемой схемы ребер жесткости изменяется максимальный резонанс оконного ограждения. Оценку изменения максимального резонанса предлагается выполнять на лабораторной установке с помощью методики, представленной ниже.

Методика исследования резонансов. Уровень защищенности речевой информации в работах [1, 4, 5] принято описывать с помощью информационного показателя – разборчивости речи. Для оценки разборчивости частотный речевой диапазон (100 – 10000 Гц) разбивают на равноартикуляционные полосы, вносящие одинаковый вклад в разборчивость речи [4].

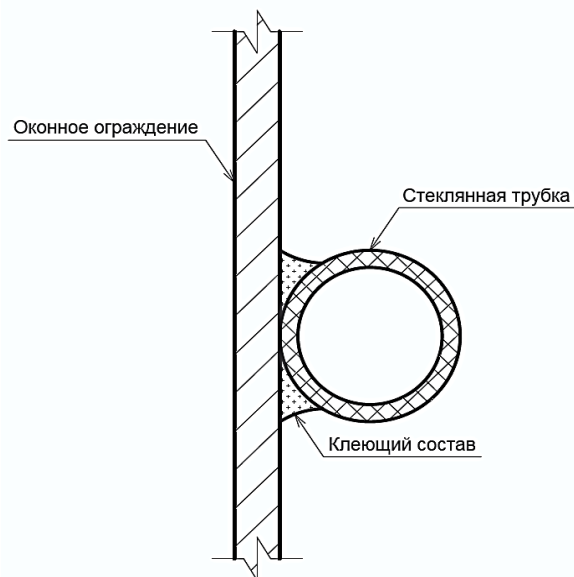


Рисунок 1. – Поперечный разрез ребра жесткости, установленного на оконном ограждении

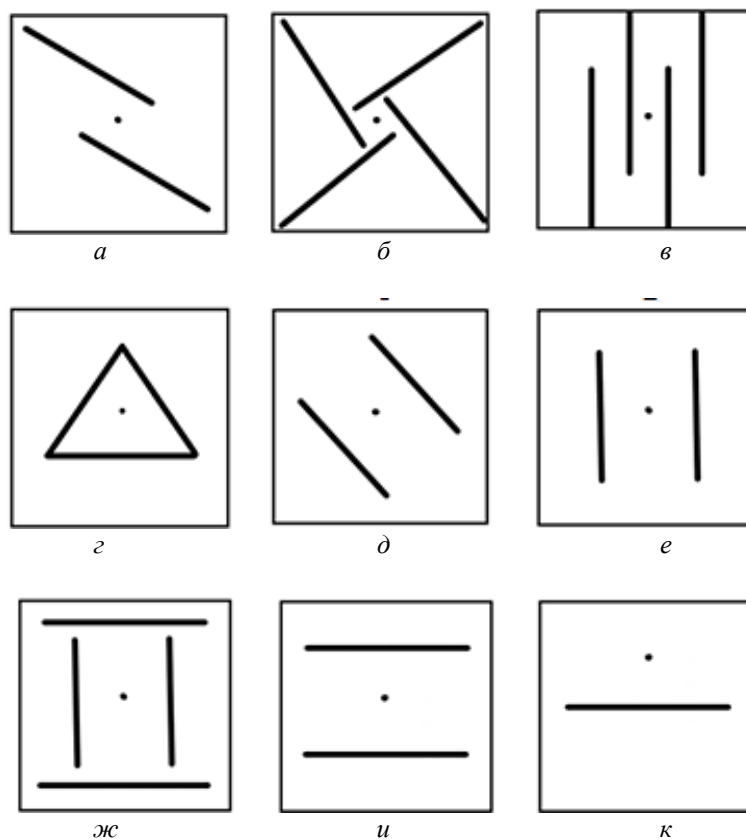


Рисунок 2. – Схемы ребер жесткости:

a – параллельные сдвинутые; *б* – мельница; *в* – четыре сдвинутых; *г* – треугольник; *д* – две параллельные наклонные; *е* – параллельные вертикальные; *ж* – две вертикальные и две горизонтальные; *и* – параллельные горизонтальные; *к* – одиночная

Максимальный резонанс оконного ограждения – это самый мощный резонанс в полосе равной разборчивости речи. Чем меньше уровень максимального резонанса, тем больше защищена речевая информация в полосе.

Уровень изменения максимального резонанса оконного ограждения без установленных ребер жесткости по отношению к тому же оконному ограждению с установленными ребрами жесткости определяют по следующей методике.

1. Измерение максимальной амплитуды резонанса в полосах для стекла без установленных ребер жесткости U_{Ri0} , здесь в индексе i – номер полосы; 0 – оконное ограждение без установленных ребер жесткости. Величина амплитуды резонанса показывает, на какое значение в полосе частот, колебательная система ослабляет или усиливает звук.

2. Расчет показателя максимального резонанса по сумме максимальных амплитуд резонансов для оконного ограждения без установленных ребер жесткости Σ_{R0} :

$$\Sigma_{R0} = \sum_{i=20}^{20} U_{Ri0}. \quad (1)$$

3. Производятся измерения в каждой из 20-ти равноартикуляционных полос. Для всех конфигураций ребер жесткости фиксируется максимальная амплитуда резонанса U_{Rin} , где i – номер полосы; n – номер конфигурации ребер жесткости. В результате получаем матрицу размером $i \times n$.

4. Выполняется расчет показателя максимального резонанса для оконного ограждения с установленными ребрами жесткости с помощью суммы максимальных амплитуд резонансов Σ_{Rn} :

$$\Sigma_{Rn} = U_{R1n} + U_{R2n} + \dots + U_{R19n} + U_{R20n} = \sum_{i=1}^{20} U_{Rin}, \quad (2)$$

где i – номер полосы;

n – номер конфигурации ребер жесткости;

U_{Rin} – напряжение резонанса в полосе;

5. Изменение показателя δ_n максимального резонанса оконного ограждения с установленными ребрами жесткости к оконному ограждению без них, выраженное в децибелах

$$\delta_n = 20 \lg \frac{\Sigma_{Rn}}{\Sigma_{R0}}. \quad (3)$$

6. По полученным значениям δ_n определяется конфигурация с максимальным и минимальным показателем изменения максимального резонанса оконного ограждения.

Применение методики исследования резонансов и проведение эксперимента невозможно без создания лабораторной установки.

Лабораторная установка. Лабораторная установка представляет собой совокупность приборов и устройств, а также оконное ограждение (стеклопакет). Блок схема установки представлена на рисунке 3.

От источника гармонических колебаний 1 подаются сигналы с различными частотами, имеющими напряжение $U = 1,1$ В. Сигналы усиливаются с помощью усилителя мощности звуковых частот 2 до $U = 9,5$ В и излучаются через акустическую систему. Акустическая система 3 с двумя электродинамическими головками с плоскими сотовыми диафрагмами 25ГДШ-2М располагается на расстоянии 1 м от оконного ограждения. Каждая электродинамическая головка и ящик экранированы.

Каждое отдельное стекло оконного ограждения 4, на которое падают звуковые волны, следует рассматривать как тонкую пластину, получающую под внешним воздействием деформации изгиба. Защемление оконного ограждения выполнено по периметру согласно варианту 9, представленному в работе [6] и обеспечивает максимальное ослабление звукового сигнала. Толщина каждого стекла 3 мм, расстояние между стеклами 10 мм, размер стеклопакета оконного ограждения составляет $400 \times 150 \times 200$.

Уровень звукового давления на оконное ограждение, регистрирует вибропреобразователь AP2029-10 5 внутри выделенного помещения, подключенный через согласующее устройство AG01 6 к аналогово-цифровому преобразователю (АЦП) E14-440 7. АЦП, в свою очередь, передает оцифрованные сигналы

на ПЭВМ 8, на котором установлено программное обеспечение (ПО) для отображения сигналов LGraph 2. С помощью LGraph 2 визуально регистрируется максимальная амплитуда резонанса, в пределах каждой из 20 полос равной разборчивости речи, для всех конфигураций ребер жесткости.

Согласующее устройство AG01 6 обеспечивает разделение постоянной составляющей источника питания и переменной составляющей измеряемого сигнала вибропреобразователя со встроенным преобразителем. Основные характеристики вибропреобразователя представлены в таблице 1.

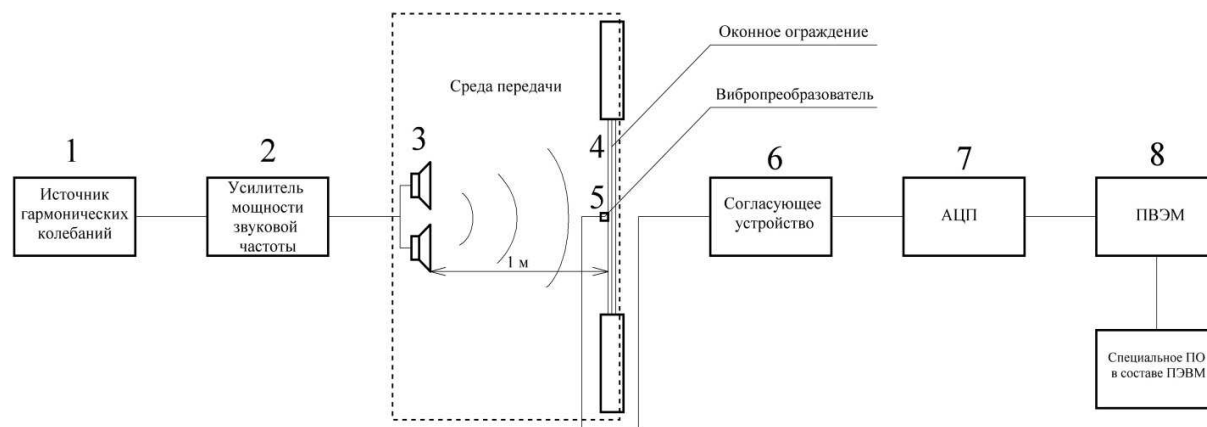


Рисунок 3. – Блок схема установки:

- 1 – источник гармонических колебаний; 2 – усилитель мощности звуковой частоты;
- 3 – акустическая система из 2-х динамиков; 4 – оконное ограждение (стеклопакет);
- 5 – вибропреобразователь; 6 – согласующее устройство; 7 – аналогово-цифровой преобразователь;
- 8 – персональная электронно-вычислительная машина типа ноутбук

Таблица 1. – Основные характеристики вибропреобразователя AP2029-10

Наименование характеристики	Размерность	Значение
Рабочий диапазон температур	°С	– 40 ... +125
Рабочий диапазон частот (неравномерность ±1дБ)	Гц	0,5 ... 20 000
Частота установочного резонанса в осевом направлении	кГц	60
Уровень шума, СКЗ (1 Гц – 10 кГц)	м/с ²	< 0,002

Полученные результаты. Эксперимент выполнялся в лаборатории при температуре окружающего воздуха +18 С°. Измерения проводились в диапазоне частот от 100 до 10 000 Гц. Полученное значение изменения максимального резонанса для оконного ограждения без установленных ребер жесткости составило $\sum_{R0} = 0,1117$ В.

В таблице 2 представлены показатели максимального резонанса оконного ограждения с установленными ребрами жесткости и изменение показателей максимального резонанса с установленными ребрами жесткости, выраженные в децибелах.

Таблица 2. – Показатели максимального резонанса оконного ограждения с установленными ребрами жесткости и изменение показателей максимального резонанса с установленными ребрами жесткости

Показатели изменения резонансов	Схемы ребер жесткости (рисунок 2)									
	а	б	в	г	д	е	ж	и	к	
Показатели максимального резонанса оконного ограждения с установленными ребрами жесткости \sum_{Rn} , В	0,121	0,101	0,099	0,100	0,099	0,113	0,097	0,100	0,103	
Изменение показателей максимального резонанса с установленными ребрами жесткости δ_n , дБ	0,730	–0,823	–1,048	–0,917	–1,022	0,138	–1,145	–0,935	–0,637	

Изучив данные таблицы 2, можно отметить, что максимальным изменением резонансов обладает схема *ж* (см. рисунок 2), схемы *а* и *е*, наоборот, усиливают интенсивность звуковой волны из-за возникающих резонансов. Наилучшее увеличение защищенности речевой информации показало расположение ребер жесткости на схеме *ж*, по сравнению с оконным ограждением без них.

Для примера, на рисунке 4 представлены АЧХ схем с самыми высокими показателями изменения максимальных резонансов, использующих 4 и 2 ребра жесткости: *д*, *ж* и оконного ограждения без установленных на нем ребер жесткости.

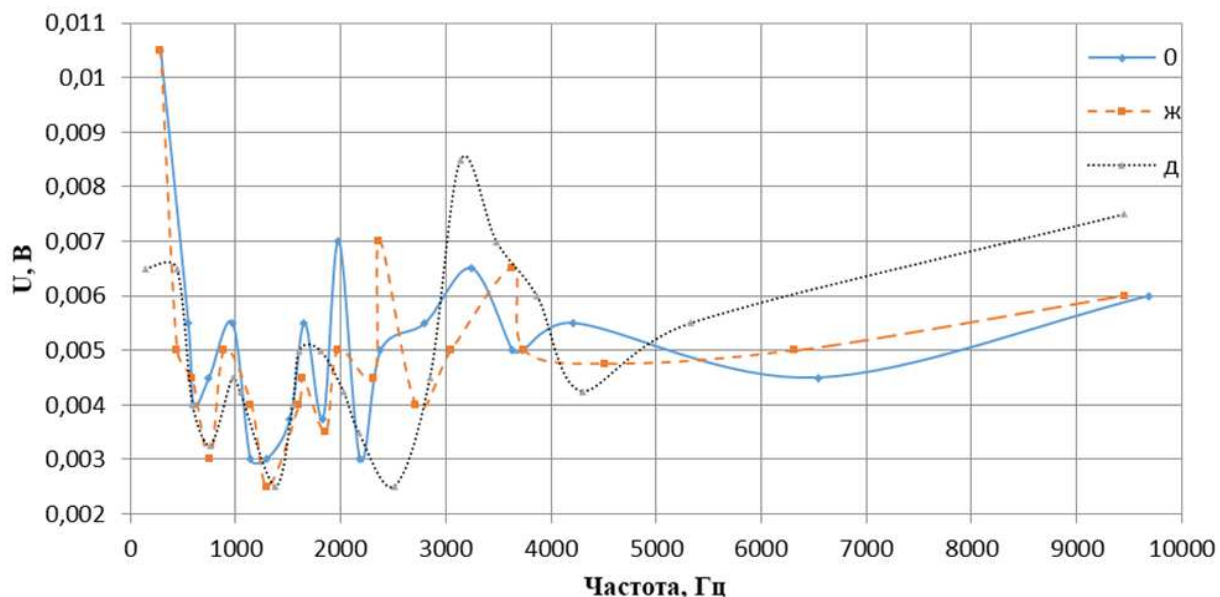


Рисунок 4. – Зависимость изменения максимального резонанса от частоты для оконного ограждения:

0 – оконное ограждение без установленных ребер жесткости; ж – схема ребер жесткости, две вертикальные и две горизонтальные; д – схема ребер жесткости, две параллельные наклонные

Зависимость изменения максимального резонанса δ'_i для оконного ограждения с установленными ребрами жесткости, выраженная в децибелах, рассчитывается по формуле (4)

$$\delta'_i = 20 \lg \frac{U_{Rin}}{U_{Ri0}}, \text{ дБ.} \quad (4)$$

Проанализировав графики, полученные расчетным путем (рисунок 5), можно сделать вывод, что при установленных ребрах жесткости происходит изменение максимальных резонансов и их частот в зависимости от используемой схемы, относительно оконного ограждения без установленных ребер жесткости. Кроме того, полученные графики зависимости отображают, насколько изменился уровень максимального резонанса с установленными ребрами жесткости, выраженный в децибелах.

Положительные значения графиков по оси ординат отражают увеличение максимального резонанса, т.е. уменьшение защищенности; отрицательные значения – уменьшение максимального резонанса или увеличение защищенности речевой информации. В идеальном случае схемы установления ребер жесткости должны строиться так, чтобы рассчитанные по ним графики находились в отрицательных значениях оси ординат для всех частот. Отсутствие изменения максимальных резонансов проложит график по оси ординат.

Для представленных значений на графиках явно прослеживается изменение частот максимальных резонансов при установленных ребрах жесткости. И также прослеживается изменение резонансов для большинства полос в диапазоне от -6 до $3,5$ дБ.

На рисунке 4 график отображает смещение резонансов для схем *ж* и *д* по частоте. Так, при применении схемы *ж* резонанс на частоте 3240 Гц оконного ограждения без установленных ребер жесткости сместился на частоту 3048 Гц, и значит, уровень защищенности речевой информации увеличился. А схе-

ма д в этой полосе частот показывает уменьшение уровня защищенности речевой информации и смещение резонанса по частоте с 3240 на 3146 Гц. В общем, по всем полосам схемы ж и д показали увеличение уровня защищенности речевой информации.

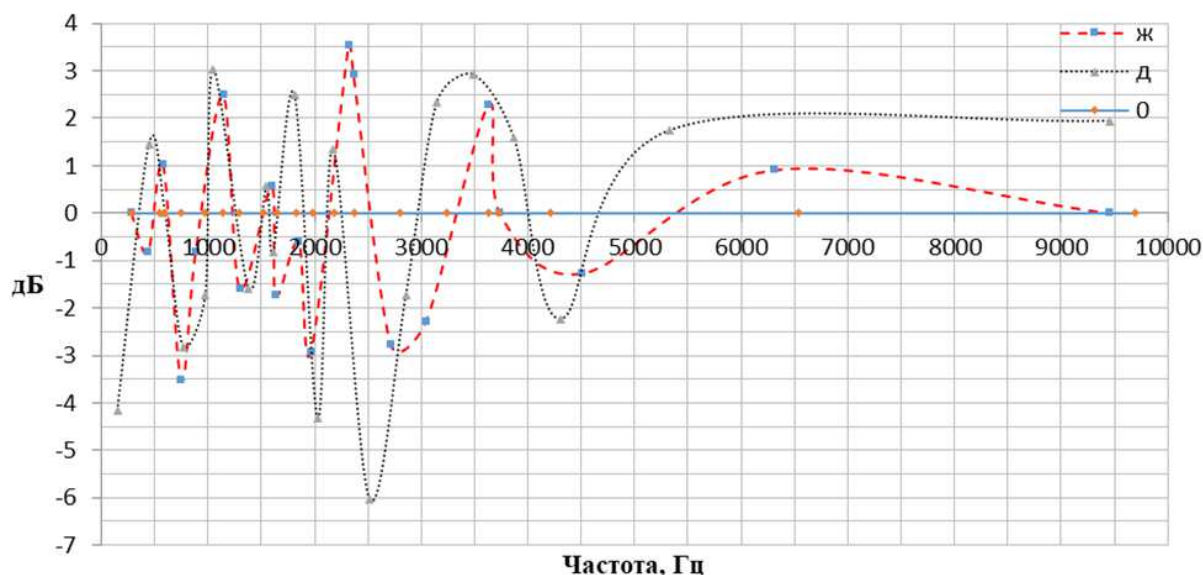


Рисунок 5. – Зависимость изменения максимального резонанса с установленными ребрами жесткости от частоты:

0 – оконное ограждение без установленных ребер жесткости; Ж – схема ребер жесткости, две вертикальные и две горизонтальные; Д – схема ребер жесткости, две параллельные наклонные

Вывод. В работе предлагается и обосновывается способ увеличения защищенности речевой информации путем крепления стеклянных трубок (ребер жесткости) на оконное ограждение. Крепление ребер жесткости допускается в различных схемах. Некоторые из возможных схем, исследуемых в работе, показали уменьшение общего максимального резонанса оконных ограждений, что увеличивает защищенность речевой информации.

С помощью разработанной лабораторной установки выполнено исследование оконного ограждения. Рассчитаны изменения общего максимального резонанса при установленных ребрах жесткости.

В результате выявлено, что:

1. Схема ребер жесткости ж (две вертикальные и две горизонтальные стеклянные трубки) обладает наибольшим показателем уровня ослабления общего максимального резонанса и показывает увеличение уровня защищенности речевой информации, по сравнению с оконным ограждением без ребер жесткости.

2. При использовании ребер жесткости, кроме изменения уровня максимального резонанса, наблюдается эффект смещения звуковых резонансов по частоте. Смещение звуковых частот резонансов зависит от используемой схемы ребер жесткости. Таким образом, путем подбора наиболее оптимальных схем ребер жесткости для оконного ограждения, возможно устранение или снижение резонансов оконного ограждения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Железняк, В.К. Математическая модель формирования параметров звукоослабления оконным ограждением помещений / В.К. Железняк, К.Я. Раханов // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия С, Фундаментальные науки. – 2008. – № 9. – С. 141–146.
2. Клюкин, И.И. Борьба с шумом и звуковой вибрацией на судах / И.И. Клюкин, И.И. Клюкин. – М. : Судостроение, 1971. – 416 с.
3. Жесткость конструкций [Электронный ресурс] // Факторы, определяющие жесткость конструкций. – 2019. – Режим доступа: <https://inzhenner-info.ru/razdely/konstruirovanie/zhestkost-konstruktsij/factory-opredelyayushchie-zhestkost-konstruktsij.html>. – Дата доступа: 10.02.2019.

4. Железняк, В.К. Защита информации от утечки по техническим каналам : учебное пособие / В.К. Железняк. – СПб. : ГУАП, 2006. – 188 с.
5. Железняк, В.К. Оценка разборчивости речи взаимной корреляцией сигнала линейной частотной модуляции в каналах утечки информации / В.К. Железняк, К.Я. Раханов, И.Б. Бураченко // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия С, Фундаментальные науки. – 2015. – № 12. – С. 22–27.
6. Карпушин, В.Б. Виброшумы радиоаппаратуры / В.Б. Карпушин, Б.В. Карпушин. – М. : Сов. радио, 1977. – 320 с.

Поступила 26.03.2019

APPLICATION OF GLASS TUBES ON WINDOW FENCES FOR INCREASING THE PROTECTION OF SPEECH INFORMATION

V. ZHELEZNYAK, K. RAHANOV, A. KAZUTIN

The paper proposes and justifies a way to increase the security of speech information by attaching glass tubes (stiffeners) to a window fence. A method for estimating changes in the resonances of a window fence with fixed stiffeners is given. With the help of the developed laboratory installation, the study of window barriers without and with installed stiffeners was carried out, according to the layout patterns. Calculated indicators of changes in the maximum resonance of the window fencing with installed stiffeners. The schemes with the highest and lowest levels of attenuation of the total maximum resonance are determined, the effect of resonance shifting in frequency is shown with stiffening ribs set.

Keywords: voice information security, resonance research, window fencing, speech intelligibility.