

## Исследование влияния технологических параметров на шумовые характеристики машины для измельчения мяса

Антон К. Пильненко<sup>1</sup> pilnenko\_a@mail.ru  
Игорь Н. Заплетников<sup>1</sup> oblagn@kaf.donnueet.education  
Олег Д. Квилинский<sup>1</sup> kvilinskiy93@mail.ru

<sup>1</sup> кафедра оборудования пищевых производств, Донецкий национальный ун-т экономики и торговли им. М. Туган-Барановского, ул. Шорса, 31, г. Донецк, 283050 Украина

**Реферат.** Шумовая характеристика (ШХ) машин является одним из основных показателей её качества и конкурентоспособности на мировых рынках. Поэтому научно-технические работы по улучшению этих характеристик являются актуальными и современными. Исследовательская работа направлена на изучение процесса возникновения в технологическом оборудовании акустических явлений. Были применены экспериментальные методы исследования ШХ машины измельчения мяса и рыбы. С целью получения сопоставимых результатов экспериментальных значений ШХ была выбрана методика определения и аппаратура, соответствующая международным стандартам ИСО «Акустика» с учетом акустических свойств окружающего пространства. Установлены ШХ машины для измельчения мяса и рыбы в условиях эксплуатации в различных режимах. Максимальное значение по характеристике А уровня звуковой мощности (УЗМ) машины получено при работе на холостом ходу 79,7 дБА. При работе машины с продуктом происходит снижение УЗМ по характеристике А на 7,3 дБА, на низких частотах на 2-4 дБ, на средних на 10-6 дБ и на высоких на 5-7 дБ. Данные, полученные экспериментальным путем, позволили установить превышение предельно допустимых значений уровня звуковой мощности на средних частотах на 2 дБ. Дана оценка влияния составных частей машины на ее ШХ в зависимости от переменных технологических факторов – модуля упругости продукта и усилия на толкателе. Получены многофакторные уравнения влияния переменных факторов на ШХ машины. Значимыми факторами являются модуль упругости и усилие на толкателе. При увеличении модуля упругости УЗМ машины снижается, а при увеличении усилия на толкателе УЗМ машины возрастает. Также было установлено отрицательное влияние составных частей конструкции машины на УЗМ. Следует увеличить жесткость конструкции машины.

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

## Research of influence of technological parameters on the noise characteristics of the machine for grinding meat

Anton K. Pil'nenko<sup>1</sup> pilnenko\_a@mail.ru  
Igor' N. Zapletnikov<sup>1</sup> oblagn@kaf.donnueet.education  
Oleg D. Kvilinskii<sup>1</sup> kvilinskiy93@mail.ru

<sup>1</sup> equipment food production department, Donetsk national university of economics and trade named after Mikhail Tugan-Baranovsky, Shchorsa str., 31, Donetsk, 83050, Ukraine

**Summary.** Noise characteristics (NC) machine is one of the main indicators of its quality and competitiveness on the world markets. Scientific and technical work to improve the noise characteristics are relevant and modern. Work focuses on the study of the emergence of the technological equipment of acoustic phenomena. Was selected method of determination and equipment, according to the international standards ISO "Acoustics" taking into account the acoustic properties of the surrounding space. Been established NC machines for grinding meat and fish under operating conditions the in various modes. The maximum value for the characteristic A sound power level (SPL) machines produced at idling 79,7 dBA. When the machine comes with the product decline USM on the characteristics A 7.3 dB. It was found exceeding the maximum allowable sound power level at medium frequencies on 2 dB. Impact the components of machines on its NC depending on variables technological factors - the module of elasticity of the product and the effort on the pushrod. Increase modulus of elasticity SPL machines decreases and increase efforts on the pusher Machines USM increases. It was found negative impact construction machines part sat USM. Should be increased rigidity design of the machine.

**Keywords:** grinding meat machine, noise performance, noise level, shredding, 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 – 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

### Для цитирования

Пильненко А.К., Заплетников И.Н., Квилинский О.Д. Исследование влияния технологических параметров на шумовые характеристики машины для измельчения мяса // Вестник ВГУИТ. 2016. № 4. С. 41–48. doi:10.20914/2310-1202-2016-4-41-48

### For citation

Pilnenko A.K., Zapletnikov I.N., Kvilinsky O.D. Research of influence of technological parameters on the noise characteristics of the machine for grinding meat. *Vestnik VSUET/Proceedings of VSUET*. 2016. no. 4. pp. 41–48. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2016-4-41-48

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, 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 [2]. 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, остроты ножей и усилия на толкателе.

### 1.1 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 [3]. Измерения уровней звукового давления (УЗД) проводилось аттестованным шумомером 1-го класса «Ассистент» (Россия) в октавных

полосах частот и уровню звука. Микрофон устанавливался на измерительном расстоянии 1 м. Записанные шумомером УЗД пересчитывались на уровни звуковой мощности (УЗМ).

В качестве исследуемого образца использовалась машина Консар МЕМ 12Е (рисунок 1) хорватского производства. Эти машины достаточно широко применяются на предприятиях общественного питания и в быту в странах СНГ и Европе [4]. Конструкцию профессиональных мясорубок Консар 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 – 420 × 250 × 250 мм. Машина устанавливается на технологическом столе на специальных резиновых амортизаторах, приводной механизм – зубчатая передача. Машина предназначена для измельчения свежего и дефростированного мяса и рыбы. В качестве объекта исследований использовалось два сорта говяжьего мяса: мякоть и мякоть с повышенным содержанием соединительной ткани, а также дефростированное филе семги. Подача продукта в машину производится оператором толкателем вручную [4, 5]. 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. Машина была подготовлена и эксплуатировалась в полном соответствии с руководством по эксплуатации.

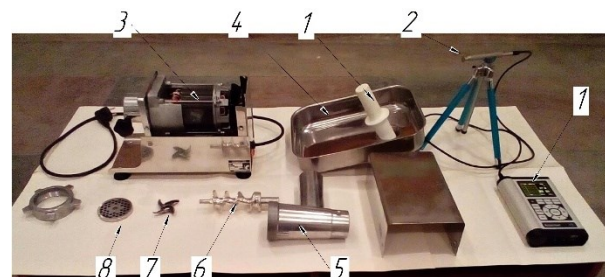


Рисунок 1. Исследование влияния составных частей конструкции машины на ШХ: 1 – шумомер «Ассистент» (Россия); 2 – микрофон; 3 – машина МИМ Консар; 4 – загрузочный лоток; 5 – корпус камеры; 6 – шнек; 7 – нож; 8 – ножевая решетка

Figure 1. Research of influence of components design of the machine on the NC: 1 – Sound Level Meter "Assistant" (Russia); 2 – microphone; 3 – machine Koncar; 4 – loading tray; 5 – casing camera; 6 – screw; 7 – knife; 8 – knife lattice

## 1.2 Обоснование и выбор пределов изменения входных факторов

Для определения основных факторов, влияющих на процесс измельчения мяса, были проведены предварительные экспериментальные исследования[1].

Излучаемые уровни звуковой мощности машины МИМ Консар при работе без нагрузки и с нагрузкой в октавных полосах приведены в таблице 1 и на рисунке 2.

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.

Корректированный по А уровню звуковой мощности составляют: при работе без

нагрузки – 79,7 дБА, при работе с нагрузкой – при измельчении рыбы – 72,7 дБА. Изменения составили -7,3 дБА.

Уравнения регрессии измельчения УЗМ в октавных полосах частот в зависимости от частоты имеют вид (рисунок 2):

– без нагрузки:

$$Lp_1 = 37,2 + 0,1x^3 - 3,15x^2 + 20,2x. \quad (1)$$

– с нагрузкой при резании мяса:

$$Lp_2 = 39,15 + 0,07x^3 - 2,7x^2 + 17,8x \quad (2)$$

– с нагрузкой при резании рыбы:

$$Lp_3 = 39,1 + 0,08x^3 - 2,5x^2 + 15,9x \quad (3)$$

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 77,1 дБ. Превышение ПДШХ – 2,1 дБ. На остальных частотах превышения ПДШХ не обнаружено.

Таблица 1.

Уровни звуковой мощности машины при измельчения

Table 1.

Sound power levels of machinery when working

|  | Уровни звуковой мощности, Lp дБ,<br>в октавных полосах частот, Гц<br>Sound power level, Lp dB, octave frequency, Hz |      |      |       |      |      |      |      | УЗМ по А,<br>дБА<br>SPL by A,<br>dBA |
|--|---|------|------|-------|------|------|------|------|--------------------------------------|
|  | 63  | 125  | 250  | 500   | 1000 | 2000 | 4000 | 8000 |                                      |
| ПДШХ LANC  | 94  | 87   | 82   | 78    | 75   | 73   | 71   | 70   | 80                                   |
| УЗМ машины без продукта на холостом ходу (XX)<br>SPL at idle move  | 55,1  | 66   | 71,6 | 76,2  | 77,1 | 68,2 | 62,4 | 55,7 | 79,7                                 |
| УЗМ машины при измельчении мяса<br>SPL machinery grinding the meat   | 53,8  | 66,2 | 68,9 | 70,3  | 71,9 | 64,6 | 55,2 | 46,4 | 74,1                                 |
| УЗМ машины при измельчении мяса с повышенным<br>содержанием соединительной ткани<br>SPL machinery grinding the meat with connective tissue | 58  | 65,5 | 68,5 | 68,7  | 70,3 | 63,9 | 54,4 | 45,8 | 72,7                                 |
| УЗМ машины при измельчении рыбы<br>SPL machinery grinding a fish   | 52,7  | 61,8 | 67,2 | 65,3  | 70,3 | 62,7 | 54,9 | 50,1 | 72,4                                 |
| Влияние продукта наУЗМ<br>The impact of the product on the SPL   | -2,4  | -4,2 | -4,4 | -10,9 | -6,8 | -5,5 | -7,5 | -5,6 | -7,3                                 |

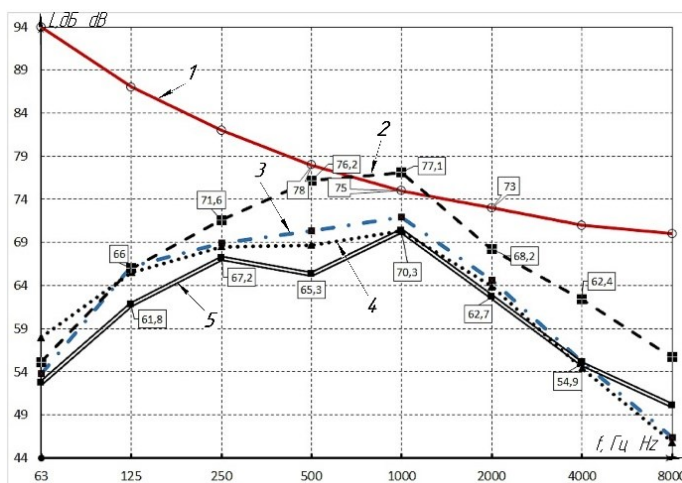


Рисунок 2. Уровни звуковой мощности машины МИМ Консар, дБ: 1 – ПДШХ; 2 – УЗМ машины МИМ на XX; 3 – УЗМ при измельчении мяса с мягкостью; 4 – УЗМ машины при измельчении мяса с повышенным содержанием соединительной ткани; 5 – УЗМ машины при измельчении рыбы

Figure 2. Sound power levels of machinery MGM, dB: 1 – LANC; 2 – SPL at idle move; 3 – SPL machinery grinding the meat; 4 – SPL machinery grinding the meat with connective tissue; 5 – SPL machinery grinding a fish

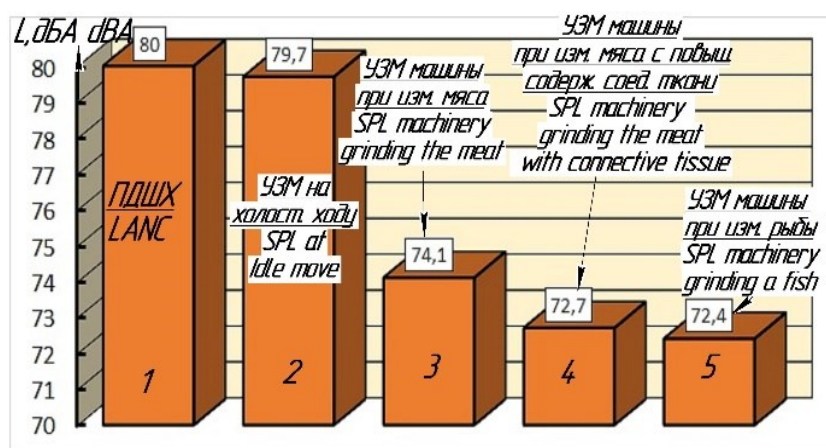


Рисунок 3. Корректированные по А уровни звуковой мощности, дБА: 1 – ЛДШХ; 2 – УЗМ машины МИМ на ХХ; 3 – УЗМ машины при измельчении мяса; 4 – УЗМ машины при измельчении мяса с повышенным содержанием соединительной ткани; 5 – УЗМ машины при измельчении рыбы

Figure 3. Corrected by A sound power levels, dBA: SPL at idle move; 3 – SPL machinery grinding the meat; 4 – SPL machinery grinding the meat with connective tissue; 5 – SPL machinery grinding a fish

Сравнение ШХ машины МИМ Консар с нагрузкой и без нее показало, что при работе без нагрузки уровень шума выше, чем под нагрузкой на низких частотах, на средних частотах – выше на 4 дБ, на высоких – на 5–7 дБ и по  $L_{pA}$  на 7,3 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 продавливанием мяса шнеком через ножевую решетку. Аналогичный результат наблюдается и в машинах МИМ других конструкций [1, 3].

По результатам однофакторных экспериментов и анализа литературных источников выделены для дальнейшего исследования следующие факторы [6, 7]: модуль упругости продукта –  $E$ , кПа; усилие на толкателе  $F$ , Н; острота ножа,  $\alpha$ , рад.

### 1.3 Результаты экспериментальных исследований

Влияние составных частей конструкции машины на ШХ методом отсоединения отдельных элементов, приведен на рисунке 4.

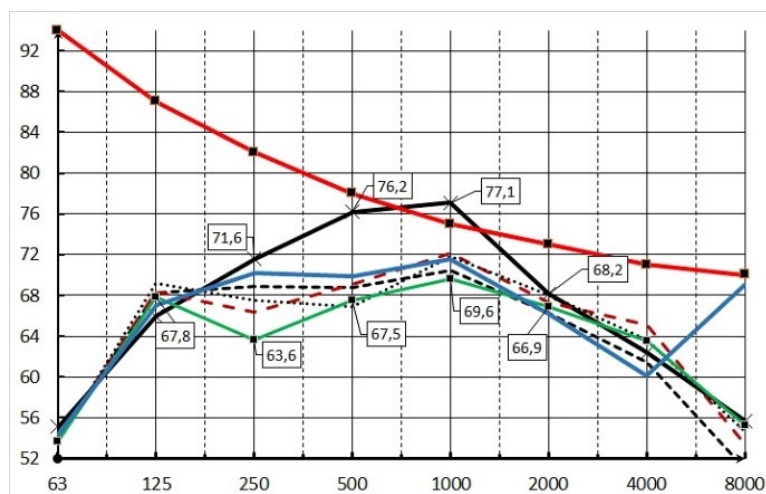


Рисунок 4. Уровни звуковой мощности составных частей конструкции машины, дБ: 1 – Предельно допустимая шумовая характеристика (ЛДШХ); 2 – ШХ машины МИМ; 3 – ШХ машины МИМ без лотка загрузки; 4 – ШХ машины МИМ без лотка и ножевого блока; 5 – ШХ машины МИМ без лотка, ножевого блока и рабочей камеры; 6 – ШХ машины МИМ без лотка, ножевого блока и рабочей камеры; 7 – ШХ привода машины МИМ

Figure 4. Sound power level machinery components, dB: 1 – LANC; 2 – SPL at idle move; 3 – SPL without loading the tray; 4 – SPL without loading the tray and knife; 5 – SPL without loading the tray, knife and auger; 6 – SPL without loading the tray, knife, auger and camera; 7 – SPL machinery gearbox



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 существенное 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 шнеки, 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. Значения ШХ составных частей машины приведены в таблице 2.

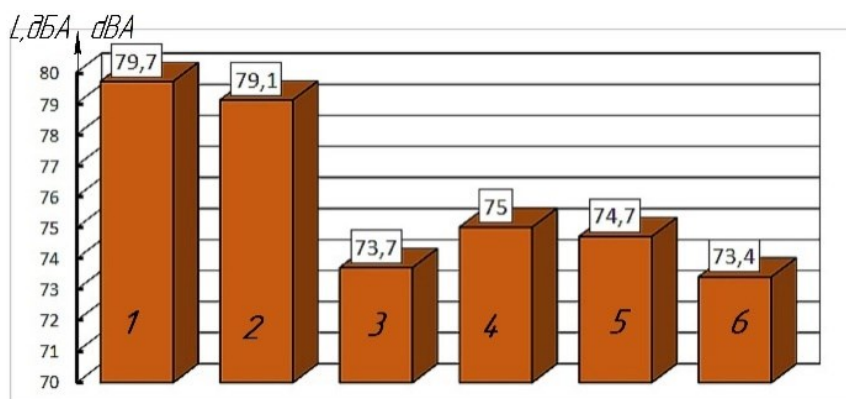


Рисунок 5. Корректированные по А уровни звуковой мощности составных частей конструкции машины, дБА: 1 – УЗМ машины на ХХ; 2 – УЗМ машины МИМ без лотка загрузки; 3 – УЗМ машины МИМ без лотка и ножевого блока; 4 – УЗМ машины МИМ без лотка, ножевого блока и шнека; 5 – УЗМ машины МИМ без лотка, ножевого блока, шнека и рабочей камеры; 6 – УЗМ привода машины

Figure 5. Corrected by A sound power levels machinery components, dBA: 1 – SPL at idle move; 2 – SPL without loading the tray; 3 – SPL without loading the tray and knife; 4 – SPL without loading the tray, knife and auger; 5 – SPL without loading the tray, knife, auger and camera; 6 – SPL machinery gearbox

Таблица 2.

Уровни звуковой мощности составных частей конструкции машины

Table 2.

Уровни звуковой мощности составных частей конструкции машины

|  | Уровни звуковой мощности, Lp дБ, в октавных полосах частот, Гц<br>Sound power level, Lp dB, octave frequency, Hz |      |      |      |      |      |      |      | УЗМ по А, дБА<br>SPL by A, dBA |
|--|--|------|------|------|------|------|------|------|--------------------------------|
|  | 63   | 125  | 250  | 500  | 1000 | 2000 | 4000 | 8000 |                                |
| УЗМ машины на ХХ SPL at idle move  | 55,1   | 66,0 | 71,6 | 76,2 | 77,1 | 68,2 | 62,4 | 55,7 | 79,7                           |
| УЗМ без лотка загрузки SPL without loading the tray  | 54,4   | 67,1 | 70,2 | 69,9 | 71,6 | 66,2 | 60,1 | 69,0 | 79,1                           |
| УЗМ без лотка и ножа SPL without loading the tray and knife  | 53,9   | 68,3 | 68,9 | 68,8 | 70,5 | 66,3 | 61,4 | 51,0 | 73,7                           |
| УЗМ без лотка, ножа и шнека SPL without loading the tray, knife and auger                            | 53,9   | 68,4 | 66,4 | 69,1 | 72,1 | 67,3 | 65,1 | 53,4 | 75,0                           |
| УЗМ без лотка, ножа, шнека и камеры SPL without loading the tray, knife, auger and camera            | 53,9   | 68,4 | 66,4 | 69,1 | 72,1 | 67,3 | 65,1 | 53,4 | 75,0                           |
| УЗМ привода машины SPL machinery gearbox   | 53,7   | 67,8 | 63,6 | 67,5 | 69,6 | 66,9 | 63,5 | 55,3 | 73,4                           |
| Влияние составных частей конструкции машины на УЗМ, ΔLк<br>Effect design components machinery on SPL | -1,4   | 1,8  | -8   | -8,7 | -7,5 | -1,3 | 1,1  | -0,4 | -6,3                           |

## 1.4 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 3. Матрица планирования эксперимента и значения функции отклика в октавных полосах частот и по характеристике А приведены в таблице 4. В результате соответствующей обработки данных [8–10] получены значимые адекватные регрессионные модели в кодированных переменных.

Таблица 3.

Пределы изменения входных факторов

Table 3.

Range of input factors variation

| Уровни Levels                                   |            | Пределы изменения факторов Range of input factors variation                 |  |   |
|---|------------|---|--|---|
|   |            | Модуль упругости продукта, $X_1$ , кПа Elastic modulus product, $X_1$ , kPa | Усилие на толкателе, $X_2$ , Н Effort on the pusher, $X_2$ , N | Острота ножа, $X_3$ , рад Acuity knife, $X_3$ , deg |
| Основной Center point                           | 0          | 16  | 22,15  | 1,02  |
| Верхний High level                              | +1         | 26  | 29,5   | 1,57  |
| Нижний Low level                                | -1         | 8   | 14,8   | 0,51  |
| Интервал варьирования The interval of variation | $\Delta i$ | 8   | 14,7   | 0,51  |

Таблица 4.

Матрица планирования эксперимента

Table 4.

Experiment planning matrix

| № | Факторы Factors |       |       | Значения функции отклика по уровню звуковой мощности, дБ The response function by sound power level, dB |                           |                           |                           |                            |                            |                            |                            |             |
|---|-----------------|-------|-------|---|---------------------------|---------------------------|---------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|-------------|
|   | $X_1$           | $X_2$ | $X_3$ | Lp <sub>63</sub> , дБ dB  | Lp <sub>125</sub> , дБ dB | Lp <sub>250</sub> , дБ dB | Lp <sub>500</sub> , дБ dB | Lp <sub>1000</sub> , дБ dB | Lp <sub>2000</sub> , дБ dB | Lp <sub>4000</sub> , дБ dB | Lp <sub>8000</sub> , дБ dB | Lp, дБ AdBA |
| 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        |

После проверки коэффициентов регрессии и адекватности модели исследуемого процесса получено многофакторное регрессионное

Для низких частот:

$$Y_1(x_1, x_2, x_3) = 61,9 - 0,54 \cdot x_1 - 0,26 \cdot x_2 - 1,8 \cdot x_3 + 0,1 \cdot x_1 \cdot x_2 - 1,96 \cdot x_1 x_3 - 0,54 \cdot x_2 x_3 - 0,7 \cdot x_1 x_2 x_3 \quad (4)$$

Для средних частот:

$$Y_2(x_1, x_2, x_3) = 70,6 - 0,425 \cdot x_1 + 0,2 \cdot x_2 + 0,025 x_1 x_2 - 0,8 \cdot x_1 x_3 - 0,43 \cdot x_2 x_3 - 0,4 x_1 x_2 x_3 \quad (5)$$

Для высоких частот:

$$Y_3(x_1, x_2, x_3) = 48,6 - 0,3 \cdot x_1 + 0,33 \cdot x_3 - 0,475 \cdot x_1 x_2 + 0,6 \cdot x_1 x_3 + 0,1 \cdot x_2 x_3 + 0,48 \cdot x_1 x_2 x_3 \quad (6)$$

По скорректированному уровню А:

$$Y_{pA}(x_1, x_2, x_3) = 72,78 - 0,25 x_1 + 0,225 x_2 + 0,05 x_1 x_2 - 0,7 \cdot x_1 x_3 - 0,325 \cdot x_2 x_3 - 0,35 x_1 x_2 x_3 \quad (7)$$

Для получения уравнения (7) в натуральных переменных использованы зависимости:

$$x_1 = \frac{E - 16}{8}; x_2 = \frac{F - 22,15}{14,7}; x_3 = \frac{\alpha - 1,02}{0,51} \quad (8)$$

Уравнение в натуральных переменных имеет вид:

$$L_{pa}(E, F, \alpha) = 71,3 + 0,002E - 0,043F + 1,8\alpha + 0,006 \cdot E \cdot F - 0,042 \cdot E \cdot \alpha + 0,05F \cdot \alpha - 0,006E \cdot F \cdot \alpha \quad (9)$$

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

Модуль упругости продукта оказывает наибольшее влияние на ШХ на средних частотах, с его увеличением снижается УЗМ.

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 влияет на функцию отклика лишь на низких и высоких частотах, на средних частотах для машин МИМ – влияние незначительно.

Парное взаимодействие факторов  $X_1X_3$ ,  $X_2X_3$  приводит к уменьшению величины ШХ машины на средних, высоких частотах и характеристике А. Изменение функции отклика УЗМ по А от модуля упругости и усилия на толкателе приведено на рисунке 6. Определена зона оптимума для ШХ машины

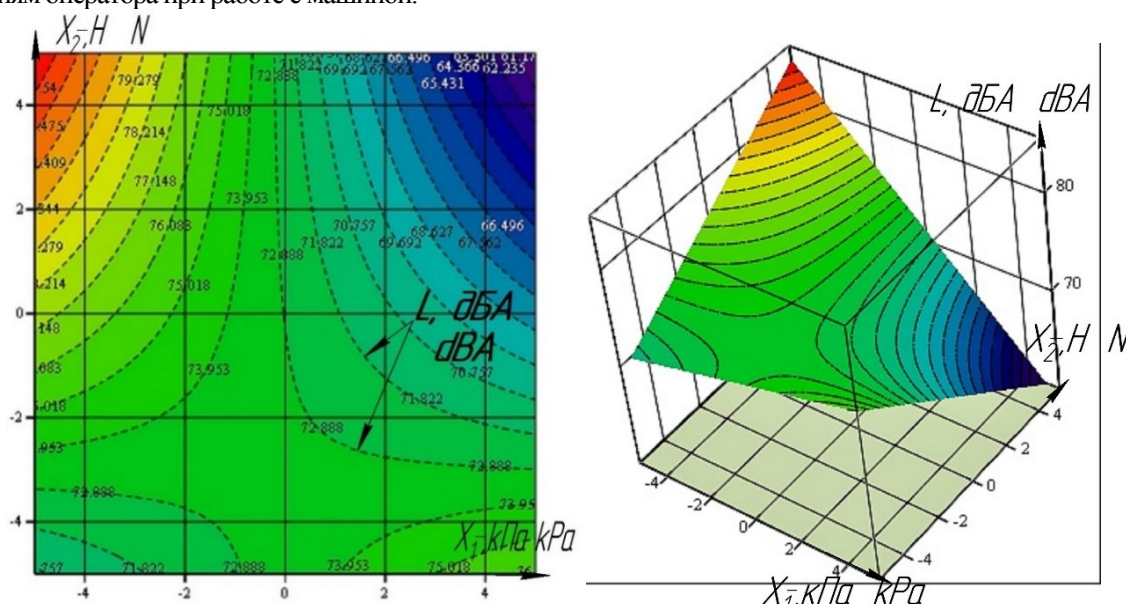


Рисунок 6. График кривых равных значений (а) и поверхности отклика (б) зависимости уровня звуковой мощности  $L_{pa}$ , дБА от: модуля упругости продукта  $X_1$ , кПа и усилия на толкателе  $X_2$ , Н

Figure 6. Control plot (a) and the response surface (b) depending sound power level  $L_{pa}$ , dBA of: elastic modulus product  $X_1$ , kPa and force at the pusher,  $X_2$ , N

### Заключение

Проведенные исследования показали, что излучаемые уровни звуковой мощности машины для измельчения мяса Komcar MEM 12e хорватской фирмы в условиях эксплуатации при работе без нагрузки приближено к ПДШХ и на частоте 1000 Гц превышает – на 2 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 усилием на толкателе, а также с затуплением ножа. Это явление сказывается на низких частотах. Улучшается ШХ машины при обработке продукта с более высоким модулем упругости.

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

## ЛИТЕРАТУРА

- 1 Заплетников И.Н. Виброакустика оборудования пищевых производств. Харьков: НТМТ, 2015. 542 с.
- 2 Иванов Н.И. Инженерная акустика. Теория и практика борьбы с шумом. М.: Лотос, 2013. 432 с.
- 3 Zapletnikov I.N., Gordienko A.V., Kirichenko V.A., Pilnenko A.K. Noise characteristics of universal kitchen vegetable cutter // The advanced science journal. 2014. № 7. P. 19–22.
- 4 Ботов М.И., Кирпичников В.П. Оборудование предприятий общественного питания. М.: Академия, 2010. 496 с.
- 5 Антипов С.Т., Васильев А.М., Дворецкий С.И., Ковалевский В.И. и др. Проектирование, конструирование и расчет техники пищевых технологий. СПб, 2013. 910 с.
- 6 Пеленко В.В., Арет В.А., Кайка А.Х., Тарабановский Ф.Б., и др. Разработка математической модели процесса измельчения мясного сырья в волчках // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия: Процессы и аппараты пищевых производств. 2013. №2.
- 7 Пеленко В.В., Зуев Н.А., Ольшевский Р.Г., Иваненко В. П. и др. Оценка зависимости производительности измельчителей мяса от их конструкции и физико-механических свойств сырья // Вестник Международной академии холода. 2015. № 1. С. 9-15
- 8 Алексеев Г.В., Башева Е.П., Дерканосова А.А. Возможные направления компьютерного моделирования и проектирования технологических машин и оборудования пищевых производств // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. 2015. №4. С. 22-27.
- 9 Saravacos G., Kostaropoulos A. Handbook of food processing equipment. Switzerland: Springer International Publishing, 2016. 775 p.
- 10 Toldrá F. Handbook of meat processing. USA: Blackwell Publ., 2010. 561 p.

## СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

**Антон К. Пильненко** к.т.н., доцент, кафедра оборудования пищевых производств, Донецкий национальный университет экономики и торговли имени Михаила Туган-Барановского, ул. Щорса 31, г. Донецк, 83050, Украина, pilnenko\_a@mail.ru

**Игорь Н. Заплетников** д.т.н., профессор, кафедра оборудования пищевых производств, Донецкий национальный университет экономики и торговли имени Михаила Туган-Барановского, ул. Щорса 31, г. Донецк, 83050, Украина, obladrn@kaf.donnunet.education

**Олег Д. Квилинский** магистр, кафедра оборудования пищевых производств, Донецкий национальный университет экономики и торговли имени Михаила Туган-Барановского, ул. Щорса 31, г. Донецк, 83050, Украина, kvilinskiy93@mail.ru

## КРИТЕРИЙ АВТОРСТВА

**Антон К. Пильненко** написал рукопись, корректировал её до подачи в редакцию и несёт ответственность за плагиат

**Игорь Н. Заплетников** консультация в ходе исследования

**Олег Д. Квилинский** предложил методику проведения эксперимента и организовал производственные испытания

## КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ПОСТУПИЛА 31.10.2016

ПРИНЯТА В ПЕЧАТЬ 29.11.2016

## REFERENCES

- 1 Zapletnikov I.N., Vibroakustika oborudovaniia pishchevykh proizvodstv [Vibroacoustics of food production equipment]. Kharkov, NTMT, 2015. 542 p. (in Russian)
- 2 Ivanov N.I. Inzhenernaia akustika Teoriia i praktika borby s shumom [Engineering acoustics. Theory and practice of noise control]. Moscow, Lotos, 2013. 432 p. (in Russian)
- 3 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, issue 7, p. 19–22.
- 4 Botov M.I., Kirpichnikov V.P., Oborudovanie predpriatii obshchestvennogo pitaniia [Catering equipment] Moscow, Akademiya, 2010. 496 p. (in Russian)
- 5 Antipov S.T., Vasiliev A.M., Dvoretzskii S.I., Kovalevskii V.I. et al. Proektirovanie, konstruirovaniye i raschet tehniki pishchevykh tehnologiy. [Design, construction and calculation of food technology equipment]. Saint-Petersburg, 2013. 910 p. (in Russian)
- 6 Pelenko V.V., Aret V.A., Kaika A.Kh., Tarabanovsky F.B. et al. Development of a mathematical model of the process of grinding of raw meat in gyroscope. *Nauchnyi zhurnal NIU ITMO* [Scientific Journal ITMO. Series: Processes and devices of food manufactures] 2013, no. 2. (in Russian)
- 7 Pelenko V.V., Zuev N.A., Ol'shevskii R.G., Ivanenko V.P. et al. Evaluation according to the pro-meat grinders productivity of their construction and the physical and mechanical properties of raw materials. *Vestnik Mezhdunarodnoi akademii kholoda* [Journal of the International Academy of Refrigeration] 2015, no. 1, pp. 9-15 (in Russian)
- 8 Alekseev G.V., Basheva E.P., Derkanosova A.A. Possible areas of computer modeling and design of technological machines and equipment for food production. *Vestnik VGUET* [Proceedings of Voronezh State University of Engineering Technology] 2015, no. 4, pp. 22-27. (in Russian)
- 9 Saravacos G., Kostaropoulos A. Handbook of food processing equipment. Switzerland: Springer International Publishing, 2016. 775 p.
- 10 Toldrá F. Handbook of meat processing. USA, Blackwell Publ., 2010. 561 p.

## INFORMATION ABOUT AUTHORS

**Anton K. Pil'nenko** candidate of technical sciences, Department of equipment food production, Donetsk national university of economics and trade named after Mikhail Tugan-Baranovsky, Shchorsa str., 31, Donetsk, 83050, Ukraine, pilnenko\_a@mail.ru

**Igor' N. Zapletnikov** doctor of technical sciences, professor, Department of equipment food production, Donetsk national university of economics and trade named after Mikhail Tugan-Baranovsky, Shchorsa str., 31, Donetsk, 83050, Ukraine, obladrn@kaf.donnunet.education

**Oleg D. Kvilinskii** master, Department of equipment food production, Donetsk national university of economics and trade named after Mikhail Tugan-Baranovsky, Shchorsa str., 31, Donetsk, 83050, Ukraine, kvilinskiy93@mail.ru

## CONTRIBUTION

**Anton K. Pil'nenko** wrote the manuscript, correct it before filing in editing and is responsible for plagiarism

**Igor' N. Zapletnikov** consultation during the study

**Oleg D. Kvilinskii** proposed a scheme of the experiment and organized production trials

## CONFLICT OF INTEREST

The authors declare no conflict of interest.

RECEIVED 10.31.2015

ACCEPTED 11.29.2016