

УДК 631.3:331.45:681.84/.85

UDC 631.3:331.45:681.84/.85

05.00.00 Технические науки

Engineering sciences

**СРАВНЕНИЕ СПЕКТРОГРАММ НАИБОЛЕЕ АКУСТИЧЕСКИ НАГРУЖЕННЫХ РЕЖИМОВ РАБОТЫ КОМБАЙНОВ****COMPARISON OF SPECTROGRAMS OF THE MOST ACOUSTICALLY LOADED MODES OF OPERATION OF HARVESTERS**

Гайда Анна Станиславовна

аспирантка

SPIN-код 8695-2067

*Луганский государственный аграрный университет, Луганск, Украина*

Hayda Anna Stanislavovna

postgraduate

RSCI SPIN-code 8695-2067

*Luhansk State Agrarian University, Luhansk, Ukraine*

Метод конечных элементов (МКЭ) на сегодня является стандартным методом акустического анализа. Идеология МКЭ - это нахождение решения функции на максимально допустимом множестве кусочно-непрерывных функций, определенных на допустимом числе подобластей. Количество подобластей имеет конечное значение, а неизвестная непрерывная величина аппроксимируется на каждом элементе полиномом, который приобретает определенные значения в узлах. Полиномы разные, но воспроизводят непрерывность общей величины вдоль своих границ. При этом по техническим особенностям расчетного процесса, нужна минимизация количества полиномов по критерию допустимой точности. В выбранной модели программы COMSOL Multiphysics исследуемый диапазон частот образован суммой 10 отрезков (поддиапазонов). Такой поддиапазон является минимальным дискретным значением при определенных условиях расчета. То есть, полученное расчетное значение на этом поддиапазоне можно рассматривать как результат расчета путем использования полосового фильтра с шириной пропускания 35 Гц. На основе этого анализа делается вывод об изменении состояния шумовой нагрузки на комбайнера относительно предыдущего измерения по нормативной методике. В дальнейшем, если найдено изменение состояния шумовой нагрузки, выполняются уточняющие измерения. На основе этих измерений руководителю предприятия даются рекомендации или по проверке заявленных акустических характеристик агрегатов и механизмов комбайна, или в отношении проверки акустических решений путей передачи структурного шума (шума от агрегатов, который передается в кабину по корпусу конструкции комбайна), или же по проверке шумоизоляции кабины

Nowadays the method of finite elements (MFE) is a standard method of acoustic analysis. It consists in finding the solution of the function on the maximum allowable quantity of piecewise continuous functions that are determined in allowed number of sub-domains. The number of sub-domains has a finite value but an unknown continuous value is approximated by the polynomial on each element that acquires specific values in the nodes. Polynomials can be various but all of them produce continuity of total value along its limits. Herewith because of technical features of the calculation process minimization of numbers of polynomials is required according to the criterion of acceptable precision. In the chosen COMSOL Multiphysics program model the range of frequencies under analysis is the result of the sum of 10 segments (sub-ranges). Such a sub-range is a minimal discrete value in certain conditions of calculation. Thus, the calculated value on this sub-range can be considered as the result of calculation by means of using the band-pass filter with 35 Hz bandwidth. Because of this, we can draw a conclusion about changing the state change of the noise exposure on the combine operator with respect to the previous measurement according to the regulatory methodology. Hereinafter if the stated change of the noise exposure is found, measurements that are more precise are taken. On the basis of these measurements the head of the company receives recommendations either on verification of stated acoustic characteristics of devices and mechanisms of a harvester or on verification of acoustic ways of transmission of structural noise (noise created by devices that penetrates into the booth through the combine body), or on verification of noise isolation of the booth

Ключевые слова: ШУМ, СЕЛЬСКОЕ ХОЗЯЙСТВО, КОМБАЙНЫ, АКУСТИКА, АНАЛИЗ, РАСЧЁТЫ

Keywords: NOISE, AGRICULTURE, HARVESTERS, ACOUSTICS, ANALYSIS, CALCULATIONS

**Doi: 10.21515/1990-4665-121-078**

Метод конечных элементов (МКЭ) на сегодня является стандартным методом акустического анализа. Особенности его применения исследованы рядом работ [1; 2; 3; 4; 5; 6; 7; 8; 9; 10]. Отметим, что идеология МКЭ – это нахождение решения функции на максимально допустимом множестве кусочно-непрерывных функций, определенных на допустимом числе подобластей. То есть, для определения непрерывной функции строится дискретная модель, в которой геометрия воспроизведена в последовательности область – подобласть (элемент). Подобласти между собой имеют общие узловые точки. Количество подобластей имеет конечное значение, а неизвестная непрерывная величина аппроксимируется на каждом элементе полиномом, который приобретает определенные значения в узлах. Полиномы разные, но воспроизводят непрерывность общей величины вдоль своих границ. При этом по техническим особенностям расчетного процесса, нужна минимизация количества полиномов по критерию допустимой точности.

Таким образом, например, для тонких твердых пластин и стандартизированного значение уровня звукового давления 94 дБ (1 Па давления) для площади поверхности  $1 \text{ м}^2$  структурной модели с помощью МКЭ можем получить описание колебаний по дискретизированной сетке узлов.

Исходя из сказанного, определим соответствие исследуемой модели по программе COMSOL Multiphysics (модель Car Interior) результатам измерений шумомером в кабине комбайна. Для этого обсчитаем уровень звукового давления в октавной полосе и сравним его с ранее приведенными значениями согласно режимам работы комбайна R1-R6.

Отметим следующее: в выбранной модели программы COMSOL Multiphysics исследуемый диапазон частот образован суммой 10 отрезков (поддиапазонов). Такой поддиапазон является минимальным дискретным значением при определенных условиях расчета. То есть, полученное

расчетное значение на этом поддиапазоне можно рассматривать как результат расчета путем использования полосового фильтра с шириной пропускания 35 Гц. Для сходимости результатов такой фильтр должен соответствовать принципам расчета при использовании стандартных октавных и долеоктавных фильтров. Поэтому полученное для поддиапазона значение уровня звукового давления является результатом усреднений на этом отрезке частоты. Поскольку график в данном случае образован отрезками прямых линий, для усреднений могут быть использованы точка в начале отрезка (шага расчета) и конечная точка этого отрезка. При этом оба значения уровня звукового давления учитываются как два измерения в одной точке для одного и того же значения частотной полосы. В дальнейшем, для определения уровня звукового давления на всем диапазоне (для всей октавной полосы, разделенной шагами расчета) используется стандартная формула логарифмического добавления уровней звукового давления согласно разным частотным полосам.

То есть, согласно стандарту «ГОСТ 12.1.027-80. ССБТ. Шум. Определение шумовых характеристик источников шума в реверберационном помещении. Технический метод» [11] обчисляем средние значения уровней звукового давления в соответствующих диапазонах, равных шагу расчета (35 Гц), а затем воспользуемся формулой стандарта «ГОСТ 12.4.095-80 Машины сельскохозяйственные самоходные. Методы определения вибрационных и шумовых характеристик» [12] для расчета уровня звукового давления во всей октавной полосе.

Определим средний уровень звукового давления как:

$$L_{cp} = 10 \cdot \log_{10} \left( \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n (10^{0,1 \cdot L_i}) \right), (1)$$

где  $n$  - количество измерений в выбранном интервале частот;  $L_i$  - значения уровней звукового давления по замерам, дБ;  $L_{cp}$  - среднее значение уровня звукового давления в выбранном интервале частот.

По аналогии с формулой 1 приложения 2 «ГОСТ 12.4.095-80 ГОСТ 12.4.095-80 Машины сельскохозяйственные самоходные. Методы определения вибрационных и шумовых характеристик» [12] обозначим уровень звукового давления в октавной полосе как:

$$L_{октавный} = 10 \cdot \log_{10} \left( \sum_{z=1}^m (10^{0,1 \cdot L_{серз}}) \right) \quad (2)$$

где  $L_{серз}$  - среднее значение уровня звукового в выбранном интервале частот соответствующей октавы;  $m$  - количество равных интервалов частот, на которые разбита октава.

Тогда, октавная полоса со среднегеометрической частотой 500 Гц примерно образована суммой следующих интервалов частот:

(360-395) Гц, (395-430) Гц, (430-465) Гц, (465-500) Гц, (500-535) Гц, (535-570) Гц, (570-605) Гц, (605-640) Гц, (640-675) Гц, (675-710) Гц.

Далее рассмотрим следующее. Проводимые измерения с помощью шумомера по наиболее нагруженному (F11, F12, F13) акустическому режиму R4 (скорость барабана обмолота 1240 об / мин., скорость мотвила 18 об/мин) и экспериментальному (F20, F21, F22) режиму R7 (скорость барабана обмолота 1240 об/мин., скорость мотвила 18 об / мин, двери кабины открыты). Необходимым условием являются следующие значения измерений: по режиму R1 (скорость барабана обмолота 1090 об./мин., скорость мотвила 18 об./мин.); значение измерений по режиму R2 (скорость барабана обмолота 1090 об./мин., скорость мотвила 36 об./мин.); значение измерений по режиму R3 (скорость барабана обмолота 1090 об./мин., скорость мотвила 46 об./мин.); значение измерений по режиму R4 (скорость барабана обмолота 1240 об./мин., скорость мотвила 18 об./мин.); значение измерений по режиму R5 (скорость барабана обмолота 1240 об./мин., скорость мотвила 36 об./мин.); значение

измерений по режиму R6 (скорость барабана обмолота 1240 об./мин., скорость мотвила 46 об./мин.). На базе режима R4 создан режим R7 (скорость барабана обмолота – 1240 об/мин., скорость мотвила – 18 об/мин., двери кабины открыты). На измерении F12 (режим R4) и на измерении F22 (режим R7) сделаны соответствующие аудиозаписи в кабине комбайна (f12 и f22).

Из четырех временных характеристик измерений выберем для исследования следующие: Slow –ю медленно, Fast – быстро, Impulse – импульс. Приведем файлы измерений F12 и F22 в виде:

F12

Интервал:; 0:01:03;

УЗД в октавах;

;31.5;63.0;125;250;500;1k;2.0k;4.0k;8.0k;16k;

Slow;99.83;88.39;86.81;78.84;81.46;70.48;68.89;65.16;56.70;47.41;

Fast;100.81;89.13;88.61;80.58;83.05;70.48;69.44;65.63;58.20;47.77;

Imp;102.02;89.84;89.32;80.78;83.88;70.71;69.68;66.39;59.00;48.36;

Корр. уровни;

;C;A;Z;

Slow;103.43;80.44;108.72;

F22

Интервал:; 0:01:03;

УЗД в октавах;

;31.5;63.0;125;250;500;1k;2.0k;4.0k;8.0k;16k;

Slow;97.13;90.03;92.98;87.43;85.25;79.33;76.86;74.38;70.91;67.14;

Fast;98.98;92.94;93.09;87.74;85.99;79.71;77.10;74.41;71.71;68.02;

Imp;99.50;92.90;94.40;88.24;85.80;79.61;76.89;74.23;71.55;67.95;

Корр. уровни;

;C;A;Z;

Slow;99.64;86.46;102.85;

Согласно пункта 3, таблицы 3 методических указаний [13] установлены следующие среднегеометрические и граничные частоты октавных полос (таблица 1)

Таблица 1 - Граничные и среднегеометрические частоты октавных полос

Среднегеометрические частоты, Гц	Граничные частоты, Гц	
	Нижние	Верхние
31,5	22,4	45
63	45	90
125	90	180
250	180	355
500	355	710
1000	710	1400
2000	1400	2800
4000	2800	5600
8000	5600	11200

То есть, в диапазоне частот от 355 до 710 Гц для определенного режима R4 имеется превышение уровней звукового давления дБ, что и является возможной причиной превышения уровня звука в дБА. Отметим, что поскольку преобразования dB SPL в dB FS происходит без специальных корректирующих плагинов на частотную характеристику А и в соответствии с пунктом 3 документа [14] разрешенный входящий максимальный сигнал составляет -9 dBfs от разрешенного максимального уровня программного сигнала (т.е. от 96 дБ) получим, что максимальный сигнал записанного измерения шума в шкале dBFS будет определен как -9 dB. Заметим еще, что наиболее близкой из трех характеристик (Slow - медленно, Fast – быстро, Impulse – импульс) по скорости усреднения к интервалу дискретизации программы Audacity является характеристика Impulse, поскольку время усреднения согласно [15] составляет 35 мс против 125 мс (Fast) и 1 с (Slow). То есть, в отличие от стандартного использования режима "медленно" согласно [12] более целесообразно

использовать записанные значения на характеристике "импульс", учитывая к тому же их несколько больший уровень.

Программа Audacity позволяет производить экспорт данных построенного спектра в формат .txt. Данные по этим файлами f12spectrum.txt и f22spectrum.txt используем для расчетов уровней электрического сигнала в октавных полосах и сравнений с измеренными уровнями звукового давления. Также отметим, что программа Audacity по условиям воспроизведения спектра (файлы приложения № f12spectrum.txt и f22spectrum.txt) разбивает весь диапазон частот на отрезки (поддиапазоны, шаги расчета) величиной в 21,533203 Гц. Но, вследствие неравномерности ЧХ выбранного микрофона и других погрешностей, необходимо ограничиться частотами до 1400 Гц. Для вычислений рассмотрели соответствующие аудиофайлы f12 «Енисей 9502 и f22 «Енисей 950». Аудиофайлы оцифрованы с частотой 44100 Гц, разрядность – 16 bit. Принцип построения спектра (рисунок 1) – быстрое преобразование Фурье, окно Ханнинга.

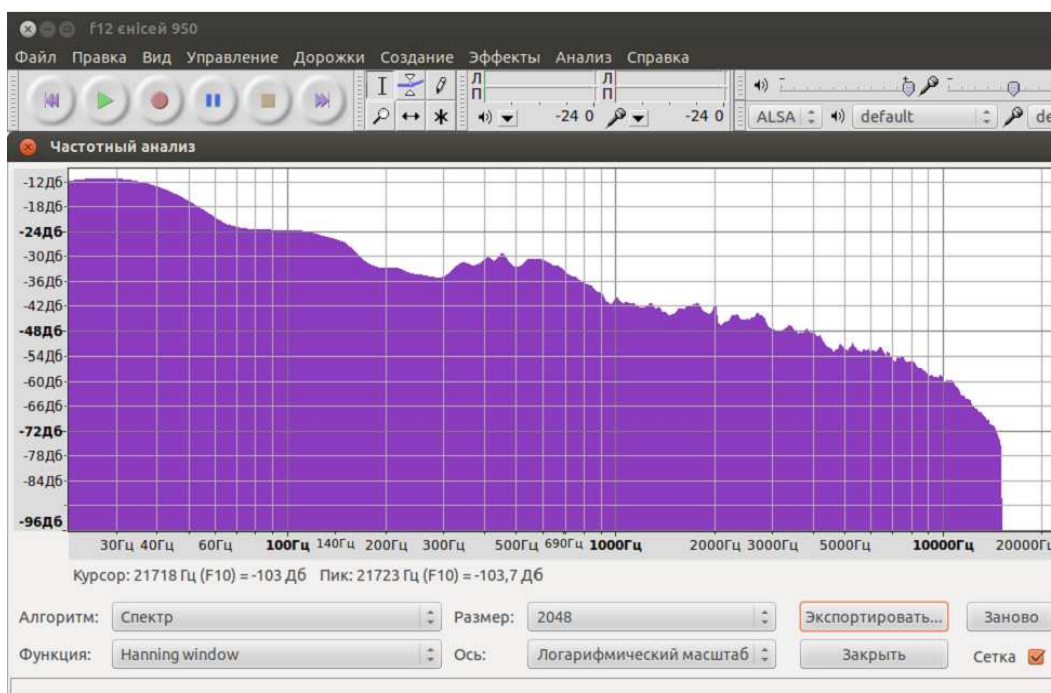


Рисунок 1 - Спектр аудиосигнала f12 «Енисей КЗС 950»

Сравним (таблица 2) данные из файла спектра аудиозаписи звука (исполненного одновременно с измерением F12) и значение Impulse того же измерения F12.

Таблица 2 - Сравнение расчетов по сетке dBFS для аудиосигнала f12 и измерений F12 по сетке dB SPL

Уровень по спектру по шкале dBFS, дБ	Частота по спектру в шкале dBFS	Средне-геометрические частоты октавных полос	Граничные частоты, Гц		Уровень звукового давления в октавной полосе на характеристике Impulse, дБ
			Нижние	Верхние	
		31,5	22,4	45	102.02
-11,889264	21,533203				
-14,182815	43,066406				
		63	45	90	89.84
-22,168369	64,599609				
-23,617258	86,132812				
		125	90	180	89.32
-23,727686	107,666016				
-25,184093	129,199219				
-26,882010	150,732422				
-31,161892	172,265625				
		250	180	355	80.78
-32,813438	193,798828				
-32,751102	215,332031				
-34,055592	236,865234				
-34,528946	258,398438				
-35,014404	279,931641				
-34,920830	301,464844				
-32,824665	322,998047				
-31,442049	344,531250				
		500	355	710	83.88
-32,201778	366,064453				
-31,659883	387,597656				
-30,266401	409,130859				
-31,153183	430,664062				
-29,227552	452,197266				
-31,280098	473,730469				
-32,631126	495,263672				
-32,238548	516,796875				
-30,885176	538,330078				



Продолжение таблицы 2

Уровень по спектру по шкале dBFS, дБ	Частота по спектру в шкале dBFS	Средне-геометрические частоты октавных полос	Граничные частоты, Гц		Уровень звукового давления в октавной полосе на характеристике Impulse, дБ
			Нижние	Верхние	
-30,708902	559,863281				
-30,612803	581,396484				
-31,041922	602,929688				
-31,632893	624,462891				
-32,284660	645,996094				
-32,409538	667,529297				
-33,200581	689,062500				
		1000	710	1400	70.71
-34,241753	710,595703				
-34,799866	732,128906				
-35,009384	753,662109				
-35,837799	775,195312				
-36,416824	796,728516				
-36,876415	818,261719				
-37,017086	839,794922				
-38,147041	861,328125				
-38,634487	882,861328				
-38,975578	904,394531				
-40,465874	925,927734				
-41,175198	947,460938				
-41,617508	968,994141				
-40,399536	990,527344				
-40,071445	1012,060547				
-41,044201	1033,593750				
-41,207020	1055,126953				
-41,015877	1076,660156				
-41,329334	1098,193359				
-41,431736	1119,726562				
-41,401173	1141,259766				
-42,098972	1162,792969				
-42,302246	1184,326172				
-42,217815	1205,859375				
-42,275414	1227,392578				
-41,822212	1248,925781				
-41,315403	1270,458984				
-41,518726	1291,992188				
-42,524834	1313,525391				
-42,543034	1335,058594				
-42,308933	1356,591797				
-43,249458	1378,125000				
-43,481575	1399,658203				

По таблице 2 количество поддиапазонов величине 21.53Гц составляет:

а) для октавной полосы со среднегеометрической частотой 31.5 Гц - 1 отрезок;

б) для октавной полосы со среднегеометрической частотой 63 Гц - 1 отрезок;

в) для октавной полосы со среднегеометрической частотой 125 Гц - 3 отрезка;

г) для октавной полосы со среднегеометрической частотой 250 Гц - 7 отрезков;

д) для октавной полосы со среднегеометрической частотой 500 Гц - 15 отрезков;

е) для октавной полосы со среднегеометрической частотой 1000 Гц - 32 отрезка.

В дальнейшем воспользуемся схемой расчета уровней dBFS в октавных полосах, которая выше использовалась для расчета результатов для модели COMSOL Multiphysics.

То есть, для каждой октавной полосы:

1) обсчитаем уровни в середине шагов расчета (поддиапазонов частот величиной 21.53 Гц) по формуле (1)

2) обсчитаем уровень звукового давления в октавной полосе путем логарифмического добавления по формуле (2).

Обозначим пары значений по своим отрезками в диапазоне частот от 21.53 Гц до 1399.66 Гц:

$A = (11.89 \ 14.18)$ ;  $B = (22.17 \ 23.62)$ ;  $C1 = (23.73 \ 25.18)$ ;

$C2 = (25.18 \ 26.88)$ ;  $C3 = (26.88 \ 31.16)$ ;  $D1 = (32.81 \ 32.75)$ ;

$D2 = (32.75 \ 34.06)$ ;  $D3 = (34.06 \ 34.53)$ ;  $D4 = (34.53 \ 35.01)$ ;

$D5 = (35.01 \ 34.92)$ ;  $D6 = (34.92 \ 32.83)$   $D7 = (32.83 \ 31.44)$ ;

$Y1 = (32.20 \ 31.66)$ ;  $Y2 = (31.66 \ 30.27)$ ;  $Y3 = (30.27 \ 31.15)$ ;

$Y_4 = (31.15 \ 29.23)$ ;  $Y_5 = (29.23 \ 31.28)$ ;  $Y_6 = (31.28 \ 32.63)$ ;  
 $Y_7 = (32.63 \ 32.24)$ ;  $Y_8 = (32.24 \ 30.89)$ ;  $Y_9 = (30.89 \ 30.71)$ ;  
 $Y_{10} = (30.71 \ 30.61)$ ;  $Y_{11} = (30.61 \ 31.04)$ ;  $Y_{12} = (31.04 \ 31.63)$ ;  
 $Y_{13} = (31.63 \ 32.29)$ ;  $Y_{14} = (32.29 \ 32.41)$ ;  $Y_{15} = (32.41 \ 33.2)$ ;  
 $F_1 = (34.24 \ 34.8)$ ;  $F_2 = (34.8 \ 35.01)$ ;  $F_3 = (35.01 \ 35.84)$ ;  
 $F_4 = (35.84 \ 36.42)$ ;  $F_5 = (36.42 \ 36.88)$ ;  $F_6 = (36.88 \ 37.02)$ ;  
 $F_7 = (37.02 \ 38.15)$ ;  $F_8 = (38.15 \ 38.63)$ ;  $F_9 = (38.63 \ 38.98)$ ;  
 $F_{10} = (38.98 \ 40.47)$ ;  $F_{11} = (40.47 \ 41.18)$ ;  $F_{12} = (41.18 \ 41.62)$ ;  
 $F_{13} = (41.62 \ 40.4)$ ;  $F_{14} = (40.4 \ 40.07)$ ;  $F_{15} = (40.07 \ 41.04)$ ;  
 $F_{16} = (41.04 \ 41.21)$ ;  $F_{17} = (41.21 \ 41.02)$ ;  $F_{18} = (41.02 \ 41.33)$ ;  
 $F_{19} = (41.33 \ 41.43)$ ;  $F_{20} = (41.43 \ 41.4)$ ;  $F_{21} = (41.4 \ 42.1)$ ;  
 $F_{22} = (42.1 \ 42.3)$ ;  $F_{23} = (42.3 \ 42.22)$ ;  $F_{24} = (42.22 \ 42.28)$ ;  
 $F_{25} = (42.28 \ 41.82)$ ;  $F_{26} = (41.82 \ 41.32)$ ;  $F_{27} = (41.32 \ 41.52)$ ;  
 $F_{28} = (41.52 \ 42.53)$ ;  $F_{29} = (42.53 \ 42.54)$ ;  $F_{30} = (42.54 \ 42.31)$ ;  
 $F_{31} = (42.31 \ 43.25)$ ;  $F_{32} = (43.25 \ 43.48)$ .

Расчеты выполним в программе SMath Studio. Расчет уровней dBFS аудиосигнала f12 в октавных полосах.

$A := (11.89 \ 14.18)$   $B := (22.17 \ 23.62)$   $C1 := (23.73 \ 25.18)$   $C2 := (25.18 \ 26.88)$

$C3 := (26.88 \ 31.16)$   $D1 := (32.81 \ 32.75)$   $D2 := (32.75 \ 34.06)$   $D3 := (34.06 \ 34.53)$

$D4 := (34.53 \ 35.01)$   $D5 := (35.01 \ 34.92)$   $D6 := (34.92 \ 32.83)$   $D7 := (32.83 \ 31.44)$

$a := 1..2$   $b := 1..2$   $c := 1..2$   $d := 1..2$   $LP1 := Xa$   $LP2 := Xb$

$$Xa := 10 \cdot \log_{10} \left( \frac{1}{2} \cdot \sum_{a=1}^2 \left( 10^{0.1A_{1a}} \right) \right) \quad Xb := 10 \cdot \log_{10} \left( \frac{1}{2} \cdot \sum_{b=1}^2 \left( 10^{0.1B_{1b}} \right) \right)$$

$$Xc1 := 10 \cdot \log_{10} \left( \frac{1}{2} \cdot \sum_{c=1}^2 \left( 10^{0.1C_{1c}} \right) \right)$$

$$Xc2:= 10 \cdot \log_{10} \left( \frac{1}{2} \cdot \sum_{c=1}^2 \left( 10^{0,1 \cdot C2_{1c}} \right) \right) \quad Xc3:= 10 \cdot \log_{10} \left( \frac{1}{2} \cdot \sum_{c=1}^2 \left( 10^{0,1 \cdot C3_{1c}} \right) \right)$$

$$Xd1:= 10 \cdot \log_{10} \left( \frac{1}{2} \cdot \sum_{d=1}^2 \left( 10^{0,1 \cdot D1_{1d}} \right) \right)$$

$$Xd2:= 10 \cdot \log_{10} \left( \frac{1}{2} \cdot \sum_{d=1}^2 \left( 10^{0,1 \cdot D2_{1d}} \right) \right) \quad Xd3:= 10 \cdot \log_{10} \left( \frac{1}{2} \cdot \sum_{d=1}^2 \left( 10^{0,1 \cdot D3_{1d}} \right) \right)$$

$$Xd4:= 10 \cdot \log_{10} \left( \frac{1}{2} \cdot \sum_{d=1}^2 \left( 10^{0,1 \cdot D4_{1d}} \right) \right)$$

$$Xd5:= 10 \cdot \log_{10} \left( \frac{1}{2} \cdot \sum_{d=1}^2 \left( 10^{0,1 \cdot D5_{1d}} \right) \right) \quad Xd6:= 10 \cdot \log_{10} \left( \frac{1}{2} \cdot \sum_{d=1}^2 \left( 10^{0,1 \cdot D6_{1d}} \right) \right)$$

$$Xd7:= 10 \cdot \log_{10} \left( \frac{1}{2} \cdot \sum_{d=1}^2 \left( 10^{0,1 \cdot D7_{1d}} \right) \right)$$

$$W1:= (Xc1 \ Xc2 \ Xc3) \quad W2:= (Xd1 \ Xd2 \ Xd3 \ Xd4 \ Xd6 \ Xd7)$$

$$t1:= 1..3 \quad t2:= 1..7 \quad t3:= 1..3$$

$$LP3:= 10 \cdot \log_{10} \left( \sum_{t1=1}^3 \left( 10^{0,1 \cdot W1_{1t1}} \right) \right)$$

$$W3:= (Xb \ LP3 \ LP4)$$

$$LP5:= 10 \cdot \log_{10} \left( \sum_{t3=1}^3 \left( 10^{0,1 \cdot W3_{1t3}} \right) \right)$$

$$LP1 = 13.1842 \quad LP2 = 22.9552 \quad LP3 = 32.0092 \quad LP4 = 42.3332 \quad LP5 = 42.7643$$

$$Y1:= (32.20 \ 31.66) \quad Y2:= (31.66 \ 30.27) \quad Y3:= (30.27 \ 31.15) \quad Y4:= (31.15 \ 29.23)$$

$$Y5:= (32.20 \ 31.66)$$

$$Y6:= (31.28 \ 32.63) \quad Y7:= (32.63 \ 32.24) \quad Y8:= (32.24 \ 30.71) \quad Y9:= (30.89 \ 30.71)$$

$$Y10:= (30.71 \ 30.61)$$

$$Y11:= (30.61 \ 31.04) \quad Y12:= (31.04 \ 31.63) \quad Y13:= (31.63 \ 32.29) \quad Y14:= (32.29 \ 32.41)$$

$$Y_{15} := (32.41 \ 33.2)$$

$$F_1 := (32.24 \ 34.8) \ F_2 := (34.8 \ 35.01) \ F_3 := (35.01 \ 35.84) \ F_4 := (35.84 \ 36.42)$$

$$F_5 := (36.42 \ 36.88)$$

$$F_6 := (36.88 \ 37.02) \ F_7 := (37.02 \ 38.15) \ F_8 := (38.15 \ 38.63) \ F_9 := (38.63 \ 38.98)$$

$$F_{10} := (38.98 \ 40.47)$$

$$F_{11} := (40.47 \ 41.18) \ F_{12} := (41.18 \ 41.62) \ F_{13} := (41.62 \ 40.4) \ F_{14} := (40.4 \ 40.07)$$

$$F_{15} := (60.07 \ 41.04)$$

$$F_{16} := (41.04 \ 41.21) \ F_{17} := (41.21 \ 41.02) \ F_{18} := (41.02 \ 41.33) \ F_{19} := (41.33 \ 41.43)$$

$$F_{20} := (41.43 \ 41.4)$$

$$F_{21} := (41.4 \ 42.1) \ F_{22} := (42.1 \ 42.3) \ F_{23} := (42.3 \ 42.22) \ F_{24} := (42.22 \ 42.28)$$

$$F_{25} := (42.28 \ 41.82)$$

$$F_{26} := (41.82 \ 41.32) \ F_{27} := (41.32 \ 41.52) \ F_{28} := (41.52 \ 42.53) \ F_{29} := (42.53 \ 42.54)$$

$$F_{30} := (42.54 \ 42.31) \ F_{31} := (42.31 \ 43.25) \ F_{32} := (43.25 \ 43.48)$$

$$y := 1..2 \ f := 1..2 \ t_4 := 1..15 \ t_5 := 1..32$$

$$X_{y1} := 10 \cdot \log_{10} \left( \frac{1}{2} \cdot \sum_{y=1}^2 \left( 10^{0.1 \cdot Y_{1y}} \right) \right) \quad X_{y2} := 10 \cdot \log_{10} \left( \frac{1}{2} \cdot \sum_{y=1}^2 \left( 10^{0.1 \cdot Y_{2y}} \right) \right)$$

$$X_{y3} := 10 \cdot \log_{10} \left( \frac{1}{2} \cdot \sum_{y=1}^2 \left( 10^{0.1 \cdot Y_{3y}} \right) \right)$$

$$X_{y4} := 10 \cdot \log_{10} \left( \frac{1}{2} \cdot \sum_{y=1}^2 \left( 10^{0.1 \cdot Y_{4y}} \right) \right) \quad X_{y5} := 10 \cdot \log_{10} \left( \frac{1}{2} \cdot \sum_{y=1}^2 \left( 10^{0.1 \cdot Y_{5y}} \right) \right)$$

$$X_{y6} := 10 \cdot \log_{10} \left( \frac{1}{2} \cdot \sum_{y=1}^2 \left( 10^{0.1 \cdot Y_{6y}} \right) \right)$$

$$Xy7:= 10 \cdot \log_{10} \left( \frac{1}{2} \cdot \sum_{y=1}^2 \left( 10^{0,1 \cdot Y7_{1y}} \right) \right) \quad Xy8:= 10 \cdot \log_{10} \left( \frac{1}{2} \cdot \sum_{y=1}^2 \left( 10^{0,1 \cdot Y8_{1y}} \right) \right)$$

$$Xy9:= 10 \cdot \log_{10} \left( \frac{1}{2} \cdot \sum_{y=1}^2 \left( 10^{0,1 \cdot Y9_{1y}} \right) \right)$$

$$Xy10:= 10 \cdot \log_{10} \left( \frac{1}{2} \cdot \sum_{y=1}^2 \left( 10^{0,1 \cdot Y10_{1y}} \right) \right) \quad Xy11:= 10 \cdot \log_{10} \left( \frac{1}{2} \cdot \sum_{y=1}^2 \left( 10^{0,1 \cdot Y11_{1y}} \right) \right)$$

$$Xy12:= 10 \cdot \log_{10} \left( \frac{1}{2} \cdot \sum_{y=1}^2 \left( 10^{0,1 \cdot Y12_{1y}} \right) \right)$$

$$Xy13:= 10 \cdot \log_{10} \left( \frac{1}{2} \cdot \sum_{y=1}^2 \left( 10^{0,1 \cdot Y13_{1y}} \right) \right) \quad Xy14:= 10 \cdot \log_{10} \left( \frac{1}{2} \cdot \sum_{y=1}^2 \left( 10^{0,1 \cdot Y14_{1y}} \right) \right)$$

$$Xy15:= 10 \cdot \log_{10} \left( \frac{1}{2} \cdot \sum_{y=1}^2 \left( 10^{0,1 \cdot Y15_{1y}} \right) \right)$$

W4:= (Xy1 Xy2 Xy3 Xy4 Xy5 Xy6 Xy7 Xy8 Xy9 Xy10 Xy11 Xy12  
Xy13 Xy14 Xy15)

$$LP6:= 10 \cdot \log_{10} \left( \sum_{t4=1}^{15} \left( 10^{0,1 \cdot W4_{t4}} \right) \right) \quad LP6 = 43.2455$$

$$Xf1:= 10 \cdot \log_{10} \left( \frac{1}{2} \cdot \sum_{f=1}^2 \left( 10^{0,1 \cdot F1_{1f}} \right) \right) \quad Xf2:= 10 \cdot \log_{10} \left( \frac{1}{2} \cdot \sum_{f=1}^2 \left( 10^{0,1 \cdot F2_{1f}} \right) \right)$$

$$Xf3:= 10 \cdot \log_{10} \left( \frac{1}{2} \cdot \sum_{f=1}^2 \left( 10^{0,1 \cdot F3_{1f}} \right) \right)$$

$$Xf4:= 10 \cdot \log_{10} \left( \frac{1}{2} \cdot \sum_{f=1}^2 \left( 10^{0,1 \cdot F4_{1f}} \right) \right) \quad Xf5:= 10 \cdot \log_{10} \left( \frac{1}{2} \cdot \sum_{f=1}^2 \left( 10^{0,1 \cdot F5_{1f}} \right) \right)$$

$$Xf6:= 10 \cdot \log_{10} \left( \frac{1}{2} \cdot \sum_{f=1}^2 \left( 10^{0,1 \cdot F6_{1f}} \right) \right)$$

$$Xf7:= 10 \cdot \log_{10} \left( \frac{1}{2} \cdot \sum_{f=1}^2 \left( 10^{0,1 \cdot F7_{1f}} \right) \right) \quad Xf8:= 10 \cdot \log_{10} \left( \frac{1}{2} \cdot \sum_{f=1}^2 \left( 10^{0,1 \cdot F8_{1f}} \right) \right)$$

$$Xf9:= 10 \cdot \log_{10} \left( \frac{1}{2} \cdot \sum_{f=1}^2 \left( 10^{0,1 \cdot F9_{1f}} \right) \right)$$

$$Xf10:= 10 \cdot \log_{10} \left( \frac{1}{2} \cdot \sum_{f=1}^2 \left( 10^{0,1 \cdot F10_{1f}} \right) \right) \quad Xf11:= 10 \cdot \log_{10} \left( \frac{1}{2} \cdot \sum_{f=1}^2 \left( 10^{0,1 \cdot F11_{1f}} \right) \right)$$

$$Xf12:= 10 \cdot \log_{10} \left( \frac{1}{2} \cdot \sum_{f=1}^2 \left( 10^{0,1F12_{1f}} \right) \right)$$

$$Xf13:= 10 \cdot \log_{10} \left( \frac{1}{2} \cdot \sum_{f=1}^2 \left( 10^{0,1F13_{1f}} \right) \right) \quad Xf14:= 10 \cdot \log_{10} \left( \frac{1}{2} \cdot \sum_{f=1}^2 \left( 10^{0,1F14_{1f}} \right) \right)$$

$$Xf15:= 10 \cdot \log_{10} \left( \frac{1}{2} \cdot \sum_{f=1}^2 \left( 10^{0,1F15_{1f}} \right) \right)$$

$$Xf16:= 10 \cdot \log_{10} \left( \frac{1}{2} \cdot \sum_{f=1}^2 \left( 10^{0,1F16_{1f}} \right) \right) \quad Xf17:= 10 \cdot \log_{10} \left( \frac{1}{2} \cdot \sum_{f=1}^2 \left( 10^{0,1F17_{1f}} \right) \right)$$

$$Xf18:= 10 \cdot \log_{10} \left( \frac{1}{2} \cdot \sum_{f=1}^2 \left( 10^{0,1F18_{1f}} \right) \right)$$

$$Xf19:= 10 \cdot \log_{10} \left( \frac{1}{2} \cdot \sum_{f=1}^2 \left( 10^{0,1F19_{1f}} \right) \right) \quad Xf20:= 10 \cdot \log_{10} \left( \frac{1}{2} \cdot \sum_{f=1}^2 \left( 10^{0,1F20_{1f}} \right) \right)$$

$$Xf21:= 10 \cdot \log_{10} \left( \frac{1}{2} \cdot \sum_{f=1}^2 \left( 10^{0,1F21_{1f}} \right) \right)$$

$$Xf22:= 10 \cdot \log_{10} \left( \frac{1}{2} \cdot \sum_{f=1}^2 \left( 10^{0,1F22_{1f}} \right) \right) \quad Xf23:= 10 \cdot \log_{10} \left( \frac{1}{2} \cdot \sum_{f=1}^2 \left( 10^{0,1F23_{1f}} \right) \right)$$

$$Xf24:= 10 \cdot \log_{10} \left( \frac{1}{2} \cdot \sum_{f=1}^2 \left( 10^{0,1F24_{1f}} \right) \right)$$

$$Xf25:= 10 \cdot \log_{10} \left( \frac{1}{2} \cdot \sum_{f=1}^2 \left( 10^{0,1F25_{1f}} \right) \right) \quad Xf26:= 10 \cdot \log_{10} \left( \frac{1}{2} \cdot \sum_{f=1}^2 \left( 10^{0,1F26_{1f}} \right) \right)$$

$$Xf27:= 10 \cdot \log_{10} \left( \frac{1}{2} \cdot \sum_{f=1}^2 \left( 10^{0,1F27_{1f}} \right) \right)$$

$$Xf28:= 10 \cdot \log_{10} \left( \frac{1}{2} \cdot \sum_{f=1}^2 \left( 10^{0,1F28_{1f}} \right) \right) \quad Xf29:= 10 \cdot \log_{10} \left( \frac{1}{2} \cdot \sum_{f=1}^2 \left( 10^{0,1F29_{1f}} \right) \right)$$

$$Xf30:= 10 \cdot \log_{10} \left( \frac{1}{2} \cdot \sum_{f=1}^2 \left( 10^{0,1F30_{1f}} \right) \right)$$

$$Xf31:= 10 \cdot \log_{10} \left( \frac{1}{2} \cdot \sum_{f=1}^2 \left( 10^{0,1F31_{1f}} \right) \right) \quad Xf32:= 10 \cdot \log_{10} \left( \frac{1}{2} \cdot \sum_{f=1}^2 \left( 10^{0,1F32_{1f}} \right) \right)$$

W5:= (Xf1 Xf2 Xf3 Xf4 Xf5 Xf6 Xf7 Xf8 Xf9 Xf10 Xf11 Xf12 Xf13  
Xf14 Xf15 Xf16 Xf17 Xf18 Xf19 Xf20 Xf21 Xf22)

$$LP7 := 10 \cdot \log_{10} \left( \sum_{t5=1}^{32} \left( 10^{0.1 \cdot W_{51t5}} \right) \right) \quad LP7 = 55.8154$$

Таким образом, уровни аудиосигнала f12 в сетке dBFS составляют:

- для октавной полосы со среднегеометрической частотой 31.5 Гц -  
LP1 = 13.18 dBFS;
- для октавной полосы со среднегеометрической частотой 63 Гц -  
LP2 = 22.96 dBFS;
- для октавной полосы со среднегеометрической частотой 125 Гц -  
LP3 = 32.01 dBFS;
- для октавной полосы со среднегеометрической частотой 250 Гц -  
LP4 = 42.33 dBFS;
- для октавной полосы со среднегеометрической частотой 500 Гц -  
LP6 = 43.25 dBFS;
- для октавной полосы со среднегеометрической частотой 1000 Гц -  
LP7 = 55.82 dBFS.
- для диапазона от 45Гц до 355Гц (включая октавные полосы со среднегеометрическими частотами 63 Гц, 125 Гц, 250 Гц) - LP5 = 42.76 dBFS.

Аналогично проанализируем аудиозапись из кабины комбайна во время измерения F22 (рисунок 2 и таблица 3).



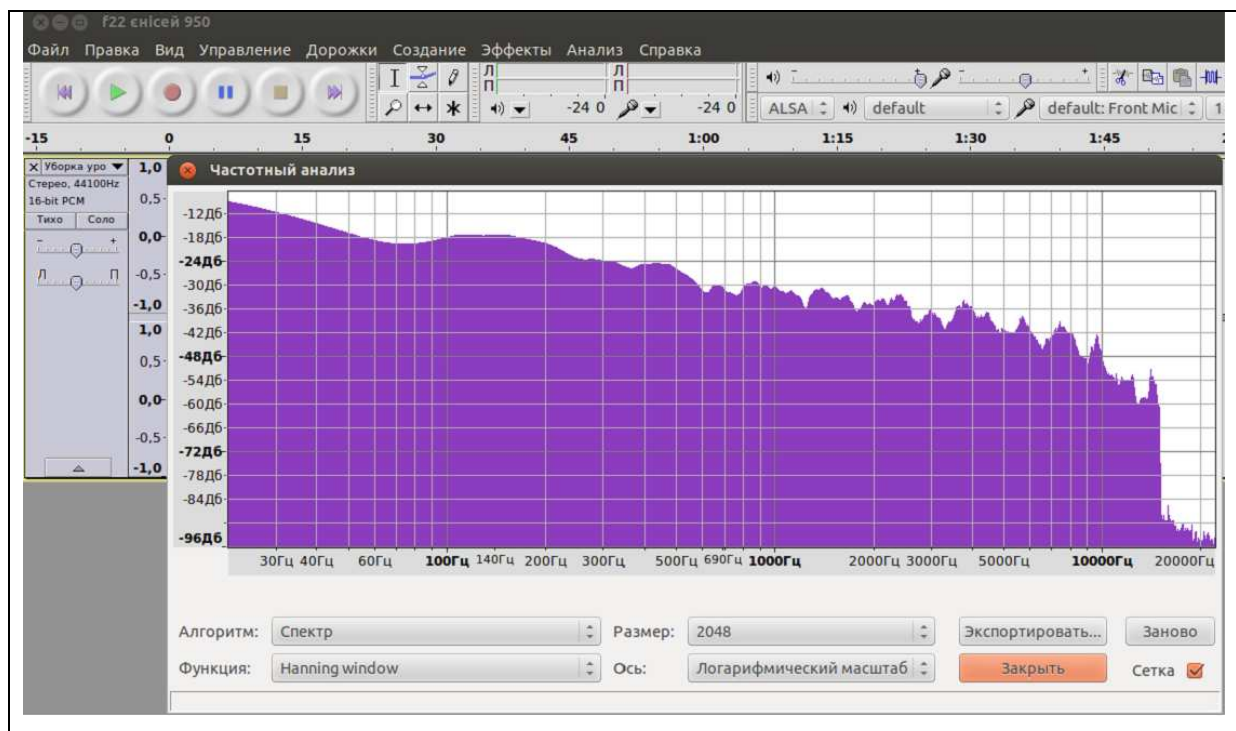


Рисунок 2 - Спектр аудиосигнала f22 «Енисей 950»

Таблица 3 - Сравнение расчетов по сетке dBFS для аудиосигнала f22 Енисей 950 и измерений F22 по сетке dB SPL

Уровень по спектру по шкале dBFS, дБ	Частота по спектру в шкале dBFS	Средне-геометрические частоты октавных полос	Граничные частоты, Гц		Уровень звукового давления в октавной полосе на характеристике Impulse, дБ
			Нижние	Верхние	
		31,5	22,4	45	99.50
-9,110625	21,533203				
-15,413717	43,066406				
		63	45	90	92.90
-19,429035	64,599609				
-19,371147	86,132812				
		125	90	180	94.40
-17,512398	107,666016				
-17,714121	129,199219				
-17,479588	150,732422				
-18,454773	172,265625				

Продолжение таблицы 3

Уровень по спектру по шкале dBFS, дБ	Частота по спектру в шкале dBFS	Средне-геометрические частоты октавных полос	Граничные частоты, Гц		Уровень звукового давления в октавной полосе на характеристике Impulse, дБ
			Нижние	Верхние	
		250	180	355	88.24
-19,321411	193,798828				
-20,583492	215,332031				
-22,566153	236,865234				
-23,660273	258,398438				
-23,619871	279,931641				
-24,051847	301,464844				
-24,094955	322,998047				
-25,315956	344,531250				
		500	355	710	85.80
-25,942024	366,064453				
-24,980345	387,597656				
-24,967396	409,130859				
-24,571724	430,664062				
-24,823143	452,197266				
-24,890142	473,730469				
-25,902958	495,263672				
-26,907084	516,796875				
-27,661142	538,330078				
-28,844282	559,863281				
-30,175701	581,396484				
-31,671953	602,929688				
-32,007381	624,462891				
-30,239079	645,996094				
-30,169384	667,529297				
-30,597136	689,062500				
		1000	710	1400	79.61
-31,814047	710,595703				
-32,109997	732,128906				
-32,608208	753,662109				
-32,475029	775,195312				
-30,943560	796,728516				
-29,655170	818,261719				
-29,920778	839,794922				
-29,206345	861,328125				
-29,453768	882,861328				
-30,792425	904,394531				

Продолжение таблицы 3

Уровень по спектру по шкале dBFS, дБ	Частота по спектру в шкале dBFS	Средне-геометрические частоты октавных полос	Граничные частоты, Гц		Уровень звукового давления в октавной полосе на характеристике Impulse, дБ
			Нижние	Верхние	
-30,322735	925,927734				
-30,521873	947,460938				
-31,295031	968,994141				
-30,531406	990,527344				
-30,798836	1012,060547				
-31,700907	1033,593750				
-31,565430	1055,126953				
-32,359425	1076,660156				
-31,885851	1098,193359				
-31,551823	1119,726562				
-32,296738	1141,259766				
-32,922100	1162,792969				
-32,924591	1184,326172				
-33,936741	1205,859375				
-35,689075	1227,392578				
-35,787731	1248,925781				
-33,332478	1270,458984				
-32,438927	1291,992188				
-31,709234	1313,525391				
-31,232506	1335,058594				
-31,430315	1356,591797				
-30,825621	1378,125000				
-30,919930	1399,658203				

Обозначим пары значений за своими отрезками в диапазоне частот от 21.53 Гц до 1399.66 Гц:

- A = (9.11 15.41); B = (19.43 19.37); C1 = (17.51 17.71);
- C2 = (17.71 17.48); C3 = (17.48 18.45); D1 = (19.32 20.58);
- D2 = (20.58 22.57); D3 = (22.57 23.66); D4 = (23.66 23.62);
- D5 = (23.62 24.05); D6 = (24.05 24.1); D7 = (24.1 25.32);
- Y1 = (25.94 24.98); Y2 = (24.98 24.97); Y3 = (24.97 24.57);
- Y4 = (24.57 24.82); Y5 = (24.82 24.89); Y6 = (24.89 25.9);

$Y7 = (25.9 \ 26.91)$ ;  $Y8 = (26.91 \ 27.76)$   $Y9 = (27.76 \ 28.84)$ ;  
 $Y10 = (28.84 \ 30.18)$ ;  $Y11 = (30.18 \ 31.67)$ ;  $Y12 = (31.67 \ 32.01)$ ;  
 $Y13 = (32.01 \ 30.24)$ ;  $Y14 = (30.24 \ 30.17)$ ;  $Y15 = (30.17 \ 30.6)$ ;  
 $F1 = (31.81 \ 32.11)$ ;  $F2 = (32.11 \ 32.61)$ ;  $F3 = (32.61 \ 32.48)$ ;  
 $F4 = (32.48 \ 30.94)$ ;  $F5 = (30.94 \ 29.66)$ ;  $F6 = (29.66 \ 29.92)$ ;  
 $F7 = (29.92 \ 29.21)$ ;  $F8 = (29.21 \ 29.45)$ ;  $F9 = (29.45 \ 30.79)$ ;  
 $F10 = (30.79 \ 30.32)$ ;  $F11 = (30.32 \ 30.52)$ ;  $F12 = (30.52 \ 31.3)$ ;  
 $F13 = (31.3 \ 30.53)$ ;  $F14 = (30.53 \ 30.8)$ ;  $F15 = (30.8 \ 31.7)$ ;  
 $F16 = (31.7 \ 31.57)$ ;  $F17 = (31.57 \ 32.36)$ ;  $F18 = (32.36 \ 31.89)$ ;  
 $F19 = (31.89 \ 31.55)$ ;  $F20 = (31.55 \ 32.3)$ ;  $F21 = (32.3 \ 32.92)$ ;  
 $F22 = (32.92 \ 32.93)$ ;  $F23 = (32.93 \ 33.94)$ ;  $F24 = (33.94 \ 35.69)$ ;  
 $F25 = (35.69 \ 35.79)$ ;  $F26 = (35.79 \ 33.33)$ ;  $F27 = (33.33 \ 32.44)$ ;  
 $F28 = (32.44 \ 31.71)$ ;  $F29 = (31.71 \ 31.23)$ ;  $F30 = (31.23 \ 31.43)$ ;  
 $F31 = (31.43 \ 30.83)$ ;  $F32 = (30.83 \ 30.92)$ .

Расчеты уровней dBFS в октавных полосах выполним в программе SMath Studio.

$A:= (9.11 \ 15.41)$   $B:= (19.43 \ 19.37)$   $C1:= (17.51 \ 17.71)$   $C2:= (17.71 \ 17.48)$

$C3:= (17.48 \ 18.45)$   $D1:= (19.32 \ 20.58)$   $D2:= (20.58 \ 22.57)$   $D3:= (22.57 \ 23.66)$

$D4:= (23.66 \ 23.62)$   $D5:= (23.62 \ 24.05)$   $D6:= (24.05 \ 24.1)$   $D7:= (24.1 \ 25.32)$

$a:= 1..2$   $b:= 1..2$   $c:= 1..2$   $d:= 1..2$   $LP1:= Xa$   $LP2:= Xb$

$Xa:= 10 \cdot \log_{10} \left( \frac{1}{2} \cdot \sum_{a=1}^2 \left( 10^{0.1 \cdot A_{1a}} \right) \right)$   $Xb:= 10 \cdot \log_{10} \left( \frac{1}{2} \cdot \sum_{b=1}^2 \left( 10^{0.1 \cdot B_{1b}} \right) \right)$

$Xc1:= 10 \cdot \log_{10} \left( \frac{1}{2} \cdot \sum_{c=1}^2 \left( 10^{0.1 \cdot C_{1c}} \right) \right)$

$Xc2:= 10 \cdot \log_{10} \left( \frac{1}{2} \cdot \sum_{c=1}^2 \left( 10^{0.1 \cdot C_{2c}} \right) \right)$   $Xc3:= 10 \cdot \log_{10} \left( \frac{1}{2} \cdot \sum_{c=1}^2 \left( 10^{0.1 \cdot C_{3c}} \right) \right)$

$$Xd1:= 10 \cdot \log_{10} \left( \frac{1}{2} \cdot \sum_{d=1}^2 \left( 10^{0,1 \cdot D1_{1d}} \right) \right)$$

$$Xd2:= 10 \cdot \log_{10} \left( \frac{1}{2} \cdot \sum_{d=1}^2 \left( 10^{0,1 \cdot D2_{1d}} \right) \right) \quad Xd3:= 10 \cdot \log_{10} \left( \frac{1}{2} \cdot \sum_{d=1}^2 \left( 10^{0,1 \cdot D3_{1d}} \right) \right)$$

$$Xd4:= 10 \cdot \log_{10} \left( \frac{1}{2} \cdot \sum_{d=1}^2 \left( 10^{0,1 \cdot D4_{1d}} \right) \right)$$

$$Xd5:= 10 \cdot \log_{10} \left( \frac{1}{2} \cdot \sum_{d=1}^2 \left( 10^{0,1 \cdot D5_{1d}} \right) \right) \quad Xd6:= 10 \cdot \log_{10} \left( \frac{1}{2} \cdot \sum_{d=1}^2 \left( 10^{0,1 \cdot D6_{1d}} \right) \right)$$

$$Xd7:= 10 \cdot \log_{10} \left( \frac{1}{2} \cdot \sum_{d=1}^2 \left( 10^{0,1 \cdot D7_{1d}} \right) \right)$$

W1:= (Xc1 Xc2 Xc3) W2:= (Xd1 Xd2 Xd3 Xd4 Xd6 Xd7) W3:= (Xb  
LP3 LP4)

$$t1:= 1..3 \quad t2:= 1..7 \quad t3:= 1..3$$

$$LP3:= 10 \cdot \log_{10} \left( \sum_{t1=1}^3 \left( 10^{0,1 \cdot W1_{t1}} \right) \right) \quad LP4:= 10 \cdot \log_{10} \left( \sum_{t2=1}^7 \left( 10^{0,1 \cdot W2_{t2}} \right) \right)$$

$$LP5:= 10 \cdot \log_{10} \left( \sum_{t3=1}^3 \left( 10^{0,1 \cdot W3_{t3}} \right) \right)$$

LP1 = 13.3143 LP2 = 19.4001 LP3 = 22.5083 LP4 = 31.7071 LP5 =  
32.4224

$$Y1:= (25.94 \ 24.98) \quad Y2:= (24.98 \ 24.97) \quad Y3:= (24.97 \ 24.57)$$

$$Y4:= (24.57 \ 24.82) \quad Y5:= (24.82 \ 24.89) \quad Y6:= (24.89 \ 25.9)$$

$$Y7:= (25.9 \ 26.91) \quad Y8:= (26.91 \ 27.76) \quad Y9:= (27.76 \ 28.84)$$

$$Y10:= (28.84 \ 30.18) \quad Y11:= (30.18 \ 31.67) \quad Y12:= (31.67 \ 32.01)$$

$$Y13:= (32.01 \ 30.24) \quad Y14:= (30.24 \ 30.17) \quad Y15:= (30.17 \ 30.6)$$

$$F1:= (31.81 \ 32.11) \quad F2:= (32.11 \ 32.61) \quad F3:= (32.61 \ 32.48)$$

$$F4:= (32.48 \ 30.94) \quad F5:= (30.94 \ 29.66) \quad F6:= (29.66 \ 29.92)$$

$$F7:= (29.92 \ 29.21) \quad F8:= (29.21 \ 29.45) \quad F9:= (29.45 \ 30.79)$$

$$F10:= (30.79 \ 30.32) \quad F11:= (30.32 \ 30.52) \quad F12:= (30.52 \ 31.3)$$

$$F13:= (31.3 \ 30.53) \quad F14:= (30.53 \ 30.08) \quad F15:= (30.8 \ 31.7)$$

F16:= (31.7 31.57) F17:= (31.57 32.36) F18:= (32.36 31.89)  
 F19:= (31.89 31.55) F20:= (31.55 32.3) F21:= (32.3 32.92)  
 F22:= (32.92 32.93) F23:= (32.93 33.94) F24:= (33.94 35.69)  
 F25:= (35.69 35.79) F26:= (35.79 33.33) F27:= (33.33 32.44)  
 F28:= (32.44 31.71) F29:= (31.71 31.23) F30:= (31.23 31.43)  
 F31:= (31.43 30.83) F32:= (30.83 30.92)

Y1:= (25.94 24.98) Y2:= (24.98 24.97) Y3:= (24.97 24.57) Y4:= (24.57  
 24.82)

Y5:= (24.82 24.89)

Y6:= (24.89 25.9) Y7:= (25.9 26.91) Y8:= (26.91 27.76) Y9:= (27.76  
 28.84)

Y10:= (28.84 30.18)

Y11:= (30.18 31.67) Y12:= (31.67 32.01) Y13:= (32.01 30.24) Y14:=  
 (30.24 30.17)

Y15:= (30.17 30.6)

F1:= (31.81 32.11) F2:= (32.11 32.61) F3:= (32.61 32.48) F4:= (32.48  
 30.94) F5:= (30.94 29.66)

F6:= (29.66 29.92) F7:= (29.92 29.21) F8:= (29.21 29.45) F9:= (29.45  
 30.79)

F10:= (30.79 30.32)

F11:= (30.32 30.52) F12:= (30.52 31.3) F13:= (31.3 30.53) F14:= (30.53  
 30.08)

F15:= (30.8 31.7)

F16:= (31.7 31.57) F17:= (31.57 32.36) F18:= (32.36 31.89) F19:= (31.89  
 31.55)

F20:= (31.55 32.3)

F21:= (32.3 32.92) F22:= (32.92 32.93) F23:= (32.93 33.94) F24:= (33.94  
 35.69)

$$F25:= (35.69 \ 35.79)$$

$$F26:= (35.79 \ 33.33) \ F27:= (33.33 \ 32.44) \ F28:= (32.44 \ 31.71) \ F29:= (31.71 \ 31.23)$$

$$F30:= (31.23 \ 31.43)$$

$$F31:= (31.43 \ 30.83) \ F32:= (30.83 \ 30.92)$$

$$y:= 1..2 \ f:= 1..2 \ t4:= 1..15 \ t5:= 1..32$$

$$Xy1:= 10 \cdot \log_{10} \left( \frac{1}{2} \cdot \sum_{y=1}^2 \left( 10^{0,1 \cdot Y1_y} \right) \right) \quad Xy2:= 10 \cdot \log_{10} \left( \frac{1}{2} \cdot \sum_{y=1}^2 \left( 10^{0,1 \cdot Y2_y} \right) \right)$$

$$Xy3:= 10 \cdot \log_{10} \left( \frac{1}{2} \cdot \sum_{y=1}^2 \left( 10^{0,1 \cdot Y3_y} \right) \right)$$

$$Xy4:= 10 \cdot \log_{10} \left( \frac{1}{2} \cdot \sum_{y=1}^2 \left( 10^{0,1 \cdot Y4_y} \right) \right) \quad Xy5:= 10 \cdot \log_{10} \left( \frac{1}{2} \cdot \sum_{y=1}^2 \left( 10^{0,1 \cdot Y5_y} \right) \right)$$

$$Xy6:= 10 \cdot \log_{10} \left( \frac{1}{2} \cdot \sum_{y=1}^2 \left( 10^{0,1 \cdot Y6_y} \right) \right)$$

$$Xy7:= 10 \cdot \log_{10} \left( \frac{1}{2} \cdot \sum_{y=1}^2 \left( 10^{0,1 \cdot Y7_y} \right) \right) \quad Xy8:= 10 \cdot \log_{10} \left( \frac{1}{2} \cdot \sum_{y=1}^2 \left( 10^{0,1 \cdot Y8_y} \right) \right)$$

$$Xy9:= 10 \cdot \log_{10} \left( \frac{1}{2} \cdot \sum_{y=1}^2 \left( 10^{0,1 \cdot Y9_y} \right) \right)$$

$$Xy10:= 10 \cdot \log_{10} \left( \frac{1}{2} \cdot \sum_{y=1}^2 \left( 10^{0,1 \cdot Y10_y} \right) \right) \quad Xy11:= 10 \cdot \log_{10} \left( \frac{1}{2} \cdot \sum_{y=1}^2 \left( 10^{0,1 \cdot Y11_y} \right) \right)$$

$$Xy12:= 10 \cdot \log_{10} \left( \frac{1}{2} \cdot \sum_{y=1}^2 \left( 10^{0,1 \cdot Y12_y} \right) \right)$$

$$Xy13:= 10 \cdot \log_{10} \left( \frac{1}{2} \cdot \sum_{y=1}^2 \left( 10^{0,1 \cdot Y13_y} \right) \right) \quad Xy14:= 10 \cdot \log_{10} \left( \frac{1}{2} \cdot \sum_{y=1}^2 \left( 10^{0,1 \cdot Y14_y} \right) \right)$$

$$Xy15:= 10 \cdot \log_{10} \left( \frac{1}{2} \cdot \sum_{y=1}^2 \left( 10^{0,1 \cdot Y15_y} \right) \right)$$

$$W4:= (Xy1 \ Xy2 \ Xy3 \ Xy4 \ Xy5 \ Xy6 \ Xy7 \ Xy8 \ Xy9 \ Xy10 \ Xy11 \ Xy12 \ Xy13 \ Xy14 \ Xy15)$$

$$LP6:= 10 \cdot \log_{10} \left( \sum_{t4=1}^{15} \left( 10^{0,1 \cdot W4_{t4}} \right) \right) \quad LP6 = 40.3086$$

$$\begin{aligned}
 Xf1 &:= 10 \cdot \log_{10} \left( \frac{1}{2} \cdot \sum_{f=1}^2 \left( 10^{0,1F1_{1f}} \right) \right) & Xf2 &:= 10 \cdot \log_{10} \left( \frac{1}{2} \cdot \sum_{f=1}^2 \left( 10^{0,1F2_{1f}} \right) \right) \\
 Xf3 &:= 10 \cdot \log_{10} \left( \frac{1}{2} \cdot \sum_{f=1}^2 \left( 10^{0,1F3_{1f}} \right) \right) \\
 Xf4 &:= 10 \cdot \log_{10} \left( \frac{1}{2} \cdot \sum_{f=1}^2 \left( 10^{0,1F4_{1f}} \right) \right) & Xf5 &:= 10 \cdot \log_{10} \left( \frac{1}{2} \cdot \sum_{f=1}^2 \left( 10^{0,1F5_{1f}} \right) \right) \\
 Xf6 &:= 10 \cdot \log_{10} \left( \frac{1}{2} \cdot \sum_{f=1}^2 \left( 10^{0,1F6_{1f}} \right) \right) \\
 Xf7 &:= 10 \cdot \log_{10} \left( \frac{1}{2} \cdot \sum_{f=1}^2 \left( 10^{0,1F7_{1f}} \right) \right) & Xf8 &:= 10 \cdot \log_{10} \left( \frac{1}{2} \cdot \sum_{f=1}^2 \left( 10^{0,1F8_{1f}} \right) \right) \\
 Xf9 &:= 10 \cdot \log_{10} \left( \frac{1}{2} \cdot \sum_{f=1}^2 \left( 10^{0,1F9_{1f}} \right) \right) \\
 Xf10 &:= 10 \cdot \log_{10} \left( \frac{1}{2} \cdot \sum_{f=1}^2 \left( 10^{0,1F10_{1f}} \right) \right) & Xf11 &:= 10 \cdot \log_{10} \left( \frac{1}{2} \cdot \sum_{f=1}^2 \left( 10^{0,1F11_{1f}} \right) \right) \\
 Xf12 &:= 10 \cdot \log_{10} \left( \frac{1}{2} \cdot \sum_{f=1}^2 \left( 10^{0,1F12_{1f}} \right) \right) \\
 Xf13 &:= 10 \cdot \log_{10} \left( \frac{1}{2} \cdot \sum_{f=1}^2 \left( 10^{0,1F13_{1f}} \right) \right) & Xf14 &:= 10 \cdot \log_{10} \left( \frac{1}{2} \cdot \sum_{f=1}^2 \left( 10^{0,1F14_{1f}} \right) \right) \\
 Xf15 &:= 10 \cdot \log_{10} \left( \frac{1}{2} \cdot \sum_{f=1}^2 \left( 10^{0,1F15_{1f}} \right) \right) \\
 Xf16 &:= 10 \cdot \log_{10} \left( \frac{1}{2} \cdot \sum_{f=1}^2 \left( 10^{0,1F16_{1f}} \right) \right) & Xf17 &:= 10 \cdot \log_{10} \left( \frac{1}{2} \cdot \sum_{f=1}^2 \left( 10^{0,1F17_{1f}} \right) \right) \\
 Xf18 &:= 10 \cdot \log_{10} \left( \frac{1}{2} \cdot \sum_{f=1}^2 \left( 10^{0,1F18_{1f}} \right) \right) \\
 Xf19 &:= 10 \cdot \log_{10} \left( \frac{1}{2} \cdot \sum_{f=1}^2 \left( 10^{0,1F19_{1f}} \right) \right) & Xf20 &:= 10 \cdot \log_{10} \left( \frac{1}{2} \cdot \sum_{f=1}^2 \left( 10^{0,1F20_{1f}} \right) \right) \\
 Xf21 &:= 10 \cdot \log_{10} \left( \frac{1}{2} \cdot \sum_{f=1}^2 \left( 10^{0,1F21_{1f}} \right) \right) \\
 Xf22 &:= 10 \cdot \log_{10} \left( \frac{1}{2} \cdot \sum_{f=1}^2 \left( 10^{0,1F22_{1f}} \right) \right) & Xf23 &:= 10 \cdot \log_{10} \left( \frac{1}{2} \cdot \sum_{f=1}^2 \left( 10^{0,1F23_{1f}} \right) \right)
 \end{aligned}$$



$$Xf24 := 10 \cdot \log_{10} \left( \frac{1}{2} \cdot \sum_{f=1}^2 \left( 10^{0,1F24_{1f}} \right) \right)$$

$$Xf25 := 10 \cdot \log_{10} \left( \frac{1}{2} \cdot \sum_{f=1}^2 \left( 10^{0,1F25_{1f}} \right) \right) \quad Xf26 := 10 \cdot \log_{10} \left( \frac{1}{2} \cdot \sum_{f=1}^2 \left( 10^{0,1F26_{1f}} \right) \right)$$

$$Xf27 := 10 \cdot \log_{10} \left( \frac{1}{2} \cdot \sum_{f=1}^2 \left( 10^{0,1F27_{1f}} \right) \right)$$

$$Xf28 := 10 \cdot \log_{10} \left( \frac{1}{2} \cdot \sum_{f=1}^2 \left( 10^{0,1F28_{1f}} \right) \right) \quad Xf29 := 10 \cdot \log_{10} \left( \frac{1}{2} \cdot \sum_{f=1}^2 \left( 10^{0,1F29_{1f}} \right) \right)$$

$$Xf30 := 10 \cdot \log_{10} \left( \frac{1}{2} \cdot \sum_{f=1}^2 \left( 10^{0,1F30_{1f}} \right) \right)$$

$$Xf31 := 10 \cdot \log_{10} \left( \frac{1}{2} \cdot \sum_{f=1}^2 \left( 10^{0,1F31_{1f}} \right) \right) \quad Xf32 := 10 \cdot \log_{10} \left( \frac{1}{2} \cdot \sum_{f=1}^2 \left( 10^{0,1F32_{1f}} \right) \right)$$

$$W5 := (Xf1 \ Xf2 \ Xf3 \ Xf4 \ Xf5 \ Xf6 \ Xf7 \ Xf8 \ Xf9 \ Xf10 \ Xf11 \ Xf12 \ Xf13 \\ Xf14 \ Xf15 \ Xf16 \ Xf17 \ Xf18 \ Xf19 \ Xf20 \ Xf21 \ Xf22)$$

$$LP7 := 10 \cdot \log_{10} \left( \sum_{t5=1}^{32} \left( 10^{0,1 \cdot W5_{1t5}} \right) \right) \quad LP7 = 47.0815$$

Таким образом, уровни аудиосигнала f22 в сетке dBFS составляют:

- для октавной полосы со среднегеометрической частотой 31.5 Гц -  
LP1 = 13.31 dBFS;

- для октавной полосы со среднегеометрической частотой 63 Гц -  
LP2 = 19.4 dBFS;

- для октавной полосы со среднегеометрической частотой 125 Гц -  
LP3 = 22.51 dBFS;

- для октавной полосы со среднегеометрической частотой 250 Гц -  
LP4 = 31.71 dBFS;

- для октавной полосы со среднегеометрической частотой 500 Гц -  
LP6 = 40.31 dBFS;

- для октавной полосы со среднегеометрической частотой 1000 Гц - LP7 = 47.08 dBFS.

- для диапазона от 45Гц до 355Гц (включая октавные полосы со среднегеометрическими частотами 63 Гц, 125 Гц, 250 Гц) - LP5 = 32.42 dBFS

Обсчитаем также уровни звукового давления Ls12 и Ls22 в диапазоне частот от 45Гц до 355Гц для соответствующих измерений F12 и F22 на характеристике Impulse (дБ).

Определим для измерения F12 матрицу S12, а для измерения F22 матрицу S22.

Расчет уровней звукового давления в диапазоне частот от 45Гц до 355 Гц:

$$S12 := (89.84 \ 89.32 \ 80.78) \ S22 := (92.9 \ 94.4 \ 88.24) \ t := 1..3$$

$$Ls12 := 10 \cdot \log_{10} \left( \sum_{t=1}^3 \left( 10^{0.1 \cdot S12_t} \right) \right) \quad Ls22 := 10 \cdot \log_{10} \left( \sum_{t=1}^3 \left( 10^{0.1 \cdot S22_t} \right) \right)$$

$$Ls12 = 92.8748 \quad Ls22 = 97.3005$$

Сопоставим (табл. 4) значения в октавных полосах для аудиосигналов f12 «Енисей 950» и f22 «Енисей 950» (шкала dBFS) и значений согласно временной характеристики IMPULSE для измерений F12 и F22 (шкала dBSPL).

Таблица 4 - Соотношение уровней в октавных кругах

Средне-геометрические частоты октавных полос	Уровень аудиосигнала f12 по спектру в шкале dBFS, дБ	Уровень аудиосигнала f22 по спектру в шкале dBFS, дБ	Уровень звукового давления для измерения F12 в октавной полосе на характеристике Impulse, дБ	Уровень звукового давления для измерения F22 в октавной полосе на характеристик e Impulse, дБ
31,5	- 13.18	- 13.31	102.02	99.50
63	- 22.96	- 19.4	89.84	92.90
125	- 32.01	- 22.51	89.32	94.40
250	- 42.33	- 31.71	80.78	88.24
500	- 43.25	- 40.31	83.88	85.80
1000	- 55.82	- 47.08	70.71	79.61

Сопоставим (табл. 5) значения в полосе 45Гц до 355Гц для аудиосигналов f12 Енисей 950 и f22 Енисей 950 (шкала dBFS) и значений согласно временной характеристики IMPULSE для измерений F12 и F22 (шкала dBSPL).

Таблица 5 - Соотношение уровней в полосе 45 Гц до 355 Гц

Диапазон частот от 45Гц до 355Гц (включает в себя октавные полосы со среднегеометрическими частотами 63 Гц, 125 Гц, 250 Гц)			
Уровень LP5f12 аудиосигнала f12 по спектру в шкале dBFS, дБ	Уровень LP5f22 аудиосигнала f22 по спектру в шкале dBFS, дБ	Уровень Ls12 звукового давления для измерения F12 на характеристике Impulse, дБ	Уровень Ls22 звукового давления для измерения F22 на характеристике Impulse, дБ
- 42.76	- 32.42	92.87	97.3

Высчитаем (табл. 6) различия  $\theta$  в уровнях аудиосигнала f22 и f12, а также различия  $\xi$  в уровнях звукового давления на характеристике Impulse для измерений F22 и F12.

Таблица 6 - Расхождение в уровнях в соответствующих октавных полосах

Средне-геометричные частоты октавных полос, Гц	Расхождения $\theta$ в уровнях аудиосигнала $f_{22}$ и $f_{12}$	Расхождения $\xi$ в уровнях звукового давления на характеристике Impulse для измерений $F_{22}$ та $F_{12}$
31,5	0.13	- 2.52
63	3.56	3.06
125	9.5	5.08
250	10.62	7.46
500	2.94	1.92
1000	8.74	8.9

Согласно рассмотренному отметим:

1) аудиотракт в октавной полосе со среднегеометрической частотой 31.5 Гц слабо реагирует на изменение уровня звукового давления;

2) несоответствие  $(100 * \theta/\xi)$  воспроизведения аудиотрактом изменения уровней звукового давления:

- для октавной полосы со среднегеометрической частотой 63 Гц составляет 16%;

- для октавной полосы со среднегеометрической частотой 125 Гц составляет 87%;

- для октавной полосы со среднегеометрической частотой 250 Гц составляет 42%;

- для октавной полосы со среднегеометрической частотой 500 Гц составляет 53%;

- для октавной полосы со среднегеометрической частотой 1000 Гц составляет - 2%.

То есть:

а) Согласно точности воспроизведения изменений звукового давления на характеристике Impulse наиболее информативными параметрами спектра звукового сигнала аудиотракта являются уровни в

сетке dBFS в октавных полосах со среднегеометрическими частотами 63 Гц и 1000 Гц.

б) Наибольший прирост энергии акустического шума в экспериментальном режиме R7 наблюдается в октавных полосах со среднегеометрическими частотами 63 Гц, 125 Гц, 250 Гц.

Для наглядной оценки влияния прироста энергии построим графики (рисунок 3) уровней звукового давления на соответствующих режимах работы комбайна R (R4 – максимально акустически нагруженный режим, R7 – экспериментальный режим на базе режима R4). Значение для режимов R4, R7 – по данным таблицы 7.

Таблица 7 - Значения усредненных уровней звукового давления по измерениям шумомера в октавных полосах на временной характеристике “медленно” на соответствующих акустических режимах (R) работы комбайна

R	Уровни звукового давления в октавных полосах с соответствующими среднегеометрическими частотами, дБ								
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
R4	100.33	88.79	86.60	78.70	81.56	70.90	68.87	65.33	56.60
R7	97.29	89.35	92.06	86.98	85.67	79.77	76.75	74.16	70.86

Построения выполним в среде MatLab:

```
f = [31.5 63 125 250 500 1000 2000 4000 8000]
p4 = [100.33 88.79 86.60 78.70 81.56 70.90 68.87 65.33 56.60]
p7 = [97.29 89.35 92.06 86.98 85.67 79.77 76.75 74.16 70.86]
semilogx(f,p4,f,p7)
xlabel('frequency')
ylabel('sound pressure level')
```

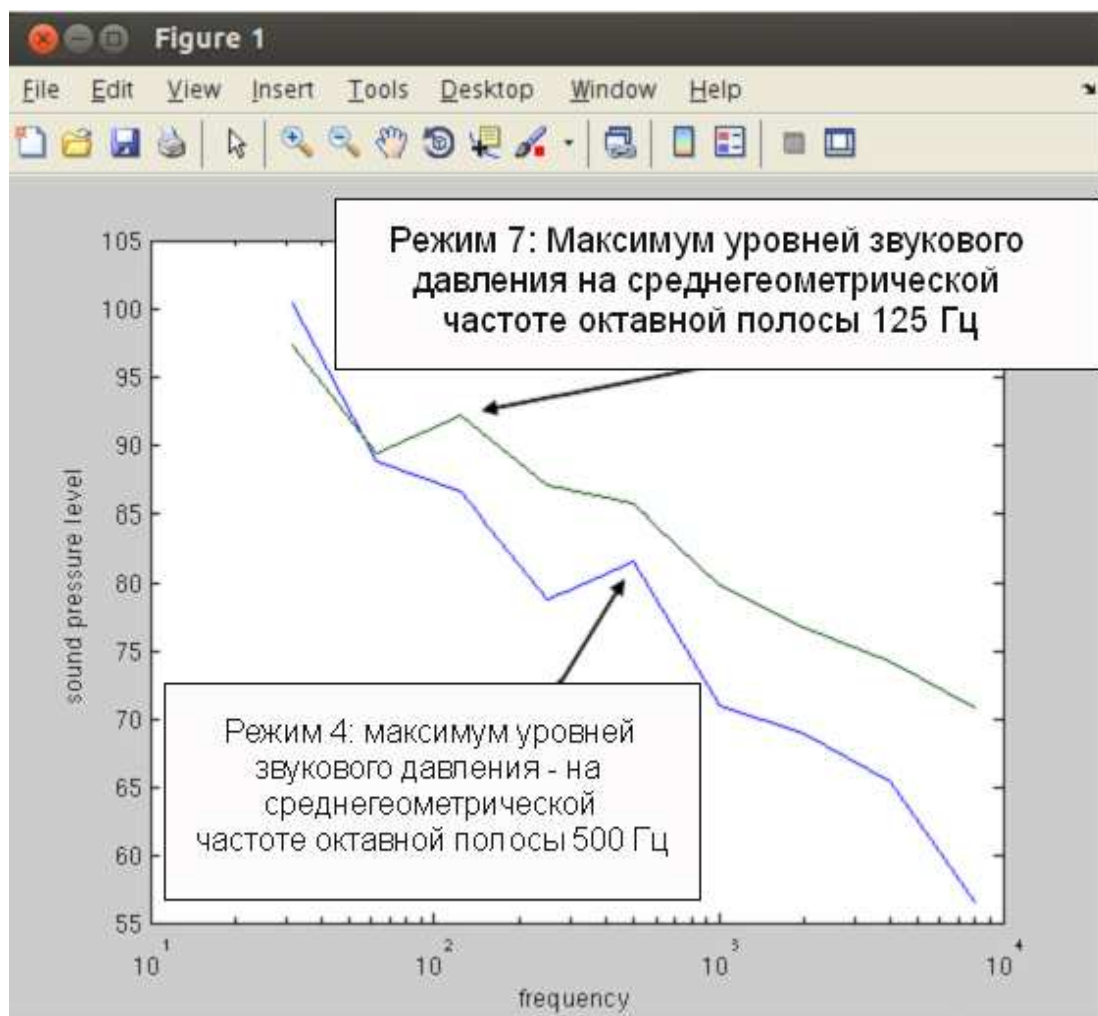


Рисунок 3 - Спектрограммы усреднений шумовых измерений R4 и R7

Согласно рисунка 3, имеем смещение максимума уровней звукового давления в более низкочастотную область на режиме R7 за счет прироста звуковой энергии, которое отражено в приросте  $\xi_{LS} = L_{s22} - L_{s12} = 97.3 - 92.87 = 4.43$  дБ (dBSPL). Этот прирост звуковой энергии вызывает прирост энергии аудиосигнала  $\theta_{LP5} = LP_{5f22} - LP_{5f12} = -32.42 - (-42.76) = 10.34$  дБ (dBFS).

Таким образом, факт увеличения шумовой нагрузки на комбайнера можно обнаружить по параметрам аудиосигнала, записанного в кабине согласно рисунка 3. При этом для сравнений используются данные согласно предыдущему измерению на базе нормативной методики с

использованием записи измерений на временной характеристике "IMPULSE". В качестве информативных параметров для анализа изменений уровней сигнала аудиотректа предлагаются следующие: 1) оценка динамики уровней в сетке dBFS в октавных полосах со среднегеометрическими частотами 63 Гц и 1000 Гц; 2) оценка перемещения максимума уровней аудиосигнала в сетке dBFS с определением прироста уровней в аудиотректе ( $\theta LP5$ ) в группе октавных полос. Использование упрощенной методики оценки шумовой нагрузки в межповерочный период (то есть, между измерениями согласно ГОСТ 12.1.003-83) заключается в следующем:

Согласно заранее определенной регулярности в кабине комбайна, расположенного на стояночный площадке, проводится аудиозапись (согласно рисунку 4) на режиме, подобном режиму R4.

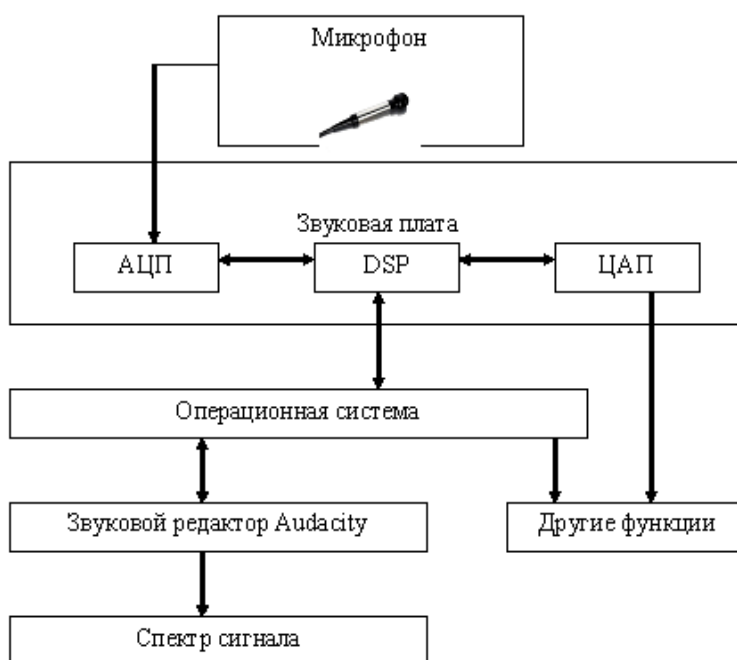


Рисунок 4 – Воспроизведение спектра шума комбайна с помощью звукозаписывающего тракта: АЦП - аналого-цифровой преобразователь, DSP (Digital signal processor) - микропроцессор цифровых сигналов, ЦАП - цифро-аналоговый преобразователь

При этом устанавливается наиболее акустически нагруженный режим с параметрами:

- обороты коленвала двигателя составляют 2000 оборотов в минуту (скорость оценивается с помощью стационарного тахометра)
- скорость барабана обмолота 1 240 об/мин., скорость мотвила 18 об/мин.

Аудиозапись проводится не менее 1 минуты. То есть, на этом этапе выполняет свои задачи мобильный пункт контроля. После этого записанный аудиофайл передается с помощью модема и стандарта HSDPA (по рисунок 5) в центральный пункт информационно-аналитической сети (рисунок 6).

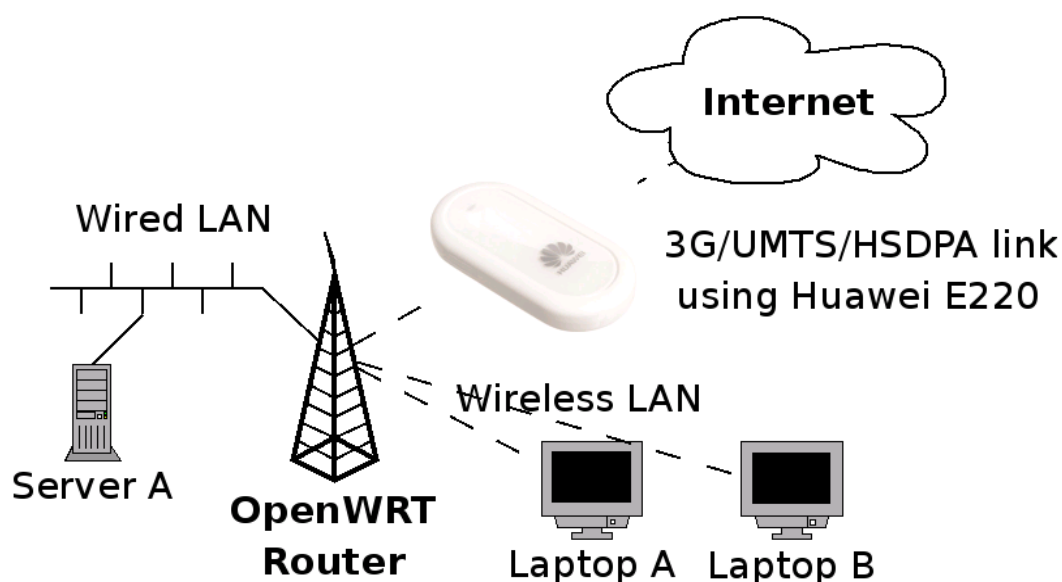


Рисунок 5 – Возможность применения технологии по стандарту HSDPA в сочетании с технологиями Wired LAN и Wiress LAN



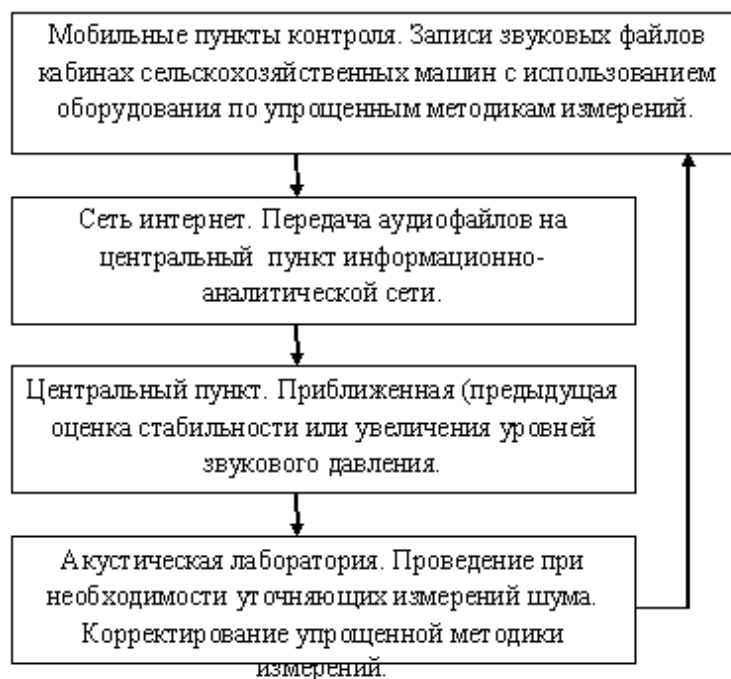


Рисунок 6 – Структура информационно-аналитической сети

В центральном пункте проводится обработка файла аудиозаписи с целью оценки:

- а) динамики уровней в сетке dBFS в октавных полосах со среднегеометрическими частотами 63 Гц и 1000 Гц;
- б) перемещение максимума уровней аудиосигнала в сетке dBFS с определением прироста уровней в аудиотракте ( $\theta$ LP5) в группе октавных полос.

В конечном итоге, на основе этого анализа делается вывод об изменении состояния шумовой нагрузки на комбайнера относительно предыдущего измерения по нормативной методике. В дальнейшем, если найдено изменение состояния шумовой нагрузки, акустическая лаборатория, с выездом на место, с точным воспроизведением нормативной методики (подробно описанной в этом исследовании) выполняет уточняющие измерения.

На основе этих измерений руководителю предприятия даются рекомендации или по проверке заявленных акустических характеристик агрегатов и механизмов комбайна (предварительная диагностика

технического состояния), или в отношении проверки акустических решений путей передачи структурного шума (шума от агрегатов, который передается в кабину по корпусу конструкции комбайна), или же по проверке шумоизоляции кабины. Кроме этого руководитель предприятия получает информацию о способе шумозащиты комбайнера, как, например, предложенные в этом исследовании шумозащитные наушники. Эта методика была внедрена в фермерском хозяйстве г. Кременная Луганской области.

### Литература

1. Silece. D2.2 User-friendly and fast methods. Pressure field based powertrain and sound propagation description [Электронный ресурс]. - EUROPEAN COMMISSION DG RESEARCH. - SIXTH FRAMEWORK PROGRAMME. PRIORITY 6. - SUSTAINABLE DEVELOPMENT, GLOBAL CHANGE & ECOSYSTEMS. INTEGRATED PROJECT – CONTRACT N. 516288. - 18/04/2005. – Способ доступа: [http://www.silence-ip.org/site/fileadmin/public\\_reports/SILENCE\\_D.D9\\_1\\_170206\\_AVL.pdf](http://www.silence-ip.org/site/fileadmin/public_reports/SILENCE_D.D9_1_170206_AVL.pdf).
2. Сильвестер, П. Метод конечных элементов для радиоинженеров и инженеров-электриков [Текст] / П. Сильвестер, Р. Феррари. – М.: Мир, 1986. – 229 с.
3. Бреббия, К. Методы граничных элементов [Текст] / К. Бреббия, Ж. Теллес, Л. Вроубел. – М.: Мир, 1987. – 524 с.
4. Стрелков, С.П. Введение в теорию колебаний [Текст] / С.П. Стрелков. – М.: Наука, 1964. – 440 с.
5. Шлычков, С.В. Исследование динамических свойств механоакустических систем [Текст] / С.В. Шлычков // Проблемы механики современных машин: Материалы четвертой международной конференции / ВСГТУ. – Улан-Удэ, 2009. – Т.3. – С. 266–270.
6. Сегерлинд, П. Применение метода конечных элементов [Текст] / П. Гегерлинд / Пер. с англ. - М.: Мир, 1979. – 392 с.
7. Стренг, Г. Теория метода конечных элементов [Текст] / Г.Стренг, Дж.Фикс / Пер. с англ. – М.: Мир, 1977. – 352 с.
8. Зенкевич, О. Метод конечных элементов в технике [Текст] / О. Зенкевич. – М.: Мир, 1975. – 541 с.
9. Деклу Ж. Метод конечных элементов [Текст] / Ж. Деклу. – М.: Мир, 1976. – 96 с.
10. Осипов, А.А. Использование метода конечных элементов для расчёта акустических полей в неоднородных потоках газа [Текст] / А.А. Осипов, И.А. Ширковский // Вычисл. матем. и матем. физ. – 1988 – № 28:3. – С. 362-374.
11. ГОСТ 12.1.027-80. [Текст] ССБТ. Шум. Определение шумовых характеристик источников шума в реверберационном помещении. Технический метод. – М.: Изд-во стандартов, 1989. – 11 с.

12. ГОСТ 12.4.095-80 Машины сельскохозяйственные самоходные. Методы определения вибрационных и шумовых характеристик [Текст]. – М.: Издательство стандартов, 1988. – 15 с.

13. МУ 1844-78 [Электронный ресурс]. – Методические указания по проведению измерений и гигиенической оценки шумов на рабочих местах. Министерство здравоохранения СССР, Москва, 1978 г. – Способ доступа: <http://acoustic-ufa.ru/methods/mu-1844-78.htm> [23.05.2009 22:24:04]. 14. Документ: ITU-R BS645 – [Электронный ресурс]. – Test signals and metering to be used on international sound programme connections (1986-1990-1992). – Способ доступа: [http://www.itu.int/dms\\_pubrec/itu-r/rec/bs/R-REC-BS.645-2-199203-I!!PDF-E.pdf](http://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/bs/R-REC-BS.645-2-199203-I!!PDF-E.pdf).

15. Прецизионный шумомер Октава 110А. – [Электронный ресурс]. – Руководство по эксплуатации, РЭ 4381-003-76596538-06, Москва, 2006 г. – Способ доступа: <http://ru.convdocs.org/docs/index-171788.html>.

### References

1. Silece. D2.2 User-friendly and fast methods. Pressure field based powertrain and sound propagation description [Elektronnyj resurs]. - EUROPEAN COMMISSION DG RESEARCH. - SIXTH FRAMEWORK PROGRAMME. PRIORITY 6. - SUSTAINABLE DEVELOPMENT, GLOBAL CHANGE & ECOSYSTEMS. INTEGRATED PROJECT – CONTRACT N. 516288. - 18/04/2005. – Spособ dostupa: [http://www.silence-ip.org/site/fileadmin/public\\_reports/SILENCE\\_D.D9\\_1\\_170206\\_AVL.pdf](http://www.silence-ip.org/site/fileadmin/public_reports/SILENCE_D.D9_1_170206_AVL.pdf).

2. Sil'vester, P. Metod konechnyh jelementov dlja radioinzhenerov i inzhenerov-jelektrikov [Tekst] / P. Sil'vester, R. Ferrari. – М.: Mir, 1986. – 229 s.

3. Brebbija, K. Metody granichnyh jelementov [Tekst] / K. Brebbija, Zh. Telles, L. Vroubel. – М.: Mir, 1987. – 524 s.

4. Strelkov, S.P. Vvedenie v teoriju kolebanij [Tekst] / S.P. Strelkov. – М.: Nauka, 1964. – 440 s.

5. Shlychkov, S.V. Issledovanie dinamicheskikh svojstv mehanoakusticheskikh sistem [Tekst] / S.V. Shlychkov // Problemy mehaniki sovremennyh mashin: Materialy chetvertoj mezhdunarodnoj konferencii / VSGTU. – Ulan-Udje, 2009. – Т.3. – S. 266–270.

6. Segerlind, P. Primenenie metoda konechnyh jelementov [Tekst] / P. Gegerlind / Per. s angl. - М.: Mir, 1979. – 392 s.

7. Streng, G. Teorija metoda konechnyh jelementov [Tekst] / G.Streng, Dzh.Fiks / Per. s angl. – М.: Mir, 1977. – 352 s.

8. Zenkevich, O. Metod konechnyh jelementov v tehnikе [Tekst] / O. Zenkevich. – М.: Mir, 1975. – 541 s.

9. Deklu Zh. Metod konechnyh jelementov [Tekst] / Zh. Deklu. – М.: Mir, 1976. – 96 с.

10. Osipov, A.A. Ispol'zovanie metoda konechnyh jelementov dlja raschjota akusticheskikh polej v neodnorodnyh potokah gaza [Tekst] / A.A. Osipov, I.A. Shirkovskij // Vychisl. matem. i matem. fiz. – 1988 – № 28:3. – S. 362-374.

11. GOST 12.1.027-80. [Tekst] SSBT. Shum. Opredelenie shumovyh harakteristik istochnikov shuma v reverberacionnom pomeshhenii. Tehnicheskij metod. – М.: Izd-vo standartov, 1989. – 11 s.

12. GOST 12.4.095-80 Mashiny sel'skohozjajstvennyye samohodnyye. Metody opredelenija vibracionnyh i shumovyh harakteristik [Tekst]. – М.: Izdatel'stvo standartov, 1988. – 15 s.

13. МУ 1844-78 [Elektronnyj resurs]. – Metodicheskie ukazaniya po provedeniju izmerenij i gigienicheskoj ocenki шумов на рабочих местах. Ministerstvo zdravohranenija

SSSR, Moskva, 1978 g. – Sposob dostupa: <http://acoustic-ufa.ru/methods/mu-1844-78.htm> [23.05.2009 22:24:04]. 14. Dokument: ITU-R BS645 – [Jelektronnyj resurs]. – Test signals and metering to be used on international sound programme connections (1986-1990-1992). – Sposob dostupa: [http://www.itu.int/dms\\_pubrec/itu-r/rec/bs/R-REC-BS.645-2-199203-I!!PDF-E.pdf](http://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/bs/R-REC-BS.645-2-199203-I!!PDF-E.pdf).

15. Precizionnyj shumomer Oktava 110A. – [Jelektronnyj resurs]. – Rukovodstvo po jekspluatacii, RJe 4381-003-76596538-06, Moskva, 2006 g. – Sposob dostupa: <http://ru.convdocs.org/docs/index-171788.html>.