

УДК 664.03-752

Исследования шумовых характеристик универсальной кухонной машины*Д-р техн. наук И.Н. Заплетников, obladrn@kaf.donnuet.dn.ua**канд. техн. наук А.В. Гордиенко, gordienko_aleksa@mail.ru**канд. техн. наук А.К. Пильненко, pilnenko_a@mail.ru**Донецкий национальный университет экономики и торговли имени Михаила Туган-Барановского
83055, Украина, г. Донецк, пр. Театральный, 28*

Шумовые характеристики машин существенно влияют на санитарно-гигиенические условия работы обслуживающего персонала производственных цехов предприятий питания. Анализ шумовой характеристики универсальной кухонной машины позволит установить направление совершенствования конструкции для повышения ее технического уровня.

В работе представлены результаты определения уровней звуковой мощности универсальной кухонной машины. Установлены области превышения предельно допустимых значений и источники повышенного шума. Проведен анализ и дана оценка влияния технологических параметров на шумовую характеристику работы универсальной кухонной машины.

Ключевые слова: универсальная кухонная машина; шумовые характеристики; просеиватель; взбивальный механизм; овощерезка; многофакторная математическая модель.

Study the noise characteristics of universal kitchen machine*D. Sc. I.N. Zapletnikov, obladrn@kaf.donnuet.dn.ua**Ph. D. A.V. Gordienko, gordienko_aleksa@mail.ru**Ph. D. A.K. Pilnenko, pilnenko_a@mail.ru**Donetsk National University of Economics and Trade named after Mikhail Tugan-Baranovsky,
83055, Ukraine, Donetsk, street Theatre, 28*

Noise characteristics of machines significantly affect the sanitary-hygienic conditions of the service personnel production departments catering. Analysis of the noise characteristics of universal kitchen machine will set the direction of improving the design to improve its technological level.

The paper presents the results of the determination of sound power levels universal kitchen machine. Identified areas of exceeding the maximum allowable values and sources of noise. The analysis and the evaluation of the influence of process parameters on the noise performance of the work of the universal kitchen machine.

Keywords: universal kitchen machine; noise characteristics; sifter; usually mechanism; the slicer; multivariate mathematical model.

Современная универсальная кухонная машина (УКМ) производства ООО «Завод «ТОРГМАШ» (Россия) широко используется на предприятиях питания Украины, России, а также стран СНГ. Представляет собой универсальный привод, аналогичный конструкции привода П-П с такими же сменными механизмами, добавлена лишь рыбоочистка. Виброакустические характеристики (ВАХ) УКМ отсутствуют в литературе. Предварительные исследования [1] показывают, что ВАХ УКМ превышают допустимые нормы, а целью данной работы являются исследования шумовых характеристик (ШХ) УКМ и предложения по их улучшению [1, 2].

Целью данной работы являются исследования шумовых характеристик (ШХ) УКМ и предложения по их усовершенствованию.

ШХ машины определялись техническим методом по ИСО 3743-1-94. Определение уровней звуковой мощности источников шума по «звуковому давлению» аттестованным анализатором шума и вибрации «АССИСТЕНТ» по восьми точкам измерительной поверхности [2].

Результаты измерения ШХ привода со сменными механизмами, которые создают наибольший уровень шума среди других сменных механизмов приведены в таблице 1 и 2.

Исходя из полученных результатов можно констатировать возрастание излучаемого уровня шума с увеличением частоты вращения как собственно привода, так и со сменными механизмами при работе привода даже без нагрузки. Предельно допустимая шумовая характеристика (ПДШХ) рассчитывалась исходя из допустимого уровня шума по санитарным нормам для предприятий питания 70 дБА. Наблюдается превышение норм на средних и высоких частотах и по характеристике А.

В результате исследований установлено, что на скорректированный уровень звуковой мощности, а также в октавных полосах частот наибольшее влияние оказывает частота вращения сита [3, 4]. С возрастанием частоты вращения сита ШХ просеивателя ухудшаются. К снижению звуковой мощности машины в октавных полосах частот приведет увеличение размера ячеек сита и просеивание продукта с большей плотностью.

Превышение ПДШХ при работе с продуктом происходит на средних частотах от 1 до 7 дБ, высоких частотах 2000 и 4000 Гц от 2 до 4 дБ и на 5–9 дБА по характеристике А [3, 4].

При работе просеивателя с продуктом ШХ несколько ниже, чем без продукта. Это явление можно объяснить лучшей балансировкой сита при наличии в нем продукта. Вид продукта незначительно влияет на ШХ, следует отметить лишь увеличение их на средних частотах с уменьшением размера ячеек сита.

На ШХ привода с овощерезательным механизмом [3, 4] существенное влияние оказывает скорость взаимодействия рабочего органа с продуктом и размеры нарезаемого продукта по всем частотам и по характеристике А.

Таблица 1

**Уровни звуковой мощности универсальной кухонной машины УКМ
со сменными механизмами без нагрузки**

Наименование оборудования	Частота вращения выходного вала, об/мин	Уровни звукового давления L в дБ в октавных полосах частот со среднегеометрическими частотами, Гц								Корректированный уровень звука A, дБА
		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Привод УКМ	170	42	48	57	68	64	58	47	36	74
	330	42	51	60	72	68	66	58	51	80
Привод с просеивателем	170	37	51	61	75	69	67	54	41	81
	330	39	54	66	76	75	75	67	52	87
Привод со взбивальным механизмом	170	47	54	67	69	68	63	51	38	77
	330	64	66	75	74	74	73	69	60	80
Привод с овощерезкой	170	36	44	58	70	65	63	58	42	77
	330	39	51	65	72	69	69	68	52	82
ПДШХ		94	86	79	75	72	70	68	66	77
Превышение над ПДШХ		–	–	–	1	3	5	1	–	10

Уровни звуковой мощности УKM при работе под нагрузкой

Наименование оборудования	Частота вращения выходного вала, об/мин	Уровни звукового давления L в дБ в октавных полосах частот со среднегеометрическими частотами, Гц								Корректированный уровень звука A, дБА
		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Привод с просеивателем: – сетка 2,8										
пшено	170	41	50	59	69	65	62	59	57	77
	330	43	51	69	75	72	66	68	57	82
мука	170	38	49	58	68	68	58	49	42	76
	330	42	53	69	74	69	69	61	49	81
– сетка 1,4 мука	170	38	50	60	71	68	55	48	49	77
	330	44	56	64	79	73	67	59	49	81
Превышение над ПДШХ		–	–	–	4	1	–	–	–	5
Привод со взбивальным механизмом: – $\rho=1000 \text{ кг/м}^3$										
K=0,45	170	47	51	62	70	69	62	54	51	77
K=0,65		48	51	64	71	69	62	55	49	77
K=0,45	330	53	63	73	74	75	71	70	62	84
K=0,65		53	63	72	76	75	70	67	63	84
- $\rho=1,022 \text{ кг/м}^3$ K=0,45	170	51	58	70	66	69	58	49	41	76
K=0,45	330	54	63	73	75	79	71	66	61	85
K=0,45										
- $\rho=1,15 \text{ кг/м}^3$ K=0,45	170	52	51	63	69	68	59	50	52	76
K=0,65		48,7	54	70	72	70	58	50	49	79
K=0,45	330	59	63	68	75	76	73	66	58	84
K=0,65		54	62	70	78	79	74	70	64	86
Превышение над ПДШХ		–	–	-	3	7	4	2	-	9
Привод с овощерезкой:										
- картофель, кружочки 2 мм	170	43	54	60	68	66	58	60	49	74
	330	43	55	68	75	70	68	70	55	82
-брусочки 10×10 мм	330	47	61	72	79	73	70	67	55	83
Превышение над ПДШХ		-	-	-	4	1	-	2	-	6

Влияние на ШХ заполнения бачка привода со взбивальным механизмом [4] возрастает с увеличением плотности жидкости ρ и частоты вращения взбивателя n , особенно на средних и высоких частотах, а также по характеристике A.

В связи воздействием на ШХ трех независимых факторов возникает необходимость построить многофакторную математическую модель, дающую возможность получить количественную оценку

влияния этих факторов на ШХ машины. Используется метод Бокса-Уилсона вида 2^3 [5, 6] Переменными факторами приняты: частота вращения взбивателя – x_1, c^{-1} ; объем продукта в бачке – $x_2, м^3$ и плотность продукта $x_3, г/л$, приведенными в таблице 3.

Таблица 3

Уровни и интервалы варьирования факторов

Уровни		x_1, c^{-1}	$x_2, м^3$	$x_3, г/л$
Основной	0	31,45	0,011	1,075
Верхний	+1	41,45	0,013	1,15
Нижний	-1	21,45	0,009	1,0
Интервал варьирования	Δ	20	0,004	0,15

Таблица 4

Матрица планирования эксперимента звуковой мощности

№ опыта	Факторы			Значения функций отклика звуковой мощности			
	x_1	x_2	x_3	$L_p, дБА$	$L_{p125}, дБ$	$L_{p1000}, дБ$	$L_{p4000}, дБ$
1	+	+	+	85,7	62,3	78,7	70,0
2	+	-	-	84,0	62,7	75,0	69,6
3	+	+	-	84,0	62,7	75,3	67,0
4	-	-	-	77,0	51,3	69,0	54,3
5	-	+	+	79,0	54,0	69,7	50,0
6	-	-	+	75,7	50,7	68,3	50,0
7	+	-	+	84,3	62,7	76,3	66,3
8	-	+	-	77,0	51,0	69,3	55,3

После проверки коэффициентов регрессии и адекватности модели исследуемого процесса получено многофакторное регрессионное уравнение зависимости ШХ от переменных факторов в кодированных (1) и натуральных переменных (2) по скорректированному уровню звуковой мощности

$$Y = 80,837 + 3,663 \cdot x_1 + 0,588 \cdot x_2 + 0,338 \cdot x_3 + 0,588 \cdot x_2 \cdot x_3 \tag{1}$$

$$L_p = 82,624 + 0,183 \cdot n - 0,9 \cdot V - 8,52 \cdot \rho + 0,98 \cdot V \cdot \rho, \tag{2}$$

где V – объем продукта в бачке, $м^3$.

Уравнение (2) в натуральных переменных пригодно для расчета ШХ. Максимальное значение L_p в пределах диапазона варьирования соответствует 83,28 дБА. Анализ уравнения (1) показывает, что наиболее значим фактор x_1 и менее x_2, x_3 и парное взаимодействие факторов x_2 и x_3 . На возрастание величины ШХ прямо пропорционально влияет увеличение скорости взбивателя n .

Были получены уравнение регрессии ШХ в октавных полосах среднегеометрических частот в кодированных (3), (5), (7) и натуральных переменных (4), (6), (8) [3, 4].

$$Y_{p125} = 57,18 + 5,43 \cdot x_1 + 0,33 \cdot x_2 + 0,25 \cdot x_3 - 0,425 \cdot x_1 \cdot x_2 + 0,4 \cdot x_2 \cdot x_3 \quad (3)$$

$$L_{p125} = 48,05 + 0,46 \cdot n - 0,47 \cdot V - 1,99 \cdot \rho + 0,67 \cdot V \cdot \rho \quad (4)$$

$$Y_{p1000} = 72,7 + 3,64x_1 + 0,55x_2 + 0,55x_3 - 0,63 \cdot x_1 \cdot x_3 + 0,4x_2x_3 \quad (5)$$

$$L_{p1000} = 61,8 + 0,42n - 0,53V - 2,88\rho + 0,67V\rho \quad (6)$$

$$Y_{p4000} = 60,31 + 7,91x_1 + 0,26x_2 - 1,24x_3 + 1,16x_1x_3 + 0,66x_2x_3 \quad (7)$$

$$L_{p4000} = 82,12 - 0,02n - 1,11V - 32,52\rho + 0,39n\rho + 1,1V\rho \quad (8)$$

На рис. 1 показаны графики уравнений регрессий (3), (5) и (7). Анализируя уравнения регрессии было выявлено значительное влияние фактора x_1 – частоты вращения рабочего органа на результирующую функцию отклика Y_p звуковой мощности. На низкой октавной частоте 125 Гц фактор x_1 повышает значение функции отклика на 32,2 или в 1,73 раза при максимальном значении фактора x_2 , а при минимальном значении x_2 повышает значение функции на 67,5 или в 4,9 раза. Фактор x_1 так же повышает значения функций звуковой мощности и на средних октавных частотах 1000 Гц на 4 в 1,04 раза при $x_{2\text{макс}}$ и на 66,8 в 2,87 раза при $x_{2\text{мин}}$. На высоких октавных частотах 4000 Гц повышается на 126 или в 12,6 раз при $x_{2\text{макс}}$ и на 21 в 1,4 раза при $x_{2\text{мин}}$.

На низких и средних частотах влияние фактора x_2 (плотность продукта) понижает значения функции звуковой мощности на октавной частоте 125 Гц в среднем на 15 или в 2 раза, а на октавной частоте 1000 Гц в среднем на 20 или в 2,2 раза. На высокой октавной частоте 4000 Гц повышение плотности продукта понижает значение функции звуковой мощности при минимальной частоте вращения рабочего органа, но при максимальной частоте вращения взбивателя значения функции звуковой мощности повышается на 52 или в 1,7 раза [3, 4].

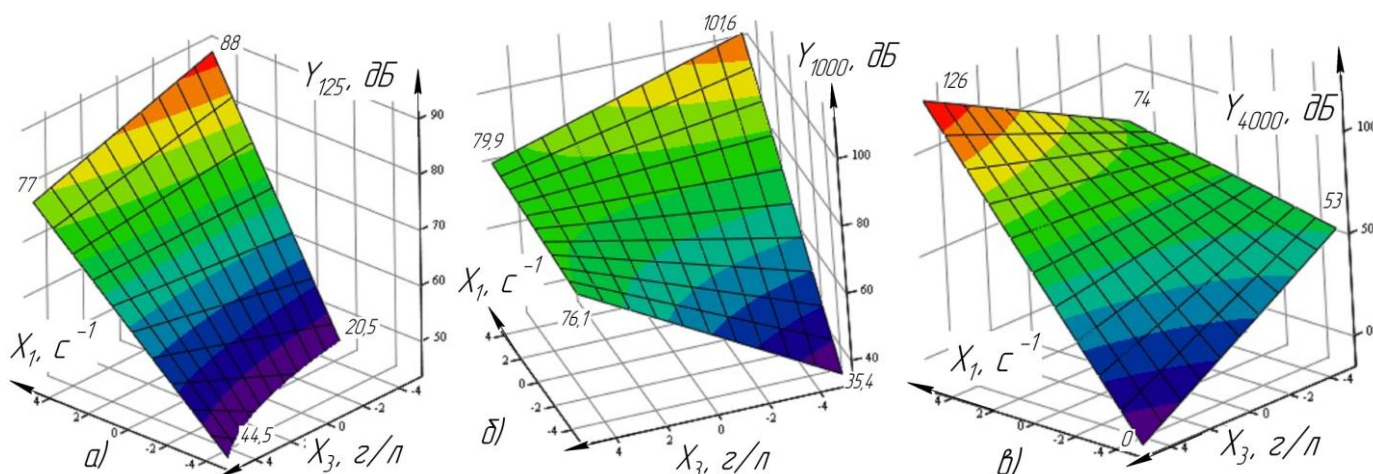


Рис. 1. График поверхности функций отклика ШХ универсальной кухонной машины при работе сменного механизма для взбивания пищевых продуктов:
 а – на частоте 125 Гц; б – на частоте 1000 Гц; в – на частоте 4000 Гц

На низких, средних и высоких частотах на ШХ преобладает влияние частоты вращения взбивателя. Изменение объема перемешиваемой жидкости и плотности продукта, а также совместное действие этих факторов сказывается меньше.

На высоких частотах влияние фактора x_2 можно исключить, а увеличение фактора x_3 (плотность продукта) может привести к улучшению ШХ за счет увеличения демпфирующей способности виброакустической системы машины на этих частотах.

Факторный анализ работы просеивателя при работе с продуктом проведен с использованием предыдущего метода 2^3 [5, 6] Уровни факторов и интервалы их варьирования приведены в таблице 5.

Таблица 5

Уровни и интервалы варьирования факторов

		Частота вращения сита, X_1, c^{-1}	Плотность продукта, $X_2, кг/м^3$	Размер ячеек сита, $X_3, м$
Основной	0	9,55	675	0,0021
Верхний	+1	12,6	900	0,0028
Нижний	-1	6,5	450	0,0014
Интервал варьирования	Δi	6,1	450	0,0014

Таблица 6

Матрица планирования эксперимента на низких, средних, высоких частотах и скорректированному по А уровню звуковой мощности

№	Факторы			Значения функции отклика звуковой мощности			
	x_1	x_2	x_3	$L_{p125}, дБ$	$L_{p500}, дБ$	$L_{p2000}, дБ$	$L_p, дБА$
1	+	+	+	51	75	66	82
2	+	-	-	56	79	67	81
3	+	+	-	51	72	64	80
4	-	-	-	50	71	55	77
5	-	+	+	50	69	62	77
6	-	-	+	49	68	58	76
7	+	-	+	53	74	69	81
8	-	+	-	52	70	63	79

В результате эксперимента получены модели звуковой мощности излучения просеивателя в кодированных и натуральных переменных.

В уравнениях в натуральных переменных отброшены малозначимые члены из аналогичных уравнений в кодированных переменных. Графическая интерпретация уравнений представлена на рисунках 2–4.

$$Y_{p125} = 51,5 + 1,25 \cdot x_1 - 0,5 \cdot x_2 - 0,75 \cdot x_3 - 1,25 \cdot x_1 x_2 + 0,25 \cdot x_2 x_3 \tag{9}$$

$$L_{p125} = 49 + 0,51n + 0,0024p - 803,6l - 0,0005np + 0,4lp, \quad дБ$$

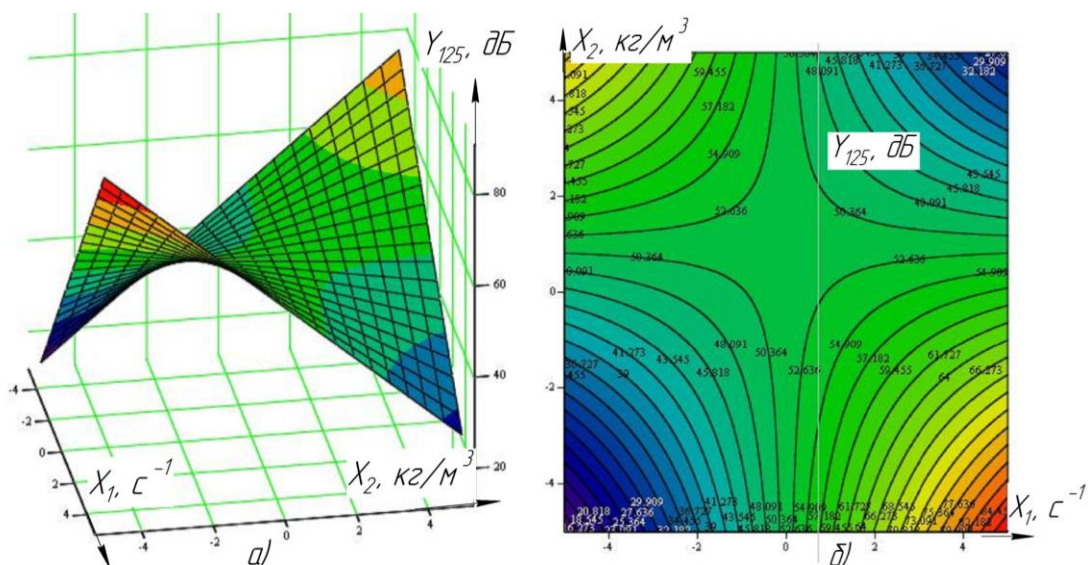


Рис. 2. График поверхности функции отклика ШХ на частоте 125 Гц

График поверхности функции отклика (9) ШХ на частоте 125 Гц представлен на рис. 2.

$$Y_{p500} = 72,25 + 2,75 \cdot x_1 - 0,75 \cdot x_2 - 0,75 \cdot x_1 x_2 + 0,25 \cdot x_1 x_3 + 1,25 \cdot x_2 x_3 \quad (10)$$

$$L_{p500} = 70,75 + 0,45n - 0,0042\rho - 1339,3l + 1,98l\rho, \text{ дБ}$$

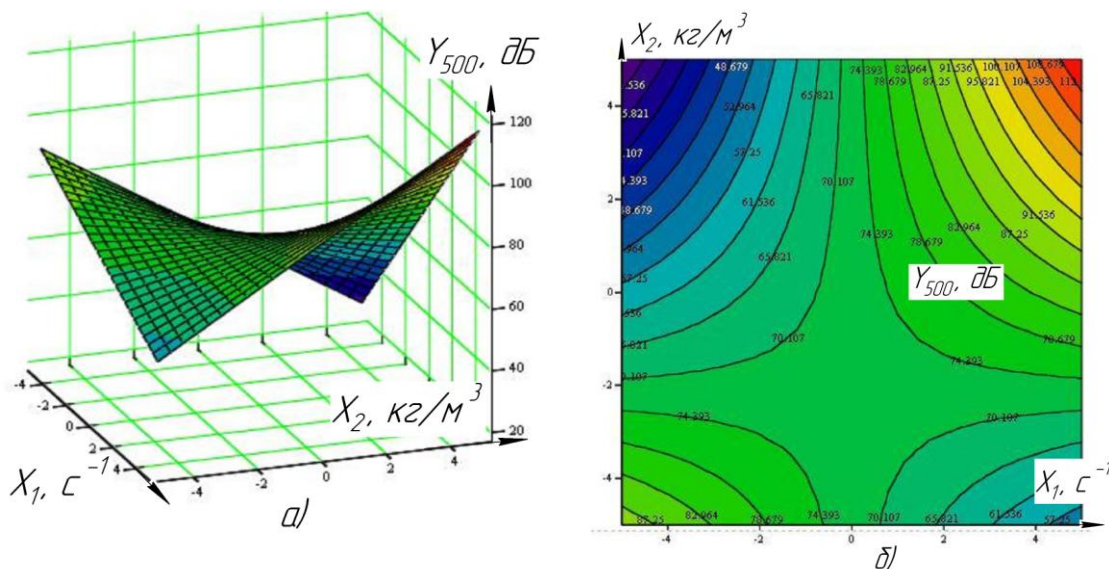


Рис. 3. График поверхности отклика ШХ на частоте 500 Гц

$$Y_{p2000} = 63 + 3,5 \cdot x_1 + 0,75 \cdot x_2 - 0,75 x_3 - 2,25 \cdot x_1 x_2 + 0,25 \cdot x_1 x_3 - 0,5 \cdot x_2 x_3 \quad (11)$$

$$L_{p2000} = 52,33 + 1,86n + 0,0078\rho - 0,00082n\rho, \text{ дБ}$$

$$Y_p = 79,125 + 1,875 \cdot x_1 + 0,375 \cdot x_2 - 0,125 \cdot x_3 - 0,375 \cdot x_1 x_2 + 0,625 \cdot x_1 x_3 + 0,125 \cdot x_2 x_3 \quad (12)$$

$$L_p = 76,2 + 0,31n, \text{ дБА}$$

где l – размер ячейки, м.

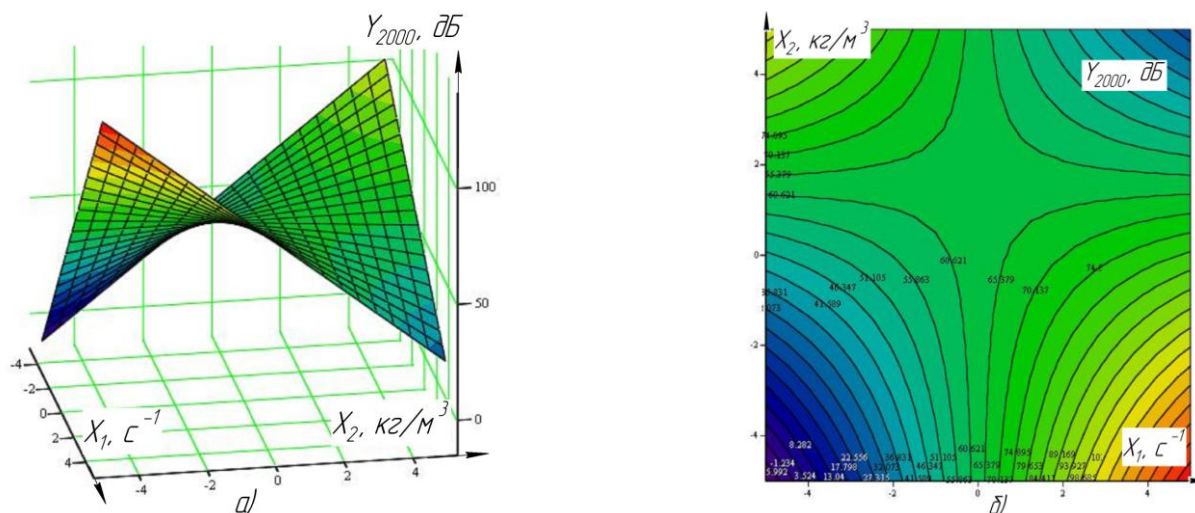


Рис. 4. График поверхности отклика ШХ на частоте 2000 Гц

В результате исследований установлено, что на скорректированный уровень звуковой мощности, а также в октавных полосах частот наибольшее влияние оказывает частота вращения сита [7, 8, 9, 10].

С возрастанием частоты вращения сита ШХ просеивателя ухудшается. К снижению звуковой мощности машины в октавных полосах частот приведет просеивание продукта с большей плотностью и увеличение размера ячеек сита. [10, 11] Проведенные исследования шумовой характеристики универсальной кухонной машины позволяют установить направление совершенствования конструкции для повышения ее технического уровня, а также рассчитать ШХ в октавных полосах частот и характеристике А.

Литература

1. Заплетников И.Н. Виброакустические характеристики оборудования предприятий питания и методы их улучшения. Донецк: ДонНУЭТ, 2005. 265 с.
2. Иванов И.Н. Инженерная акустика. Теория и практика борьбы с шумом: учебник. М.: Логос, 2013. 432 с.
3. Заплетников И.Н., Кириченко В.А., Гордиенко А.В. Исследование шумовых характеристик универсальной кухонной машины УКМ-11// Актуальні проблеми харчової промисловості. Тернопіль: ТНТУ, 2013. С. 44–45.
4. Иванов И. И., Никифоров А.С. Основы виброакустики. СПб.: Политехник, 2000. 428 с.
5. Zapletnikov I.N., Gordienko A.V., Kirichenko V.A., Pilnenko A.K. Noise characteristics of universal kitchen vegetable cutter. *The advanced science journal*. USA, 2014, pp. 19–22.
6. Адлер О.П., Маркова Е.В., Грановский Ю.В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. М.: Наука, 1976. 276 с.
7. Налимов В.В., Чернова Н.А. Статистические методы планирования экстремальных экспериментов. М.: Наука, 1965. 340 с.
8. Дахов О.Г. Экспериментальное исследование влияния эксплуатационных факторов на виброакустические характеристики овощерезки // Наукові нотатки: міжвузівський збірник (за галузями знань «Машинобудування та металообробка», «Інженерна механіка», «Металургія та матеріалознавство»). – Луцьк. 2012. С. 44–49.

9. *Дахов А.Г.* Расчет шумовых характеристик новых машин очистки картофеля // Сучасні технології харчових виробництв. Дніпропетровськ, 2009. С. 8–12.
10. *Дахов О.Г.* Моделювання та розрахунки експлуатаційних характеристик обладнання харчових виробництв // Вісник ДонНУЕТ. Серія: Технічні науки: науковий журнал. Донецьк: ДонНУЕТ, 2012. № 1(53). С. 19–24.
11. *Кіріченко В.О.* Про зміну віброакустичних характеристик МОК-350 // Наукові нотатки здобутки молоді – вирішенню проблем харчування людства в ХХІ столітті. Київ: НУХТ, 2007. С. 55–56.