

УДК 621.396.41

О.С. Кустова, Е.А. Шешенева, А.М. Калашников

## О коррективке показателей словесной разборчивости речи при оценке защищенности помещения

Защищаемые помещения, в которых циркулирует конфиденциальная информация, требуют оценки их защищенности. Для оценки защищенности помещений по акустическому и виброакустическому каналу могут использоваться соответствующие методики. Имеется стандартная методика ФСТЭК, которая обладает как достоинствами, так и недостатками. В связи с этим цель данной работы – коррективка значений словесной разборчивости, полученных при помощи системы «Шепот» с учетом дополнений стандартной методики.

В представляемой статье приведены результаты анализа достоинств и недостатков методики оценки словесной разборчивости, рассмотрены дополнения этой методики. Для коррективки значения словесной разборчивости при вычислении значения словесной разборчивости с учетом дополнений и усовершенствований, рекомендуемых в публикациях современных авторов, в работе предлагается:

– рассмотрение влияния технических средств акустической разведки (ТСАР), а именно узконаправленных микрофонов и средств шумовой очистки;

– минимизация методической погрешности за счет линеаризации зависимости уровня ощущений от коэффициента восприятия и линеаризации словесной разборчивости от формантной.

Для анализа полученных данных в представляемой статье произведены расчеты значения словесной разборчивости с использованием иного формантного метода.

**Ключевые слова:** узконаправленные микрофоны; словесная разборчивость; утечка речевой информации; технические средства акустической разведки.

**doi:** 10.21293/1818-0442-2018-21-2-43-47

Для определения возможности негласного получения речевой конфиденциальной информации и актуальности применения средств защиты могут использоваться различные методы, основанные на оценке интегрального критерия – разборчивости речи, а также на определениях формантной теории. Существующие методы изначально разрабатывались для оценки качества линий связи, и именно поэтому требуется адаптация таких методов и их коррективка для задач оценки защищенности речевой информации. Самыми популярными в нашей стране методами оценки защищенности речевой информации являются версии Н.Б. Покровского., М.А. Сапожкова, Ю.С. Быкова.

В настоящее время для оценки защищенности речевой информации используется методика, основой которой является метод Н.Б. Покровского [1].

Наряду с известными достоинствами указанный метод обладает существенными недостатками:

– в нем не рассматриваются варианты возможного перехвата информации при помощи узконаправленных микрофонов и возможность прослушивания речи с использованием технических средств шумовой очистки (фильтров);

– методическая погрешность оценки словесной разборчивости значительна, поскольку в методе Н.Б. Покровского не учтена зависимость от частоты при определении коэффициента восприятия речи.

Коэффициент восприятия речи, входящий в расчет словесной разборчивости, представляет собой вероятное относительное количество формантных составляющих речи, которые будут иметь уровни интенсивности выше порогового значения [2]. Коэффициент восприятия от уровня ощущений  $P(Q)$

определяется по специальному графику. Зависимости коэффициента восприятия от уровня ощущений формант не являются симметричными и должны зависеть от частоты. В методе Н.Б. Покровского условие зависимости коэффициента восприятия от уровня ощущений формант пренебрегается, что ведет к большим погрешностям вычислений.

Учитывая то, что методика имеет погрешности и изначально не была создана для определения защищенности акустической информации, в наше время активно ведутся работы по ее усовершенствованию.

Основываясь на достоинствах формантных и модуляционных методов, был предложен новый формантно-модуляционный метод. Он объединяет в себе достоинства обоих методов. Также позволяет учитывать реверберационную помеху. Описание данного метода дается в работах А.Н. Продеуса [15].

На основании формантно-модуляционного метода А.Н. Продеуса в работе [15] было предложено усовершенствование метода Н.Б. Покровского, которое позволяло учитывать реверберационную помеху, считая шумом энергию отраженного звука, приходящего после 50 мс.

Однако если производится оценка меблированного помещения, то такая помеха может не учитываться, так как время реверберации меньше 0,85 с незаметно для слуха и большого влияния на расчеты эта величина не окажет. Учитывая то, что примерное время реверберации для меблированных помещений не превышает 0,6 с, данная модификация метода не будет рассматриваться в данной работе. Авторы работы [3] для задач информационной безопасности представляют усовершенствованную методику, в ко-

торой предлагают линейризацию функций коэффициента восприятия от уровня ощущений формант и линейризацию словесной разборчивости от формантной. При определении относительного уровня сигнал / шум рассматривается возможность того, что перехват речевой информации может происходить с применением микрофонов, коэффициент направленного действия (КНД) которых позволяет учесть использование различных микрофонов при перехвате информации.

Для корректировки значения словесной разборчивости с помощью рассмотренных рекомендаций и дополнений в представляемой методике необходимо определить следующие параметры:

1.  $L_{ci}$  – спектральный уровень акустического сигнала в пяти октавных полосах со среднегеометрическими частотами 250–4000 Гц, дБ.

2.  $L_{ши}$  – уровень шумов и помех, дБ.

3.  $КНД_i$  – коэффициент направленного действия узконаправленного микрофона, дБ.

4.  $КОШ_i$  – коэффициент очистки шума, дБ.

5.  $Q_i$  – относительный уровень сигнал/шум, дБ.

6.  $p_i$  – коэффициент восприятия формант.

7.  $R$  – формантную разборчивость.

Для определения КНД таких типов микрофонов, как микрофонная решетка, трубчатый щелевой микрофон, рефлекторный (параболический) микрофон, в настоящей работе использованы соответственно формулы из публикаций [4, 5] (табл. 1):

$$R(\theta, \varphi) = R_1(\theta, \varphi) \times$$

$$\times \frac{\sin\left[\frac{Nx\pi dx}{\lambda} \cos\varphi \sin\theta\right] \sin\left[\frac{Ny\pi dy}{\lambda} \sin\varphi \sin\theta\right]}{Nx \sin\left[\frac{\pi dx}{\lambda} \cos\varphi \sin\theta\right] Ny \sin\left[\frac{\pi dy}{\lambda} \sin\varphi \sin\theta\right]}, \quad (1)$$

$$R(\theta) = \frac{\sin\left(\frac{\pi L}{\lambda} [1 - \cos(\theta)]\right)}{\frac{\pi L}{\lambda} [1 - \cos(\theta)]}; \quad (2)$$

$$R(\theta) = \frac{2J_1\left(\frac{2\pi\rho_0}{\lambda} \sin\theta\right)}{\frac{2\pi\rho_0}{\lambda} \sin\theta}. \quad (3)$$

Таблица 1

Характеристики узконаправленных микрофонов	
Рефлекторный микрофон	
Диаметр отражателя, м	0,6
Дальность перехвата разговоров, м	100
Трубчатый микрофон	
Частотный диапазон, Гц	200–15 000
Максимальный коэффициент усиления, дБ	50
Микрофонная решетка	
Апертура, D, м	0,4
Частотный диапазон, Гц	316–15 000

Для трех типов микрофонов рассчитаны значения коэффициентов направленного действия (табл. 2) [6, 7].

Таблица 2

Значения коэффициентов направленного действия узконаправленных микрофонов

Тип микрофона	Октавные полосы, Гц				
	250	500	1000	2000	4000
Рефлекторный	3,2	9,3	15,2	21,3	27,3
Трубчатый	6,7	9,6	12,5	15,5	18,5
Микрофонная решетка	1,6	7,5	13,6	16,6	25,0

Основная энергия речевого (акустического) сигнала сосредоточена в диапазоне частот 300–4000 Гц [4]. Из представленных узконаправленных микрофонов трубчатый щелевой микрофон в данном диапазоне имеет наилучшие направленные свойства, (рис. 1). Поэтому является целесообразным применение фильтров шумовой очистки.

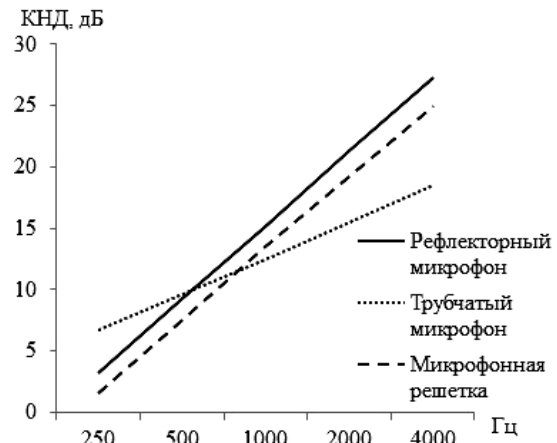


Рис. 1. Значения КНД в пяти октавных полосах со среднегеометрическими частотами 250–4000 Гц

Чтобы учесть влияние таких микрофонов и средств шумовой очистки, воспользуемся формулой из работы [5]:

$$Q_i = q_i - \Delta A_i = L_{ci} - L_{ши} - \Delta A_i + \Theta КНД_i + m КОШ_i. \quad (4)$$

Для определения коэффициента восприятия формант и словесной разборчивости предлагается использование линейной зависимости уровня ощущений от коэффициента восприятия  $P(Q)$ , как и в зарубежном методе articulation index AI [13, 14]. Таким образом, для минимизации значения методической погрешности предлагается использование формул из работы [3]:

$$P_i(Q_i) = 0,05Q_i + 1,25. \quad (5)$$

Зависимость словесной разборчивости от формантной определяется согласно следующему равенству:

$$W(R) = 6R. \quad (6)$$

Экспериментальная часть работы заключалась в модельном проведении инструментального контроля защищаемого помещения от утечки речевой информации использованием автоматизированной системы «Шепот» [8]. Для проведения измерений в аудитории были выбраны две контрольные точки однородной (КТ 1) и неоднородной ограждающей поверхностей (КТ 2). Результаты измерений были от-

корректированы в соответствии с рассмотренными выше дополнениями (табл. 3–5).

Таблица 3  
Результаты эксперимента по определению словесной разборчивости с учетом дополнений и влияния рефлекторного микрофона

Параметр	Октавные полосы, Гц				
	250	500	1000	2000	4000
ТС	64,7	67,0	70,5	71,0	65,4
С+Ш	38,7	38,6	30,4	29,0	24,3
Ш	24,8	24,2	20,2	16,1	16,5
⊗	0	0	0	0	0,9
$L_{c2i}$	38,7	38,6	30,4	29,0	23,4
$Z_i$	26	28,4	40,1	42	42
$L_{ci}$	40	37,6	20,9	14	11
$q_i$	15,2	13,4	0,7	-2,1	-5,5
$Q_i$ (без ТСАР)	-2,8	-0,6	-8,3	-8,1	-10,5
$Q_i$ (с ТСАР)	0,09	8,7	6,9	13,2	17,7
$P_i$	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99
$R_i$	0,029	0,118	0,198	0,297	0,257
$R$	0,8997				
$W$	0,999				

Таблица 4  
Результаты эксперимента по определению словесной разборчивости с учетом дополнений и влияния трубчатого микрофона и средств шумоочистки

Параметр	Октавные полосы, Гц				
	250	500	1000	2000	4000
ТС	64,7	67,0	70,5	71,0	65,4
С+Ш	38,7	38,6	30,4	29,0	24,3
Ш	24,8	24,2	20,2	16,1	16,5
⊗	0	0	0	0	0,9
$L_{c2i}$	38,7	38,6	30,4	29,0	23,4
$Z_i$	26	28,4	40,1	42	42
$L_{ci}$	40	37,6	20,9	14	11
$q_i$	15,2	13,4	0,7	-2,1	-5,5
$Q_i$ (без ТСАР)	-2,8	-0,6	-8,3	-8,1	-10,5
$Q_i$ (с ТСАР)	10,9	16	10,2	10,4	9,6
$p_i$	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99
$R_i$	0,0297	0,1188	0,198	0,297	0,2574
$R$	0,889				
$W$	0,999				

Таблица 5  
Результаты эксперимента по определению словесной разборчивости с учетом дополнений и влияния микрофонной решетки

Параметр	Октавные полосы, Гц				
	250	500	1000	2000	4000
ТС	64,7	67,0	70,5	71,0	65,4
С+Ш	38,7	38,6	30,4	29,0	24,3
Ш	24,8	24,2	20,2	16,1	16,5
⊗	0	0	0	0	0,9
$L_{c2i}$	38,7	38,6	30,4	29,0	23,4
$Z_i$	26	28,4	40,1	42	42
$L_{ci}$	40	37,6	20,9	14	11
$q_i$	15,2	13,4	0,7	-2,1	-5,5
$Q_i$ (без ТСАР)	-2,8	-0,6	-8,3	-8,1	-10,5
$Q_i$ (с ТСАР)	-1,5	6,9	5,3	8,5	15,9
$P_i$	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99
$R_i$	0,029	0,118	0,198	0,297	0,257
$R$	0,8997				
$W$	0,999				

Анализ полученных результатов обработки проведенных измерений в контрольной точке КТ 1 позволил сделать вывод о недостаточной защите помещения от утечки речевой информации. Видно, что значения отношений сигнал / шум и словесной разборчивости превышают нормированные как при расчете по методике ФСТЭК, так и по представляемой методике с учетом дополнений [9].

Методическая погрешность минимизируется на интервале отношений сигнал / шум от -20 до -5 дБ, т.е. отношение сигнал / шум на среднегеометрической частоте 4000 Гц попадает в данный интервал. Методическая погрешность экспериментальных данных минимизируется только на частоте 4000 Гц. Значение словесной разборчивости получается завышенным.

Полагаем, что в настоящих условиях при осуществлении перехвата речевой информации с использованием любого из рассмотренных выше микрофонов может быть получена справка подробного содержания ведущихся конфиденциальных переговоров, т.е. имеет канал утечки речевой информации.

Для анализа полученных данных произведен расчет значения словесной разборчивости с использованием формантного метода AI, [13, 14] (табл. 6).

$$P_{AI}(\Delta L) = \begin{cases} 0, & \Delta L \leq 0 \text{ дБ}, \\ \frac{\Delta L}{30}, & 0 \leq \Delta L \leq 30 \text{ дБ}, \\ 1, & \Delta L > 30 \text{ дБ}. \end{cases} \quad (7)$$

$$\Delta L = Q + 12. \quad (8)$$

Таблица 6  
Результаты расчета словесной разборчивости методом AI

Параметр	Октавные полосы, Гц					
	250	500	1000	2000	4000	8000
ТС	64,7	67,0	70,5	71,0	65,4	64,7
С+Ш	38,7	38,6	30,4	29,0	24,3	22,1
Ш	24,8	24,2	20,2	16,1	16,5	18,5
$Q$	-2,8	-0,6	-8,3	-8,1	-10,5	-16,1
$\otimes L$	9,2	11,4	3,7	3,9	1,5	-4,1
$P_{AI}(\otimes L)$	0,31	0,38	0,123	0,13	0,05	0
$AI$	0,999					
$W$	0,981					

Анализ полученных результатов позволил сделать вывод о том, что защищенность речевой информации минимальна, и утечка такой информации может быть актуальной и без применения специальных ТСАР.

Следовательно, на основании расчетов можно говорить о том, что корректровка значений словесной разборчивости с помощью предлагаемых дополнений не противоречит результатам, полученным с использованием оценки защищенности речевой информации по методу AI [10, 11].

Погрешность результатов не превышает 5%. При этом авторы настоящей работы отмечают, что полученное максимальное значение абсолютной погрешности равно 7%, а относительной погрешности –

35%. Эти результаты справедливы для интервала отношений сигнал / шум от  $-20$  до  $-5$  дБ. На таком интервале данный метод точнее базового метода благодаря тому, что В.А. Трушин, И.Л. Рева и А.В. Иванов в работе [3] предлагают уменьшение методической погрешности при оценке защищенности речевой информации значительной степени секретности (рис. 2). Однако в расчетах, представленных выше, отношение сигнал / шум, в большей степени не входит в указанный интервал.

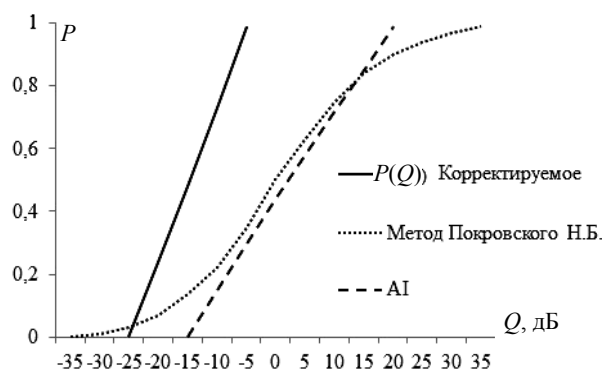


Рис. 2. Сравнение зависимостей коэффициентов восприятия формант  $P$  от относительного уровня интенсивности формант  $Q$

### Выводы

На основании вышеизложенного можно сделать следующие выводы:

1. Значения, полученные с помощью предложенных дополнений, позволяют оценить возможность утечки информации по акустическим и виброакустическим каналам при уменьшении методической погрешности метода оценки для отношения сигнал / шум от  $-20$  до  $-5$  дБ и при условии, что используются дополнительные ТСАР и различные средства шумовой очистки. Однако если при исследовании отношения сигнал / шум не войдут в представленный выше интервал, использование дополнений этого метода не будет достаточно удобным, поскольку значения будут завышены и не позволят получить точные значения словесной разборчивости.

2. Значения словесной разборчивости, которые были получены в ходе выполнения работы, достаточно велики,  $W = 0,999$ , что позволяет сделать вывод о том, что утечка речевой информации актуальна. При этом отношения сигнал / шум в большей степени не входят в диапазон от  $-20$  до  $-5$  дБ, и можно говорить, что полученные значения завышены. Однако погрешность при расчете с учетом предложенных дополнений в контрольной точке КТ 1 составляет 5%. Таким образом, можно утверждать, что хотя полученные значения завышены, защищенность помещения недостаточна и имеется возможность утечки речевой информации по техническим каналам.

3. Рассмотренные дополнения методики ФСТЭК не противоречат данным, полученным с помощью методики AI [12], и могут использоваться для оценки защищенности речевой информации.

### Литература

1. Сапожков М.А. Акустика: справочник. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Радио и связь, 1989. – 336 с.
2. Железняк В.К. Некоторые методические подходы к оценке эффективности защиты речевой информации / В.К. Железняк, Ю.К. Макаров, А.А. Хорев // Специальная техника. – 2000. – № 4(5). – С. 2–11.
3. Трушин В.А. Усовершенствование методики оценки разборчивости речи в задачах защиты информации / В.А. Трушин, И.Л. Рева, А.В. Иванов // Ползуновский вестник. – 2012. – № 3-2. – С. 238–241.
4. Трушин В.А. Реализация оптимальной помехи при защите речевой информации от утечки по акустическому и виброакустическому каналам / В.А. Трушин, И.Л. Рева, А.В. Иванов // Научный вестник НГТУ. – 2011. – № 4. – С. 140–145.
5. Сагдеев К.М. Методика оценки технической защищенности информации в выделенных помещениях / К. М. Сагдеев, В.И. Петренко // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2012. – № 12(137). – С. 109–121.
6. Олейников А.Н. Сравнительная характеристика параметров узконаправленных микрофонов. / А.Н. Олейников, А.О. Войтенко // Радиотехника Всеукр. межвед. науч.-техн. сб. – Харьков, 2013. – Вып. 173. – С. 172–179.
7. Хорев А.А. Средства акустической разведки: направленные микрофоны и лазерные акустические системы разведки // Спецтехника и связь. – 2008. – № 3(3). – С. 34–43.
8. Зайцев А.П. Технические средства и методы защиты информации: учеб. для вузов / А.П. Зайцев, Р.В. Мещеряков, А.А. Шелупанов. – М.: Горячая линия – Телеком, 2013. – 442 с.
9. Меньшаков Ю.К. Защита объектов и информатизации от технических средств разведки / Рос. гос. гуманитарн.-т. – М., 2002. – 399 с.
10. Козлачков С.Б. Методические аспекты оценки защищенности речевой информации // Спецтехника и связь. – 2001. – № 2(6). – С. 44–47.
11. Паршин К.А., Анашкин П.А. Сравнительный анализ методик оценки защищенности речевой информации от утечки по прямым акустическим каналам при аттестации выделенных помещений / К.А. Паршин, П.А. Анашкин // Вестник УрФО. Безопасность в информационной сфере. – 2015. – № 5(15). – С. 13–26.
12. Рева И.Л. Сравнительный анализ объективных методов оценки разборчивости речи // Сборник научных трудов НГТУ. – 2010. – № 1(59). – С. 91–102.
13. Kryter K.D. Methods for the calculation and use of the articulation index // J. Acoust. Soc. Am. – 1962. – Vol. 34. – С. 1689–1697.
14. Fletcher H., Galt F. Perception of Speech and its Relation to Telephony // The Journal Acoustical Society of America. – 1950. – Vol. 22, No. 2. – PP. 89–151.
15. Продеус А.Н. О некоторых особенностях развития объективных методов измерений разборчивости речи // Науч.-техн. журнал. Тематический вып.: Электроника и нанотехнологии. – Киев: НТУ КПИ, 2010. – № 2(55). – С. 217–223.

### Кустова Ольга Сергеевна

Магистрантка Омского гос. техн. ун-та (ОмГТУ)  
Мира пр-т, д. 11, г. Омск, Россия, 644050  
Тел.: +7-923-684-25-08  
Эл. почта: kustova.olga.1994@yandex.ru

**Шешенева Елизавета Анатольевна**

Магистрантка ОмГТУ

Мира пр-т, д. 11, г. Омск, Россия, 644050

Тел.: +7-965-974-06-29

Эл. почта: yelizavetashesheneva@gmail.com

**Калашников Алексей Михайлович**

Студент ОмГТУ

Мира пр-т, д. 11, г. Омск, Россия, 644050

Тел.: +7-913-154-00-70

Эл. почта: betalaex@gmail.com

Kustova O.S., Shesheneva E.A., Kalashnikov A.M.

**Correction of wordy legibility's value to evaluate the security of the premises**

The protected premises, in which confidential information circulates, requires an assessment of their security. To assess the security of premises on the acoustic and vibro-acoustic channel may include appropriate techniques. There is a standard methodology of the Federal Service for Technical and Export Control, which has both advantages and disadvantages. In this regard, the purpose of this work is to correct the values of verbal intelligibility, with the help of the «Whisper» system, taking into account the additions of the standard methodology.

In the presented article the resulted results of the analysis of merits and demerits of a technique of an estimation of verbal intelligibility, additions of this technique are considered. To correct the values of verbal intelligibility in calculating the values of verbal intelligibility, taking into account the additions and improvements recommended in the publications of modern authors, we propose:

– consideration of the influence of technical means of acoustic reconnaissance, namely narrowly focused microphones and noise cleaning means;

– minimization of methodical error due to linearization of the dependence of the sensation level on perception and linearization of verbal intelligibility from the formant.

To analyze the data in the presented article, the calculations of the value of verbal intelligibility using another formant method are performed.

**Keywords:** shotgun microphone; wordy legibility; voice information leak; technical devices of acoustic reconnaissance.

**doi:** 10.21293/1818-0442-2018-21-2-43-47

*References*

1. Sapozhkov M.A. *Akustika: справочник* [Acoustics: reference book]. Moskva, Radio i svjaz' Publ., 1989. no. 2, 336 p.
2. Zheleznyak V.K., Makarov Yu.K., Horev A.A. Methodical approaches to assessing the effectiveness of protection of speech information. *Special equipment*. 2000, no. 4 (5), pp. 2–11 (In Russ.).
3. Trushin V.A., Reva I.L., Ivanov A.V. Improvement of the methodology for assessing speech intelligibility in information security tasks. *Polzunovskii vestnik*. 2012, no. 3-2, pp. 238–241 (In Russ.).
4. Trushin V.A., Reva I.L., Ivanov A.V. Realization of the optimal interference in protecting voice information from leakage through acoustic and vibro-acoustic channels. *Nauchnyy vestnik NGTU*, 2011, № 4, pp. 140–145 (In Russ.).
5. Sagdeev K.M., Petrenko V.I. Methodology for assessing the technical security of information in dedicated rooms.

*News of the SFU. Technical science*, 2012, no. 12 (137), pp. 109–121 (In Russ.).

6. Oleinikov A.N. Comparative characteristics of the parameters of narrowly directed microphones. *Radio engineering: All-Ukrainian interdepartmental scientific and technical collection*, Kharkiv, 2014, Issue 177, pp. 161–171 (In Russ.).

7. Horev A.A. Acoustical reconnaissance means: directional microphones and laser acoustic reconnaissance systems. *Special equipment and communications*. 2008, no. 3(3), pp. 34–43 (In Rus)

8. Zajcev A.P. Meshherjakov R.V., Shelupanov A.A. *Tekhnicheskie sredstva i metody zashhity informacii*. [Technical means and methods of information security.] Moskva, Goryachaja liniya, Telekom Publ., 2013. 442 p.

9. Menshakov Ju.K. *Zashhita objektov i informatizacii ot tekhnicheskikh sredstv razvedki*. [Protection of objects and information from technical means of reconnaissance.] Moskva, Rossijskiy gosudarstvennyj gumanitarnyj universitet Publ., 2002, 399 p.

10. Kozlachkov S.B. Methodical aspects of assessing the security of voice information. *Special equipment and communications*. 2001, no. 2(6), pp. 44–47 (In Russ.).

11. Parshin K.A., Anashkin P.A. Comparative analysis of methods for assessing the security of voice information from leakage through direct acoustic channels in the certification of allocated premises. *Herald UFD, Information security*, 2015, no. 5(15), pp. 13–26 (In Russ.).

12. Reva I.L. Comparative analysis of objective methods for assessing speech intelligibility. *Collection of scientific works of NSTU*. Novosibirsk, NSTU, 2010, no. 1(59), pp. 91–102 (In Russ.).

13. Kryter K.D. Methods for the calculation and use of the articulation index. *J. Acoust. Soc. Am.* 1962? vol. 34. pp. 1689–1697.

14. Fletcher H., Galt F. Perception of Speech and its Relation to Telephony. *The Journal Acoustical Society of Amerika*. 1950, vol. 22, no. 2, pp. 89–151.

15. Prodeus A. N. About features of the development of objective methods of measuring speech intelligibility. *Scientific and Technical Journal. Thematic issue Electronics and nanotechnology*. Kiev, NTU KPI, pp. 217–223 (In Russ.)

**Olga S. Kustova**

Master of Science Omsk State Technical University (OmSTU)

Mira pr., 11, Omsk, Russia, 644050

Phone.: +7-923-684-25-08

Email: kustova.olga.1994@yandex.ru

**Elizaveta A. Shesheneva**

Master of Science, OmSTU

Mira pr., 11, Omsk, Russia, 644050

Phone.: +7-965-974-06-29

Email: yelizavetashesheneva@gmail.com

**Alexey M. Kalashnikov**

Student of OmSTU

Mira pr., 11, Omsk, Russia, 644050

Phone.: +7-913-154-00-70

Email: betalaex@gmail.com