

УДК 699.844:004.94

## УВЕЛИЧЕНИЕ ЗАЩИЩЕННОСТИ РЕЧЕВОЙ ИНФОРМАЦИИ УСТАНОВКОЙ РЕБЕР ЖЕСТКОСТИ И АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ ОЦЕНКА РЕЗОНАНСОВ ОКОННОГО ОГРАЖДЕНИЯ

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

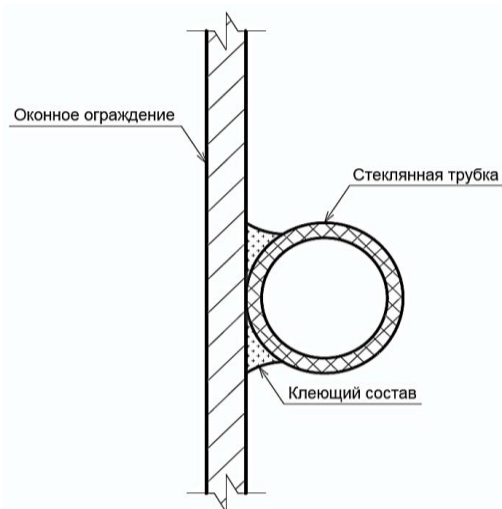
Приводится исследование по снижению уровней резонансов оконного ограждения для увеличения защищенности речевой информации путем крепления стеклянных трубок (ребер жесткости). Для реализации эксперимента разработаны методика исследования резонансов и программно-аппаратный комплекс. На собранной лабораторной установке проведен автоматизированный эксперимент, в котором применялся вибропреобразователь, позволяющий разложить измерительный сигнал на три пространственные компоненты ( $X$ ,  $Y$ ,  $Z$ ). Рассчитаны статистические и энергетические критерии оценки уровней резонансов оконного ограждения. Выполнено сравнение числовых значений параметров резонансов оконного ограждения при креплении ребер жесткости для двух схем их размещения. Показан эффект снижения резонансов и энергии отражаемого сигнала, а также эффект перераспределения энергии между тремя пространственными компонентами вибропреобразования при креплении стеклянных трубок (ребер жесткости).

**Ключевые слова:** защищенность речевой информации, исследование резонанса, оконное ограждение, методика исследования, гармонический сигнал, программно-аппаратный комплекс.

**Введение.** Конфиденциальность информации обеспечивается организацией системы защиты [1] и включает в себя техническую защиту речевой информации [2]. 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 [3] приводится оценка звукоизоляции воздушного шума оконными ограждениями за счет изменения расчета толщины стекол и увеличения воздушного промежутка между ними, обосновывается применение стекол с различной толщиной и промежутки между ними для наибольшей защищенности речевой информации. В качестве более рациональной альтернативы изменению толщины стекол и расстояний между ними предлагается установка стеклянных трубок (ребер жесткости) на оконное ограждение, что изменяет форму сечения оконного ограждения и является практическим средством увеличения жесткости конструкции [4].

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.

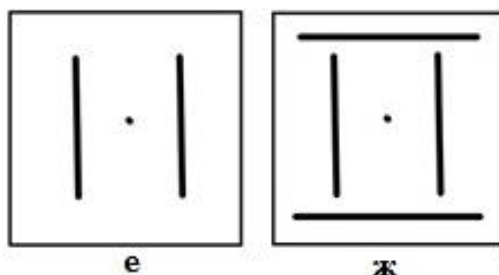


**Рисунок 1. – Поперечный разрез ребра жесткости, установленного на оконном ограждении**

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. В зависимости от используемой схемы ребер жесткости, изменяется резонанс оконного ограждения. Однако для оценки эффективности установки ребер жесткости требуется оценить количественные показатели речевого сигнала.

Целью работы является разработка методики количественной оценки резонансов оконного ограждения, реализация автоматизированного программно-аппаратного комплекса и исследование оконного ограждения без установленных ребер жесткости и с установленными ребрами жесткости.

В работе [4] приведено исследование ослабления уровней максимального резонанса оконного ограждения. Исследование проводилось для ряда схем, среди которых больше других выделялись схемы Е и Ж (рисунок 2). В схеме Е максимальный резонанс увеличился на 0,138 дБ, а в схеме Ж максимальный резонанс уменьшился больше остальных схем (-1,142 дБ).



Е – параллельные вертикальные; Ж – две вертикальные и две горизонтальные

Рисунок 2. – Схемы ребер жесткости

На рисунке 2 оконное ограждение схематично изображено квадратом, внутри которого прямыми линиями изображена одна из схем ребер жесткости, вибропреобразователь изображен точкой в центре квадрата.

Для более детального анализа резонансов колебания оконного ограждения предлагается разложить измерительный гармонический сигнал на три пространственные компоненты  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$ . Разложение колебания на пространственные компоненты осуществляется специализированным вибропреобразователем, который имеет три взаимноперпендикулярные измерительные оси. Направления пространственных компонент  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$  при установке вибропреобразователя на исследуемое оконное ограждение представлены на рисунке 3.



Рисунок 3. – Направление осей вибропреобразователя на оконном ограждении

Оценка изменения численных показателей резонанса выполнялась на лабораторной установке с помощью методики, представленной ниже.

**Методика исследования резонансов.** Исследование резонансов основано на измерении уровня гармонического сигнала, который оценивается с помощью вычисления взаимной корреляции отраженного и излучаемого сигналов. Оценка уровней сигналов взаимной корреляцией обоснована в работах [5; 6] и позволяет с высокой вычислительной эффективностью и точностью рассчитать их численные значения.

Однако в данной работе вместо сигнала линейной частотной модуляции использовался гармонический сигнал, излучаемый последовательно во всей измерительной полосе с заданным шагом изменения частоты. Шаг изменения частоты определялся требуемой точностью исследования. Измерение уровней (резонансов) отраженного сигнала выполнено автоматизированным способом, который был реализован программно-аппаратным комплексом.

Методика исследования включает в себя девять этапов.

1. Определяются номер измерения сигнала  $i \in [0; N)$ , шаг  $\Delta f = \frac{f_1 - f_0}{N}$  (Гц) (равномерный), длительность излучаемого сигнала  $T$  (с), количество измерений  $N$ , уровень сигнала  $U$  (В), диапазон измерений – от 50 Гц до 10000 Гц.

2. Производится расчет частоты измерительного сигнала  $f(i)$  в зависимости от номера измерения  $i$ .

3. Генерируется гармонический сигнал  $s(k)$  с частотой  $f(i)$  и длительностью  $T$ , здесь  $k \in [0; K)$ , где  $K$  – количество точек дискретизации измерительного сигнала ( $K = T \cdot Fd$ , где  $Fd$  – частота дискретизации сигнала).

4. Сигнал  $s(k)$  излучается через акустическую систему на оконное ограждение, параллельно производится измерение принятого сигнала  $S'(k)$ , захваченного с помощью вибропреобразователя, закрепленного в точке измерения.

5. Производится оценка уровней принятого трехкомпонентного сигнала:  $U'_x; U'_y; U'_z$ .

6. Результаты измерений ( $U, f(i), U'_x(k), U'_y(k), U'_z(k)$ ) сохраняются в память вычислительной машины.

7. Производится увеличение номера измерения  $i$  на единицу.

8. Если количество частот измерений  $i$  больше конечного количества частот измерений  $N$ , то цикл завершается, если  $i$  меньше  $N$ , то цикл продолжает работу.

9. Расчет статистических показателей, которые позволяют оценить однородность резонансных явлений оконного ограждения:

9.1. Математические ожидания уровня резонансов каждой компоненты в исследуемой полосе:

$$M_x = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K U'_x(k);$$

$$M_y = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K U'_y(k);$$

$$M_z = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K U'_z(k).$$

9.2. Дисперсии резонансных явлений каждой компоненты в исследуемой полосе:

$$D_x = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K (U'_x(k) - M_x)^2;$$

$$D_y = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K (U'_y(k) - M_y)^2;$$

$$D_z = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K (U'_z(k) - M_z)^2.$$

9.3. Коэффициенты вариации резонансных явлений каждой компоненты в исследуемой полосе:

$$V_x = \frac{\sqrt{D_x}}{M_x}; \quad V_y = \frac{\sqrt{D_y}}{M_y};$$

$$V_z = \frac{\sqrt{D_z}}{M_z}.$$

9.4. Расчет энергетических составляющих отраженного сигнала каждой компоненты, которые показывают количество энергии отраженного сигнала во всей исследуемой полосе:

$$E_X = \int_0^f \int_0^t U_X^2 dt df = \sum_{i=0}^N \sum_{k=0}^K U_X^2 \cdot \Delta t \cdot \Delta f;$$

$$E_Y = \int_0^f \int_0^t U_Y^2 dt df = \sum_{i=0}^N \sum_{k=0}^K U_Y^2 \cdot \Delta t \cdot \Delta f;$$

$$E_Z = \int_0^f \int_0^t U_Z^2 dt df = \sum_{i=0}^N \sum_{k=0}^K U_Z^2 \cdot \Delta t \cdot \Delta f.$$

Наглядное представление алгоритма автоматизированной оценки, реализуемое программно-аппаратным комплексом, представлено на рисунке 4.

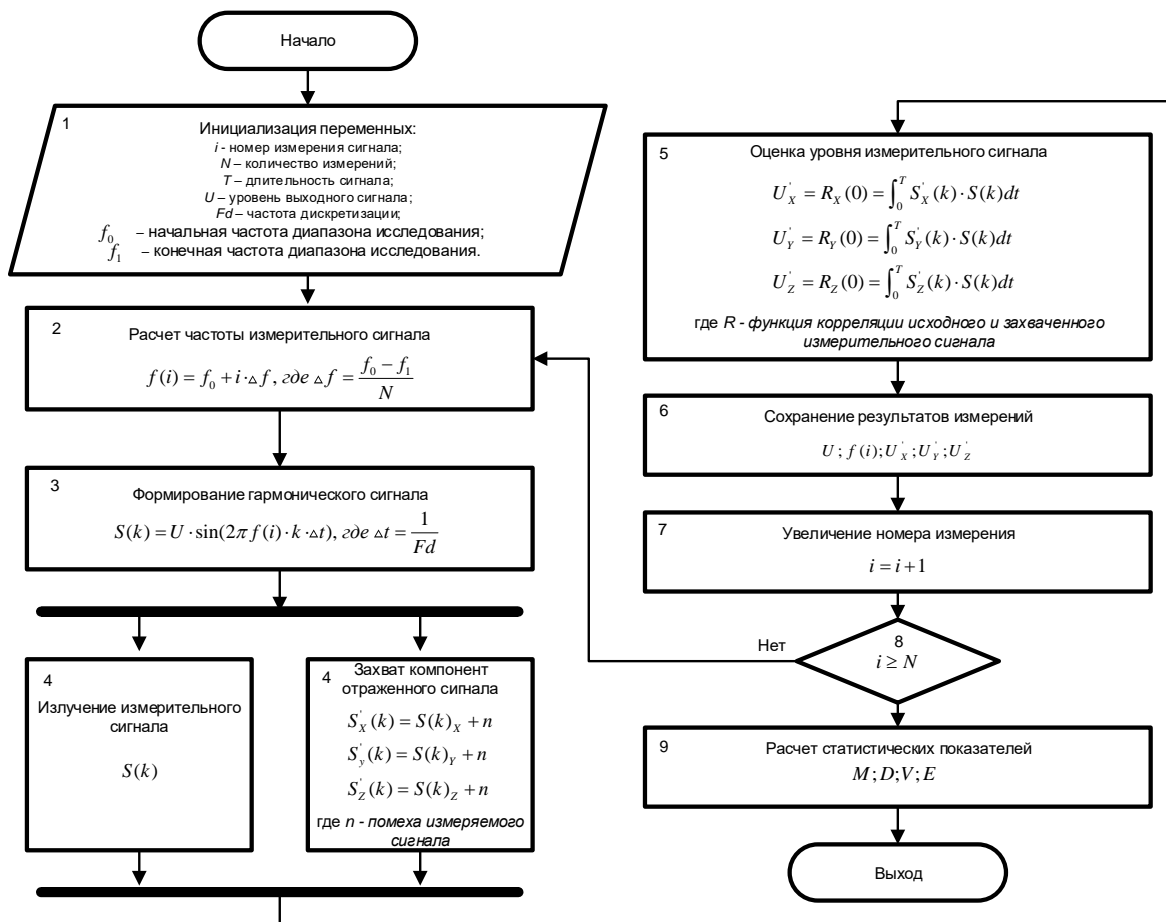
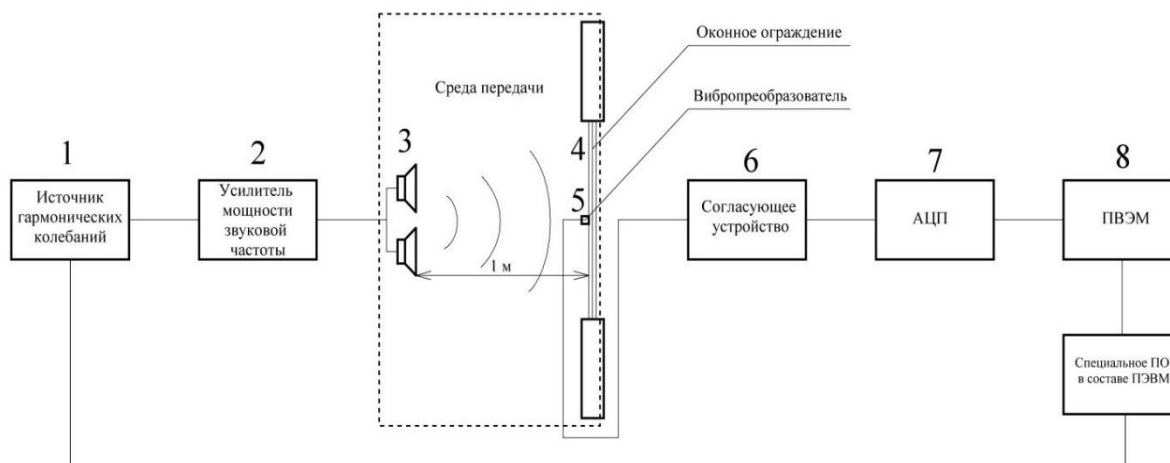


Рисунок 4. – Алгоритм автоматизированной оценки исследования резонансов оконного ограждения

Далее на основании собранных данных программно-аппаратным комплексом выполняется:

- 1) расчет гистограммы частот уровней резонансов, которая рассматривается как аналог плотности распределения резонансов;
- 2) построение графика зависимостей накопленной частоты уровней резонансов, полученных при расчете гистограммы, в зависимости от интервала уровня резонансов.

**Лабораторная установка.** Лабораторная установка представляет собой совокупность приборов и устройств, а также оконное ограждение (стеклопакет). Блок схема установки представлена на рисунке 5.



**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**

**Рисунок 5. – Блок схема установки**

Специальное ПО, находящиеся в составе ПЭВМ, через акустический выход ПЭВМ 1 подает 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 располагается на расстоянии 1 м от оконного ограждения. Она оснащена двумя электродинамическими головками с плоскими сотовыми диафрагмами 25ГДШ-2М. 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 и обеспечивает максимальное ослабление звукового сигнала. Толщина каждого стекла 3 мм, расстояние между стеклами 10 мм, размер стеклопакета оконного ограждения 1500×2000 мм.

Уровень звукового давления на оконное ограждение внутри выделенного помещения регистрирует вибропреобразователь AP2038-1000 5, подключенный через согласующее устройство AG01 6 к АЦП E14-440 7. АЦП в свою очередь передает оцифрованные сигналы на ПЭВМ 8, на которой установлено ПО для регистрации полученных значений, в пределах каждой из 20 полос равной разборчивости речи для всех конфигураций ребер жесткости. Частота дискретизации измерительного сигнала составляет  $Fd = 200$  КГц, длительность измерительного сигнала  $T = 1$  с, количество измерений  $N = 996$ .

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

Таблица 1. – Основные характеристики вибропреобразователя AP2038P-1000

Наименование характеристики	Размерность	AP2038-1000
Коэффициенты преобразования (X, Y, Z)	мВ/мс <sup>-2</sup>	105, 104, 101
Амплитудный диапазон	м/с <sup>2</sup>	±50
Рабочий диапазон температур	°С	-40 ... +125
Рабочий диапазон частот (неравномерность ±1дБ)	Гц	0,5 ... 12000
Частота установочного резонанса в осевом направлении	кГц	60
Уровень шума, СКЗ (1 Гц – 10 кГц)	м/с <sup>2</sup>	≤ 0,002

На рисунке 6 представлен внешний вид программно-аппаратного комплекса для проведения исследования.

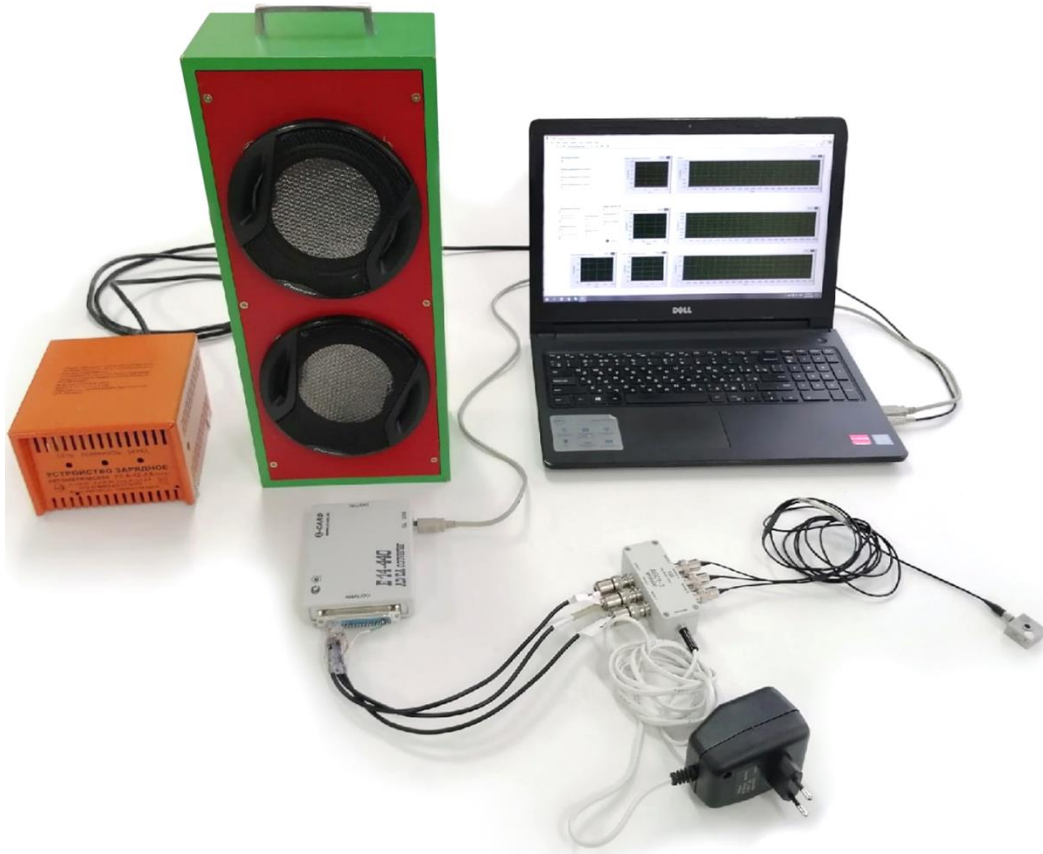


Рисунок 6. – Внешний вид программно-аппаратного комплекса для проведения исследования

На рисунке 7 представлен один из блоков схемы расчетной части программы в среде LabVIEW.

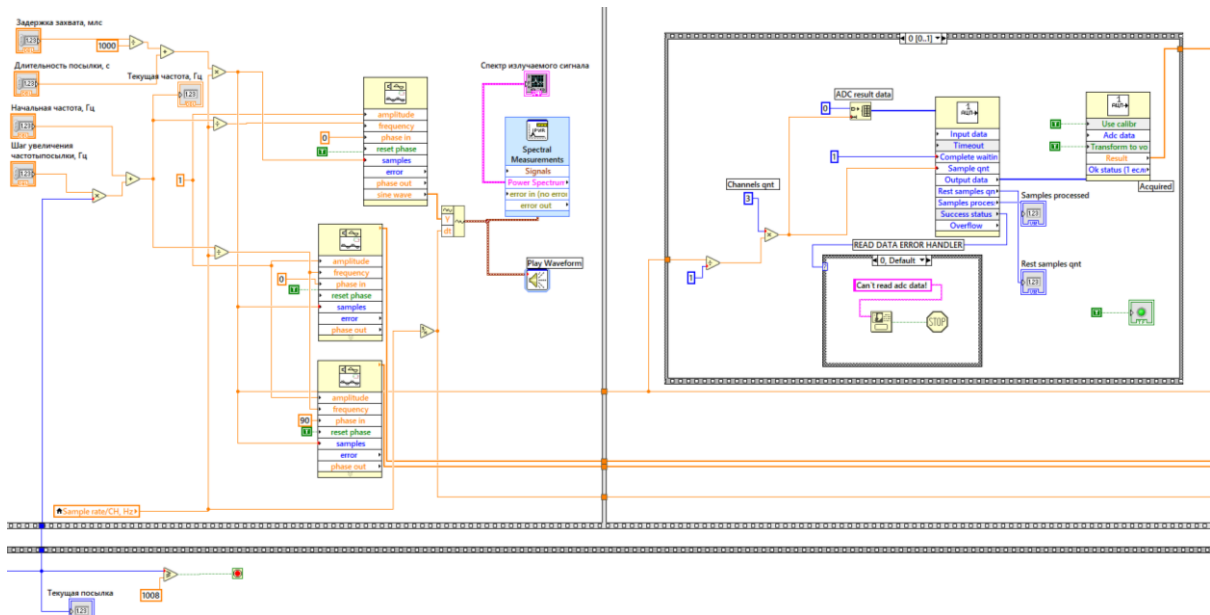
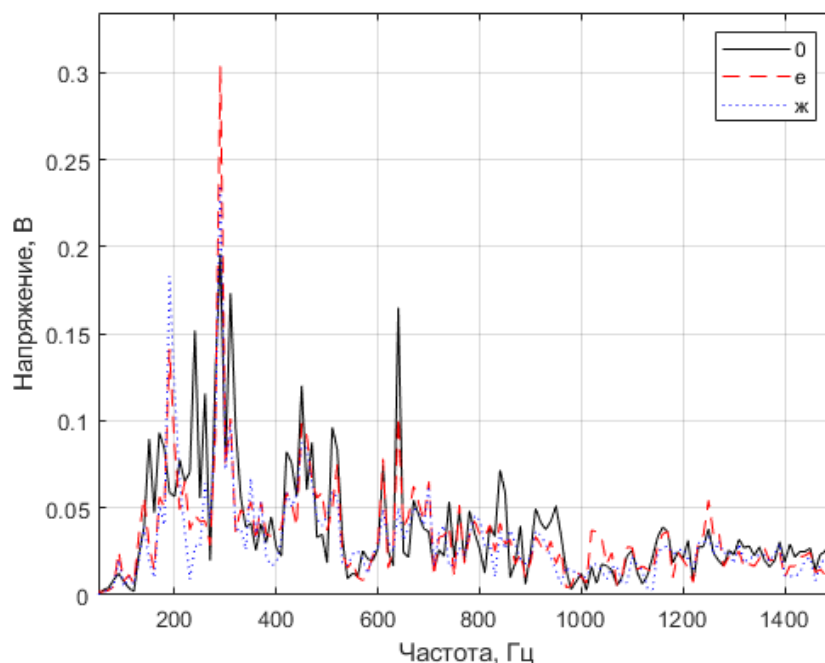


Рисунок 7. – Схема расчетной части программы в среде LabVIEW

**Полученные результаты.** Эксперимент выполнялся в лаборатории при температуре окружающего воздуха +18 С°. Измерения проводились в диапазоне частот от 50 до 10 000 Гц. На рисунке 8 показан фрагмент результатов измерений для оконного ограждения с ребрами жесткости (схема Е и Ж) и без ребер жесткости.



**Рисунок 8. – Фрагмент амплитудно-частотной характеристики для оконного ограждения с установленными ребрами жесткости и без них**

Рассчитанные значения коэффициентов вариации представлены в таблице 2. Коэффициенты вариации демонстрируют однородность резонансных явлений, то есть чем ниже коэффициент вариации – тем ниже суммарный уровень максимальных резонансов.

Таблица 2. – Коэффициенты вариации отраженного сигнала в исследуемой полосе

	X	Y	Z	Вектор
Без трубок	116,08	67,00	91,02	89,02
Схема Е	106,77	64,84	81,46	82,16
Схема Ж	102,83	70,52	80,06	78,69

Из таблицы 2 видно, что снижение вектора уровней резонансов наблюдается при креплении на оконное ограждение трубок (ребер жесткости) для обеих схем. Для схемы Е также снижаются коэффициенты вариации для всех трех составляющих компонент (X, Y, Z), а для схемы Ж снижение наблюдается только для компонент X и Z, для компоненты Y коэффициент вариации вырос.

Процентное изменение коэффициентов вариации схем Е и Ж относительно оконного ограждения без установленных трубок приводится в таблице 3.

Таблица 3. – Изменение коэффициентов вариации отраженного сигнала в исследуемой полосе

	X	Y	Z	Вектор
Схема Е	-8,0 %	-3,2 %	-10,5 %	-7,7 %
Схема Ж	-11,4%	+5,3 %	-12,0 %	-11,6 %

Из таблицы 3 видно следующее:

- схема Ж обладает наибольшим снижением суммарного уровня резонанса (коэффициента вариации) отраженного сигнала во всей полосе (-11,6%) по отношению к схеме Е (-7,7%);
- в схеме Ж коэффициент вариации имеет наибольшее снижение для компоненты Z (-12,0%) и X (-11,4%), а для компоненты Y коэффициент вариации вырос на 5,3%.
- в схеме Е коэффициент вариации снизился для всех компонент X (-8,0%), Y (-3,2%), Z (-10,5%).

В таблице 4 приводятся полученные значения энергии отраженного сигнала в исследуемой полосе. Значения в таблице приводятся для компонент  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$  и суммарного векторного значения компонент в зависимости от исследуемой схемы крепления трубок (без установленных трубок, схема Е, схема Ж).

Таблица 4. Энергия отраженного сигнала в исследуемой полосе

	$X$	$Y$	$Z$	Вектор
Без трубок	5,3921	0,7181	0,9433	7,0535
Схема Е	5,1849	0,7322	0,9078	6,8248
Схема Ж	4,7913	0,7484	1,0115	6,5512

Из таблицы 4 видно, что суммарная энергия отраженного сигнала снижается при креплении трубок для обеих схем. Однако энергия компонент в зависимости от используемой схемы может и уменьшаться, и увеличиваться. Так, для обеих схем энергия компоненты  $X$  снизилась, а энергия компоненты  $Y$  выросла; энергия компоненты  $Z$  для схемы Е выросла, а для схемы Ж – снизилась.

Процентное изменение энергии компонент во всей полосе приведена в таблице 5.

Таблица 5. – Изменение энергии отраженного сигнала в исследуемой полосе

	$X$	$Y$	$Z$	Вектор
Схема Е	-3,8%	+1,7 %	-3,6 %	-3,2 %
Схема Ж	-11,1%	+4,2 %	+7,2 %	-7,1 %

Из таблицы 5 видно следующее:

- схема Ж обладает наибольшим снижением суммарной энергии отраженного сигнала во всей полосе (-7,1%) по отношению к схеме Е (-3,2%);
- в схеме Ж энергия из компоненты  $X$  (-11,1%) перераспределяется в компоненты  $Y$  (+4,2%) и  $Z$  (+7,2%);
- в схеме Е энергия из компонент  $X$  (-3,8%) и  $Z$  (-3,6%) перераспределяется в компоненту  $Y$  (+1,7%).

На рисунке 9 приведена гистограмма частот уровней резонансов, которая отражает плотность распределения резонансов, где по оси  $X$  – интервалы уровней резонансов, а по оси  $Y$  – количество попаданий уровня резонанса в интервал.

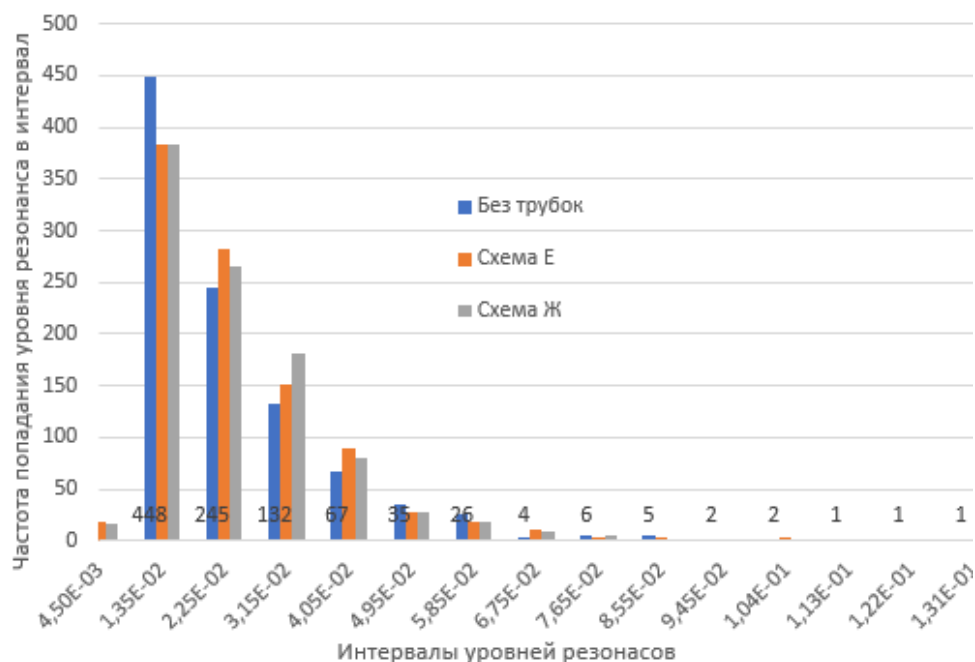


Рисунок 9. – Гистограмма частот уровней резонансов



Для большей наглядности на основании полученной гистограммы построим график зависимости накопленной частоты попадания уровня резонанса в интервал от интервала уровней (рисунок 10). Накопленная частота попадания уровня резонанса в интервал рассчитывается как сумма частот предыдущих интервалов. Полученные суммы частот приводятся к относительному представлению, выраженному в процентах по отношению к общему количеству частот.

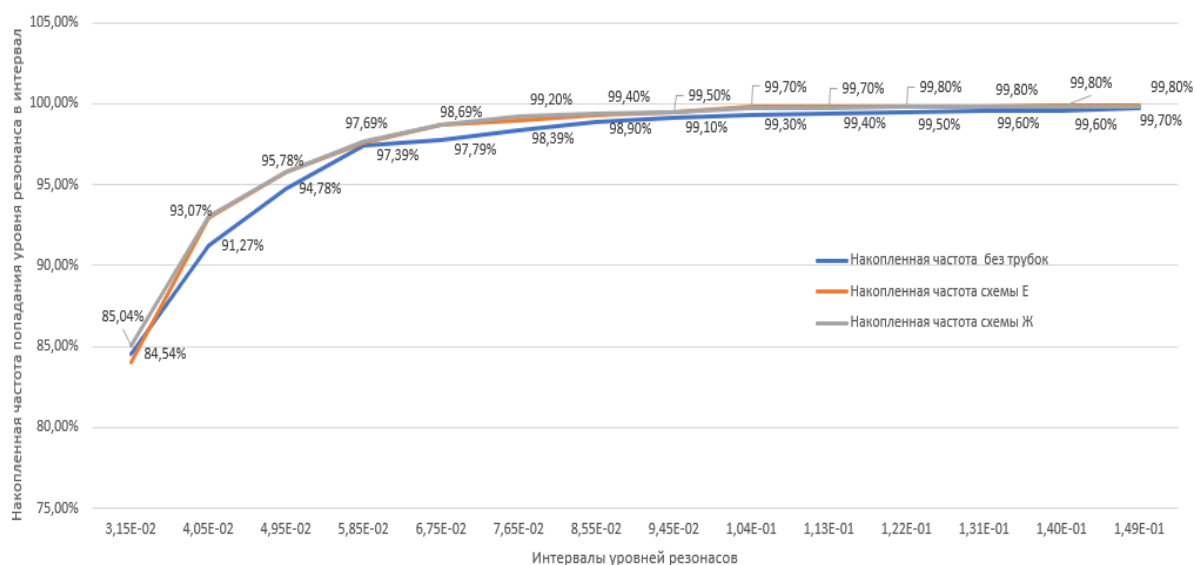


Рисунок 10. – Накопленная частота уровней сигнала

Таким образом, представленный график позволяет сравнить количество уровней резонансов в исследуемых схемах крепления трубок: чем медленнее растет график зависимости, тем больше уровней резонансов в отраженном сигнале. Из приведенных графиков медленнее всего растет график зависимости, полученный при исследовании оконного ограждения без установленных трубок. Графики зависимости с установленными трубками (схема Е и Ж) демонстрируют более резкий рост (например, для уровня 4,95E-02 разница составила 2,2%), а значит установленные трубки позволяют оконному ограждению лучше справиться с максимальными резонансами.

**Заключение.** В работе приводится исследование по снижению уровней резонансов оконного ограждения для увеличения защищенности речевой информации путем крепления стеклянных трубок (ребер жесткости). Для проведения исследования разработаны методика исследования резонансов и программно-аппаратный комплекс, проведен эксперимент на собранной лабораторной установке.

Полученные в ходе эксперимента данные позволяют сделать следующие выводы:

- при закреплении на оконное ограждение трубок (ребер жесткости) наблюдается снижение коэффициентов вариации суммарного вектора компонент для обеих схем, а следовательно, увеличивается однородность явления и снижается уровень резонансов. Для схемы Е коэффициент вариации снижается на 7,7%, для схемы Ж – на 11,6%;
- суммарная энергия отраженного сигнала в исследуемой полосе снижается при креплении трубок для обеих схем крепления (Е и Ж);
- энергия компоненты X снижается быстрее, чем суммарная энергия вектора всех компонент за счет перераспределения энергии на оставшиеся компоненты Y и Z.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Раханов К. Я. Обеспечение конфиденциальности информации в сети Интернет : пособие / К. Я. Раханов, Н. А. Раханова. – Новополюк : Полоц. гос. ун-т, 2021. – 192 с.
2. Железняк В. К. Защита информации от утечки по техническим каналам: учеб. пособие / В. К. Железняк. – СПб. : ГУАП, 2006. – 188 с.
3. Железняк В. К. Математическая модель формирования параметров звукоослабления оконным ограждением помещений / В. К. Железняк, К. Я. Раханов // Вестн. Полоц. гос. ун-та. Сер. С, Фундам. науки. – 2008. – № 9. – С. 141–146.

4. Железняк, В. К. Применение стеклянных трубок на оконных ограждениях для увеличения защищенности речевой информации // В. К. Железняк, К. Я. Раханов, А. В. Казютин // Вестн. Полоц. гос. ун-та. Сер. С, Фундам. науки. – 2019. – № 4. – С. 32–39.
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 // Вестн. Полоц. гос. ун-та. Сер. С, Фундам. науки. – 2015. – № 12. – С. 22–27.
6. Железняк, В. К. Представление параметров широкополосного линейно-частотно-модулированного сигнала для оценки разборчивости речи в технических каналах утечки информации / В. К. Железняк, К. Я. Раханов, И. Б. Бураченко // Вестн. Полоц. гос. ун-та. Сер. С, Фундам. науки. – 2014. – № 12. – С. 2–12.

Поступила 17.11.2021

## INCREASING THE PROTECTION OF SPEECH INFORMATION BY INSTALLING RIGID EDGES AND AUTOMATED ESTIMATION OF RESONANCES OF THE WINDOW ENCLOSURE

V. ZHELEZNYAK, K. RAHANOV, A. KAZUTIN

*The paper presents a study to reduce the levels of resonances of a window enclosure to increase the security of speech information by attaching glass tubes (stiffeners). To carry out the study, a technique for studying resonances was developed, a software and hardware complex was developed, an automated experiment was carried out on an assembled laboratory setup. During the research, a vibration transducer is used, which allows the measurement signal to be decomposed into three spatial components (X, Y, Z). Statistical and energy criteria for evaluating the levels of resonances of a window enclosure are calculated. Comparison of the numerical values of the parameters of the resonances of the window railing is carried out when the stiffeners are attached for the two schemes of their placement. The effect of reducing resonances and the energy of the reflected signal, as well as the effect of redistribution of energy between the three spatial components of vibration transformation when attaching glass tubes (stiffeners) is shown.*

**Keywords:** security of speech information, resonance research, window fencing, research technique, harmonic signal, hardware and software complex.