

УДК 641.5.06:620.111

А.Г. Дахов

Донецкий национальный университет экономики и торговли имени Михаила Туган-Барановского

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ФАКТОРОВ НА ВИБРОАКУСТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ОВОЩЕРЕЗОК

У статті досліджено комплексний вплив експлуатаційних факторів на віброакустичні характеристики овочерізки Robotcoupe CL30 з використанням методу планування експерименту. Наведені коефіцієнти при рівняннях регресії, що описують ВАХ цієї овочерізки.

Ключові слова: овочерізка, віброакустика, вібраційна характеристика, шумова характеристика.

Постановка проблемы. Повышенный уровень шума оказывает негативное воздействие на здоровье окружающих людей [2-4]. Уровень шума в производственном помещении зависит от виброакустических характеристик (ВАХ) оборудования, которые являются комплексным показателем качества конструкции и изготовления, степени безопасности и санитарно-гигиенических условий его применения.

ВАХ влияют на размещение оборудования в производственных цехах и его конкурентоспособность на внешнем рынке. Эти характеристики используются при проектировании оборудования, контролируются при приемо-сдаточных испытаниях заводами изготовителями, стандартизации и сертификации продукции.

Анализ исследований и публикаций. Предварительными исследованиями, проведенными на кафедре оборудования пищевых производств ДонНУЭТ, было установлено, что ВАХ части оборудования не отвечает существующим санитарным нормам. В литературе [4] представлены ВАХ ряда оборудования ресторанного хозяйства. Однако на рынке Украины появляются новые зарубежные образцы, ВАХ которых пока ещё не исследованы. К такому оборудованию относится машина для нарезки овощей Robotcoupe CL30. При работе с продуктом уровень шума по шкале А этого оборудования превышает 70 дБ. При этом на ВАХ в рабочем режиме влияют следующие факторы: конструкция машины, модуль упругости продукта, усилие прижатия продукта к рабочему органу, степень измельчения продукта. На данный момент влияние вышеописанных факторов на ВАХ овощерезки Robotcoupe CL30 не исследовано.

Целью данной работы является установление закономерностей влияния вышеуказанных эксплуатационных факторов на виброакустические характеристики Robotcoupe CL30.

Результаты исследования. Для решения поставленной задачи выбран метод планирования эксперимента типа 2^3 , который позволяет дать количественную оценку влияния некоторых параметров машины на ВАХ.

Вибрационные (ВХ) и шумовые (ШХ) характеристики машины определялись в лаборатории шума и вибрации кафедры оборудования ДонНУЭТ. Для проведения экспериментов был собран испытательный стенд (рис. 1).

На стенде в реальном режиме времени регистрировались виброскорость на двигателе машины V_1 , виброскорость корпуса V_2 , частота вращения рабочего органа f и мощность, потребляемая машиной N . В качестве ВХ принималась виброскорость корпуса машины V_2 , а так же виброскорость двигателя машины V_1 в октавных полосах частот, в качестве ШХ – скорректированный по шкале А уровень звуковой мощности L_A и уровни звуковой мощности в октавных полосах частот. Шумовые характеристики определялись с помощью шумомера 00023 RTF класса точности 0. Микрофон точного шумомера находился на расстоянии 1 м от крайней точки машины согласно ISO 11205:2003. ВХ определялись с помощью измерителя шума и вибрации ВШВ-003М2. Для определения виброскоростей датчики ДН-3 крепились на корпусе и двигателе машины с помощью шпилек. Приборы были откалиброваны согласно стандартов ISO 389-1 и ISO 389-3. Скорость вращения рабочего органа определялась с помощью индукционного датчика. Для регистрации потребляемой мощности N использовался усилитель мощности П030, который действует с помощью датчика Холла. Все параметры с помощью АЦП регистрировались на ПК. В качестве целевых функций принимались математические ожидания величин V, L, N, F .

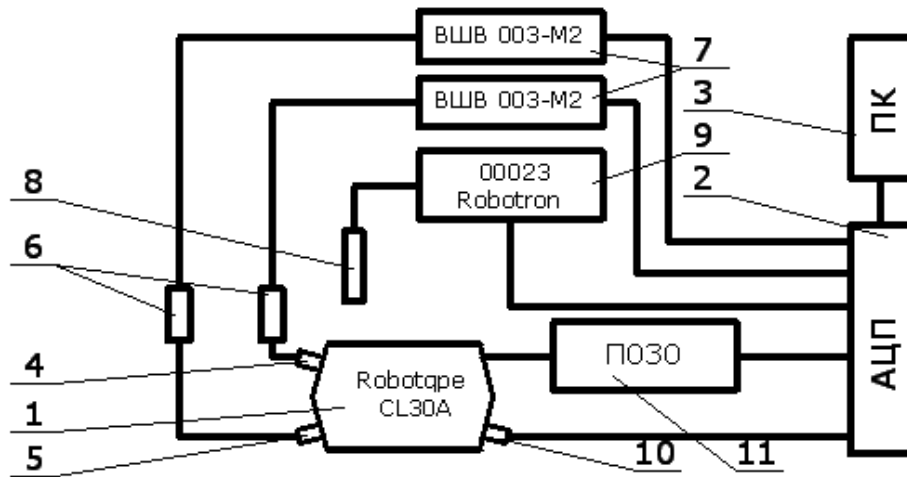


Рис. 1. Функциональная схема стенда для комплексного исследования овощерезки: 1 – овощерезка; 2 – АЦП; 3 – ПК; 4 – ДН-3М на двигателе; 5 – ДН-3М на корпусе; 6 – вибропреобразователи; 7 – ВШВ 003-М2; 8 – микрофон; 9 – Robotron 00023; 10 – индуктивный датчик оборотов; 11 – преобразователь мощности ПО30.

Для варьирования модулем упругости продукта (X_1) были выбраны два наиболее распространённых продукта – свекла и картофель.

Усилие прижатия продукта к рабочему органу (X_2) определяется усилием, с которым оператор прижимает продукт к РО. От этого параметра зависит в том числе коэффициент динамичности реза, который является одной из характеристик резания.

Степень измельчения продукта рабочим органом является длиной реза, которая образуется при измельчении этим РО образца объёмом 1 м^3 . Для варьирования этим параметром было выбрано два рабочих органа – серповидный нож и тёрку.

Уровни варьирования факторов представлены в таблице 1.

Таблица 1

Уровни варьирования факторов при планировании эксперимента

Наименование	X_1 , кПа	X_2 , Н	X_3 , м
Верхний уровень	2100	30	540
Нижний уровень	400	10	333
Единица варьирования	1700	20	207
Основной уровень	1250	20	436,5
Значение	E	F	L

$$X_1 = \frac{E - 1250}{1700}; X_2 = \frac{D - 20}{20}; X_3 = \frac{E - 436,5}{207}. \quad (1)$$

Матрица планирования эксперимента представлена в таблице 2.

Таблица 2

Матрица планирования эксперимента

Кадр	X_1	X_2	X_3
1	+	+	+
2	+	-	+
3	+	-	-
4	+	+	-
5	-	+	+
6	-	+	-
7	-	-	+
8	-	-	-

Результаты обработки экспериментальных данных представлены в таблицах 3-5.

Как следует из таблицы 3 более высокие значения уровня шума по шкале А наблюдались при проведении опыта №6. Проводилось резание картофеля при нагрузке на толкатель 3 кг. Уровень шума, излучаемого машиной при резании картофеля выше, чем при резании свеклы. Уровень шума зависит больше от усилия прижатия продукта, чем от типа РО. При этом при увеличении усилия прижатия уровень шума увеличивается.

Таблица 3

Уровень звуковой мощности, дБ

№ опыта	Октавные полосы частот, Гц								По шкале А
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
1	67,3	84,2	75,9	77,4	70,9	68,1	66,4	67,0	69,5
2	66,8	84,8	75,3	75,4	71,9	69,3	63,5	62,1	67,6
3	74,9	84,8	75,2	74,7	66,4	64,3	64,4	54,6	66,1
4	78,9	80,4	77,8	77,8	66,1	64,1	68,0	67,1	69,9
5	66,1	76,8	83,9	75,4	68,3	67,9	64,6	61,0	76,6
6	66,9	84,2	81,1	75,6	77,2	67,9	65,6	66,5	79,2
7	66,1	75,4	83,9	74,8	68,1	68,6	58,4	56,3	75,6
8	76,1	85,1	77,3	75,1	73,0	67,1	65,7	61,2	77,1

В таблице 4 представлены значения виброскоростей для двигателя Robotcoure CL30.

Таблица 4

Виброскорость на двигателе на низких частотах 1-31,5 Гц, мм/с

№ опыта	Октавные полосы частот, Гц											
	1	2	4	8	16	31,5	63	125	250	500	1000	2000
1	1,46	1,8	0,94	7,71	21,4	22,97	46,96	123,7	20,94	30,7	48,1	39,1
2	1,16	1,4	0,17	3,19	8,4	21,76	11,78	138,3	22,00	39,3	49,8	37,9
3	1,44	1,8	9,27	0,65	10,1	69,21	135,9	151,2	16,32	31,6	51,2	30,2
4	1,60	2,1	10,3	0,72	3,8	16,52	32,22	44,46	110,3	23,3	33,5	45,5
5	1,24	1,7	1,18	7,71	20,5	19,46	34,71	108,1	8,81	50,2	68,8	28,1
6	2,20	0,3	1,61	8,11	18,8	38,15	44,73	122,6	9,43	34,1	47,3	41,3
7	0,98	1,3	0,22	3,19	8,1	18,44	27,65	26,55	59,64	43,2	42,7	29,4
8	1,39	1,6	0,72	8,02	42,3	24,22	54,55	165,3	20,71	43,47	46,48	48,2

Как следует из таблицы 4, на низких частотах 1-31,5 Гц для всех опытов виброскорости увеличиваются с возрастанием частоты и имеют максимальные значения для этого участка на частоте 31,5 Гц. Разброс значений в зависимости от факторов незначителен из-за отсутствия непосредственного влияния продукта на эту деталь. Это справедливо для всех опытов, кроме опытов №3 и №6, частоты 31,5 Гц. Для этих опытов происходит резкое увеличение значений виброскорости двигателя. Это свидетельствует о том, что при работе с лезвием машина имеет резонансные частоты корпуса в этой области, из-за чего не происходит демпфирования колебаний, возникающий от соударений продукта со стенками камеры. На частотах 63-2000 Гц максимальные значения виброскоростей для всех опытов, кроме №4 и №7 наблюдаются на частоте 125 Гц, после чего идёт резкий спад на частоте 250 Гц, затем плавное возрастание с пиком на частоте 1000 Гц.

Для опытов №4 и №7 максимальные значения переходят на более высокую частоту 250 Гц, что свидетельствует о повышении резонансной частоты.

Для более наглядной иллюстрации зависимости виброскоростей двигателя в зависимости от эксплуатационных параметров на рис. 4 представлены графики виброскоростей для опытов №3 и №4. На рисунке чётко видно совпадение первого пика на низкой частоте 4 Гц, потом постепенное возрастание значений виброскоростей, при этом для опыта №3 значения для двух других пиков приходится на более низкие частоты, чем для опыта №4.

Результаты замеров виброскорости на корпусе овощерезки представлены в таблице 5. Визуально графики распределения виброскоростей в октавных полосах частот опытов №3 и №4 представлены для наглядности на рис. 1. Анализируя результаты можно сделать выводы, что для всех опытов, кроме №4 и №7 максимальные значения наблюдаются на частоте 125 Гц, а в области высоких частот пик наблюдается на частоте 500 Гц, а не 1000, как на двигателе и имеет более ярко выраженный характер. Для опыта №4 более ярко становится видна резонансная частота в области 63 Гц. Исходя из того, что на двигателе пик на данной частоте отсутствует, следует, что конструкция кронштейна крепления двигателя хорошо демпфирует колебания на этой частоте.

Таблица 5

Значения виброскоростей в октавных полосах частот на корпусе овощерезки

№ опыта	Октавные полосы частот, Гц											
	1	2	4	8	16	31,5	63	125	250	500	1000	2000
1	0,31	0,02	0,71	2,92	5,73	6,00	29,67	68,2	19,1	47,58	17,58	30,18
2	0,24	0,02	0,13	1,21	2,27	21,76	48,37	96,3	6,5	43,77	15,44	25,08
3	0,39	0,84	1,03	0,35	4,06	46,81	27,23	120,2	3,9	15,41	21,42	11,92
4	0,56	0,93	1,15	0,39	4,51	13,04	59,76	4,19	98,4	6,17	18,70	19,99
5	0,29	1,12	2,05	3,58	8,73	9,62	16,11	50,2	1,4	27,73	15,06	17,60
6	1,68	0,02	0,89	2,92	5,51	6,07	39,99	107,1	2,2	15,92	23,74	8,65
7	0,81	1,02	0,18	2,21	2,14	12,19	31,59	21,40	17,0	14,46	14,91	8,67
8	0,32	0,55	0,75	2,54	17,0	12,98	10,66	150,2	6,7	18,15	34,77	9,77

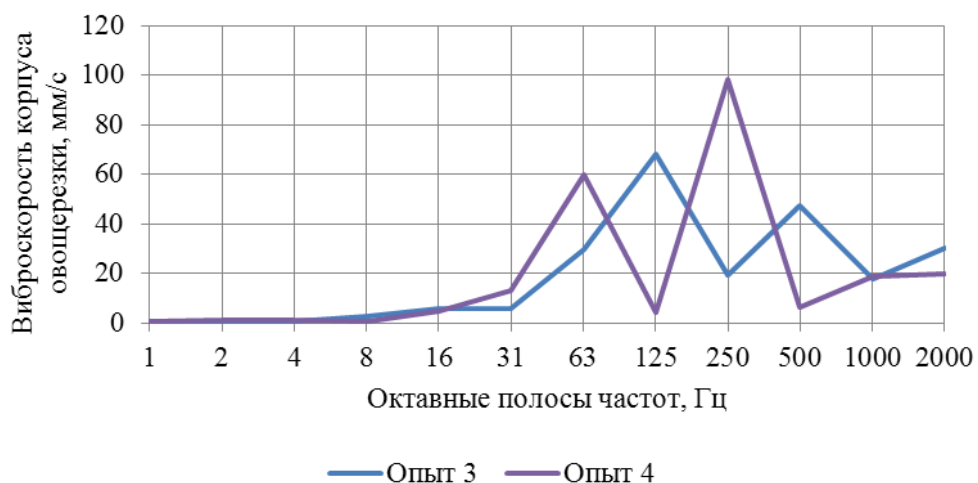


Рис. 1. Виброскорость на корпусе Robotcoupe CL30 в октавных полосах частот при проведении опыта №3 и №4

При этом следует отметить, что на графике виброскоростей корпуса, для всех опытов отсутствуют пики на низких частотах до 31 Гц включительно. Следовательно, низкие резонансные частоты присущи только двигателю и хорошо демпфируются корпусом.

В результате обработки экспериментальных данных для всех целевых функций получены адекватные уравнения регрессии в числовом и натуральном видах. Уравнение регрессии для целевой функции в общем виде будет иметь следующую форму:

$$y = B_0 + B_1 \cdot X_1 + B_2 \cdot X_2 + B_3 \cdot X_3 + B_{1,2} \cdot X_1 \cdot X_2 + B_{1,3} \cdot X_1 \cdot X_3 + B_{3,2} \cdot X_3 \cdot X_2 + B_{1,2,3} \cdot X_1 \cdot X_2 \cdot X_3, \quad (2)$$

где y – целевая функция; X_1, X_2, X_3 – исследуемые факторы; B_i – коэффициент весомости при i -м факторе.

Коэффициенты весомости факторов для адекватных уравнений регрессии представлены в таблицах 6-7.

Таблица 6

Коэффициенты регрессии для уравнений, описывающих уровень звуковой мощности

Коэффициент весомости фактора	Октавные полосы частот, Гц								дБА
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
0	74,39	85,96	82,81	79,77	74,26	71,17	68,56	65,97	76,46
1	-1,60	1,60	-2,73	0,55	-1,40		1,01		4,65
2	-1,92	0,54		0,18	0,84		0,45	1,17	-1,00
3	-3,61	-1,67			1,80	0,06	1,12		-0,50
1,2		0,42	-0,70	-0,08	0,73				
1,3					1,62	-0,33			
2,3	1,61	0,34							
1,2,3				0,61			0,03	2,25	-0,40

Наиболее сильное влияние на шум по шкале А имеет модуль упругости. Увеличение модуля упругости продукта негативно влияет на шум овощерезки. Это происходит, так как увеличение модуля упругости согласно [5] ведёт к увеличению возмущающей силы, при этом увеличивается амплитуда колебаний оборудования, и как следствие, уровень шума. Увеличение усилия прижатия увеличивает жесткость между машиной и продуктом, что приводит к повышению собственных частот данной механической системы. Это позитивно влияет на шум машины на низких частотах, увеличивает его на высоких. По шкале А увеличение усилия прижатия позитивно влияет на ШХ машины. Степень измельчения продукта оказывает незначительное влияние на шум, при этом при увеличении этого фактора происходит уменьшение шума на низких частотах и повышение на высоких. По шкале А уровень шума при увеличении данного фактора уменьшается. Это происходит из-за того, что нагрузка, передаваемая грузочному бункеру, при увеличении степени измельчения носит более равномерный характер.

Совместное влияние увеличения усилия на толкателе и степени измельчения продукта имеют влияние на ШХ машины только на низких частотах, при этом при увеличении этих факторов шум машины возрастает.

Поскольку на шумовые характеристики машины оказывает влияние виброскорость на корпусе машины, рассмотрим коэффициенты для адекватных уравнений регрессии, описывающих виброскорость на корпусе овощерезки (таблица 7).

Анализ таблицы 7 показывает, что:

1. Увеличение модуля упругости уменьшает виброскорость на частотах 2; 16; 31,5 и 250 Гц, что указывает на уменьшение виброскорости на корпусе в целом. Это подтверждается тем, что при увеличении жесткости повышаются собственные частоты системы.

2. При увеличении усилия на толкателе на низких частотах происходит увеличение значений виброскоростей, однако на средних и высоких частотах виброскорость корпуса уменьшается.

3. Увеличение степени измельчения продукта так же понижает виброскорость на низких и повышает на высоких частотах.

Для уравнений, коэффициенты которых представлены в таблицах 6-7 рассчитаны критерии Стьюдента и Фишера, после чего полученные значения сверены с табличными. В результате проверки подтверждено, что полученные уравнения адекватны.

Таблица 7

Коэффициенты регрессии для адекватных уравнений регрессии, описывающих вибросторожность на корпусе овощерезки

		Номер фактора							
		0	1	2	3	1,2	1,3	2,3	1,2,3
Октавные полосы частот, Гц	1	-0,20	0,06	-0,12	-0,16	0,10	-0,21	0,26	-0,20
	2	-0,11	-0,27	0,19	-0,16	-0,21			-0,11
	4			0,13	-0,42		0,30	-0,13	
	8	-0,80		0,25	0,21	0,17	0,34		-0,80
	16	-2,10	-0,68	-1,08	0,54	1,83		-1,77	-2,10
	31,5	5,84	-5,20	2,59	-2,83	1,90		-6,73	5,84
	63	-5,84		-4,55		3,47	-1,06	3,44	-5,84
	125				6,80	34,22		-27	
	250	12,58	-12,1	-9,05	-7,09	-11,4	12,01	14,78	12,58
	500	4,58		-2,65		0,62	1,26		4,58
	1000	-1,92	2,25	-2,96	0,47				-1,92
	2000	5,31			1,94	-1,35			5,31

Выводы

В статье представлена методика исследований ВАХ овощерезки Robotcoupe CL30. Проведено многофакторное моделирование зависимостей ВАХ от эксплуатационных параметров для исследуемой машины. Проведена статистическая обработка результатов экспериментов. Для целевых функций получены адекватные уравнения регрессии в числовом и натуральном видах.

Для машины Robotcoupe CL30 наибольшее влияние исследуемые факторы оказывают на частоте 125 Гц, поэтому для снижения вибросторожности корпуса на средних частотах рекомендуется при измельчении продуктов с высоким модулем упругости прилагать минимальное давление на толкатель. Так же снижение усилия на толкателе значительно уменьшит шум на низких частотах при использовании тёрочных рабочих органов.

Перспективой дальнейших исследований является создание математических моделей, описывающих влияние эксплуатационных факторов на ВАХ Robotcoupe CL30.

1. Noise and blood pressure: A cross sectional and longitudinal study of the effects of exposure to loud noise on residents in Calabar, Cross River State, Nigeria. Asuquo U.E., Onuu M.U., Akpan A.O., Asuquo A.U. 14(2), 2009, International Journal of Acoustics and Vibration, p. 1-15.
2. Community Noise. Berglund B., Lindvall T., (Eds.). 2(1), Stockholm, Sweden: Centre for Sensory Research, 1995, p. 1-195. ISSN 1400-2817.
3. Passchier-Vermeer W. Relationship between environmental noise and health. 2003, Journal of Aviation and Environmental Research, T. 7, p. 35-44.
4. Заплетников И.Н. Моделирование виброакустических процессов технологического оборудования пищевых производств. – Донецк: ДонГУЭТ, 2001. – 141 с.
5. Заплетников И. Н. Виброакустические характеристики оборудования предприятий питания и методы их улучшения: Моногр. – Донецк: ДонГУЭТ, 2005. – 265 с.
6. Заплетников І.М., Дахов О.Г., Булганов С.С. Про підвищення точності розрахунку віброакустичних характеристик картоплечисток. – Вісник ДонНУЕТ: серія Технічні науки; №1(49). – 2009. – С. 24-30.