

Исследование шумовых характеристик планетарного миксера ВМ-10

Заплетников И.Н.¹, Гордиенко А.В.², Пильненко А.К.³

¹ Заведующий кафедрой оборудования пищевых производств,

^{2,3} Доцент кафедры оборудования пищевых производств

^{1,2,3} Донецкий национальный университет экономики и торговли имени Михаила Туган-Барановского, г. Донецк, ул. Щорса, 31

Аннотация

Установлены шумовые характеристики (ШХ) планетарного миксера ВМ-10 в условиях эксплуатации в различных режимах. Выполнено сравнение ШХ машины с предельно допустимыми шумовыми характеристиками (ПДШХ) по характеристике А и в октавных полосах частот. Определены величины превышения ПДШХ. Проведена оценка влияния на ШХ машины ее составляющих элементов. Получена многофакторная модель взаимосвязи ШХ с технологическими факторами.

Ключевые слова: миксер, перемешивание, шумовая характеристика, уровень звуковой мощности.

Research noise characteristics of VM-10 planetary mixer

Zapletnikov I.N.¹, Gordienko A.V.², Pilnenko A.K.

¹ *Professor,*

² *Assistant professor,*

³ *Assistant professor,*

^{1,2,3} *Donetsk National University of Economics and Trade named after Mikhail Tugan-Baranovsky, Donetsk, Ukraine*

Abstract

Set the noise characteristics (NC) of the planetary mixer VM-10 in operation in various modes. The comparison of NC machines with the maximum permissible noise characteristics (MPNC) characterization A and in octave bands. The values exceeding MPNC. The influence on the machine NC its constituent elements. Received multifactor model NC relationship with technological factors.

Key words: *Mixer, mixing, noise performance, the sound power level.*

Введение

Среди многочисленных конструкций взбивальных и тестомесильных машин производства зарубежных фирм наибольшее распространение в странах СНГ получил планетарный миксер BEST MIX Sigma модели ВМ с рабочими камерами объемом от 5 до 80 л., выпускаемый серийно фирмой Sigma (Италия). Модели ВМ-5, ВМ-10 и ВМ-20 универсальные и предназначены для небольших предприятий общественного питания.

Как показали результаты предыдущих исследований ШХ взбивальных и тестомесильных машин [1] наиболее существенное влияние на них оказывают конструктивные факторы. На рынок миксеры BEST MIX Sigma поступают сертифицированными, в т.ч. по шумовым характеристикам. Вместе с тем установлено [2], что ШХ машин в процессе эксплуатации «деградируют» вплоть до «шумового

отказа», когда излучаемая машиной звуковая мощность превышает предельно допустимые шумовые характеристики (ПДШХ). Нарушение санитарно-гигиенических норм по шуму отрицательно сказывается на здоровье трудящихся предприятий питания, а при применении этих машин в быту и на здоровье не только взрослых, но и детей [3]. Следует отметить, что в нормативно-технической литературе сведения о ШХ миксеров отсутствуют, даже при работе без нагрузки.

Превышение машинами санитарно-гигиенических норм в процессе эксплуатации серийно выпускаемых и сертифицированных машин необходимо периодически контролировать. Санитарные службы городов и других местностей этой работой не занимаются.

Поэтому целью данной работы является установление ШХ миксера в различных режимах при работе с нагрузкой и без, установление влияния на ШХ машины ее отдельных составляющих, влияния вида продукта, скорости вращения взбивателя и различной емкости бачка. Сравнение ШХ машины с ПДШХ по характеристике А и в октавных полосах частот и определение величин превышения ПДШХ.

1. Методические предпосылки

Измерения проводились в лаборатории виброакустики кафедры оборудования пищевых производств ДонНУЭТ в реверберационной камере объемом 70 м^3 в соответствии со стандартами ГОСТ Р 51400-99 (ИСО 3743-1-94, 3743-2-94) и ГОСТ 31252-2004 (ИСО 3740:2000). Расхождение между внешним шумом и источником звука составило более 10 дБ (дБА) как в октавных полосах частот, так и по скорректированному по А уровню звука. Измерения уровней звукового давления (УЗД) проводилось аттестованным шумомером «Ассистент» (Россия) в октавных полосах частот и уровню звука. Микрофон устанавливался на измерительном расстоянии 1 м. УЗД пересчитывались на уровни звуковой мощности (УЗМ) по ГОСТ 30691-2001 (ИСО 4871-96).

В качестве исследуемого образца использовался планетарный миксер Sigma ВМ-10. Установленная мощность электродвигателя – 0,5 кВт, ток переменный, напряжением 380 В, масса – 55 кг, число оборотов рабочего органа – 40-160 мин^{-1} , габариты – 480x610x720 мм, объем дежи - 10 л, диаметр дежи - 250x230 мм. Машина устанавливается на технологическом столе. В качестве обрабатываемого продукта использовалась модельная жидкость плотностью 1000 кг/м^3 и пресное тесто плотностью 1220 кг/м^3 . Модельная жидкость имитировала сливки. ШХ машины измерялись при заполнении бачка машины на 2 л и 3,8 л объема жидкости, что составило соответственно $K=0,2$ и $K=0,38$ объема бачка 10 л. Использовался венчик и спираль.

Расчет ПДШХ для планетарного миксера BEST MIX Sigma ВМ-10 производился в соответствии с межгосударственным стандартом ГОСТ 30530-97 «Шум. Методы расчета предельно допустимых шумовых характеристик стационарных машин» при работе с продуктом и приведены далее на графике (рис. 1).

Сравнение ШХ для планетарного миксера Sigma ВМ-10 с рассчитанными ПДШХ позволит установить направление совершенствования конструкции машины для повышения ее технического уровня.

2. Результаты экспериментальных исследований

На рисунке 1 приведены излучаемые уровни звуковой мощности миксера Sigma BM-10 при работе без нагрузки и с нагрузкой в октавных полосах частот.

Корректированный по А уровень звуковой мощности составляет: при работе без нагрузки – 74 дБА, при работе с нагрузкой – перемешивание теста – 81 дБА.

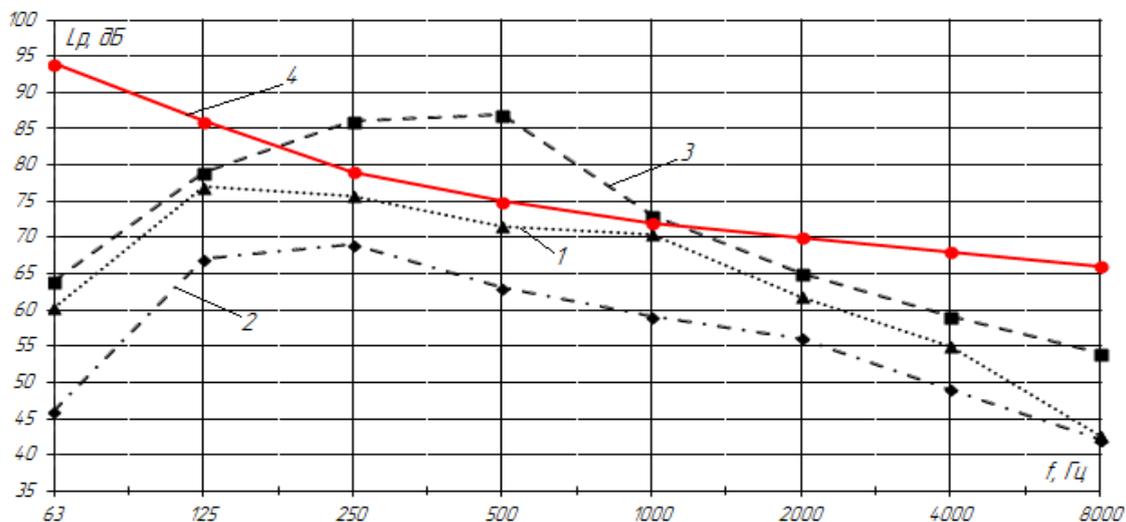


Рис. 1. Уровни звуковой мощности миксера Sigma BM-10: 1 – УЗМ без нагрузки; 2 – УЗМ при перемешивании модельной жидкости; 3 – УЗМ при перемешивании теста; 4 – ПДШХ

Уравнения регрессии УЗМ при перемешивании в октавных полосах частот в зависимости от частоты имеют вид:

$$\text{без нагрузки: } L_{p1} = 0,2172x^3 - 4,5449x^2 + 22,412x + 44,086; R^2 = 0,9561. \quad (1)$$

$$\text{с нагрузкой при перемешивании теста: } L_{p2} = 0,553x^3 - 9,1861x^2 + 41,023x + 30,929; R^2 = 0,9767. \quad (2)$$

$$\text{с нагрузкой при взбивании модельной жидкости: } L_{p3} = 0,4167x^3 - 7,131x^2 + 33,095x + 21,786; R^2 = 0,9227. \quad (3)$$

Анализ ШХ машины в октавных полосах частот показал, что превышение ПДШХ наблюдается только при перемешивании теста на частотах 250 Гц – на 7 дБ, 500 Гц – на 12 дБ, 1000 Гц – на 1 дБ, а также по А на 4 дБА, $L_{pA} = 81$ дБА.

На остальных частотах и режимах работы превышение ПДШХ не обнаружено. Сравнение ШХ миксера Sigma BM-10 с нагрузкой и без нее показало, что при работе без нагрузки уровень шума ниже, чем под нагрузкой при перемешивании теста во всем диапазоне частот: на низких частотах – на 10 дБ, на средних частотах – на 15 дБ, на высоких частотах – на 11 дБ и по L_{pA} – на 7 дБА. И наоборот выше, при обработке модельной жидкости, также во всем диапазоне частот: на низких частотах – на 14 дБ, на средних частотах – на 11 дБ, на высоких частотах – на 6 дБ и по L_{pA} – на 8 дБА.

Для оценки влияния составных частей конструкции машины на ШХ использован метод отсоединения отдельных элементов. Микрофон находился в тех же точках измерительной поверхности, что и при измерении ШХ всей машины. Результаты измерений приведены в таблице 1.

Таблица 1
Уровни звуковой мощности элементов ВМ-10

Условия измерений	Уровни звуковой мощности, дБ, в октавных полосах частот, Гц								Корректированный по А УЗМ, дБА
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Машина в сборе	55,9	74,8	74,5	72,0	69,3	61,1	51,9	42,0	73,4
Без Венчика	55,2	75,7	77,5	71,5	70,8	61,9	50,5	41,2	74,5
Без Бака	54,2	75,4	75,5	73,4	69,7	62,7	52,9	45,5	74,4
Без сетки	55,0	75,7	77,5	73,1	70,1	62,2	52,0	41,9	74,8
Без лицевой защиты, но с крышкой	54,4	78,3	78,3	71,3	69,3	62,1	51,5	41,7	74,3
Без крышки, но лицевой защитой	55,4	76,3	81,2	71,5	71,5	63,9	54,1	43,1	76,1
Без крышки и лицевой защиты	53,7	78,1	82,4	71,7	70,8	62,5	53,2	42,4	76,5
Электродвигатель	40,4	41,1	53,6	50,0	47,8	47,3	40,4	39,6	53,6
ПДШХ	94	86	79	75	72	70	68	66	77

Анализ результатов этих исследований показал, что наличие венчика ухудшает ШХ машины на 1-2 дБ на частотах 63, 500, 4000 и 8000 Гц, и наоборот улучшает ШХ на 1-3 дБ на частотах 125, 250, 1000 и 2000 Гц.

Наличие бака оказывает незначительное влияние на ШХ машины в октавных полосах частот, в пределах 1-2 дБ.

Наличие сетки в машине также незначительно влияет на ШХ машины, хотя наблюдается и ухудшение ШХ на 3 дБ на частоте 250 Гц.

Крышка и лицевая защита оказывают существенное влияние на ШХ машины. Так их отсутствие вызывает ухудшение ШХ машины практически на всех частотах на 1-8 дБ. А на частоте 250 Гц имеет место превышение ПДШХ на 3 дБ.

Для снижения влияния конструкции крышки на ШХ машины целесообразно увеличить жесткость крышки путем ее оребрения или покрыть внутреннюю поверхность крышки упруговязкими мастиками.

Наиболее значительный вклад в ШХ машины оказывает ШХ электродвигателя.

3. Моделирование результатов исследования

С целью получения информации о влиянии ряда производственных факторов на ШХ миксера ВМ-10 и получения многофакторных моделей этих процессов проведен активный эксперимент по методу Бокса-Уилсона вида 2^3 [4]. В качестве целевой функции принимались значения ШХ в виде УЗМ в октавных полосах частот и по характеристике А. Независимыми переменными факторами были приняты: объем продукта, плотность продукта и частота вращения рабочего органа. Уровни и интервалы варьирования приведены в таблице 2. Матрица планирования эксперимента и значения функции отклика в октавных полосах частот и по характеристике А приведены в таблице 3. В результате соответствующей обработки полученных данных [4] получены значимые адекватные регрессионные модели в кодированных переменных.

Таблица 2

Уровни и интервалы варьирования факторов

Уровни		Факторы		
		Объём продукта, $X_1 \cdot 10^{-3}, \text{ м}^3 x_1$	Плотность продукта, $X_2, \text{ кг/м}^3$	Частота вращения рабочего органа, $X_3, \text{ с}^{-1}$
Основной	0	2,9	1110	1,495
Верхний	+1	3,8	1220	2,33
Нижний	-1	2	1000	0,66
Интервал варьирования	Δi	0,9	110	0,835

Таблица 3

Матрица планирования эксперимента

Номер опыта	Матрица планирования							Рабочая матрица			Среднее, $Y_{\text{ЛБА}}$
	x_1	x_2	x_3	$x_1 x_2$	$x_1 x_3$	$x_2 x_3$	$x_1 x_2 x_3$	Объём, м^3	Плотность, кг/м^3	Частота, с^{-1}	
1	-	-	-	+	+	+	-	2	1000	0,66	66
2	-	-	+	+	-	-	+	2	1000	2,33	72
3	+	-	+	-	+	-	-	3,8	1000	2,33	73
4	+	-	-	-	-	+	+	3,8	1000	0,66	65
5	-	+	-	-	+	-	+	2	1220	0,66	68
6	-	+	+	-	-	+	-	2	1220	2,33	81
7	+	+	-	1	-1	-1	-1	3,8	1220	0,66	68
8	+	+	+	1	1	1	1	3,8	1220	2,33	81

Уравнение адекватной математической модели УЗМ машины в кодированных переменных с учетом парных взаимодействий имеет вид:

$$Y_{L_{\text{дБА}}}(x_1, x_2, x_3) = 71,6 - 0,0083 \cdot x_1 + 2,79 \cdot x_2 + 4,9 \cdot x_3 - 0,09 \cdot x_1 \cdot x_2 + 0,24 \cdot x_1 x_3 + 1,39 \cdot x_2 x_3 \quad (4)$$

После исключения незначимых коэффициентов в модели исследуемого процесса получено многофакторное регрессионное уравнение зависимости ШХ от переменных факторов в кодированных (5) и натуральных переменных (6) по скорректированному уровню звуковой мощности

$$Y_{L_{\text{дБА}}}(x_1, x_2, x_3) = 71,6 + 2,79 \cdot x_2 + 4,9 \cdot x_3 + 1,39 \cdot x_2 x_3 \quad (5)$$

$$L_{p_{\text{дБА}}}(\rho, n) = 59,786 + 0,0027 \cdot \rho - 10,93 \cdot n + 0,015 \cdot \rho \cdot n \quad (6)$$

Полученное соотношение показывает взаимосвязь шумовой характеристики машины ВМ-10 с такими факторами, как плотность продукта и частота вращения рабочего органа. С увеличением значений этих факторов ШХ ВМ-10 возрастает. Наибольшее влияние оказывает частота вращения и парное взаимодействие плотности продукта и частоты вращения. Наименьшее влияние на ШХ оказывает объем

перемешиваемого продукта, и что особенно интересно, парное взаимодействие частоты вращения и объема продукта оказалось не значимым. Объяснение данного явления следует искать, видимо, в малом интервале варьирования объема. Малый интервал варьирования ограничен технологическими и конструктивными параметрами машины.

Максимальное значение УЗМ наблюдается при объеме продукта $3,8 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$, плотности продукта 1000 кг/м^3 и частоты вращения $2,33 \text{ с}^{-1}$ и равно 81 дБА.

Графическая интерпретация уравнений представлена на рисунках 2-3.

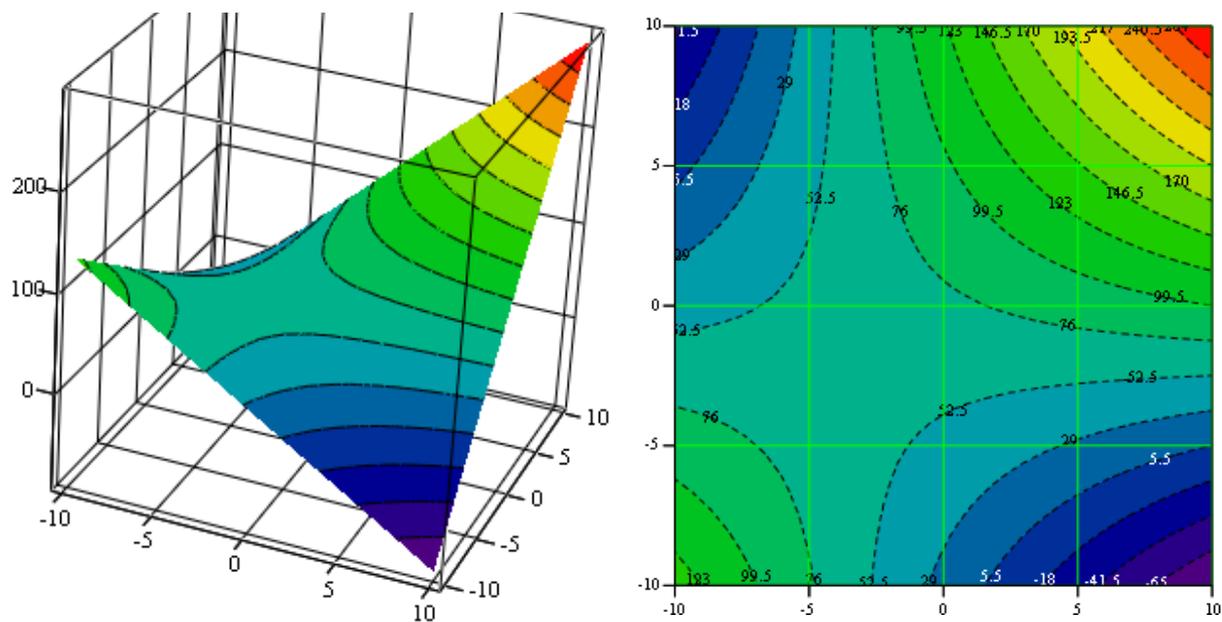


Рис. 2. График поверхности и линий уровня уравнений в кодированных переменных

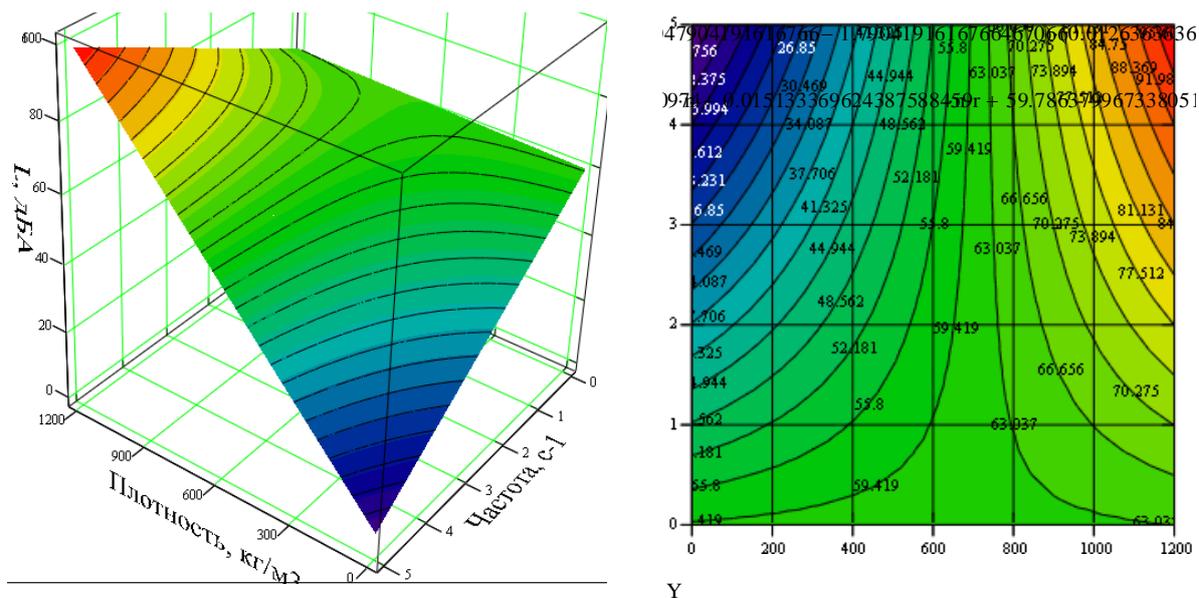


Рис. 3. График поверхности и линий уровня уравнений в натуральных переменных

Заключение

Проведенные исследования показали, что излучаемые уровни звуковой мощности миксера Sigma VM-10 итальянского производства в условиях эксплуатации при работе без нагрузки не превышает ПДШХ, однако выше значений ШХ при обработке модельной жидкости во всем диапазоне частот на 6-14 дБ. При обработке теста наблюдаются наивысшие значения ШХ машины также во всем диапазоне частот, а на частотах 250, 500 и 1000 Гц имеет место превышение ПДШХ на 7, 12 и 1 дБ соответственно.

Методом разделения машины на составные части установлено, что вибрация крышки ухудшает ШХ машины. Следует увеличить жёсткость ее конструкции или покрыть внутреннюю поверхность крышки вибропоглощающими материалами, допустимыми для контакта с пищевыми продуктами. Основным источником шума в машине является электродвигатель.

По результатам факторного эксперимента вида 2^3 установлено, что возрастание УЗМ связано с обработкой продукта с более высокой плотностью, а также с увеличением частоты вращения рабочего органа. Это явление сказывается, прежде всего, на низких частотах. Ухудшаются ШХ машины при увеличении объема продукта.

Дальнейшие исследования предусматривают апробацию методов улучшения ШХ миксера VM-10.

Список литературы

1. Заплетников И.Н. Виброакустика оборудования пищевых производств: монография. – Харьков: Изд-во НТМТ, 2015. – 542 с.
2. Иванов Н.И., Заплетников И.Н., Шубин А.А. Закономерность изменения уровня излучаемой звуковой мощности механизмов при их безотказной работе. Диплом № 455 на открытие, РФ, РАЕН, от 25.11.2013 г.
3. Иванов Н.И. Инженерная акустика. Теория и практика борьбы с шумом: учебник. – 3-е изд. Переаб. – М.: Лотос, 2013. – 432 с.
4. Адлер Ю.П., Маркова Е.В., Грановский Ю.В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. – М.: Наука, 1976.