УДК 628.517.2:640.43/.45

И.Н. Заплетников, д-р техн. наук, проф., **И.С. Севаторова**, асист.
Донецкий национальный университет экономики и торговли
имени Михаила Туган-Барановского, Украина
Тел./Факс: +38(062)3044547; E-mail: obladn@kaf.donduet.edu.ua

РЕГРЕССИОННЫЕ МОДЕЛИ ШУМОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ОВОЩЕРЕЗАТЕЛЬНЫХ И ПРОТИРОЧНЫХ МАШИН

В статье установлена статистическая взаимосвязь шумовых характеристик на средних октавных полосах частот измельчительного и очистительного оборудования пищевых производств с их основными параметрами.
Ключевые слова: *шумовая характеристика, технологическое оборудование, параметры оборудования*

1. Введение.

Овощерезательные машины нашли широкое применение на предприятиях питания Украины. Наиболее распространенными типами этих машин являются машины: МРО, МПР, выпускаемые заводами «Торгмаш» республики Беларусь, CL-30 (Франция), «Гамма-5» (Россия).

Исследованиями, проведенными на кафедре оборудования ДонНУЭТ было установлено, что шумовые характеристики (ШХ) овощерезательных и протирочных машин на средних октавных полосах частот не полностью соответствуют требованиям санитарных норм Украины, особенно при работе с продуктом [1]. Не установлены также взаимосвязи ШХ этих машин с основными эксплуатационными параметрами машин – производительностью, массой и потребляемой энергией. Выявление таких закономерностей позволит рассчитать ШХ на стадии проектирования или модернизации машин и улучшить их до требований санитарных норм. Регрессионные модели ШХ этого оборудования были установлены ранее [2].

Целью работы является установление закономерностей (моделей) взаимосвязи ШХ овощерезательных машин с их основными параметрами.

2. Основное содержание и результаты работы.

Методом статистического моделирования получена параметрическая модель ШХ для кинематически подобного ряда очистительного и измельчительного технологического оборудования. Модель устанавливает зависимость уровня звука, излучаемого оборудованием, от установленной мощности электродвигателя N, кВт; массы машины М, кг; передаточного числа механических передач к рабочему органу, I; частоты вращения рабочего органа Р, $с^{-1}$; половины высоты машины Н – величины, приближающейся к высоте центра массы машины, м.

$$L_A = K \cdot N^{-n} \cdot M^{-m} \cdot I^{-i} \cdot P^{p} \cdot H^{h} \qquad (1)$$

где К – коэффициент статистического подобия; m, n, i, p, h – показатели степени соответствующих параметров. Для расчета К и показателей степени использовалась степенная функция программы REGRE: n = 7,075; m = 4,653; i = 4,357; p = 4,936; h = 2,061.

Для картофелечисток МОК-125, МОК-250 и МОК-400 величина К соответственно равна $1{,}490 \times 10^{2}$; $2{,}036 \times 10^{8}$; и $2{,}7791 \times 10^{8}$; овощерезок типа МРО-350 и МРО400-1000 соответствует $1{,}926 \times 10^{7}$ и $4{,}133 \times 10^{4}$; протирочной машины $1{,}672 \times 10^{4}$.

Теснота связи характеризуется коэффициентом корреляции r = 0,79 - 0,67; ошибка – средним квадратическим отклонением S = 0,24 - 0,31 дБА, что свидетельствует о возможности практического использования модели для расчета ШХ вновь проектируемого подобного оборудования. С расширением области применения модели и на другой типаж технологического оборудования ухудшается теснота связи r = 0,1 -0,26.

К недостаткам этой модели можно отнести ограниченную область применения и определение с ее помощью лишь уровня звука, а не звуковой мощности оборудования.

В дальнейших исследованиях использовались не абсолютные, а относительные ШХ (ОШХ). ОШХ оборудования определялись как отношение значений ШХ оборудования на средних частотах к его производительности $Q_П$, массе - Q_M и установленной мощности электродвигателя Q_N.

В таблице 1 приведены ОШХ технологического оборудования для средних частот. Значения ОШХ приведены в виде дробей, где в числителе указаны значения на холостом ходу, а в знаменателе – при работе с продуктом для соответствующего оборудования [3].

Таблица 1. ОШХ технологического оборудования на холостом ходу и при работе с продуктом

	МОК-150	МОК-250	МОК-350	МОЛ-100	МРО-350	МРО 50-200	CL-30A	Гамма-5А	МП-1000	МПР-350	МРО 400-1000
Частота 500 Гц											
$Q_П$	0,41/0,49	0,25/0,3	0,21/0,22	0,66/0,75	0,23/0,24	0,34/0,39	0,8/0,82	0,19/0,22	0,07/0,07	0,21/0,22	0,08/0,08
Q_M	1,11/1,35	0,64/0,77	1,06/1,1	1,2/1,36	2,93/3,07	2,52/2,85	4,27/4,42	2,5/2,93	1,32/1,36	2,74/2,81	1,58/1,68
Q_N	164,86/ 200	114,55/ 138,18	134,55/ 140	178,38/ 202,7	213,51/ 224,32	170/ 192,5	128/ 132,66	202,7/ 237,84	88/ 90,64	200/ 205,41	105,33/ 112
Частота 1000 Гц											
$Q_П$	0,41/0,48	0,27/0,29	0,19/0,21	0,61/0,7	0,2/0,22	0,34/0,38	0,78/0,82	0,15/0,2	0,07/0,07	0,21/0,21	0,08/0,08
Q_M	1,13/1,31	0,68/0,73	0,96/1,03	1,11/1,27	2,59/2,89	2,52/2,81	4,13/4,43	2,03/2,7	1,4/1,48	2,67/2,78	1,5/1,58
Q_N	167,57/ 194,59	121,82/ 130,91	121,82/ 130,91	164,86/ 189,19	189,19/ 210,81	170/ 190	124/ 132,94	164,86/ 218,92	93,33/ 98,67	194,59/ 202,7	100/ 105,33

Аппроксимацией полученных значений ОШХ получены регрессионные уравнения, которыми корректно описываются статистические зависимости ОШХ от показателей технической характеристики очистительного и измельчительного технологического оборудования на средних частотах приведены в таблице 2.

Таблица 2. Регрессионные зависимости ОШХ от основных параметров оборудования для средних октавных частот

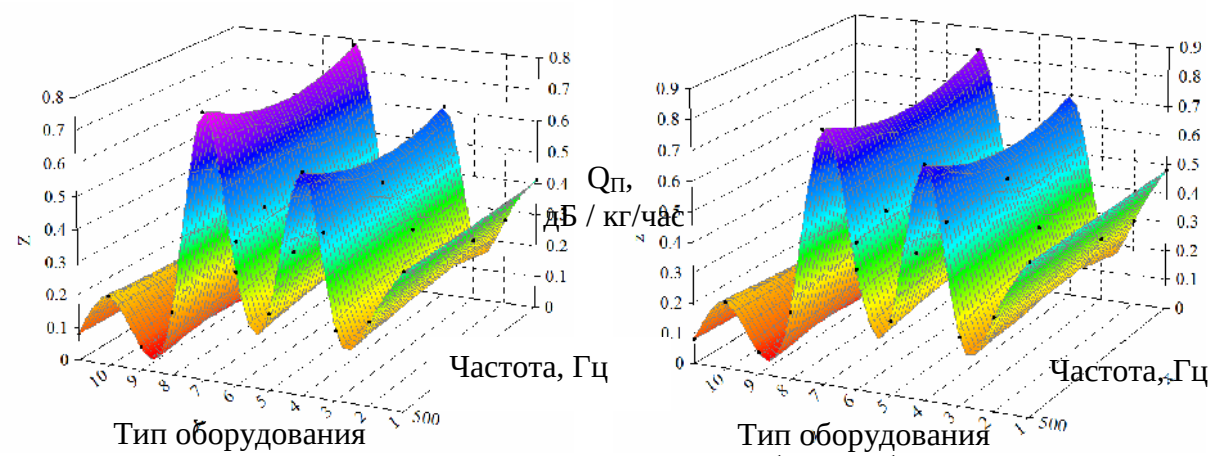
Часто-та, Гц	Холостой ход	R^2	С продуктом	R^2
1	2	3	4	5
500	$Q_П = -0,303LnП + 0,795$	0,96	$Q_П = -0,327LnП + 0,865$	0,95
	$Q_M = 0,025M^2 - 0,609M + +4,505$	0,94	$Q_M = 0,021M^2 - 0,571M + 4,614$	0,94
	$Q_N = -0,199N^2 - 10,415N + +226,22$	0,98	$Q_N = -0,611N^2 - 6,902N + 240,09$	0,93

Продолжение таблицы 2.

1	2	3	4	5
1000	$Q_П$ = -0,296LnП + 0,7724 $Q_М = 0,026М^2$ - 0,605М + +4,306 $Q_N = -0,2594N^2$ - 7,251N + +201,98	0,98 0,94 0,94	$Q_П$ = -0,3215LnП + 0,8443 $Q_М = 0,0209М^2$ - 0,5656М + +4,5222 $Q_N = -0,035N^5 + 1,111N^4 –$ -12,643N^3 +60,797N^2 –120,7N + +278,25	0,97 0,9 0,91

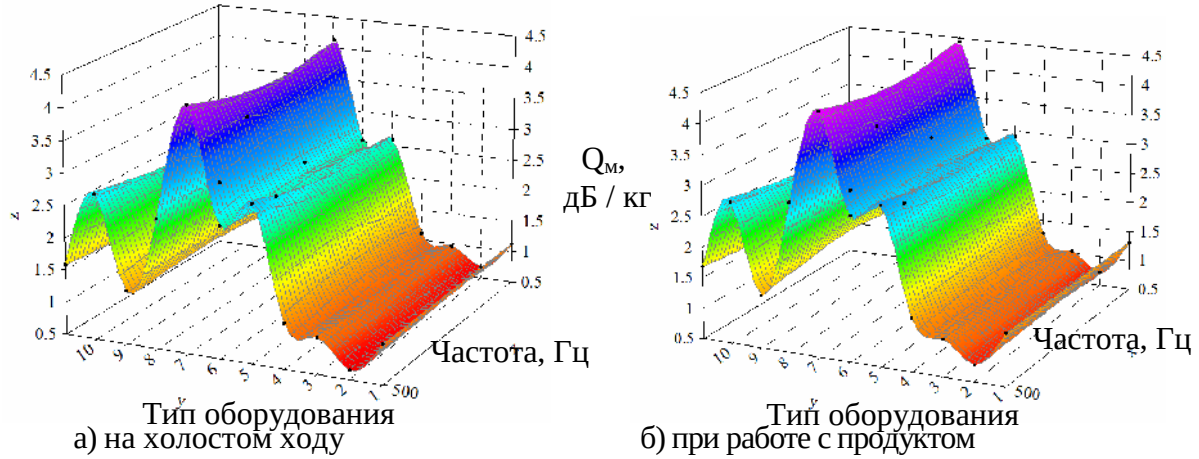
Анализ полученных результатов свидетельствует о том, что регрессионные зависимости адекватно описывают статистические зависимости. Теснота статистической связи не менее 0,9.

Используя эти данные с помощью программы TableCurve 3D нами были получены графические зависимости ОШХ от типа оборудования для работы на холостом ходу и с продуктом, представленные на рисунках 1-3.



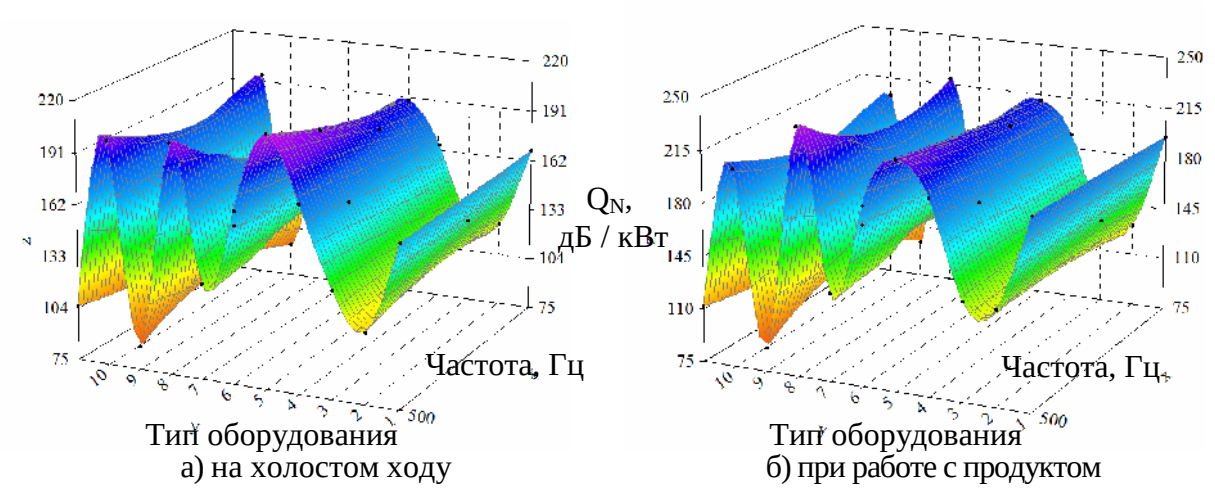
а) на холостом ходу б) при работе с продуктом

Рис.1. Зависимости ОШХ по производительности от типа оборудования
1 - МОК-150; 2 – МОК-250; 3 – МОК-350; 4 – МОЛ-100; 5 – МРО-350; 6 – МРО 50-200; 7 – CL 30a; 8 – Гамма-5А; 9 – МП-1000; 10- МПР-350; 11 – МРО 400-1000



а) на холостом ходу б) при работе с продуктом

Рис. 2. Зависимости ОШХ по массе от типа оборудования
1 - МОК-150; 2 – МОК-250; 3 – МОК-350; 4 – МОЛ-100; 5 – МРО-350; 6 – МРО 50-200; 7 – CL 30a; 8 – Гамма-5А; 9 – МП-1000; 10- МПР-350; 11 – МРО 400-1000



а) на холостом ходу б) при работе с продуктом

Рис. 3. Зависимости ОШХ по установленной мощности электродвигателя от типа оборудования 1 - МОК-150; 2 – МОК-250; 3 – МОК-350; 4 – МОЛ-100; 5 – МРО-350; 6 – МРО 50-200; 7 – CL 30a; 8 – Гамма-5А; 9 – МП-1000; 10- МПР-350; 11 – МРО 400-1000

Среди исследуемого оборудования наихудшие ОШХ относятся к овощерезательным машинам: CL 30A, МРО-350, МРО 50-200, Гамма-5А, протирочно-резательной машине МПР-350 и очистительному оборудованию МОЛ-100 и МОК-150. Этот вывод относится к работе оборудования как на холостом ходу, так и при работе с продуктом. Поэтому при конструировании или модернизации подобного оборудования следует обратить внимание на необходимость улучшения их ШХ.

Для оценки влияния ряда факторов: установленной мощности электродвигателя - N, массы машины - m, производительности - Q на ШХ машин был применен статистический метод Бокса-Уилсона [4] с D-оптимальным планом 2^3. Использована матрица планирования из восьми опытов. В качестве целевой функции использован обобщенный показатель ОШХ (y).

Многофакторные модели строились для работы оборудования в двух режимах: без нагрузки – холостой ход (ХХ) и под нагрузкой – с продуктом (РХ).

Кодированные значения факторов на ХХ приведены ниже.

$$X_1 = \frac{N - 84{,}015}{17{,}655}; \qquad X_2 = \frac{m - 2{,}47}{1{,}66}; \qquad X_3 = \frac{Q - 0{,}425}{0{,}355}$$

После отбрасывания промахов и проверки значимости коэффициентов регрессии и моделей были получены многофакторные модели в кодированных значениях.

$$y_1 = 105{,}25+17{,}66X_1+10{,}33X_2+9{,}57X_1X_3+14{,}24X_2X_3+9{,}8X_1X_2X_3 \quad (2)$$

$$y_2 = 2{,}19+0{,}64X_1-0{,}51X_1X_2-0{,}175X_1X_3+0{,}445X_2X_3 \quad (3)$$

$$y_3 = 0{,}24+0{,}13X_1-0{,}08X_1X_2-0{,}06X_1X_3+0{,}11X_2X_3+0{,}08X_1X_2X_3 \quad (4)$$

Анализ полученных моделей позволяет сделать ряд выводов. На величину относительной установленной мощности электродвигателя наибольшее влияние имеет фактор (X_1) и парное взаимодействие двух факторов (X_2) и (X_3). Существенными факторами, влияющими на относительную массу машины являются фактор (X_1) и совместное влияние двух факторов (X_1) и (X_2). На относительную производительность машины наибольшее влияние оказывает фактор (X_1) и совместное влияние двух факторов (X_2) и (X_3).

Кодированные значения факторов на РХ приведены ниже.

$$X_1 = \frac{N - 127{,}275}{62{,}725}; \quad X_2 = \frac{m - 2{,}61}{1{,}82}; \quad X_3 = \frac{Q - 0{,}445}{0{,}375}$$

Уравнения в кодированных значениях для работы оборудования с продуктом:

$$y_1 = 115{,}48+24{,}01X_1+16{,}44X_2+14{,}26X_2X_3 \quad (5)$$

$$y_2 = 2{,}41+0{,}77X_1-0{,}46X_1X_2-0{,}25X_1X_3+0{,}45X_2X_3 \quad (6)$$

$$y_3 = 0{,}26+0{,}15X_1-0{,}07X_1X_2-0{,}07X_1X_3+0{,}11X_2X_3+0{,}08X_1X_2X_3 \quad (7)$$

Анализ полученных многофакторных моделей позволяет сделать следующие выводы. Существенными факторами, влияющими на ОШХ и ШХ по параметрам установленной мощности электродвигателя, производительности и массы машины является фактор (X_1). Парное взаимодействие факторов влияют в меньшей степени и их можно не учитывать.

4. Заключение

ОШХ очистительного и измельчительного оборудования ресторанного хозяйства характеризуют статистическую взаимосвязь ШХ оборудования с его основными параметрами - производительностью, массой, установленной мощностью двигателя. Полученные регрессионные зависимости позволяют рассчитать ШХ оборудования на стадии его проектирования по основным параметрам оборудования заданным в технической характеристике. Расчет и анализ ОШХ позволяет выявить технологическое оборудование, которое нуждается в улучшении. Многофакторные модели ОШХ дают возможность оценить влияние основных параметров оборудования на его ШХ.

Список литературы:

1. Заплетников И.Н. Виброакустические характеристики оборудования предприятий питания и методы их улучшения; Моногр. – Донецк, ДонГУЭТ, Украина, 2005. – 265 с.

2. Заплетников И.Н., Севаторова И.С. Моделирование относительных шумовых характеристик оборудования пищевых производств, - Межд.сб.науч.тр. «Прогрессивные технологии и системы машиностроения», ДонНТУ, вып. 1, 2 (44), 2012. – С.99-103.

3. Заплетніков І.М., Кіріченко В.О., Севаторова І.С. Визначення порівняльних шумових характеристик овочерізок. - Наукові праці, Одеська нац. акад. харч. технол. 37, 2010. – С.303-307.

4. G.E.P. Box, K.B. Wilson. On Experiment Attainment of Optimum Conditions. – I.Roy. Statist.Soc., Ser.B, 13, 1, (1951).

I.N. Zapletnikov, I.S. Sevatorova

REGRESSION MODELS OF NOISE CHARACTERISTICS AND VEGETABLE CUTTING RUBBING MACHINES

This article determines the statistical correlation of noise characteristics on the middle octave bands grinding and cleaning equipment food industry with their basic parameters.

***Keywords**: noise performance, processing equipment, hardware options*

І.М. Заплетніков, І.С. Севаторова

РЕГРЕСІЙНІ МОДЕЛІ ШУМОВИХ ХАРАКТЕРИСТИК ОВОЧЕРІЗАЛЬНИХ ТА ПРОТИРАЛЬНИХ МАШИН

У статті встановлений статистичний взаємозв'язок шумових характеристик на середніх октавних полосах частот подрібнювального та очищувального обладнання харчових виробництв з їх основними параметрами

***Ключеві слова:** шумова характеристика, технологічне обладнання, параметри обладнання.*

Надійшла до редколегії 31.05.2013 р.