

Министерство образования и науки Донецкой Народной Республики
Государственная организация высшего профессионального образования
«Донецкий национальный университет экономики и торговли
имени Михаила Туган-Барановского»



На правах рукописи

СЕВАТОРОВА ИРИНА СЕРГЕЕВНА

**ТРАНСФОРМАЦИЯ ВИБРОАКУСТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК
ОБОРУДОВАНИЯ ПРЕДПРИЯТИЙ ПИТАНИЯ**

Специальность 05.18.12 – Процессы и аппараты пищевых производств

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Донецк – 2019

Диссертация является рукописью.

Работа выполнена в ГО ВПО «Донецкий национальный университет экономики и торговли имени Михаила Туган-Барановского» Министерства образования и науки Донецкой народной республики.

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор **Заплетников Игорь Николаевич**, ГО ВПО «Донецкий национальный университет экономики и торговли имени Михаила Туган-Барановского», зав. кафедрой оборудования пищевых производств.

Официальные оппоненты: доктор технических наук, доцент **Фалько Александр Леонидович**, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение «Керченский государственный морской технологический университет», профессор кафедры машин и аппаратов пищевых производств;
доктор технических наук, профессор **Гуляев Владимир Георгиевич**, Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Донецкий национальный технический университет», профессор кафедры горных машин.

Ведущая организация: Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры», кафедра проектирования зданий и строительной физики.

Защита состоится «11» декабря 2019 г. в 09.00 часов на заседании диссертационного совета Д 01.025.02 при ГО ВПО «Донецкий национальный университет экономики и торговли имени Михаила Туган-Барановского» по адресу: 283055, г. Донецк, пр. Театральный, 28, корпус 7, ауд. 7304, тел: +38(062)304-50-50, e-mail: dissovet0102502@donnuet.education.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ГО ВПО «Донецкий национальный университет экономики и торговли имени Михаила Туган-Барановского» по адресу: 283017, г.Донецк, б.Шевченко, 30 (<http://library.donnuet.education>). Автореферат разослан _____

Ученый секретарь
диссертационного совета
Д 01.025.02 к.т.н., доцент



Н.Н. Севаторов

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы: Шумовое загрязнение рабочих мест производственных помещений является одним из наиболее неблагоприятных экологических факторов на предприятиях питания. Этот вид загрязнения возникает при работе оборудования, а повышенный уровень шума оказывает негативное воздействие на работников предприятий питания.

Развитие современной техники, создание машин с высокой производительностью, мощностью и с большой частотой вращения рабочих органов приводит к увеличению уровня шума в широком диапазоне частот, и поэтому конструкторы оборудования, медицинские работники, экологи и другие специалисты работают над вопросами уменьшения интенсивности шума.

Уровень шума в производственном помещении зависит от виброакустических характеристик (ВАХ) оборудования, которые являются комплексным показателем качества конструкции и ее изготовления, степени безопасности и санитарно-гигиенических условий его применения.

ВАХ влияют на размещение оборудования в производственных цехах и его конкурентоспособность на рынке продаж. На значимость этих характеристик указывает и тот факт, что, согласно европейским и международным стандартам, шумовая характеристика (ШХ) оборудования должна быть заявлена по ГОСТ 30691-2001. Эти характеристики используются заводами-изготовителями при приемо-сдаточных испытаниях, стандартизации и сертификации продукции.

ВАХ машин должны обеспечивать допустимые уровни шума в производственных помещениях, регламентируемых отраслевыми, государственными и межгосударственными стандартами.

На современных предприятиях общественного питания большую долю занимает очистительное и измельчительное оборудование производства немецких, французских, итальянских, шведских, финских, польских, венгерских, чешских и др. фирм. Это оборудование обладает не только высоким техническим уровнем, но и высокой стоимостью по сравнению с российским и белорусским. Однако, судя по проведенному нами обзору существующей информации и результатам собственных исследований, ВАХ этого оборудования не всегда соответствуют заявленным характеристикам, особенно при работе с продуктом.

Вопросами изучения и снижения уровня производственного шума занимались ученые: Н.И. Иванов, Е.Я. Юдин, Г.Л. Осипов, Л.Ф. Лагунов, Л.Л. Фолкнер, М.В. Васильев, Ю.И. Бобровницкий, М.О. Генкин, М. Мюллер, Grosh, P.J. Halliday, Kuttruff H., Nazli Bin Che Din, Toru Otsuru, Kusno Asniawaty, Dalenback B.I., Kleiner M., Prince D., Mechel F., Nagatomo H., Ushiyama A. (основные исследования в области снижения шума в домах и промышленных предприятиях); И.И. Клюкин, А.Е. Колесников, В.Т. Ляпунов, А.С. Никифоров (борьба с шумом и звуковой вибрацией на судах); О.М. Поболь, В.И. Чудаков, Я.И. Коритисский, Desmet W., Pluymers B., Sas P., Mohanty A.R., St.Pierre B.D.

(борьба с шумом в легкой промышленности); И.Е. Цукерников, В.М. Мякшин, Б.А. Селиверстов (шум в пищевой промышленности); И.Н. Заплетников, И.Н. Лебедев, А.С. Соколов, Д.О. Еременко, А.К. Пильненко, А.В. Гордиенко, В.А. Кириченко (борьба с шумом торгово-технологического оборудования); О.Ц. Андреева-Галанина, Т.О. Орлова, Л.М. Хаймович, Г.О. Суворов, Н.П. Беневоленская, О.О. Меньшов, О.М. Кадискина, Asuquo U.E., Asuquo A.U., Passchier-Vermeer W. (медицинские аспекты шума, гигиеническое нормирование шума).

Математических зависимостей между основными параметрами оборудования и его шумовыми характеристиками в технической литературе не существует как в аналитическом, так и в эмпирическом виде. Решение этой задачи позволит рассчитать ВАХ оборудования предприятий питания на стадии проектирования новой машины.

Вышеперечисленные обстоятельства определяют актуальность диссертационной работы.

Связь работы с научными программами, планами, темами.

Работа содержит результаты исследований, выполненных автором в плане госбюджетной тематики НИР ГО ВПО «ДонНУЭТ» Д2013-1 «Виброакустика оборудования пищевых производств. Теория, эксперимент, эволюция» (№0113U000629), «Разработка научно-технических основ создания и усовершенствование конструкций технологического механического оборудования предприятий питания», (№ 0108U011130), Д2016-2 «Повышение эффективности эксплуатационных параметров и характеристик оборудования пищевых производств».

Цель работы - установление закономерностей квалитетической оценки влияния ШХ на качество конструкции оборудования на примере очистительного и измельчительного оборудования предприятий питания.

Для достижения этой цели необходимо реализовать следующие задачи:

- проанализировать конструкции существующего очистительного и измельчительного оборудования предприятий питания и выявить их конструктивные особенности, влияющие на его ВАХ;
- экспериментально определить ВАХ очистительного и измельчительного оборудования предприятий питания, используя современные методики проведения экспериментальных исследований ВАХ;
- определить относительные шумовые характеристики исследуемого оборудования, установить взаимосвязь относительных шумовых характеристик с основными параметрами оборудования;
- разработать методику оценки влияния ШХ машин на качество конструкции оборудования на примере очистительного и измельчительного оборудования предприятий питания;
- разработать предложения по совершенствованию конструкций очистительного и измельчительного оборудования с целью улучшения его ВАХ;
- внедрить результаты исследований в учебный процесс, на предприятиях пищевых производств и предприятиях питания.

Объект исследований - виброакустические процессы в технологическом оборудовании предприятий питания.

Предмет исследования – виброакустические характеристики очистительного и измельчительного оборудования предприятий питания.

Методы исследования. Теоретические методы: анализ информационных источников в области виброакустики технологического оборудования, методы математического моделирования. Экспериментальные методы: технический метод определения ВАХ оборудования; методы математической статистики для обработки и моделирования результатов экспериментальных исследований, метод планирования эксперимента.

Обоснование и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций. Достоверность экспериментальных исследований обеспечена современными методиками проведения экспериментальных исследований ВАХ, а также использованием высокоточных измерительных приборов. Достоверность полученных научных результатов, методик расчета, выводов и рекомендаций обеспечена использованием основных теорий виброакустики, математических методов обработки экспериментальных данных и подтверждается адекватностью результатов теоретических исследований и экспериментальных данных.

Научная новизна полученных результатов заключается в установлении эмпирических выражений изменения ВАХ машин для очистки и измельчения овощей в зависимости от основных параметров данного оборудования; обосновании закономерностей их связи с основными параметрами оборудования.

Практическое значение полученных результатов:

- определены относительные ВАХ очистительного и измельчительного оборудования предприятий питания по шкале А и в октавных полосах частот;
- установлены статистические закономерности их связи с основными параметрами оборудования, позволяющие прогнозировать виброакустические характеристики машин на стадии их проектирования;
- разработан алгоритм и программа расчета ОШХ оборудования предприятий питания и оценки качества оборудования предприятий питания по его шумовым характеристикам
- разработаны предложения по улучшению конструкции для овощерезательных и очистительных машин, позволяющие уменьшить динамические нагрузки, исключить повреждения рабочего органа, снизить вибрационные нагрузки на подшипниковые опоры и оператора, увеличить надежность и долговечность работы машины.

Личный вклад автора заключается в анализе состояния проблемы, обосновании и формировании темы диссертации, выборе направления и разработке методики исследований, создании экспериментального стенда для определения ВАХ овощерезки и картофелечистки, математической обработке результатов экспериментальных исследований, создании математических моделей, описывающих виброакустические процессы измельчительного и

очистительного оборудования, проверке достоверности полученных результатов, формулировании выводов, разработке алгоритма и программы расчета ОШХ оборудования и оценки влияния ШХ машин на качество конструкции оборудования на примере очистительного и измельчительного оборудования предприятий питания.

Апробация результатов диссертации. Основные результаты по теме диссертационной работы докладывались на VII Международной научной конференции студентов и аспирантов «Техника и технология пищевых производств» 22-23 апреля 2010 г., МГУП, Могилев; Международной научно-технической конференции «Прогрессивная техника и технологии пищевых производств, ресторанного и гостиничного хозяйств и торговли. Экономическая стратегия и перспективы развития сферы торговли и услуг», 19 апреля 2011, ХГУПТ, Харьков; VII Международной научно-технической конференции «Проблемы пищевых технологий и питания. Современные вызовы и перспективы развития», 7-9 сентября 2011 г., ДонНУЭТ, Святогорск; Международной научно-практической конференции «Инновационные энерготехнологии», 5-9 сентября 2011 г., ОНАПТ, Одесса; Всеукраинской научно-практической конференции молодых ученых и студентов «Актуальные проблемы развития пищевых производств, ресторанного и гостиничного хозяйства и торговли», 25 апреля 2012 г. ХГУПТ, Харьков; The 19th International Congress on Sound and Vibration, July 08-12, 2012, Vilnius, Lithuania; III международной научно-практической конференции научной молодежи и студентов «Современные проблемы развития легкой и пищевой промышленности», 21 сентября 2012, Евпатория; XIX Международной научно-технической конференции «Машиностроение и техносфера XXI века», 17-22 сентября 2012 г., Севастополь; Межвузовском научно-практическом семинаре, 20.03.2014, Полтава; V Всероссийской научно-практической конференции «Защита от повышенного шума и вибрации» с международным участием, 18-20 марта 2015 г., Санкт-Петербург; Международной научно-технической конференции «Машиностроение и техносфера XXI века», 12-19 сентября 2016 года, г.Севастополь; Международной научно-технической конференции «Повышение эффективности процессов и аппаратов в химической и смежных отраслях промышленности», посвящённой 105-летию со дня рождения А.Н. Плановского, 8-9 сентября 2016 г., Московский государственный университет дизайна и технологии, Москва; X Международной научной конференции студентов и аспирантов «Техника и технология пищевых производств», 28–29 апреля 2016 г., МГУП, Могилев; VI Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Защита от повышенного шума и вибрации», 21 – 23 марта 2017 г., Санкт-Петербург; ежегодной конференции преподавателей ДонНУЭТ, Донецк; II Международная научно-практическая конференция «Современные процессы в пищевых производствах и инновационные технологии обеспечения качества пищевых продуктов», 16-17 ноября 2017г., Донецк; Межвузовская научно-практическая конференция студентов и курсантов «Наука, молодежь – 2017», 26 октября 2017, Керчь; Международная научно-техническая конференция «Техника и технология

пищевых производств», 19-20.04.2018 г., Могилев; Международная научно-техническая конференция «Инновационные перспективы Донбасса», 22-25.05.2018 г., Донецк

Публикации. По теме диссертации опубликовано 35 научных трудов, в том числе 15 статей в профильных изданиях, 19 статей в научных журналах и сборниках трудов конференций, 1 патент Украины на полезную модель № 115864.

Структура диссертации. Основное содержание работы изложено на 129 страницах машинописного текста, который состоит из 5 разделов и 4 приложений. Диссертация проиллюстрирована 38 рисунками и содержит 28 таблиц. Список использованной литературы содержит 154 наименования.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** обоснована актуальность работы, на основании чего сформулирована цель и определены задачи исследования. Представлена связь с научными программами, планами и темами, определены объект, предмет и методы исследований, дано обоснование достоверности научных положений, выводов и рекомендаций, приведены научное и практическое значения работы, представлена апробация, структура и количество публикаций по теме диссертации.

В первом разделе **«Аналитический обзор современного очистительного и измельчительного оборудования предприятий питания»** выполнен аналитический обзор конструкций современных машин, применяемых на предприятиях питания в разрезе их экологической безопасности по излучаемым уровням шума и вибрации. Определено, что наибольшее распространение получило очистительное и измельчительное оборудование. Предыдущими исследованиями кафедры оборудования пищевых производств ДонНУЭТ, а также на основании собственных исследований установлено, что ШХ исследуемого оборудования превышают допустимые нормы.

Проведенный анализ представленных на рынке очистительных и измельчительных машин различных производителей показал, что информация о взаимосвязи между ШХ оборудования и показателями качества этого оборудования отсутствует. Решено, что для совершенствования конструкций очистительного и измельчительного оборудования предприятий питания на стадии его проектирования целесообразно учитывать кроме его основных параметров – производительности, массы и мощности электродвигателя также его ШХ.

На основании проведенных аналитических исследований сделаны выводы, определившие дальнейшую структуру комплекса научных исследований по изучению формирования ВАХ исследуемых машин (рис. 1).

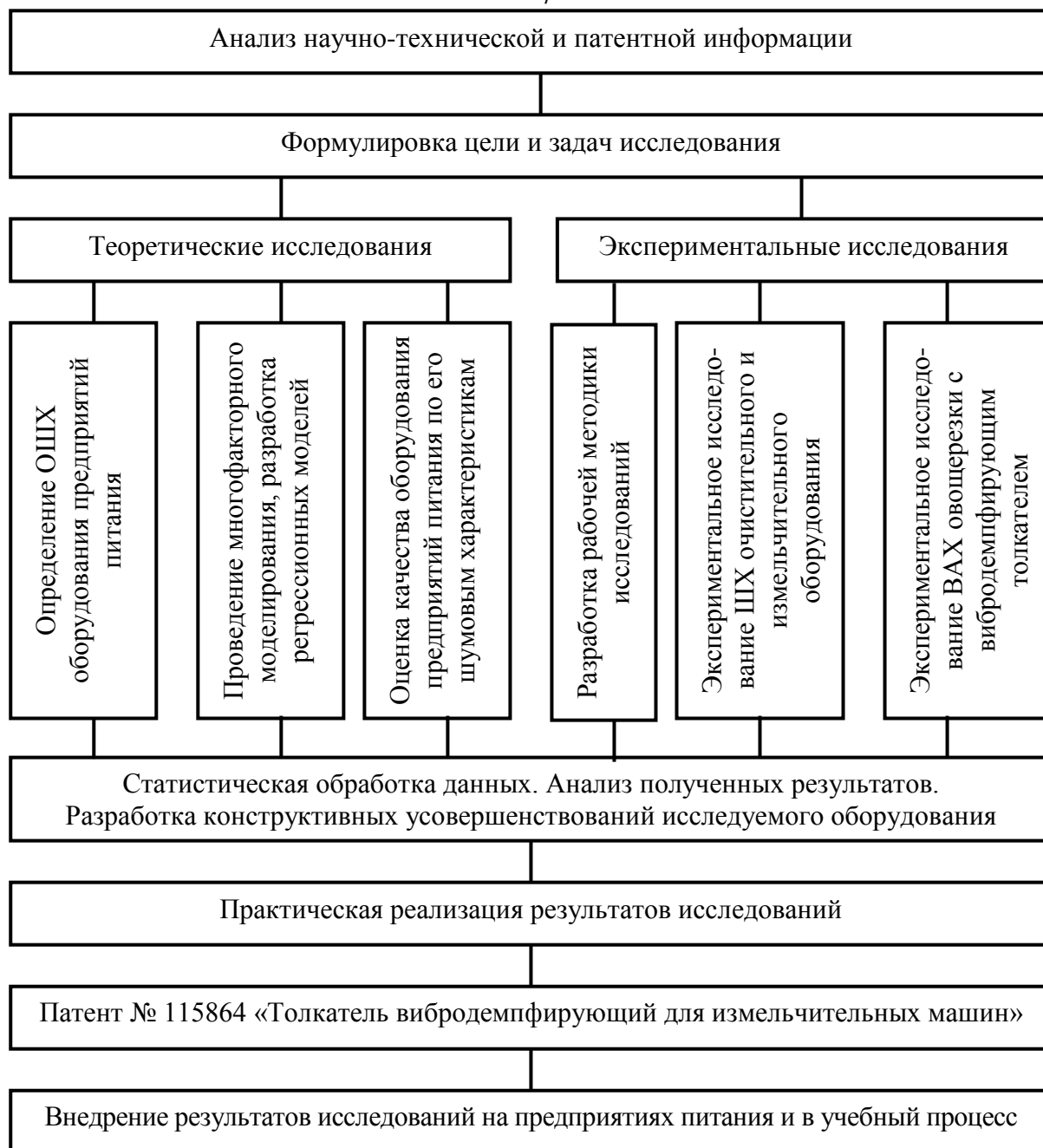


Рисунок 1 – Структурно-логическая схема исследований

Во втором разделе «Методическое обеспечение проведения исследований» дан анализ имеющихся методов исследования в данной области, даны схемы и приведена стратегия собственных исследований, определённых поставленными задачами. Предложены регрессионные уравнения, с помощью которых можно рассчитать шумовые характеристики исследуемого оборудования в взаимосвязи их с основными техническими параметрами оборудования. На основе анализа имеющегося экспериментального материала обоснована возможность построения многофакторных регрессионных уравнений, позволяющих оценить одновременное влияние на ШХ основных параметров машин: мощности электродвигателя, массы и производительности.

Для прогнозирования шумовых характеристик оборудования предприятий питания, исходя из основных параметров машины, целесообразно применить квалиметрические методы, используя не абсолютные значения ШХ, а относительные (ОШХ) к производительности $\Pi - Q_{\Pi}$, массе $M - Q_M$ и мощности электродвигателя $N - Q_N$.

Для получения многофакторных моделей, описывающих одновременное влияние мощности электродвигателя, массы машины и производительности на ОШХ и ШХ оборудования, разработана методика комплексного исследования основных характеристик оборудования с применением планирования эксперимента.

В третьем разделе «Экспериментальное определение шумовых характеристик оборудования предприятий питания» приведены результаты экспериментальных исследований по определению шумовых характеристик оборудования предприятий питания и исследований по определению закономерностей формирования ВАХ исследуемых машин.

Экспериментальный метод установления значений ШХ оборудования в настоящее время является основным в мировой практике. На основании этих значений международной организацией по стандартизации ИСО "Акустика" разработан стандарт 4671, по которому шумовой характеристикой L_{pA} необходимо даже маркировать оборудование.

С целью разработки конструктивных мер и рекомендаций, направленных на снижение ШХ оборудования, необходимо дать экспериментальную оценку влияния виброакустических процессов в оборудовании, режимов его работы и источников на ШХ, а также получить их эмпирические модели. Решение этих задач выполнено в соответствии с разработанной методикой. ШХ определены экспериментальным путем техническими методами, в условиях свободного звукового поля, в лабораториях и производственных помещениях в различных режимах работы.

В аттестованной лаборатории шума и вибрации кафедры оборудования пищевых производств ДонНУЭТ, объемом помещения 100 м^3 определялись акустические характеристики машин: овощерезательной - RobotCoupe CL-30A и для очистки картофеля - МОК-150. Машины были установлены в соответствии с требованиями РЭ с использованием ГОСТ 12.1.026-80 "Шум. Определение шумовых характеристик в свободном звуковом поле над звукоотражающей поверхностью. Технический метод" (рисунок 2). ВАХ машин определялись в рабочем режиме работы при очистке картофеля и свеклы (для МОК-150), при нарезке ломтиками толщиной 2мм сырых овощей: картофеля, свеклы, моркови и шинковке капусты (для RobotCoupe CL-30A), а также определялись акустические характеристики их элементов.

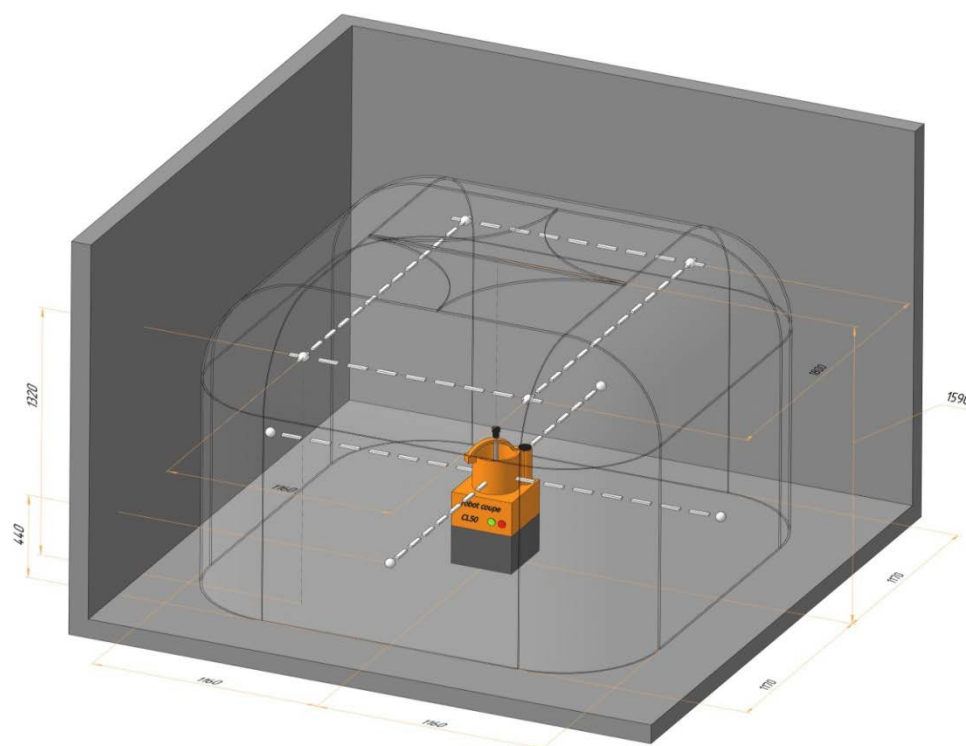


Рисунок 2 – Схема расположения точек измерения по ГОСТ 12.1.026-80

По результатам проведенных исследований (рисунок 3) было установлено, что ШХ овощерезки RobotCoupe CL 30 А превышает допустимые нормы в основном на средних и высоких октавных полосах частот в среднем на 8 дБ. Превышений допустимых норм нет на низких частотах 63 и 125 Гц и по шкале шумомера А.

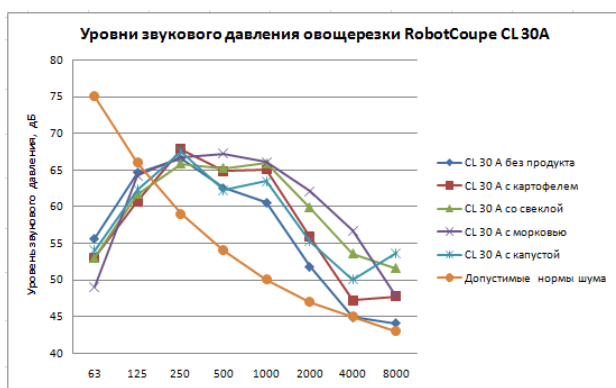


Рисунок 3 - Шумовые характеристики овощерезки RobotCoupe CL 30 А

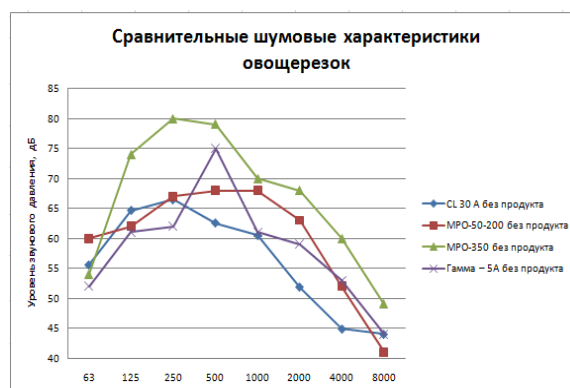


Рисунок 4 - Сравнительные шумовые характеристики овощерезок

Сравнивая звуковые мощности овощерезки RobotCoupe CL 30А и МРО 50-200 (рисунок 4), видно, что при работе без продукта CL 30 А имеет худшую ШХ, при работе с картофелем лучшую ШХ, при работе со свеклой имеет аналогичную ШХ, при работе с морковью несколько хуже, и лучшую ШХ при работе с капустой.

Были определены ШХ картофелеочистительных машин МОК-150 и МОК-350 и их элементов. Они определялись в соответствии с методикой путем последовательного отключения источников шума. Результаты измерения ШХ картофелечисток приведены на рисунках 5-6.

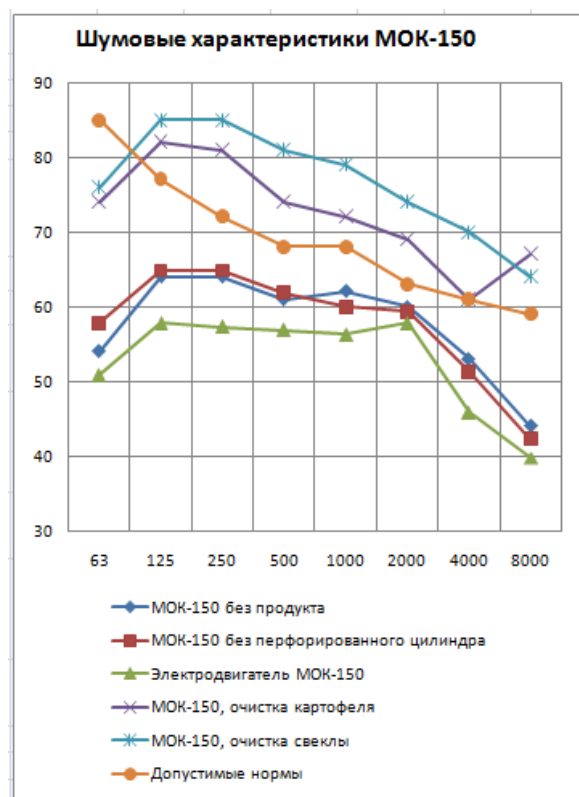


Рисунок 5 – Шумовые характеристики МОК-150

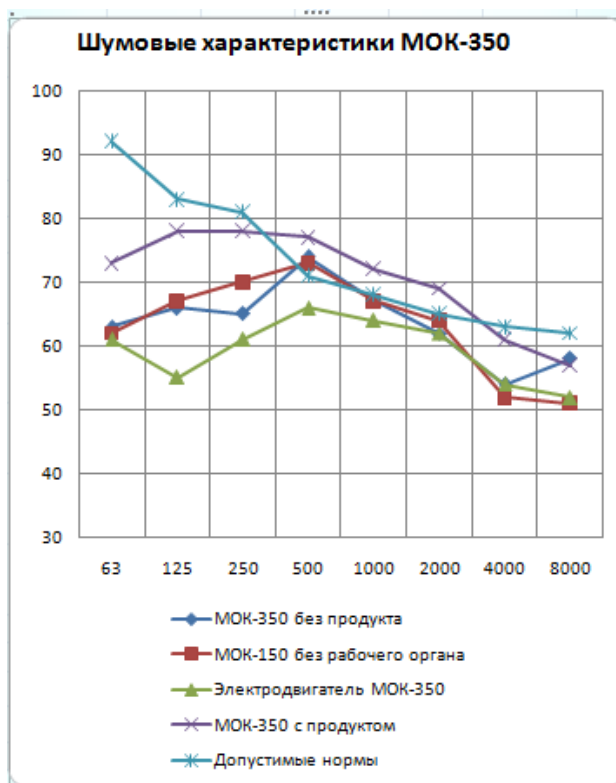


Рисунок 6 – Шумовые характеристики МОК-350

У картофелечисток типа МОК-150 ШХ при работе без продукта не превышает допустимых санитарных норм. Наиболее высокий уровень звуковой мощности излучается машиной на низких частотах 125-250 Гц, средних (500-1000) и на частоте 2000 Гц.

Аналогичная картина и у электродвигателя, хотя ШХ электродвигателя ниже на 6 дБ на низких частотах 125-250 Гц, на 4-6 дБ на средних и на 3 дБ на частоте 2000 Гц, на 4-6 дБ – на остальных высоких частотах. По уровню звука – на 5 дБА.

Работа клиноременной передачи повышает ШХ по уровню звука на 3,5 дБА, на низких частотах – на 0,5-5 дБ (5 дБ соответствует частоте 250 Гц) на средних частотах – на 4-6 дБ, на 1,5 – 5 дБ.

Диск рабочего органа возбуждает колебания с частотой 6 Гц. Основными источниками шума при работе без продукта являются: электродвигатель и клиноременная передача с подшипниками.

Существенно ухудшается ШХ машины при работе с продуктами. При очистке картофеля скорректированный уровень звуковой мощности возрастает

на – 12 дБА, на низких частотах – на 10-20 дБ, на средних частотах – на 10-13 дБ, на высоких частотах на 7-13 дБ.

Наибольшая звуковая мощность излучается на низких частотах 125-250 Гц. При очистке свеклы ШХ машины ухудшается еще более. Звуковая мощность по сравнению с работой без продукта возрастает на 19 дБА, на низких частотах – 15-22 дБ, на средних частотах – 17-20 дБ, на высоких частотах – на 17-20 дБ. Наибольшая звуковая мощность излучается машиной на низких частотах 125-250 Гц. Ухудшение ШХ машины при работе с продуктом связано с ударным характером взаимодействия продукта с тонким цилиндрическим перфорированным листом рабочей камеры.

При работе машины без продукта ШХ полностью соответствует санитарным нормам, однако при очистке картофеля ШХ превышает нормы на низких частотах 125-250 Гц – на 5-9 дБ, на средних – на 4-6 дБ и на высоких 2000 и 4000 Гц – на 2-4 дБ. При очистке свеклы отмечено превышение над нормами, как по скорректированному уровню, так и по октавным полосам частот, исключая 31,5 Гц. Наибольшая величина превышения отмечается на частотах 250 и 500 Гц.

У картофелечисток типа МОК-350 уровни звуковой мощности на средних частотах и частоте 2 кГц превышают допустимые по ТУ, а также по скорректированному уровню в рабочем режиме работы. На частоте 500 Гц превышение наблюдается и при работе машины без продукта.

Анализ влияния ШХ элементов на ШХ машины при работе без продукта на октавных частотах показал, что на частоте 500 Гц ШХ электродвигателя не оказывает влияния на ШХ МОК-350. Применение звукоизолирующего кожуха на электродвигатель улучшает ШХ последнего на частотах 250, 500 Гц и на высоких частотах. Балансировка рабочего органа приводит к улучшению ШХ на частотах 125-500 Гц на 1-5 дБ и на высоких частотах 2000 и 4000 Гц - на 2-6 дБ. Расхождение в уровне звуковой мощности на частоте 500 Гц на 11 дБ между ШХ электродвигателя и МОК-350 при работе без нагрузки свидетельствует о преимущественном влиянии на ШХ машины шума, излучаемого подшипниковым узлом. На частоте 1000 Гц уровень звуковой мощности, излучаемой подшипниковым узлом составляет 64 дБ, на частоте 2000 Гц - 55 дБ. Таким образом, на частоте 1000 Гц формирование ШХ машины происходит за счет излучения шума электродвигателем и подшипниковым узлом, а на частоте 2000 Гц - электродвигателем.

Сравнение ШХ машины при работе с продуктом и без него указывает на то, что взаимодействие продукта с рабочим органом и стенками рабочей камеры ухудшает ШХ на 8 дБА, в т.ч. на низких частотах на 10-13 дБ, на средних - на 3-5 дБ, на высоких – на 7 дБ.

Сравнение ШХ типа МОК-150 с МОК-350, показало, что ШХ МОК-150 по сравнению с МОК-350 улучшилась при работе без продукта на 6 дБА по скорректированному уровню и на 1-7 дБ на низких частотах на 5-13 дБ на средних частотах и на 1-4 дБ на высоких частотах. Это свидетельствует о правильном направлении совершенствования конструкции машины и повышении ее качества.

При очистке картофеля ШХ МОК-150 хуже, чем у МОК-350 на низких частотах и на частоте 4000 Гц, но лучше на 2 дБА по скорректированному уровню, на 3 дБ на частоте 500 Гц и на 2 дБ – на 2000 Гц. Сравнение допустимых норм показало, что они ужесточились в октавных полосах частот и увеличились на 7 дБА по скорректированному уровню. При работе МОК-150 с продуктом наблюдалась значительная вибрация верхней части корпуса машины (с амплитудой до 10 мм) в горизонтальном направлении.

Вибрационные характеристики ВХ машины типа МОК-150 приведены в таблице 1.

Таблица 1 - Уровень локальной вибрации МОК-150 в величинах виброскорости, мм·с⁻¹

Наименование режима работы	Точка измерения	
	ручка	корпус
Без продукта	0,25	0,67
Картофель	1,35	1,5
Свекла	6,5	5,1

В результате обработки осциллограмм ВАХ МОК-150 методом гармонического анализа получены эмпирические модели ВАХ. ШХ машины при очистке картофеля:

$$LpA = 79,79 + 3,18 \sin(\omega t + 50,02) + 5,44 \sin(2\omega t - 40,9) + 3,08 \sin(6\omega t + 63,92) + 4,13 \sin(10\omega t - 29,43), \text{ дБА}, \quad (1)$$

при очистке свеклы:

$$LpA = 82,75 + 1,98 \sin(\omega t + 67,78) + 2,6 \sin(3\omega t + 51,37) + 9,69 \sin(5\omega t - 19,86), \text{ дБА}, \quad (2)$$

где $\omega = 264 \text{ с}^{-1}$.

Наблюдается еще один отрицательный фактор, который возникает при эксплуатации овощерезательных машин. При проталкивании продукта толкателем на руку оператора воздействует вибрация, возникающая от взаимодействия продукта с двумя ножами вращающегося дискового рабочего органа. Основная частота этой локальной вибрации пропорциональна удвоенной частоте вращения рабочего органа и для разных модификаций машин колеблется в пределах 99-100 Гц. На эту частоту накладывается и общая вибрация машины, которая определяется, в основном, конструкцией машины. В связи с этими обстоятельствами шумовые (ШХ) и вибрационные характеристики (ВХ) машины целесообразно определять экспериментальными методами.

Для снижения вибрационной нагрузки на оператора в овощерезательной машине использовался специальный вибродемпфирующий толкатель, амортизирующие свойства которого изменяются путем замены материала вибропоглощения с различными коэффициентами жесткости.

На оператора овощерезательной машины и на машину в целом воздействует сложный виброакустический процесс, который не описан в технической литературе.

Экспериментальными исследованиями установлены эмпирические закономерности взаимосвязи шумовых и вибрационных характеристик (ВАХ) овощерезательной машины с величиной нагружения толкателя, свойствами продукта и жесткостью демпфирующего материала.

Исследовались ШХ и ВХ современной овощерезки RobotCoupe CL-30 при работе без нагрузки и под нагрузкой, с продуктом. Измерения ШХ проводились в реверберационном помещении в соответствии с ИСО «Акустика» 3743-1-94 и 3743-2-94 аттестованным шумомером RFT 00023, ВХ измерялись датчиком ДН-3, установленным на толкателе машины и на ее корпусе в соответствии с ИСО 10846-1-99. Регистрировались параметры ШХ и ВХ в виде осциллограмм (рисунок 7) в реальном масштабе времени в памяти ПК через аналого-цифровой преобразователь (АЦП). Для измерения локальной и общей вибрации применялся анализатор шума и вибрации «Ассистент».

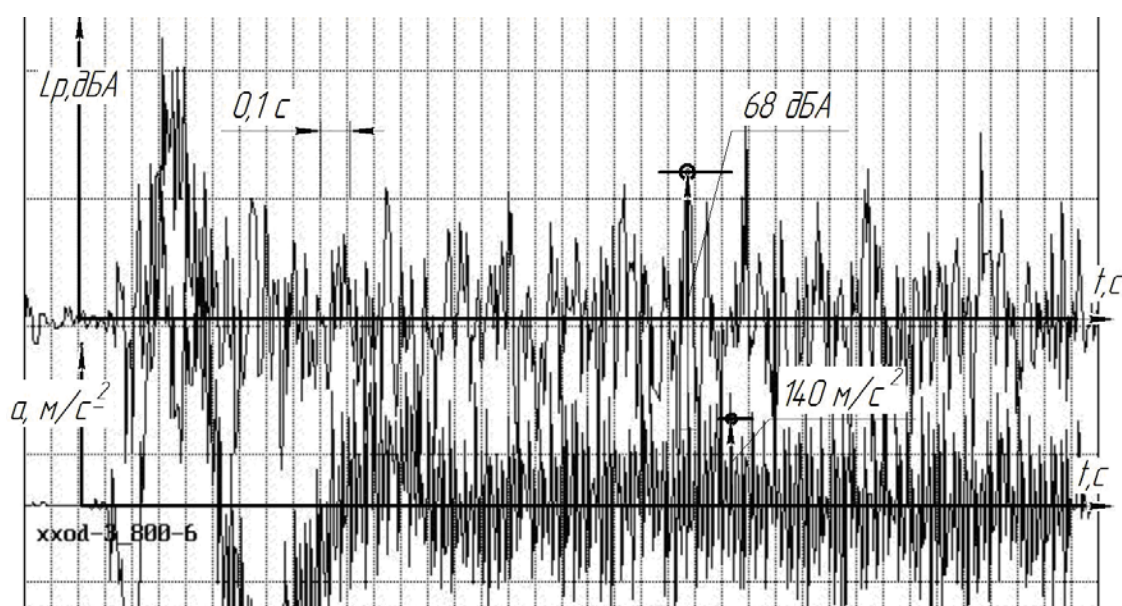


Рисунок 7 – Осциллограмма виброакустических процессов овощерезки RobotCoupe CL-30

Для улучшения ВАХ овощерезательной машины предложена оригинальная конструкция вибродемпфирующего толкателя с возможностью изменения усилия воздействия на продукт и величины демпфирования.

Конструкция толкателя представлена на рисунке 8. Толкатель состоит из корпуса 1, выполненного в форме цилиндра, в который с переходной посадкой входит поршень 3. Нижней частью поршень упирается на полиэтиленовые шарики 2, которые выполняют роль амортизатора. Чтобы не создавалась воздушная подушка, внизу цилиндра есть специальные отверстия. Корпус толкателя и поршень выполнены из полистирола. В верхней части поршня 3 толкателя устанавливался вибродатчик ДН-3 на резьбе. В процессе работы поршень нагружался набором тарированных грузов, упирающихся в кольцевые упоры поршня 3. Поршень 3 входит в корпус 1 по переходной посадке, обеспечивающей свободное поступательное движение поршня в корпусе.

Локальная вибрация в виде величины виброускорения A регистрировалась аттестованным анализатором шума и вибрации «Ассистент», Россия. Показания прибора через АЦП записывались в память ПК. Эксперимент планировался в виде 2^3 по методу Бокса-Уилсона, который позволяет получить многофакторные модели влияния ряда независимых переменных факторов на величину виброускорения. В качестве переменных факторов использовались усилие на толкателе $S - x_1$, коэффициент жесткости амортизатора $K - x_2$ и модуль упругости продукта $E - x_3$. Усилие на толкателе варьировалось установкой на поршень толкателя грузов, жесткость амортизатора – заменой демпфирующего материала, а модуль упругости – нарезанием двух продуктов: картофеля с измеренным модулем упругости и свеклы.

Целевой функцией принято локальное виброускорение на толкателе $A = f(t)$. В качестве функций отклика использовалась $Y_a(x_1, x_2, x_3)$.

Во всех опытах нарезание продукта производилось спиральными ножами.

После проверки коэффициентов регрессии и адекватности получена многофакторная регрессионная модель локального виброускорения в кодированных значениях факторов:

$$Y_a(x_1, x_2, x_3) = 126,145 - 1,97 \cdot x_1 + 1,32 \cdot x_2 + 1,195 \cdot x_3 - 0,155 \cdot x_1 \cdot x_2 - 0,08 \cdot x_1 \cdot x_3 + 0,12 \cdot x_2 \cdot x_3 \quad (3)$$

Анализ модели позволяет сделать ряд выводов. Наибольшее влияние на величину A оказывает усилие на толкателе S . При увеличении усилия на толкателе значение локального виброускорения снижается. Увеличение коэффициента жесткости амортизатора и модуля упругости продукта приводит к повышению локального виброускорения. Совместное влияние факторов оказывает несущественное влияние.

Раскодирование переменных выполняется с помощью формул:

$$x_1 = \frac{S - S_{очн}}{\Delta S} = \frac{S - 45,025}{43,95}; \quad x_2 = \frac{K - K_{очн}}{\Delta K} = \frac{K - 5550}{6300}; \quad x_3 = \frac{E - E_{очн}}{\Delta E} = \frac{E - 3,5}{2}. \quad (4)$$

Подставив в полученное уравнение раскодированные значения переменных получим уравнение в натуральных переменных:

$$A = 125,38 - 0,051 \cdot S + 0,00015 \cdot K + 0,503 \cdot E, \quad \text{м/с}^2 \quad (5)$$

где S – усилие на толкателе, Н, K – коэффициент жесткости амортизатора Н/м, E – модуль упругости продукта, МПа.

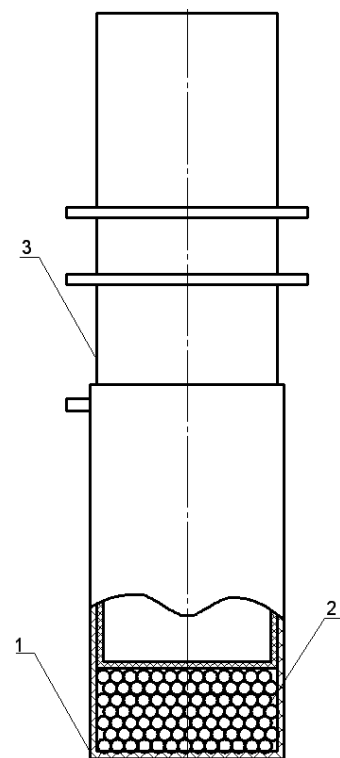


Рисунок 8 –
Вибродемпфирующий толкатель

Если «закрепить» значение $x_3=1$, тогда уравнение в кодированных переменных упрощается в вид:

$$Y_a(x_1, x_2) = 127,34 - 1,89 \cdot x_1 + 1,44 \cdot x_2 + 0,155 \cdot x_1 x_2. \quad (6)$$

Поверхность функции отклика уравнения 6 графически представлена на рисунке 9,а. Для более детального анализа зависимости локального виброускорения Y_a был построен контурный график (рис. 9,б). На графике видна нелинейная зависимость влияния усилия на толкателе S и коэффициента жесткости амортизатора K на локальное виброускорение Y_a .

Исследование влияния параметров толкателя на локальную вибрацию показало, что к снижению виброускорения на толкателе, как следствие и вибрационной нагрузки на оператора, приводит увеличение усилия на толкателе, уменьшение жесткости амортизатора, а также работа овощерезательных машин с продуктами с более низкими модулями упругости.

Анализ результатов измерения ШХ машины показал, что уровни излучаемой звуковой мощности в октавных полосах частот и скорректированный по А не превышают предельно допустимых значений, а при нарезании овощей имеет место превышение: на низких частотах – до 8 дБ, средних – на 13 дБ, на высоких – на 6-12 дБ, по А – на 3 дБ.

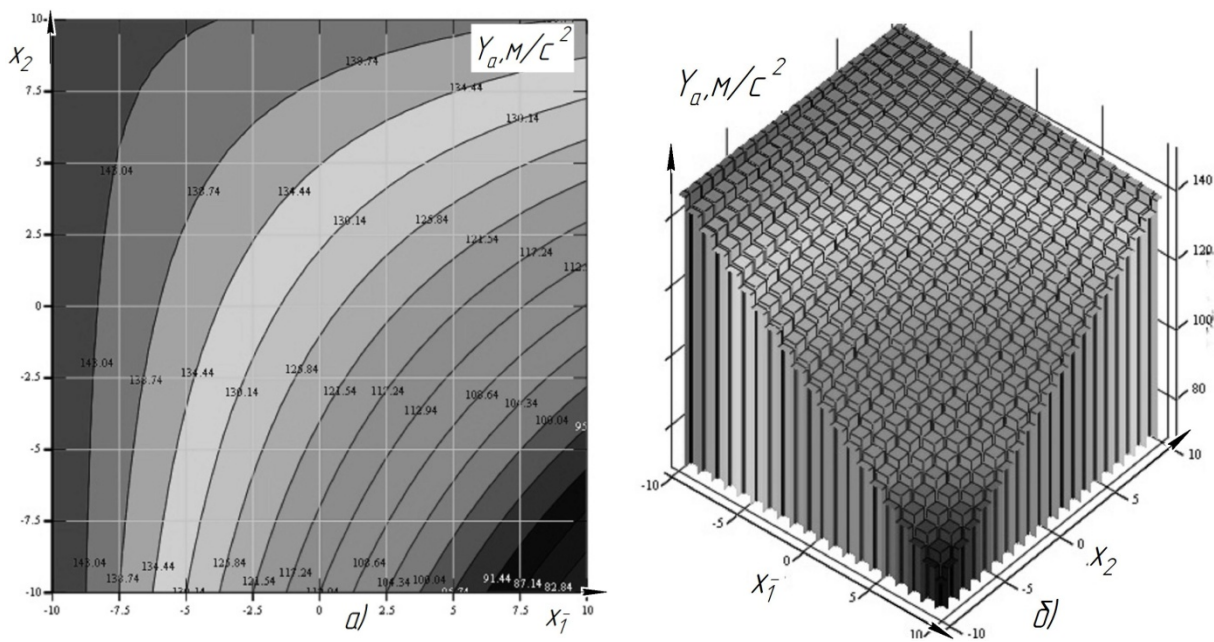


Рисунок 9 – График зависимости локального виброускорения Y_a от усилия на толкателе S , Н (x_1) и коэффициента жесткости амортизатора K , Н/м (x_2) при фиксации фактора x_3 : а – линии уровня зависимости $Y_a(x_1, x_2)$; б – диаграмма зависимости локального виброускорения $Y_a(x_1, x_2)$

С целью улучшения ШХ овощерезательной машины проведена оценка влияния трех переменных факторов: усилия на толкателе S (x_1), коэффициента жесткости K (x_2) и модуля упругости продукта E (x_3) на изменение скорректированного по А уровня звуковой мощности (целевая функция Y). Для получения многофакторной модели использована аналогичная предыдущим исследованиям методика Бокса-Уилсона.

После оценки коэффициентов регрессии и адекватности получена многофакторная модель скорректированного уровня звуковой мощности в кодированных значениях факторов:

$$Y(x_1, x_3) = 74,5 + 1,437 \cdot x_1 + 2,31 \cdot x_3 \quad (7)$$

Подставив в полученное уравнение (7) раскодированные значения факторов получим уравнение в натуральных переменных:

$$L_p(S, E) = 69 + 0,033 \cdot S + 1,16 \cdot E, \quad \text{дБА} \quad (8)$$

В результате проведенных исследований можно сделать вывод, что на скорректированный уровень звуковой мощности наиболее существенное влияние оказывает усилие, прилагаемое к толкателю и модуль упругости продукта.

График уравнения (8) представлен на рисунке 10.

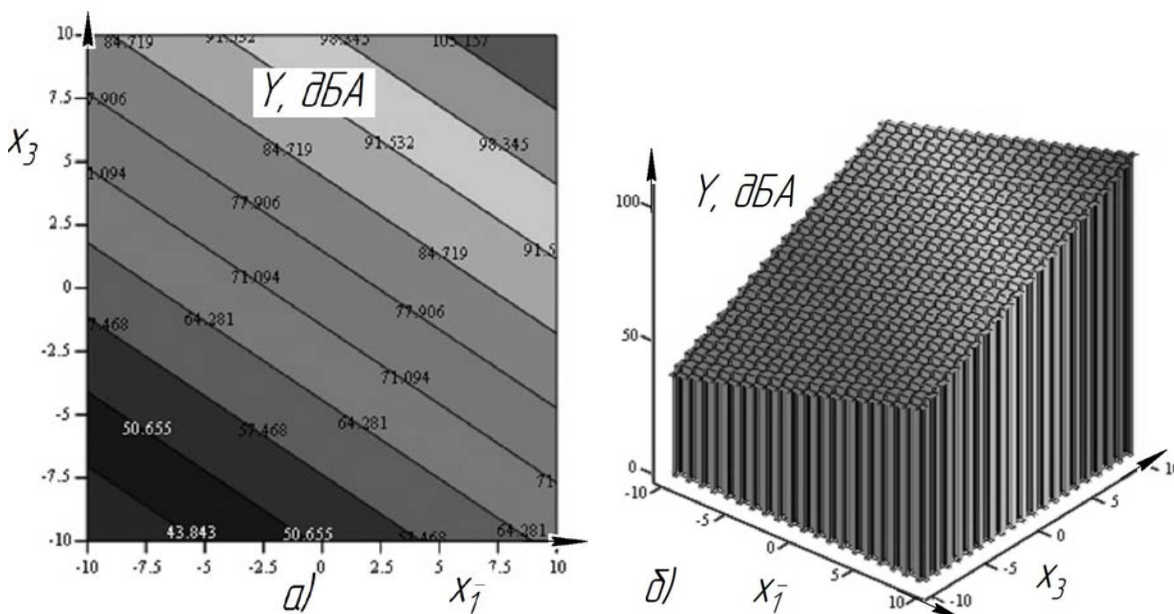


Рисунок 10 – Графики зависимости скорректированного уровня звуковой мощности Y овощерезки от усилия на толкателе S , Н (x_1) и модуля упругости продукта E , МПа (x_3): а – линии уровня функции отклика $Y(x_1, x_3)$; б – диаграмма зависимости уровня звуковой мощности функции отклика $Y(x_1, x_3)$

Разработанная и запатентованная конструкция вибродемпфирующего толкателя позволяет регулировать применяемое рабочее усилие, жесткость и снижает вибрационную нагрузку на оператора овощерезательных машин.

В четвертом разделе «Трансформация шумовых характеристик оборудования предприятий питания» приводятся результаты исследований трансформации шумовых характеристик пищевого оборудования и расчеты относительных шумовых характеристик оборудования предприятий питания.

Исследование ШХ очистительного и измельчительного оборудования показали, что эти характеристики отличаются при работе машин без продукта и с продуктом. Разница может составить от 3 до 8 дБ (дБА).

Среди многих видов технологического оборудования общественного питания выбрано имеющее одинаковую кинематическую схему. Кинематическая схема состоит из электродвигателя, клиноременной передачи и рабочего органа. К такому ряду относятся: картофелечистки МОК, овощерезки МРО, МПР, СЛ, протирачное оборудование МП.

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

Таблица 2 - Регрессионные зависимости ОШХ от основных параметров оборудования

Частота, Гц	Холостой ход	R ²	С продуктом	R ²
1	2	3	4	5
A	$Q_{\Pi} = 1,255 - 0,52 \ln \Pi$ $Q_M = 4,635 - 0,646M + 0,027M^2$ $Q_N = 224,79 - 8,913N - 0,286N^2$	0,96 0,94 0,97	$Q_{\Pi} = 1,380 - 0,575 \ln \Pi$ $Q_M = 4,767 - 0,586M - 0,021M^2$ $Q_N = 243,34 - 4,745N - 0,812N^2$	0,95 0,92 0,92
63	$Q_{\Pi} = -0,266 \ln \Pi + 0,685$ $Q_M = 0,0025M^4 - 0,067M^3 + 0,625M^2 - 2,56M + 5,66$ $Q_N = -0,667N^2 + 1,706N + 147,6$	0,99 0,96 0,95	$Q_{\Pi} = -0,296 \ln \Pi + 0,777$ $Q_M = 0,0009M^4 - 0,0249M^3 + 0,259M^2 - 1,317M + 4,518$ $Q_N = -0,031N^6 + 1,41N^5 - 16,31N^4 + 113,81N^3 - 401,5N^2 + 660,55N - 201,94$	0,91 0,91 0,94
125	$Q_{\Pi} = -0,31 \ln \Pi + 0,797$ $Q_M = -0,001M^5 + 0,0317M^4 - 0,383M^3 + 2,149M^2 - 5,798M + 8,38$ $Q_N = -0,375N^2 - 5,277N + 193,77$	0,99 0,99 0,96	$Q_{\Pi} = -0,329 \ln \Pi + 0,863$ $Q_M = -0,0016M^5 + 0,048M^4 - 0,548M^3 + 2,803M^2 - 6,587M + 8,34$ $Q_N = 0,0192N^5 - 0,629N^4 + 7,858N^3 - 47,487N^2 + 127,06N + 92,663$	0,94 0,93 0,9
250	$Q_{\Pi} = -0,308 \ln \Pi + 0,799$ $Q_M = 0,036M^2 - 0,75M + 4,81 + 0,625M^2 - 2,56M + 5,66$ $Q_N = 0,046N^2 - 12,11 + 220,3$	0,97 0,96 0,98	$Q_{\Pi} = -0,347 \ln \Pi + 0,906$ $Q_M = 0,03M^2 - 0,677M + 4,831 + 0,625M^2 - 2,56M + 5,66$ $Q_N = -1,228N^2 + 1,264N + 219,48$	0,97 0,92 0,92
500	$Q_{\Pi} = -0,303 \ln \Pi + 0,795$ $Q_M = 0,025M^2 - 0,609M + 4,505$ $Q_N = -0,199N^2 - 10,415N + 226,22$	0,96 0,94 0,98	$Q_{\Pi} = -0,327 \ln \Pi + 0,865$ $Q_M = 0,021M^2 - 0,571M + 4,614$ $Q_N = -0,611N^2 - 6,902N + 240,09$	0,95 0,94 0,93
1000	$Q_{\Pi} = -0,296 \ln \Pi + 0,7724$ $Q_M = 0,026M^2 - 0,605M + 4,306$ $Q_N = -0,2594N^2 - 7,251N + 201,98$	0,98 0,94 0,94	$Q_{\Pi} = -0,3215 \ln \Pi + 0,8443$ $Q_M = 0,0209M^2 - 0,5656M + 4,5222$ $Q_N = -0,035N^5 + 1,111N^4 - 12,643N^3 + 60,797N^2 - 120,7N + 278,25$	0,97 0,9 0,91

Продолжение таблицы 2.

2000	$Q_{\Pi} = -0,255 \ln \Pi + 0,68$ $Q_M = 0,02M^2 - 0,504M + 3,834$ $Q_N = -0,238N^2 - 7,923N + 194,79$	0,98 0,96 0,98	$Q_{\Pi} = -0,275 \ln \Pi + 0,742$ $Q_M = 0,0146M^2 - 0,456M + 3,98$ $Q_N = -0,809N^2 - 2,307N + 202,3$	0,98 0,9 0,92
4000	$Q_{\Pi} = -0,221 \ln \Pi + 0,59$ $Q_M = 0,018M^2 - 0,443M + 3,357$ $Q_N = -0,037N^2 - 9,262N + 176,69$	0,98 0,97 0,98	$Q_{\Pi} = -0,235 \ln \Pi + 0,645$ $Q_M = 0,009M^2 - 0,368M + 3,513$ $Q_N = -0,405N^2 - 7,156N + 199,51$	0,97 0,93 0,95
8000	$Q_{\Pi} = -0,228 \ln \Pi + 0,586$ $Q_M = 0,022M^2 - 0,462M + 3,115$ $Q_N = -0,228N^2 - 5,63N + 150,17$	0,94 0,93 0,99	$Q_{\Pi} = -0,243 \ln \Pi + 0,65$ $Q_M = -0,002M^5 + 0,056M^4 - 0,610M^3 + 2,974M^2 - 6,453M + 7,272$ $Q_N = 0,014N^6 - 0,525N^5 + 7,585N^4 - 52,834N^3 + 177,22N^2 - 247,67N + 254,08$	0,95 0,96 0,9

Анализ базы данных по ОШХ технологического оборудования и построение их моделей в октавных полосах частот и характеристике А свидетельствуют о том, что приведенный в таблице 2 вид регрессионных уравнений может использоваться для всех частот, включая характеристику А, с высокой теснотой статистической связи (R^2 не менее 0,9). Тогда регрессионные уравнения можно обобщить и представить ОШХ в виде уравнений (9-11) для работы машин без продукта и с продуктом.

$$Q_{\Pi} = v_{\Pi} - p \ln \Pi \quad (9)$$

$$Q_M = v_M - mM + m_2M^2 - m_3M^3 + m_4M^4 - m_5M^5 \quad (10)$$

$$Q_N = v_N - nN - n_2N^2 - n_3N^3 + n_4N^4 - n_5N^5 \quad (11)$$

Коэффициенты регрессии и свободные члены уравнений сведены в таблицы 3 и 4.

С помощью уравнений (9-11) и таблиц 3 и 4 рассчитываются ОШХ и ШХ оборудования при работе его без продукта и с продуктом на основе заданных или подсчитанных основных параметров Π , M , N еще на стадии разработки технического задания при проектировании очистительного и измельчительного технологического оборудования пищевых производств.

Таблица 3 - Коэффициенты регрессии уравнений для работы машин без продукта

Октавные полосы частот, Гц, А	Q_{Π}			Q_M							Q_N			
	v_{Π}	p	R^2	v_M	m	m_2	m_3	m_4	m_5	R^2	v_N	n	n_2	R^2
63	0,69	0,27	0,96	5,66	2,56	0,62	0,08	0,003	-	0,96	147,6	1,71	0,67	0,95
125	0,8	0,31	0,99	8,38	5,8	2,15	0,38	0,032	0,001	0,99	193,8	5,28	0,38	0,96
250	0,8	0,31	0,97	4,81	0,75	0,036	-	-	-	0,96	220,3	12,11	0,05	0,98
500	0,8	0,3	0,96	4,51	0,61	0,025	-	-	-	0,94	226,2	10,42	0,2	0,98
1000	0,77	0,3	0,98	4,3	0,61	0,026	-	-	-	0,98	202,0	7,25	0,26	0,94

Продолжение таблицы 3

2000	0,68	0,26	0,98	3,83	0,5	0,02	-	-	-	0,96	194,8	7,92	0,24	0,98
4000	0,59	0,22	0,98	3,36	0,44	0,018	-	-	-	0,97	176,7	9,26	0,04	0,98
8000	0,59	0,23	0,94	3,51	0,37	0,009	-	-	-	0,93	150,2	5,63	0,23	0,99
A	1,26	0,52	0,96	4,64	0,64	0,027	0,94	-	-	0,94	224,8	8,91	0,29	0,97

Таблица 4 - Коэффициенты регрессии уравнений для работы машин с продуктом

Октавные полосы частот, Гц, А	Q _П					Q _М					Q _Н						
	В _П	Р	R ²	В _М	м	м ₂	м ₃	м ₄	м ₅	R ²	В _Н	n	n ₂	n ₃	n ₄	n ₅	R ²
63	0,78	0,3	0,91	4,52	1,32	0,26	0,025	0,001	-	0,91	201,9	660,6	401,5	113,8	16,3	1,41	0,94
125	0,86	0,33	0,94	8,34	6,59	2,8	0,55	0,048	0,002	0,93	92,66	127,1	47,49	7,86	0,63	0,019	0,9
250	0,91	0,35	0,97	4,63	0,68	0,03	-	-	-	0,92	219,48	1,26	1,23	-	-	-	0,92
500	0,87	0,33	0,95	4,61	0,57	0,02	-	-	-	0,94	240,1	6,9	0,61	-	-	-	0,93
1000	0,84	0,32	0,97	4,52	0,57	0,02	-	-	-	0,9	278,3	120,7	60,8	12,64	1,11	0,035	0,91
2000	0,74	0,28	0,98	3,98	0,46	0,015	-	-	-	0,9	202,3	2,31	0,81	-	-	-	0,92
4000	0,65	0,24	0,97	3,51	0,37	0,01	-	-	-	0,93	199,5	7,16	0,41	-	-	-	0,95
8000	0,65	0,24	0,95	7,27	6,45	2,97	0,61	0,06	0,002	0,96	254,1	247,7	177,2	52,83	7,59	0,53	0,91
A	1,38	0,58	0,95	4,77	0,59	0,021	-	-	-	0,92	243,3	4,75	0,81	-	-	-	0,92

Среди исследуемого оборудования низкие ОШХ относятся к овощерезательным машинам CL-30A, МРО 50-200, МРО-350 и картофелечистке МОК-150, ее модификации МОЛ-100. Достаточно высокие ОШХ приходятся и на овощерезательно-протирочную машину МПР-350 на октавной частоте 250 Гц. Этот вывод касается работы оборудования, как на холостом ходу, так и при работе с продуктом для низких и средних частот.

Для определения технического уровня и качества очистительного и измельчительного оборудования по его шумовым характеристикам был проведен предварительный анализ. Выбрано 16 моделей оборудования различной производительности и назначения, по которым имела информация о его ШХ для проведения анализа.

Оценка технического уровня проводилась в соответствии с технической документацией на оборудовании и по методике, описанной в литературе, путем определения удельных показателей качества оборудования относительно главного параметра. Технические данные исследуемого оборудования приведены в таблице 5.

Таблица 5 - Технические данные исследуемого технологического оборудования

Наименование машины	Производительность Q, кг/ч	Мощность электродвигателя N, Вт	Масса машины m, кг	Корректированный уровень звуковой мощности, дБА	
				х.х	р.х
Koncar MEM-12 E	100	350	11	79,7	74,1
МИМ-250	250	1100	56	84	84
МИМ-300	300	1900	55	87	87

Продолжение таблицы 5

МИМ-500	500	2200	140	81	84
МОК-250	250	550	99	72	78
МОК-350	350	550	70	73	81
МОК-150	150	370	55	67	79
МОЛ-100	100	370	55	64	78
МРО 50-200	200	400	27	70	77
МРО-350	350	370	27	79	83
Гамма-5А	400	370	30	74	89
RobotCoupe CL-30А	80	500	15	66	68,6
МПР-350М	350	370	27	76	88
МП-800	800	1100	85	74	74
МП-1000	1000	750	50	71	77
МРО 400-1000	1000	750	50	76	82

Результаты расчета единичных относительных показателей массы, производительности и мощности исследуемого технологического оборудования приведены в таблице 6.

Таблица 6 - Единичные относительные показатели исследуемого технологического оборудования

Наименование машины	Q _y [кг/ч / дБА]		N _y , [дБА/ Вт]		M _y , [дБА /кг]	
	х.х.	р.х.	х.х.	р.х.	х.х.	р.х.
Koncar MEM-12 E	0,80	0,74	0,23	0,21	7,25	6,74
МИМ-250	0,34	0,34	0,08	0,08	1,50	1,50
МИМ-300	0,29	0,29	0,05	0,05	1,58	1,58
МИМ-500	0,16	0,17	0,04	0,04	0,58	0,60
МОК-250	0,29	0,31	0,13	0,14	0,73	0,79
МОК-350	0,21	0,23	0,13	0,15	1,04	1,16
МОК-150	0,45	0,53	0,18	0,21	1,22	1,44
МОЛ-100	0,64	0,78	0,17	0,21	1,16	1,42
МРО 50-200	0,35	0,39	0,18	0,19	2,59	2,85
МРО-350	0,23	0,24	0,21	0,22	2,93	3,07
Гамма-5А	0,19	0,22	0,20	0,24	2,47	2,97
RobotCoupe CL-30А	0,83	0,86	0,13	0,14	4,40	4,57
МПР-350М	0,22	0,25	0,21	0,24	2,81	3,26
МП-800	0,09	0,09	0,07	0,07	0,87	0,87
МП-1000	0,07	0,08	0,09	0,10	1,42	1,54
МРО 400-1000	0,08	0,08	0,10	0,11	1,52	1,64

Одним из этапов исследования технического уровня и качества является выбор базового образца и сопоставление показателей качества оцениваемого образца с его показателями. Из выбранного ряда оборудования предприятий питания наиболее конкурентоспособной машиной для предприятий питания по приведенным данным является протирочная машина МП-1000. В связи с этим данная машина была принята в качестве базового образца. Базовому образцу присвоен коэффициент 1. Результаты расчета обобщенных показателей качества машин по ШХ приведены в таблице 7.

Таблица 7 - Обобщенные показатели качества исследуемого оборудования по ШХ на холостом ходу и в рабочем режиме

Наименование машины	Ко		Оц	
	х.х.	р.х.	х.х.	р.х.
Koncar MEM-12 E	0,512	1,019	0,1936	0,2258
МИМ-250	0,205	0,338	0,6283	0,6814
МИМ-300	0,157	0,276	0,7688	0,8338
МИМ-500	0,100	0,157	1,4037	1,4679
МОК-250	0,227	0,327	0,7034	0,7042
МОК-350	0,186	0,340	0,6915	0,6758
МОК-150	0,349	0,545	0,4593	0,4224
МОЛ-100	0,442	0,616	0,4200	0,3737
МРО 50-200	0,287	0,596	0,3917	0,3862
МРО-350	0,225	0,547	0,4075	0,4207
Гамма-5А	0,202	0,541	0,4711	0,4248
RobotCoupe CL-30A	0,454	0,813	0,2711	0,2828
МПР-350М	0,224	0,580	0,4236	0,3968
МП-800	0,083	0,176	1,2078	1,3098
МП-1000	0,080	0,230	1,0000	1,0000
МРО 400-1000	0,086	0,245	0,9342	0,9390

Соответственно, если величина обобщенного показателя больше 1, можно утверждать, что ее технический уровень выше, чем у принятой за базу машины.

Анализ результатов таблицы 7 показал, что комплексные показатели качества для исследуемой выборки машин довольно существенно отличаются от обобщенного показателя за исключением, как и полагается, базового образца.

Среди исследуемого оборудования в условиях эксплуатации наилучшими показателями качества по ШХ при работе без нагрузки обладают машины МП-800 и МРО 400-1000 (не превышают уровня базового образца), под нагрузкой превышают уровень базового образца машины МП-800 и МИМ-500.

Графическая интерпретация обобщенных показателей качества оборудования по ШХ при работе без продукта и с продуктом представлены на рисунке 11 в виде гистограмм.

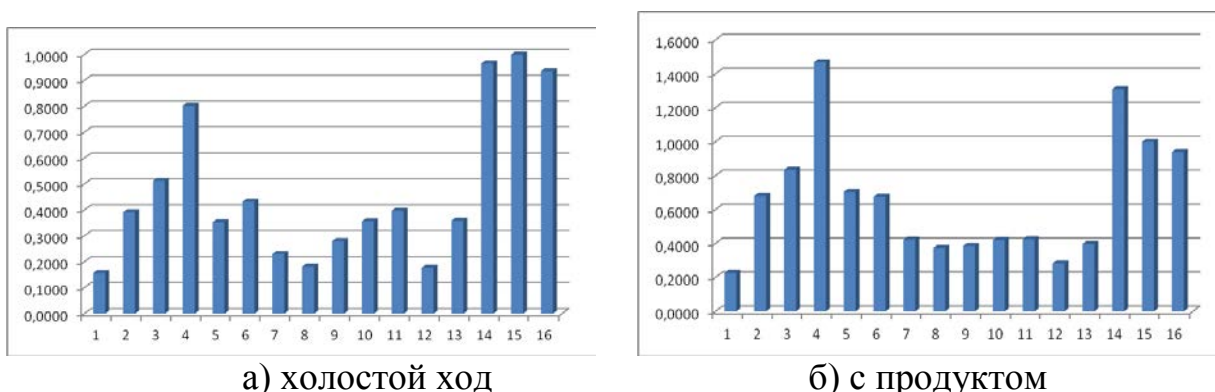
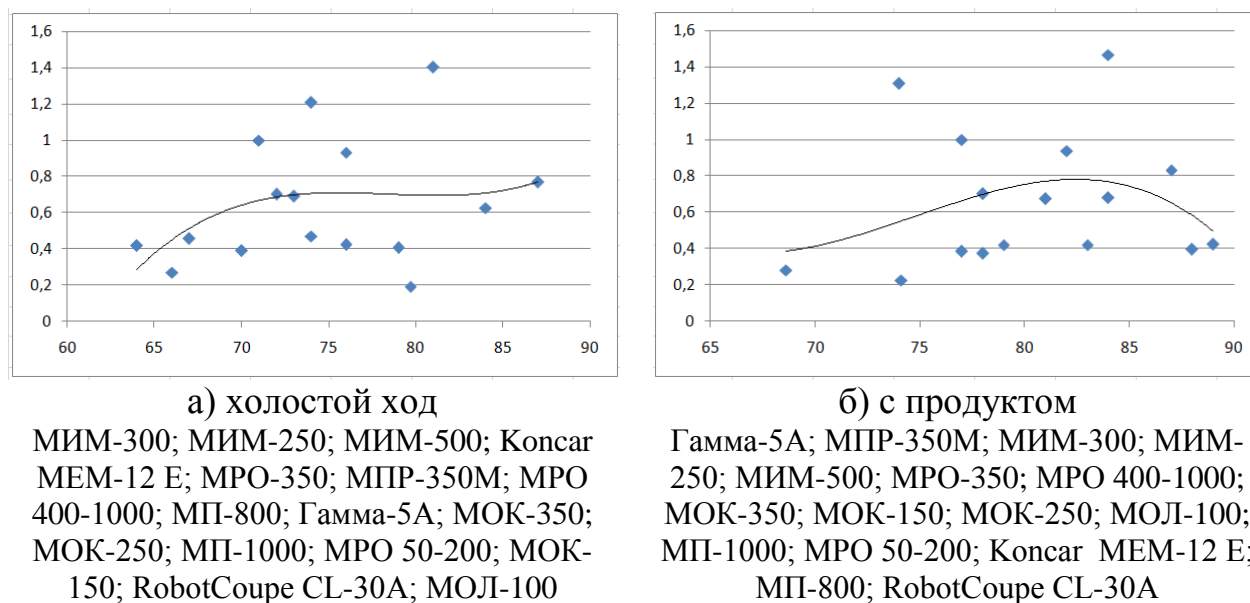


Рисунок 11 - Гистограмма обобщенного показателя качества

1 - Конкар MEM-12 E; 2 - МИМ-250; 3 - МИМ-300; 4 - МИМ-500; 5 - МОК-250; 6 - МОК-350; 7 - МОК-150; 8 - МОЛ-100; 9 - МРО 50-200; 10 - МРО-350; 11 - Гамма-5А; 12 - RobotCoupe CL-30А; 13 - МПР-350М; 14 - МП-800; 15 - МП-1000; 16 - МРО 400-1000

На основании полученных результатов был построен график зависимости влияния скорректированного уровня звуковой мощности исследуемых машин к обобщенному показателю качества (рис. 12).



МИМ-300; МИМ-250; МИМ-500; Конкар MEM-12 E; МРО-350; МПР-350М; МРО 400-1000; МП-800; Гамма-5А; МОК-350; МОК-250; МП-1000; МРО 50-200; МОК-150; RobotCoupe CL-30А; МОЛ-100

Гамма-5А; МПР-350М; МИМ-300; МИМ-250; МИМ-500; МРО-350; МРО 400-1000; МОК-350; МОК-150; МОК-250; МОЛ-100; МП-1000; МРО 50-200; Конкар MEM-12 E; МП-800; RobotCoupe CL-30А

Рисунок 12 - График зависимости влияния скорректированного уровня звуковой мощности исследуемых машин к обобщенному показателю качества

Статистическая зависимость влияния скорректированного уровня звуковой мощности исследуемых машин на обобщенный показатель качества для двух режимов представлена в виде функций (12) и (13). Для сглаживания их использована функция Гаусса.

Холостой ход

$$y = 0,613 - 0,0029x + 0,113 \sin(0,433 * (x - 61,635)), R^2 = 0,986 \quad (12)$$

С продуктом

$$y = 3,949 + 0,00095e^{\frac{x}{11,826}} - 0,875e^{\frac{x}{49,593}}, R^2=0,9518 \quad (13)$$

Графическая интерпретация выражений (12) и (13) указывает на то, что зависимость между уровнем звуковой мощности и качеством машин носит довольно сложный характер. Попытка описать эту закономерность более простыми функциями не увенчалась успехом. Коэффициент множественной корреляции R^2 не превышал 0,2, что свидетельствует о слабой статистической связи исследуемых объектов. Следует также отметить, что R^2 при работе машин без нагрузки выше, чем с нагрузкой. Полагаем, что это связано с влиянием на ШХ машины процесса взаимодействия рабочего органа с продуктом. Сглаживающая функция характеризует тенденцию влияния ШХ машин на качество их конструкции.

Таким образом, была установлена приемлемая к использованию статистическая зависимость влияния ШХ машин на качество их конструкции. В расчетах предпочтение следует отдавать данным по ШХ машин при работе без нагрузки. С возрастанием уровня шума машин их качество монотонно ухудшается.

В пятом разделе «Практическая реализация результатов исследования» приведена практическая реализация результатов проведенных исследований и рекомендации по проектированию отдельных узлов и машин в целом, с упором на повышение их качества, определяемого виброакустическими характеристиками. Разработана программа расчета ОШХ оборудования предприятий питания и оценки качества оборудования предприятий питания по его шумовым характеристикам.

ВЫВОДЫ

1. Анализ состояния виброакустических процессов в оборудовании предприятий питания, обзор существующего оборудования и обзор научно-технической информации по теме исследований подтвердили актуальность темы и позволили выявить конструктивные особенности, влияющие на его виброакустические характеристики.

2. Разработанная рабочая методика проведения экспериментальных исследований виброакустических характеристик ряда очистительного и измельчительного оборудования позволила определить ВАХ машин, сравнить с допустимыми санитарно-гигиеническими нормами и установить величину их превышения.

3. Проведенные экспериментальные исследования ШХ машин очистки корнеплодов МОК позволили установить основные источники шума, величины превышения ПДШХ по характеристике А и в октавных полосах частот и предложить для снижения ВАХ увеличить жесткость стенки камеры и виброизолировать ее от корпуса машины, также целесообразно увеличить заполнение рабочей камеры машины, а это, в свою очередь, приведет к повышению нагрузки на привод и электропотребления машины.

4. В результате исследования овощерезательной машины RobotCoupe CL-30 установлено, что на ВХ влияет, в первую очередь, усилие на толкателе и его жесткость, на ШХ – усилие на толкателе и модуль упругости продукта. Для улучшения ВХ целесообразно увеличивать усилие на толкателе и снижать его жесткость, а ШХ – снижать усилие на толкателе и работать с продуктами с меньшим модулем упругости.

5. Установлены ОШХ технологического оборудования, позволяющие оценить влияние основных параметров оборудования – производительности, массы и мощности электродвигателя на его ШХ (на всем диапазоне частот и характеристике А).

6. Полученные статистические зависимости ОШХ от основных параметров оборудования позволили разработать методику прогнозирования ВАХ очистительного и измельчительного оборудования предприятий питания на стадии проектирования.

7. Определены показатели качества ряда оборудования предприятий питания по его шумовым характеристикам.

8. Установлена статистическая зависимость влияния ШХ машин на качество их конструкции.

9. Разработаны технические предложения по совершенствованию конструкции устройства толкателя для овощерезательных машин. Использование данного толкателя позволит уменьшить вибрации, передаваемые на руку оператора, при проталкивании продукта в зону резания, а также снизить виброакустические характеристики и нагрузки на подшипниковые опоры, увеличить надежность и долговечность работы машины.

10. Усовершенствованная конструкция машины RobotCoupe CL-30A внедрена в частной компании «Укрпрогресс» и ЖК «Журавлиный».

Результаты исследований, представленные в диссертационной работе, используются в учебном процессе при изложении дисциплины «Компьютерные технологии в машиностроении», добавлен раздел «Методы повышения качественных характеристик проектируемого оборудования» для студентов технических специальностей. Использование в учебном процессе результатов данной диссертационной работы является целесообразным для повышения уровня подготовки студентов в направлении более углубленного овладения материала по определению качества конструкций оборудования предприятий питания по его шумовым характеристикам.

Перечень работ, опубликованных по материалам диссертации

Статьи в научных изданиях:

1. Заплетников И.Н., Жидков Ю.В., Божок И.С. (Севаторова И.С.) Виброакустика машин очистки корнеклубнеплодов с перфорированной стенкой рабочей камеры // Вісник Східноукраїнського національного університету ім. Володимира Даля: Наук.журнал. Вип.11(93) - Луганск: СУНУ, 2005.-С.158-161.
2. Заплетніков І.М., Жидков Ю.В., Севаторова І.С. Про вибір прогнозуючих моделей для ідентифікації віброакустичних характеристик технологічного

- обладнання / Обладнання та технології харчових виробництв. – Темат.зб.наук. пр. – Донецьк: ДонНУЕТ, - 2009. Вип. 20. – С.98-105.
3. Заплетніков І.М., Жидков Ю.В., Севаторова І.С. Порівняльний аналіз шумових характеристик технологічного обладнання підприємств харчування / Обладнання та технології харчових виробництв: темат.зб.наук.пр., ДонНУЕТ, м. Донецьк – 2010. – Вип. 23. – С.18-23.
 4. Заплетніков І.М., Кіріченко В.О., Севаторова І.С. Визначення порівняльних шумових характеристик овочерізок / Наукові праці ОНАХТ. Технічні науки. – Одеса: ОНАХТ, 2010. Вип. 37. – С. 303-307.
 5. Заплетніков І.М., Севаторова І.С., Кіріченко В.О. Дослідження відносних шумових характеристик технологічного обладнання на середніх частотах / Обладнання та технології харчових виробництв. Темат. зб. наук. пр. – Донецьк: ДонНУЕТ. – 2011. Вип. 26. – С. 63-68.
 6. Заплетніков І.М., Севаторова І.С., Кіріченко В.О. Дослідження відносних шумових характеристик технологічного обладнання на низьких частотах / Вісник ДонНУЕТ. Серія «Технічні науки» №1 (49), 2011. – С. 12-16.
 7. Заплетніков І.М., Севаторова І.С. Дослідження відносних шумових характеристик технологічного обладнання на високих частотах / Обладнання та технології харчових виробництв. Темат. зб. наук. пр. – Донецьк: ДонНУЕТ. – 2011. Вип. 27. – С. 66-71.
 8. Заплетніков І.М., Севаторова І.С., Жидков Ю.В. Залежності шумових характеристик обладнання ресторанного господарства від його основних параметрів / Наукові праці ОНАХТ. Вип. 39, 2011. – С. 121- 125.
 9. Заплетніков І.М., Севаторова І.С. Дослідження відносних шумових характеристик технологічного обладнання на середніх частотах / Науковий вісник ВНЗ Укооспілки «Полтавський ун-т економіки і торгівлі» (серія «Технічні науки»), м. Полтава, 2011. – С. 94-101.
 10. Заплетніков І.М., Севаторова І.С., Кіріченко В.О. Дослідження відносних шумових характеристик очищувального та подрібнювального обладнання ресторанного господарства / Обладнання та технології харчових виробництв: темат. зб. наук. пр. – Донецьк: ДонНУЕТ. – 2011. – Вип. 26. – С. 63-68.
 11. Заплетніков І.М., Севаторова І.С., Кіріченко В.О. Моделювання шумових характеристик овочерізок / Обладнання та технології харчових виробництв. Темат. зб. наук. пр. – Донецьк: ДонНУЕТ. – 2011. Вип. 26. – С. 58-63.
 12. Заплетніков І.М., Севаторова І.С. Дослідження залежностей відносних шумових характеристик очищувального та подрібнювального обладнання ресторанного господарства від його технічних характеристик / Вісник ДонНУЕТ науковий журнал. Серія Технічні науки. – Донецьк: ДонНУЕТ №1 (53). – 2012. – С. 14-18.
 13. Заплетніков І.М., Севаторова І.С., Осипенко Н.І. Багатофакторні моделі відносних шумових характеристик обладнання ресторанного господарства / Обладнання та технології харчових виробництв: темат. зб. наук. пр. – м. Донецьк: ДонНУЕТ Вип. 28. – 2012. – С. 28-32.
 14. Заплетников И.Н., Севаторова И.С. Моделирование относительных шумовых характеристик оборудования пищевых производств / Прогресивні технології і

системи машинобудування. Міжнародний збірник наукових праць. - Донецьк Випуск 1, 2 (44). – 2012. – С. 99-103.

15. Заплетніков І.М., Севаторова І.С. Використання основних параметрів обладнання ресторанного господарства для визначення його шумових характеристик/ Вісник ДонНУЕТ. Серія «Технічні науки» №1 (57), 2013. – С. 10-15.

16. Заплетников И.Н., Севаторова И.С., Канибер С.В. Рекомендации по проектированию оборудования с улучшенными виброакустическими характеристиками / Оборудование и технологии пищевых производств: темат. сб. науч. раб. - 2017. – Вып. 2(35). – С.16-22.

17. Заплетников И.Н., Севаторова И.С., Пильненко А.К. Шумовые характеристики оборудования общественного питания и показатели его качества / Научный журнал NOISE Theory and Practice, - ООО "ИАК" при БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д.Ф. Устинова. - Том 3, №2. – 2017. – С.17-24.

18. Заплетников И.Н., Севаторова И.С., Квилинский О.Д. Эволюция уровней звуковой мощности мясорубок для предприятий питания / Оборуд. и технол. пищ. пр-тв: темат. сб. науч. раб. – 2018. – Вып. 4(37). – С.68-77.

19. Заплетников И.Н., Севаторова И.С., Квилинский О.Д., Савченко С.М. Исследование влияния конструкции мясорубок напольного типа на их виброакустику / Оборуд. и технол. пищ. пр-тв: темат. сб. науч. раб. – 2018. – Вып. 5(38). – С.4-10.

Материалы научно-практических конференций:

20. Заплетніков І.М., Жидков Ю.В., Божок І.С. (Севаторова І.С.) Віброакустичні характеристики машин очищення корнебульбоплодів періодичної дії і методи їх поліпшення / Нові ресурсо- та енергозберігаючі технології харчових виробництв. Матер. Всеукр. наук.-пр. конференції. Полтава: ПУСК, 1-2 березня, 2007.

21. Заплетніков І.М., Жидков Ю.В., Севаторова І.С. Учет коэффициента потерь колебательной энергии в расчетах виброакустических характеристик оборудования пищевых производств / II Всероссийская научно-практ. конф. с междунар. участием «Защита населения от повышенного шумового воздействия», 17-19 марта 2009г, Санкт-Петербург. – С.290-296.

22. Кириченко В.А., Севаторова И.С. Исследование шумовых характеристик овощерезки Robot Coupe CL 30 A / Техника и технология пищевых производств: тез. докл. VII Междунар. науч. конф. студентов и аспирантов, 22-23 апреля 2010 г., Могилев / УО «Могилевский государственный университет продовольствия», Ч. 2 - Могилев: УО «МГУП», 2010.

23. Заплетніков І.М., Севаторова І.С., Жидков Ю.В. Використання відносних шумових характеристик для устаткування ресторанного господарства у високочастотному діапазоні / Тезиси докладов на міжнародній науково-технічній конференції. – Харків, 2011. – С. 43-44.

24. I.N. Zapletnikov, I.S. Sevatorova, A.A. Shubin Calculation of noise characteristics of technological equipment by its technical characteristics / The 19th International congress on sound and vibration. – Vilnius, Lithuania July 08-12, 2012.

25. Заплетніков І.М., Севаторова І.С. Дослідження залежностей відносних шумових характеристик обладнання ресторанного господарства від його технічних характеристик / Актуальні проблеми розвитку харчових виробництв, ресторанного

та готельного господарства і торгівлі. Тези доповідей всеукраїнської науково-практичної конференції молодих учених і студентів. 25 квітня, 2012 року. – Харків: ХДУХТ Ч.2. – 2012. – С. 69

26.I.N. Zapletnikov, I.S.Sevatorova Cercetarea caracteristicilor relative de zgomot ale utilajelor tehnologice fata de parametrii de baza la frecvente medii / The 19h “George Baritiu” University. International conference on control, development and applied informatics in business and economics “The scale of the global crisis – quality and performance”. – Brasov, Romania, 22-23 November, 2012. – P.201-206

27.I.M. Заплетніков, I.C.Севаторова, Д.А. Ревякін Вібродемпфуючий штовхач до овочерізальних машин / Нові технології і обладнання харчових виробництв: матеріали міжвуз.наук.-практ. Семінару. – Полтава: ПУЕТ, 20.03.2014. – С.5-6.

28.Д.А. Ревякін, I.M. Заплетніков, I.C.Севаторова Штовхач для овочерізок / Інноваційні технології розвитку у сфері харчових виробництв, готельно-ресторанного бізнесу, економіки та підприємства: наукові пошуки молоді: зб. тез доп. Всеукр. наук.-практ. конф. молод. учених і студ. – Харків: ХДУХТ, 03.2014. – С. 342.

29.Заплетников И.Н., Севаторова И.С., Пильненко А.К., Гордиенко А.В., Ревякин Д.А. Усовершенствование конструкции овощерезательных машин предприятий питания / Сучасне обладнання та автоматизація виноробних, м'ясних, консервних, молочних, хлібопекарних, зернопереробних, харчоконцентратних і кондитерських виробництв: зб.наук.пр. Серія «Технічні науки» ОНАХТ. – Одеса: 2014. – Вип. 45. – Том 3. – С. 22-25

30.Заплетников И.Н., Севаторова И.С. Трансформация виброакустических характеристик оборудования предприятий питания/ Повышение эффективности процессов и аппаратов в химической и смежных отраслях промышленности //Сб.науч. тр. Международной научно-технической конференции, Т.2 / М.: ФГБОУ ВО МГУДТ, 2016. – С. 337-341

31.Заплетников И.Н., Кириченко В.А., Севаторова И.С. Мониторинг шумовых характеристик овощерезок / Явления переноса в процессах и аппаратах химически и пищевых производств // Матер. II Междунар. науч.-практ. конф. / Воронеж.гос.ун-т инж. технол. – Воронеж: ВГУИТ, 2016. – С. 539-543

32.Заплетников И.Н., Севаторова И.С. Квалиметрическая оценка шумовых характеристик оборудования пищевых производств / Машиностроение и техносфера XXI века // Сб. тр. XXIII международной научно-технической конференции в г.Севастополе. – Донецк: МСМ, 2016. Т.1. – С. 132-135.

33.Заплетников И.Н., Севаторова И.С. Оценка качества оборудования по его шумовым характеристикам / Материалы VI Всерос. научно-практ.конф. с международным участием «Защита от повышенного шума и вибрации», 21 – 23 марта 2017 г., Санкт-Петербург. – С.264-270.

34.Пильненко А.К., Заплетников И.Н., Севаторова И.С. Анализ шумовых характеристик и показателей качества оборудования общественного питания / Инновационные перспективы Донбасса» Материалы 4-й Международной научно-практической конференции // Том 3. Инновационные технологии проектирования, изготовления и эксплуатации промышленных машин и агрегатов. - г. Донецк, 22-25 мая 2018 года. - С.66-70

35. Заплетников И.Н., Пильненко А.К., Гордиенко А.В., Севаторова И.С. Снижение шума и вибрации овощерезательных машин / Защита от повышенного шума и вибрации: V Всерос. научно-практич. конф. с междунар. участ., 2015 г., 18-20 марта, г. Санкт-Петербург [тезисы докл.] / редкол. Н.И. Иванов [и др.] – СПб, 2015. – С. 193–201.

36. Заплетников И.Н., Севаторова И.С. Квалиметрическая оценка оборудования пищевых производств по его шумовым характеристикам / Техника и технология пищевых производств: тез.докл. XI Междунар. науч.-технич. конф., 20-21 апреля 2017г, Могилев: МГУП, 2017. – С.456.

Патент:

37. Гура А.В., Заплетников И.Н., Севаторова И.С., Ревякин Д.А. Толкатель вибродемпфирующий для измельчительных машин / Патент на полезную модель №115864, Украина, МПК, B26D 3/26, A23N 15/00, B02C 21/02; заявл. 08.12.2016; опубл. 25.04.2017, Бюл.№8. – 4с.: ил.

Монография:

38. Заплетников И.Н., Севаторова И.С. Расчет и трансформация шумовых характеристик пищевого оборудования. Монография / ГО ВПО "Донец. нац. ун-т экономики и торговли им. Михаила Туган-Барановского. — Донецк : ФОП Мезина В. В., 2017 . — 243 с.

В работах 1-4,11,20-22,31 соискателем проведены серия предварительных экспериментов, проведены теоретические исследования по определению виброакустики очистительного и измельчительного оборудования, получены модели ШХ.

В работах 5-7,9,10,12,15,23-25 соискателем проведен литературный поиск, и определены ОШХ очистительного и измельчительного оборудования предприятий питания.

В работах 8, 13, 14 соискателем получены многофакторные модели ОШХ оборудования предприятий питания.

В работах 16,33,37 даны рекомендации по проектированию оборудования с улучшенными ВАХ.

В работах 17,32-34,36 – проведена квалиметрическая оценка оборудования пищевых производств по его ШХ.

В работах 18,19 соискателем исследованы ШХ мясорубок.

В работах 27-29 соискателем предложено усовершенствование конструкции толкателя овощерезательных машин предприятий питания.

В патенте 38 соискателем сформулирована формула изобретения и выполнена подготовка описания к декларационному патенту на полезную модель.

Во всех работах автор принимал участие в подготовке материалов к публикациям.

АННОТАЦИЯ

Севаторова И.С. Трансформация виброакустических характеристик оборудования предприятий питания. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.18.12 – Процессы и аппараты пищевых производств.

ГО ВПО «Донецкий национальный университет экономики и торговли имени Михаила Туган-Барановского» Министерства образования и науки ДНР, Донецк, 2019.

Диссертационная работа посвящена актуальному вопросу – проблемам связанным с инженерными способами борьбы с производственным шумом и вибрацией.

Анализ состояния виброакустических процессов в оборудовании предприятий питания, обзор существующего оборудования и обзор научно-технической информации по теме исследований подтвердили актуальность темы и позволили выявить конструктивные особенности, влияющие на его виброакустические характеристики.

Проведенные экспериментальные исследования ШХ машин очистки корнеплодов МОК и овощерезательных машин позволил установить основные источники шума, величины превышения ПДШХ по характеристике А и в октавных полосах частот и предложить изменения конструкций машин для снижения ВАХ.

Установлены ОШХ технологического оборудования, позволяющие оценить влияние основных параметров оборудования – производительности, массы и мощности электродвигателя на его ШХ (на всем диапазоне частот и характеристике А).

Полученные статистические зависимости ОШХ от основных параметров оборудования позволили разработать методику прогнозирования ВАХ очистительного и измельчительного оборудования предприятий питания на стадии проектирования.

Определены показатели качества ряда оборудования предприятий питания по его ШХ. Установлена статистическая зависимость влияния ШХ машин на качество их конструкции.

Разработаны технические предложения и запатентованы по совершенствованию конструкции устройства толкателя для овощерезательных машин. Использование данного толкателя позволит уменьшить вибрации, передаваемые на руку оператора, при проталкивании продукта в зону резания, а также снизить ВАХ и нагрузки на подшипниковые опоры, увеличить надежность и долговечность работы машины.

Усовершенствованная конструкция машины овощерезательной Robot Coupe CL-30A с улучшенными ВАХ внедрена в частной компании «Укрпрогресс» и ЖК «Журавлиный».

ANNOTATION

Sevatorova I.S. Transformation of the vibroacoustic characteristics of food equipment. - The manuscript.

The dissertation for the degree of candidate of technical sciences, specialty 05.18.12 - Processes and apparatuses of food production.

"Donetsk National University of Economics and Trade named after Mikhail Tugan-Baranovsky" of the Ministry of Education and Science of the DPR, Donetsk, 2019.

The thesis is devoted to an urgent issue - problems associated with engineering methods of dealing with industrial noise and vibration.

An analysis of the state of vibroacoustic processes in the equipment of catering facilities, a review of existing equipment and a review of scientific and technical information on the topic of research confirmed the relevance of the topic and made it possible to identify design features that affect its vibroacoustic characteristics.

Conducted experimental studies of the noise characteristics shredding machines for cleaning root crops and vegetable cutting machines made it possible to establish the main sources of noise, the values of exceeding the maximum noise characteristics in characteristics A and in the octave frequency bands and to propose changes in the design of machines to reduce the vibroacoustic characteristic.

The main noise characteristics of technological equipment has been established, which makes it possible to assess the influence of the main equipment parameters - productivity, mass and power of the electric motor on its noise characteristics (over the entire frequency range and characteristic A).

The obtained statistical dependences of the main noise characteristics on the basic parameters of the equipment made it possible to develop a methodology for predicting the vibroacoustic characteristics of the cleaning and grinding equipment of catering enterprises at the design stage.

The quality indicators of a number of equipment of catering enterprises are determined by its noise characteristics. A statistical dependence of the influence of noise characteristics machines on the quality of their design is established.

Technical proposals have been developed and patented to improve the design of the pusher device for vegetable cutting machines. The use of this pusher will reduce the vibrations transmitted to the operator's hand when pushing the product into the cutting zone, as well as reduce the vibro-acoustic characteristics and load on the bearings, increase the reliability and durability of the machine.

The improved design of the vegetable-cutting machine Robot Coupe CL-30A with improved vibroacoustic characteristics characteristics was introduced in the private company «Ukrprogress» and «Zhuravinniy».