

## Шумовые характеристики машины измельчения мяса для эксплуатации на предприятиях общественного питания

Пильненко А.К.<sup>1</sup>, Заплетников И.Н.<sup>2</sup>, Гордиенко А.В.<sup>3</sup>, Квилинский О.Д.<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Доцент кафедры оборудования пищевых производств

<sup>2</sup> Заведующий кафедрой оборудования пищевых производств

<sup>3</sup> Доцент кафедры оборудования пищевых производств

<sup>4</sup> Студент 6-го курса ОБ-11ма Института пищевых производств

<sup>1, 2, 3, 4</sup> Донецкий национальный университет экономики и торговли имени Михаила Туган-Барановского, Украина, г. Донецк, ул. Щорса, 31

### Аннотация

Установлены шумовые характеристики (ШХ) машины для измельчения мяса и рыбы в условиях эксплуатации в различных режимах. Дана оценка влияния составных частей машины на ее ШХ в зависимости от переменных технологических факторов.

**Ключевые слова:** машина измельчения мяса, шумовая характеристика, математическая модель, уровень звуковой мощности, измельчение, многофакторная модель.

### *Noise characteristics of the machine grinding meat for use in catering establishments*

*Pilnenko A.K.<sup>1</sup>, Zapletnikov I.N.<sup>2</sup>, Gordienko A.V.<sup>3</sup>, Kvilinsky O.D.<sup>4</sup>*

*1Assistant professor, Donetsk National University of Economics and Trade named after Mikhail Tugan-Baranovsky, Donetsk, Ukraine*

*2 Professor, Donetsk National University of Economics and Trade named after Mikhail Tugan-Baranovsky, Donetsk, Ukraine*

*3Assistant professor, Donetsk National University of Economics and Trade named after Mikhail Tugan-Baranovsky, Donetsk, Ukraine*

*4Master student, Institute of Food Production, Donetsk National University of Economics and Trade named after Mikhail Tugan-Baranovsky, Donetsk, Ukraine*

### Abstract

*The article shows established noise characteristics (NC) of machines for shredding meat and fish in operation in different modes. Authors indicate the estimation of influence of machine components to NC, depending on variables technological factors.*

**Key words:** *Machine grinding meat, Noise performance, Mathematical model, Noise level, Grinding, multifactor model.*

### Введение

Машины для измельчения мяса (МИМ) применяются на предприятиях питания, столовых, кафе, ресторанах, торговых и кулинарных предприятиях, а также предприятий пищевой промышленности и в быту. В зависимости от назначения и области применения они различаются по технологическим функциям – производительности, степени измельчения; по конструктивным – габаритами, рабочим органом, приводным механизмом, корпусом, способом установки; по электрическим –

---

\*E-mail: [pilnenko\\_a@mail.ru](mailto:pilnenko_a@mail.ru) (Пильненко А.К.), [obladn@kaf.donnuet.education](mailto:obladn@kaf.donnuet.education) (Заплетников И.Н.), [gordienko\\_aleksa@mail.ru](mailto:gordienko_aleksa@mail.ru) (Гордиенко А.В.), [kvilinsky93@mail.ru](mailto:kvilinsky93@mail.ru) (Квилинский О.Д.)

установленной мощностью привода, подводимым напряжением. Как показали результаты предыдущих исследований ШХ МИМ [1] наиболее существенное влияние на них оказывают конструктивные факторы. Особенно это касается приводного механизма. В качестве приводного механизма используют зубчатые или червячные передачи, а также клиноременные. Наибольший уровень шума излучают прямозубые и косозубые передачи. Несмотря на это обстоятельство, производители машин МИМ отдают предпочтение применению зубчатых передач из-за высокой надежности при измельчении мяса и рыбы, а также меньшему энергопотреблению, чем у червячных передач.

На предприятиях общественного питания нашли широкое применение машины МИМ небольших габаритов, производительностью от 80 до 500 кг/ч, с зубчатым приводом, корпусом из алюминиевых сплавов, устанавливаемых на технологическом столе на амортизаторах или жестко.

Машины МИМ серийно выпускаются для стран СНГ Барановичским заводом торгового машиностроения (Республика Беларусь), а также итальянскими, хорватскими, немецкими, французскими и др. зарубежными фирмами. На рынок эти машины 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 нормы по шуму (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 машин 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 машины МИМ в различных режимах при работе с нагрузкой и без, установление влияния на ШХ машины ее отдельных составляющих, влияния вида продукта, острота ножей и усилия на толкателе.

## 1. Методические предпосылки

Измерения проводились в лаборатории виброакустики кафедры оборудования пищевых производств ДонНУЭТ в реверберационной камере объемом 70 м<sup>3</sup> в соответствии со стандартом ИСО 3743-1-94; 3743-2-94. 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.

В качестве исследуемого образца использовалась машина Kopcar MEM 12E хорватского производства. Эти машины достаточно широко применяются на предприятиях общественного питания и в быту в странах СНГ и Европе. Конструкцию профессиональных мясорубок Kopcar отличает простота и отличные прочностные характеристики. Корпус и шнек изготовлены из высококачественной нержавеющей

стали, все модели комплектуются односторонним ножом и решеткой Ø4 мм. Производительность машины – 100 кг/ч, установленная мощность электродвигателя – 250 Вт, ток переменный, напряжением 220 В, масса – 11 кг, число оборотов рабочего органа – 280 об/мин, габариты – 420x250x250 мм. Машина устанавливается на технологическом столе на специальных резиновых амортизаторах, приводной механизм – зубчатая передача. Машина предназначена для измельчения свежего и дефростированного мяса и рыбы. Подача продукта в машину производится оператором толкателем вручную. В качестве рабочего органа используются ножи скользящего резания и ножевая решетка, подача продукта к рабочему органу осуществляется шнеком. Прижатие ножа к ножевой решетке выполняется натяжной гайкой. ШХ машины и нагрузка на привод зависят от усилия затяжки этой гайки, которая выполняется вручную оператором.

В процессе эксперимента для фиксированной величины подачи использовались тарированные грузы различной массы, но такой, которая обеспечивала бы подачу продукта в машину: 2,95 и 1,48 кг. Грузы выполнены в виде дисков с центральным отверстием. Диаметр отверстий позволял надевать грузы на ручку толкателя.

## 2. Результаты экспериментальных исследований

Излучаемые уровни звуковой мощности (УЗМ) машины МИМ Консаг при работе без нагрузки и с нагрузкой в октавных полосах приведены на рисунке 1.

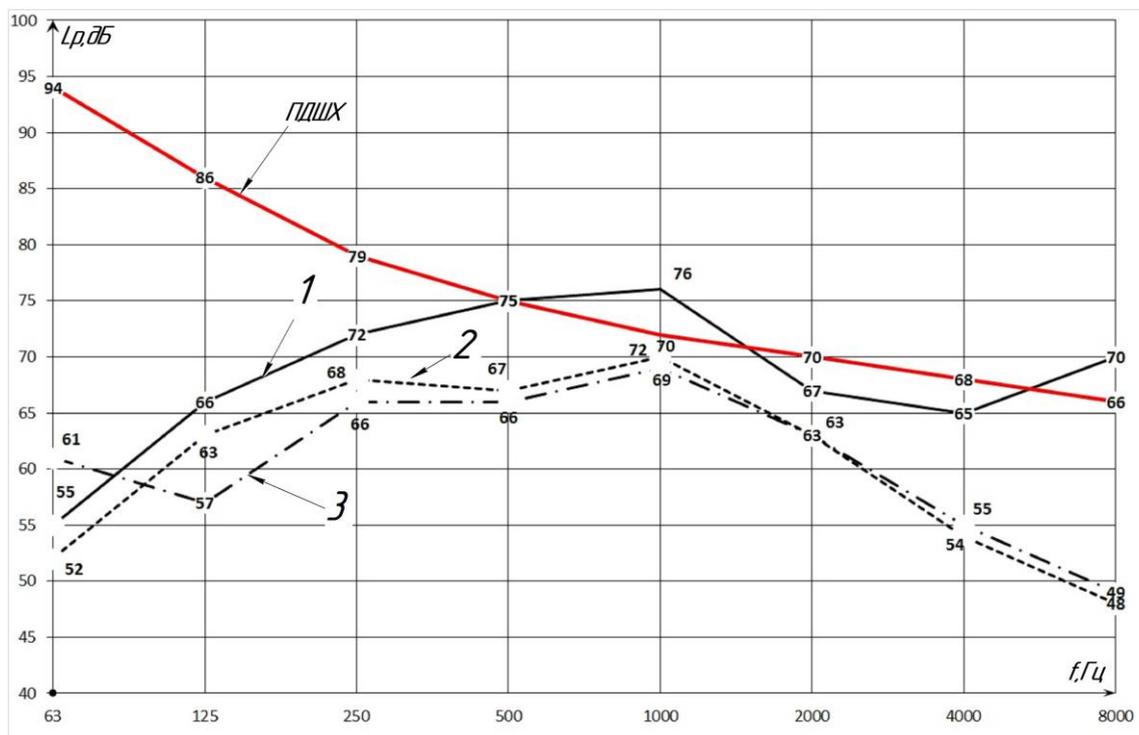


Рис. 1 – Уровни звуковой мощности машины МИМ Консаг: 1 – УЗМ машины МИМ без нагрузки; 2 – УЗМ при резании рыбы; 3 – УЗМ при резании мяса; 4 – ПДШХ

Корректированный по А уровню звуковой мощности составляют: при работе без нагрузки – 75 дБА, при работе с нагрузкой – измельчение мяса – 74 дБА.

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

$$\text{– без нагрузки: } L_{p1}=31,1+36\cdot x^3-5,82\cdot x^2+28,4\cdot x; R^2=0,9. \quad (1)$$

$$\text{– с нагрузкой при резании мяса: } L_{p2}=36,5+0,1\cdot x^3-3,0\cdot x^2+18,6\cdot x; R^2=0,96. \quad (2)$$

$$\text{– с нагрузкой при резании рыбы: } L_{p3}=57,8-0,16\cdot x^3+1,04\cdot x^2+0,39\cdot x; R^2=0,85. \quad (3)$$

Анализ ШХ машины в октавных полосах частот показал, что наиболее высокий уровень излучения при работе без нагрузки приходится на средние частоты, прежде всего на частотах 1000 Гц и составляет 77 дБ. Превышение ПДШХ– 5 дБ. На остальных частотах превышения ПДШХ не обнаружено. На 3 дБА имеет место превышение по А  $L_{pA}=80$  дБа.

Сравнение ШХ машины МИМ Консар с нагрузкой и без нее показало, что при работе без нагрузки уровень шума ниже, чем под нагрузкой на низких частотах, на средних частотах – выше на 8 дБ, на высоких – на 5-7 дБ и по  $L_{pA}$  – на 8 дБА. Эти данные свидетельствуют о наличии ударных нагрузок в машине. Снижение УЗМ машины под нагрузкой, в отличие от других технологических машин пищевых производств, происходит в результате смазки рабочего органа мясным соком, который выделяется при продавливании мяса шнеком через ножевую решетку. Аналогичный результат наблюдается и в машинах МИМ других конструкций [1].

Для оценки влияния составных частей конструкции машины на ШХ использован метод отсоединения отдельных элементов, приведенных на рисунке 2.

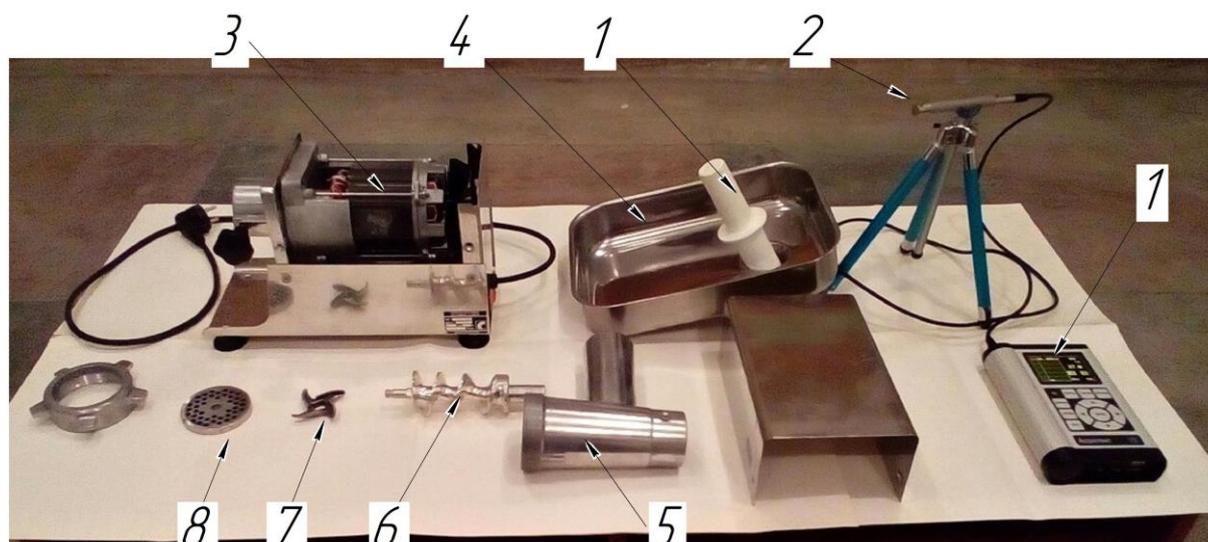


Рис. 2 – Исследование влияния составных частей конструкции машины на ШХ:  
1 – шумомер «Ассистент» (Россия); 2 – микрофон; 3 – машина МИМ Консар; 4 –  
загрузочный лоток; 5 – корпус камеры; 6 – шнек; 7 – нож; 8 – ножевая решетка.

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 МИМ

	Уровни звуковой мощности, дБ, в октавных полосах частот, Гц								Корректированный по А УЗМ, дБА
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
МИМ в сборе	55	66	72	75	76	67	65	70	80
МИМ без лотка загрузки	54	67	67	70	71	66	60	70	79
МИМ без лотка загрузки и ножа	54	68	69	69	71	67	62	52	74
МИМ без лотка загрузки и ножа и шнека	54	68	66	69	72	67	65	53	70
МИМ без лотка загрузки и ножа, шнека и камеры	54	69	68	67	72	68	64	54	70
Редуктор и электродвигатель	54	68	66	67	70	67	64	55	73
ПДШХ	94	86	79	75	72	70	68	66	77

Анализ результатов этих исследований показал, что наличие лотка ухудшает ШХ машины на 1-5 дБ на низких частотах, на 5 дБ на средних частотах и 1-5 дБ на высоких частотах. Ухудшаются ШХ машины от вибрации лотка на частотах 250, 500, 1000 и 4000 Гц. Для снижения влияния конструкции лотка на ШХ машины целесообразно увеличить жесткость лотка путем его оребрения.

Наличие ножа с решеткой оказывает незначительное влияние на ШХ машины в октавных полосах частот, в пределах 1-2 дБ. Наличие шнека в машине также незначительно влияет на ШХ машины, хотя наблюдается и ухудшение ШХ на 3 дБ на частоте 4000 Гц. Рабочая камера машины, в которой размещены шнек, нож и ножевая решетка, натяжная гайка также, практически, не оказывает влияния на ШХ машины. Наиболее значительный вклад в ШХ машины оказывает ШХ зубчатого редуктора и электродвигателя.

### 3. Моделирование результатов исследования

С целью получения информации о влиянии ряда производственных факторов на ШХ машины МИМ и получения многофакторных моделей этих процессов проведен активный эксперимент по методу Бокса-Уилсона вида  $2^3$ . В качестве целевой функции принимались значения ШХ в виде УЗМ в октавных полосах частот и по характеристике А. Независимым переменными факторами были приняты: вид продукта, усилие на толкателе и острота ножа. 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 данных [4] получены значимые адекватные регрессионные модели в кодированных переменных.

Таблица 2

Уровни и интервалы варьирования факторов

Уровни		Факторы		
		Модуль упругости продукта, $X_1$ , кПа	Усилие на толкателе, $X_2$ , Н	Острота ножа, $X_3$ , рад
Основной	0	16	22,15	1,02
Верхний	+1	26	29,5	1,57
Нижний	-1	8	14,8	0,51
Интервал варьирования	$\Delta i$	8	14,7	0,51

Таблица 3

Матрица планирования эксперимента

№	Факторы			Значения функции отклика звуковой мощности, дБ								
	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	Lp <sub>63</sub> , дБ	Lp <sub>125</sub> , дБ	Lp <sub>250</sub> , дБ	Lp <sub>500</sub> , дБ	Lp <sub>1000</sub> , дБ	Lp <sub>2000</sub> , дБ	Lp <sub>4000</sub> , дБ	Lp <sub>8000</sub> , дБ	Lp, дБА
1	+	+	+	60,8	56,2	66,1	66,3	68,8	63,1	55,3	49,4	71,5
2	+	-	-	57,0	64,1	67,4	67,3	69,8	63,2	54,8	48,4	72,2
3	+	+	-	53,8	66,2	68,9	70,3	71,9	64,6	55,2	46,4	74,1
4	-	-	-	51,5	62,8	67,7	66,9	69,9	62,5	54	48,3	72,1
5	-	+	+	54,0	62,3	67,3	66,8	72,0	65,2	56,2	48,8	74,0
6	-	-	+	53,5	62,8	67,1	66,6	71,7	64,5	55,8	48,5	73,6
7	+	-	+	62,3	58,9	67,7	66,7	70	63	55,4	49,1	72,3
8	-	+	-	52,7	61,8	67,2	65,3	70,3	62,7	54,9	50,1	72,4

Для низких частот:

$$Y_1(x_1, x_2, x_3) = 55,7 + 2,775 \cdot x_1 - 0,375 \cdot x_2 + 1,95 \cdot x_3 + 1,125 \cdot x_1 x_3, \text{ дБ} \quad (4)$$

Для средних частот:

$$Y_2(x_1, x_2, x_3) = 70,6 - 0,425 \cdot x_1 + 0,2 \cdot x_2 - 0,8 \cdot x_1 x_3 - 0,4 \cdot x_2 x_3, \text{ дБ} \quad (5)$$

Для высоких частот:

$$Y_3(x_1, x_2, x_3) = 55,5 - 0,35 \cdot x_1 + 0,525 \cdot x_2 + 0,15 \cdot x_3 - 0,45 \cdot x_2 x_3, \text{ дБ} \quad (6)$$

По скорректированному уровню:

$$Y_{pA}(x_1, x_2, x_3) = 72,78 - 0,25 \cdot x_1 + 0,225 \cdot x_2 - 0,7 \cdot x_1 x_3 - 0,325 \cdot x_2 x_3, \text{ дБА} \quad (7)$$

Величины коэффициентов регрессии позволяют оценить степень влияния переменных факторов на функцию отклика – ШХ машины.

Модуль упругости продукта оказывает наибольшее влияние на ШХ на низких частотах, с его увеличением возрастает УЗМ. На средних и высоких частотах по характеристике А его влияние незначительно, почти на порядок меньше.

Влияние усилия на толкателе также невелико в исследуемом диапазоне. С увеличением усилия на толкателе ШХ возрастают, кроме низких частот, где наблюдается обратная картина. Следует заметить, что верхний интервал варьирования усилия на толкателе ограничивается эргономическими требованиями к усилиям оператора при работе с машиной.

Острота ножа аналогична влиянию на функцию отклика лишь на низких частотах, по А и остальным частотам для машин МИМ – незначительно.

Парное взаимодействие факторов X<sub>1</sub>X<sub>3</sub>, X<sub>2</sub>X<sub>3</sub> приводит к уменьшению величины ШХ машины на средних, высоких частотах и характеристике А.

### Заключение

Проведенные исследования показали, что излучаемые уровни звуковой мощности машины для измельчения мяса Консар МЕМ 12Е хорватской фирмы в условиях эксплуатации при работе без нагрузки превышает ПДШХ на 3 дБА и на частоте 1000 Гц – на 5 дБ. При работе машины под нагрузкой ее ШХ, на низких

октавных полосах частот ниже, чем без нагрузки, а на средних и высоких частотах выше, вследствие наличия ударных процессов.

Методом отсоединения машины на составные части установлено, что вибрация лотка ухудшает ШХ машины. Следует увеличить жёсткость его конструкции. Основным источником шума в машине является зубчатый редуктор.

По результатам факторного эксперимента вида  $2^3$  установлено, что возрастание УЗМ связано с обработкой продукта с более высоким модулем упругости, а также с затуплением ножа. Это явление сказывается на низких частотах. Ухудшаются ШХ машины при увеличении усилия на толкателе.

Дальнейшие исследования предусматривают получение многофакторных моделей в натуральных переменных и апробация методов улучшения ШХ МИМ.

### 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. Планирование эксперимента при поиске оптимальных решений: монография. – М.: Наука, 1976. – 279 с.