

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

КВИЛИНСКИЙ ОЛЕГ ДМИТРИЕВИЧ

**ВИБРОАКУСТИКА МАШИН ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ МЯСА И РЫБЫ ДЛЯ
ПРЕДПРИЯТИЙ ПИТАНИЯ**

Специальность 05.18.12 — Процессы и аппараты пищевых производств

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени

кандидата технических наук

Донецк — 2022

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, профессор **Шамота Виталий Павлович** ГО ВПО «Донецкий институт железнодорожного транспорта», зав. кафедрой высшей математики и физики;
кандидат технических наук, **Лысенко Николай Михайлович** Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Донецкий национальный технический университет», доцент кафедры горных машин.

Ведущая организация: Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры», кафедра наземных транспортно-технологических комплексов и средств.

Защита состоится «11» ноября 2022г. в 10:00 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.ru.

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.ru>). Автореферат разослан _____

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



Н.Н. Севаторов

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы: Виброакустические характеристики (ВАХ) технологического оборудования рассматриваются как комплексные показатели качества конструкции и производства, мерой безопасности и санитарно-гигиенических требований применения, воздействуют на размещение оборудования в промышленных цехах и конкурентоспособность на рынке. Эти характеристики применяются при проектировании оборудования, контролируются при приемо-сдаточных испытаниях заводами изготовителями, стандартизации и сертификации продукции.

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

Технологическое оборудование предприятий питания размещается в производственных цехах и участках, которые акустически могут быть связаны с залами обслуживания, для которых уровень звука по ГОСТ 12.1.036-81 и санитарным нормам СН-2.4/21.2.562-96-6 не должен превышать 55 дБА, для торговых и пассажирских залов – 60 дБА, в то время как для обычных производственных цехах он не должен превышать 80 дБА. Весьма жесткие требования к уровню шума для помещений предприятий питания и торговли приводят к целесообразности получать низкие уровни шума, размещенного в нем технологического оборудования. Технологическое оборудование питания серийно выпускается специализированными заводами торгового и продовольственного машиностроения.

В период с 90-х годов и до настоящего времени на новых предприятиях питания появилось много измельчительного оборудования в т.ч. мясорубок МИМ изготовления немецких, французских, итальянских, шведских, финских, польских, венгерских, чешских и др. фирм. Это оборудование имеет высокий технический уровень и стоимость. ВАХ этого оборудования, как показали проведенные в ДонНУЭТ исследования имеют в среднем на 5-12 дБА более низкие значения при работе без продукта, чем при работе с продуктом. ВАХ импортного оборудования приближается к отечественному.

За 20 лет эксплуатации импортного оборудования оно изнашивается, но стоимость запчастей к нему приближается к стоимости самого оборудования. Это обстоятельство заставило частных владельцев и руководителей предприятий отказываться от закупки импортного оборудования и снова отдавать предпочтение технологическому оборудованию, выпускаемому в странах СНГ. Тем более, что за этот период заводы торгмаш СНГ, в условиях конкуренции, также подняли технический уровень своего оборудования, в основном, в направлении дизайна, надежности и универсальности. Что касается ВАХ, то они остались на прежнем уровне, претерпели лишь незначительные изменения, как в лучшую, так и в худшую стороны. Следовательно ВАХ технологического оборудования

предприятий питания, которое изготавливалось ранее, а также новые образцы, не утратили своей актуальности.

Вопросами изучения и снижения уровня производственного шума занимались ученые: Н.И. Иванов, Е.Я. Юдин, Г.Л. Осипов, Л.Ф.Лагунов, А.Е. Шашурин, М.В. Васильев, Ю.И. Бобровницкий, М.О. Генкин, И.Е. Цукерников, В.Б.Тупов, М.Мюллер, Л. Фолкнер Groch, 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., 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) и др.

Математические зависимости между основными параметрами пищевого оборудования и его шумовыми характеристиками в технической литературе отсутствуют как в аналитическом, так и в эмпирическом виде. Решение этой задачи позволит определить 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» (№011310000629), «Разработка научно-технических основ создания и усовершенствование конструкций технологического механического оборудования предприятий питания», (№ 01080011130), Д2016-2 «Повышение эффективности эксплуатационных параметров и характеристик оборудования пищевых производств».

Цель работы — установление закономерностей формирования ШХ машины МИМ в разных режимах при работе с нагрузкой и без, установление воздействия отдельных составляющих машины на ее ШХ.

Для достижения этой цели необходимо реализовать следующие задачи:

- проанализировать конструкции малогабаритных машин измельчения мяса и рыбы для предприятий питания и выявить конструктивные особенности, влияющие на его ШХ;
- описать аналитический процесс формирования ВАХ в машинах измельчения мяса и рыбы;
- экспериментально определить ВАХ машин измельчения мяса и рыбы предприятий питания, используя современные методики выполнения экспериментальных исследований ВАХ;
- разработать метод расчета ВАХ машин МИМ;
- разработать предложения по совершенствованию конструкций машин МИМ с целью улучшения его ВАХ;
- внедрить результаты исследований в учебный процесс, на предприятиях пищевых производств и предприятиях питания.

Объект исследований - виброакустические процессы в машинах измельчения мяса и рыбы.

Предмет исследования — виброакустические характеристики в машинах измельчения мяса и рыбы предприятий питания.

Методы исследования. Теоретические методы: анализ информативных источников в области МИМ, способы 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, методов расчета, выводов и рекомендаций гарантирована применением основных теорий виброакустики, математических методов обработки экспериментальных данных и подтверждается адекватностью результатов теоретических исследований и экспериментальных данных.

Научная новизна полученных результатов заключается в установлении аналитических и экспериментальных закономерностей изменения ВАХ машин для измельчения мяса и рыбы в зависимости от основных параметров этого оборудования, обосновании закономерностей их связи с главными параметрами оборудования.

Практическое значение полученных результатов:

- определены ВАХ машин измельчения мяса и рыбы предприятий питания по шкале А и в октавных полосах частот в сравнении ПДШХ и СН;
- статистические закономерности связи ВАХ с главными параметрами оборудования, позволяющие прогнозировать виброакустические характеристики машин на стадии их проектирования;
- разработана методика расчета ВАХ МИМ для предприятий питания;
- разработаны предложения по улучшению конструкции для машин измельчения мяса и рыбы, позволяющие снизить на 19 дБА излучаемый уровень шума, уменьшить динамические нагрузки машины.

На защиту выносятся:

1. Виброакустические характеристики машин измельчения мяса и рыбы предприятий питания;

2. Развитие и дополнение динамико – акустического метода расчета шумовых характеристик машин;

3. Рабочая методика определения виброакустических характеристик мясорубок в соответствии с современными стандартами и санитарными нормами;

4. Результаты экспериментальных исследований виброакустических характеристик мясорубок Kopcar MEM -12E (Хорватия) и Braun 1500 (Чехия);

5. Осциллограммы виброакустических характеристик мясорубок и осциллограммы расхода мощности.

Личный вклад автора состоит в анализе проблемы, формулировке темы диссертации, выборе направления и разработке методов исследований, создании экспериментального стенда для определения ВАХ машин измельчения мяса и рыбы, математической обработке результатов экспериментальных исследований, выводе математических моделей, описывающих виброакустические процессы машин МИМ, обосновании достоверности полученных результатов, формулировке выводов, разработке методов расчета ВАХ МИМ, позволяющих с допустимой погрешностью определить ВАХ на стадии проектирования машины.

Апробация результатов диссертации. Основные результаты по теме диссертационной работы докладывались на XI Международной научно – технической конференции «Техника и технология пищевых производств» 20-21 апреля 2017г., МГУП, Могилев; Сборник тезисов и докладов студентов по результатам XI Международной научно – практической интернет конференции студентов «Научно – техническое творчество студентов по процессам и оборудованию пищевых производств» 26-27 октября 2017г.; ДонНУЭТ, Донецк; VI Международной научно – технической конференции «Инновационные технологии в пищевой промышленности: наука, образование и производство» 11.11.2019 г., ВГУИТ, Воронеж; Сборник тезисов и докладов студентов по результатам XI Международной научно – практической интернет - конференции студентов «Научно-техническое творчество студентов по процессам и оборудованию пищевых производств» 24-25 октября 2019 г., ДонНУЭТ, Донецк; XIII Международной научно — технической конференции «Техника и технология пищевых производств» 23-24 апреля 2020 г., МГУП, Могилёв.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 14 научных трудов, в том числе 9 статей в профильных изданиях, 5 статей в научных журналах и сборниках трудов конференций.

Структура диссертации. Основное содержание работы изложено на 199 страницах машинописного текста, который состоит из 5 разделов и 5 приложений. Диссертация проиллюстрирована 74 рисунками и содержит 52 таблицы. Список литературы содержит 139 наименований.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

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

В первом разделе «Машины измельчения мяса и рыбы» выполнен аналитический обзор конструкций современных машин, их классификация, конструктивные особенности, разновидности режущего инструмента МИМ, которые массово изготавливаются на заводах торгового машиностроения ближнего и дальнего зарубежья, получившие распространение на предприятиях питания.

Проведенный анализ представленных на рынке машин для измельчения мяса и рыбы малых предприятий общественного питания показал, что наиболее перспективными, благодаря своей компактности и экономичности являются машины Kopcar MEM -12E (Хорватия) и Braun 1500 (Чехия). Предшествующими исследованиями кафедры оборудования пищевых производств ДонНУЭТ, а также на основании своих исследований установлено, что ШХ исследуемого оборудования превосходят допустимые нормы на средних частотах.

На основании проведенных аналитических исследований сформулированы направления дальнейших исследований машин измельчения мяса и рыбы с целью разработки технических предложений по усовершенствованию конструкции машины, её отдельных элементов, а так же создание методики расчета их виброакустических характеристик.

Во втором разделе «Теоретические предпосылки формирования виброакустических характеристик процессов в технологических машинах пищевых производств» дано аналитическое описание закономерностей формирования виброакустических процессов в технологических машинах на основании применения синтеза динамических и акустических моделей.

Уровень звуковой мощности излучения машины измельчения мяса в октавных полосах частот определяется как сумма мощностей излучения внутренними источниками шума и корпусом машины.

$$N_j = N_{вн} + N_{корп} \quad (1)$$

Для монопольных источников излучения, звуковая мощность зависит от акустического импеданса, площади излучаемой поверхности и квадрата средней величины скорости колебаний. Тогда, используя геометрические и динамические параметры машин измельчения мяса для 2-й массовой динамической схемы:

$$N_{вн} = 2\pi r c_0 R^2 P_0^2 m_2^2 \omega_k^2 \theta_p^2 (p_1^2 - \omega_k^2)^2 \sigma_u \eta \quad (2)$$

где $c_0 = 344$ м/с – скорость звука в воздухе; ρ – плотность воздуха, кг/м³; R – радиус сферы, м; σ_n – коэффициент излучения; K_B – волновое число; η – коэффициент потерь колебательной энергии; p_1 – первая резонансная частота собственных колебаний, с⁻¹, m_2 – вторая масса, ω_k – частота вынужденных колебаний с⁻¹; θ_p – передаточная функция.

Мощность излучения плоским корпусом машины измельчения мяса, если частота колебаний $f < f_{кр}$ на низких и средних частотах:

$$N_{пл} = \frac{\rho c_0 K_6 l_1 l_2 P_0^2 m_2^2 \omega_k^2 \theta^2 (p_1^2 - \omega_k^2)^2 \eta}{2 \chi_0} [1 - I_0(K_6 l_1)] \quad (3)$$

где, χ_0 – волновое число изгибных колебаний корпуса машины; l_1, l_2 – размеры стенки корпуса, м; I_c – функция Бесселя нулевого порядка первого рода.

Мощность излучения цилиндрическим корпусом машины при $K_B R_c \gg 1$:

$$N = 0.25 \pi^2 \rho c_0 l_c K_6^3 R_c^4 P_0^2 m_2^2 \theta_p^2 \omega_k^2 (p_1^2 - \omega_k^2)^2 \eta \quad (4)$$

где R_c, l_c – внешний радиус и длина цилиндрического корпуса машины.

Уровень звуковой мощности источника излучения в октавных полосах частот:

$$L_{Pij} = 10(\lg N_j + 12), \text{ дБ} \quad (5)$$

Корректированный по А уровень звуковой мощности:

$$L_{pa} = 10 \lg \sum_1^8 10^{0,1(L_{Pij} - K_A)} \quad (6)$$

Определено, что с целью приближения теоретических результатов к практическим, необходимо учитывать конструкцию технологической машины, а в методике расчета виброакустической характеристики ВАХ мясорубок, целесообразно экспериментально определять коэффициент потерь колебательной энергии машины т.к. его аналитические значения не соответствуют экспериментальным.

В третьем разделе «Методологические основы определения виброакустических характеристик оборудования» решены следующие задачи:

- выбран метод определения ШХ с требуемой точностью, согласно ГОСТ 23941-2002 «Шум. Методы определения шумовых характеристик»;
- выбрана аппаратура для измерений, обеспечивающей эту точность;
- разработаны методы, позволяющие отобразить экспериментальные данные в виде аналитических зависимостей и конкретных значений.

Определение ШХ машин производилось с учетом акустических свойств окружающего пространства, ориентируясь на ряд стандартов, соответствующих международным стандартам ИСО Акустика, которые входят в систему стандартов безопасности труда и регламентируют методы определения ШХ.

Расчет предельно допустимых значений шумовых характеристик мясорубок проведен по ГОСТ 30530-97 «Шум. Методы расчета предельно допустимых шумовых характеристик стационарных машин» методом поправок.

В четвертом разделе «Экспериментальные исследования виброакустических характеристик машин измельчения мяса и рыбы» приведены результаты экспериментальных исследований по определению шумовых характеристик машин измельчения мяса и рыбы предприятий питания.

Измерения проводились в реверберационной камере объемом 100 м³ в соответствии со стандартом ИСО 3743-1-94; 3743-2-94.

Измерения уровней звукового давления (УЗД) проводилось аттестованными шумомерами «Ассистент» (Россия) и RFT 00023 в октавных полосах частот и по уровню звука. Микрофон устанавливался на измерительном расстоянии 1 м. (рис.1)

В результате исследования МИМ Консаг установлено:

Корректированный по А уровню звуковой мощности составляют: при работе без нагрузки – 79,7 дБА, при работе с нагрузкой – при измельчении рыбы – 72,7 дБА. (Табл. 1)



Рисунок 1 Измерение виброакустических характеристик мясорубки Консаг в реверберационной камере

- 1) Шумомер RFT 00023; 2) Микрофон; 3) ВШВ 003; 4) Шумомер Ассистент ; 5) Мясорубка Консаг; 6) Вибродатчики ДН-4; 7) Монитор; 8) Принтер; 9) Процессор;
- 10) АЦП; 11) Измерительный прибор К-50

Таблица 1 - Уровни звуковой мощности машины Koncar MEM -12E при
измельчении

	Уровни звуковой мощности, Lp дБ, в октавных полосах частот, Гц								УЗМ по А, дБА dBA
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
ПДШХ LANC	94	87	82	78	75	73	71	70	80
УЗМ машины без продукта на холостом ходу (XX)	55,1	66	71,6	76,2	77,1	68,2	62,4	55,7	79,7
УЗМ машины при измельчении мяса	53,8	66,2	68,9	70,3	71,9	64,6	55,2	46,4	74,1
УЗМ машины при измельчении мяса с повышенным содержанием соединительной ткани	58	65,5	68,5	68,7	70,3	63,9	54,4	45,8	72,7
УЗМ машины при измельчении рыбы	52,7	61,8	67,2	65,3	70,3	62,7	54,9	50,1	72,4
Влияние продукта наУЗМ	-2,4	-4,2	-4,4	- 10,9	-6,8	-5,5	-7,5	-5,6	-7,3

Анализ ШХ машины в октавных полосах частот показал, что наиболее высокий уровень излучения при работе без нагрузки приходится на средние частоты, прежде всего на частотах 1000 Гц и составляет 77,1 дБ. Превышение ПДШХ – 2,1 дБ. На остальных частотах превышения ПДШХ не обнаружено (рис 2).

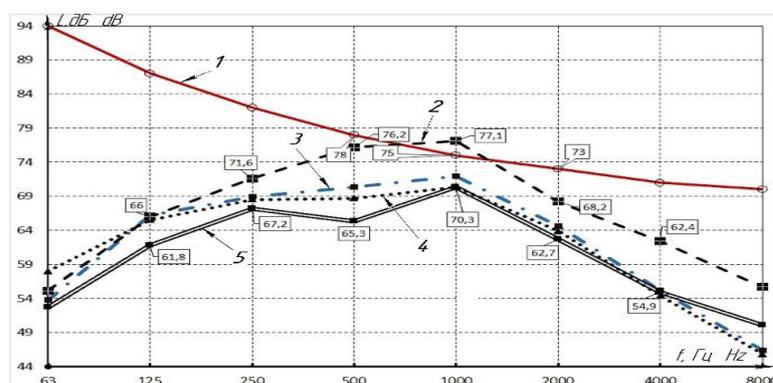


Рисунок 2 Уровни звуковой мощности машины MIM Koncar, дБ:

1 – ПДШХ; 2 – УЗМ машины MIM на XX; 3 – УЗМ при измельчении мяса с мякотью; 4 – УЗМ машины при измельчении мяса с повышенным содержанием соединительной ткани; 5 – УЗМ машины при измельчении рыбы.

Влияние составных частей конструкции машины на ШХ методом отсоединения отдельных элементов, приведен на рисунке 3

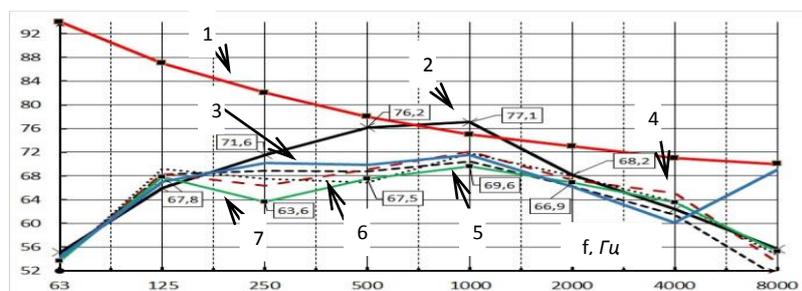


Рисунок 3 Уровни звуковой мощности составных частей конструкции машины, дБ:
 1 – Предельно допустимая шумовая характеристика (ПДШХ); 2 – ШХ машины МИМ; 3 – ШХ машины МИМ без лотка загрузки; 4 – ШХ машины МИМ без лотка и ножевого блока; 5 – ШХ машины МИМ без лотка, ножевого блока и шнека; 6 – ШХ машины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

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

Наличие ножа с решеткой оказывает незначительное влияние на ШХ машины в октавных полосах частот, в пределах 1-2 дБ. Наличие шнека в машине также незначительно влияет на ШХ машины, хотя наблюдается и ухудшение ШХ на 3 дБ на частоте 4000 Гц. Рабочая камера машины, в которой размещены шнек, нож и ножевая решетка, натяжная гайка также, практически, не оказывает влияния на ШХ машины. Наиболее значительный вклад в ШХ машины оказывает ШХ зубчатого редуктора и электродвигателя. Значения ШХ составных частей машины приведены в таблице 2 и рисунке 4:

Таблица 2 - Уровни звуковой мощности составных частей конструкции машины

	Уровни звуковой мощности, Lp дБ, в октавных полосах частот, Гц								УЗМ по А, дБА dBA
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
УЗМ машины на ХХ	55,1	66,0	71,6	76,2	77,1	68,2	62,4	55,7	79,7
УЗМ без лотка загрузки	54,4	67,1	70,2	69,9	71,6	66,2	60,1	69,0	79,1
УЗМ без лотка и ножа	53,9	68,3	68,9	68,8	70,5	66,3	61,4	51,0	73,7
УЗМ без лотка, ножа и шнека	53,9	68,4	66,4	69,1	72,1	67,3	65,1	53,4	75,0

УЗМ без лотка, ножа, шнека и камеры	53,9	68,4	66,4	69,1	72,1	67,3	65,1	53,4	75,0
УЗМ привода машины	53,7	67,8	63,6	67,5	69,6	66,9	63,5	55,3	73,4
Влияние составных частей конструкции машины на УЗМ, ΔL_k	-1,4	1,8	-8	-8,7	-7,5	-1,3	1,1	-0,4	-6,3

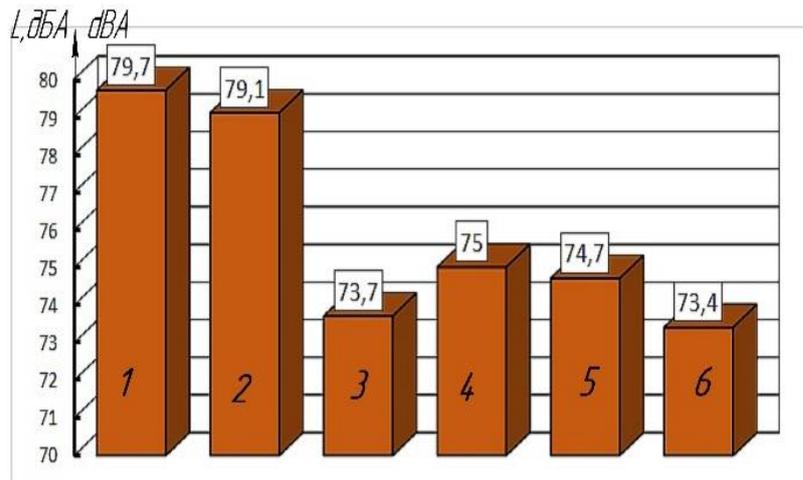


Рисунок 4 Корректированные по А уровни звуковой мощности составных частей конструкции машины, дБА:

1 – УЗМ машины на ХХ; 2 – УЗМ машины МИМ без лотка загрузки; 3 – УЗМ машины МИМ без лотка и ножевого блока; 4 – УЗМ машины МИМ без лотка, ножевого блока и шнека; 5 – УЗМ машины МИМ без лотка, ножевого блока, шнека и рабочей камеры; 6 – УЗМ привода машины.

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

По корректированному уровню А:

$$Y_{pA}(x_1, x_2, x_3) = 72,78 - 0,25x_1 + 0,225x_2 + 0,05x_1x_2 - 0,7 \cdot x_1x_3 - 0,325 \cdot x_2x_3 - 0,35x_1x_2x_3 \quad (7)$$

Уравнение в натуральных переменных имеет вид:

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

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

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

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

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

Изменение функции отклика УЗМ по А от модуля упругости и усилия на толкателе приведено рисунке 5. Определена зона оптимума для ШХ машины.

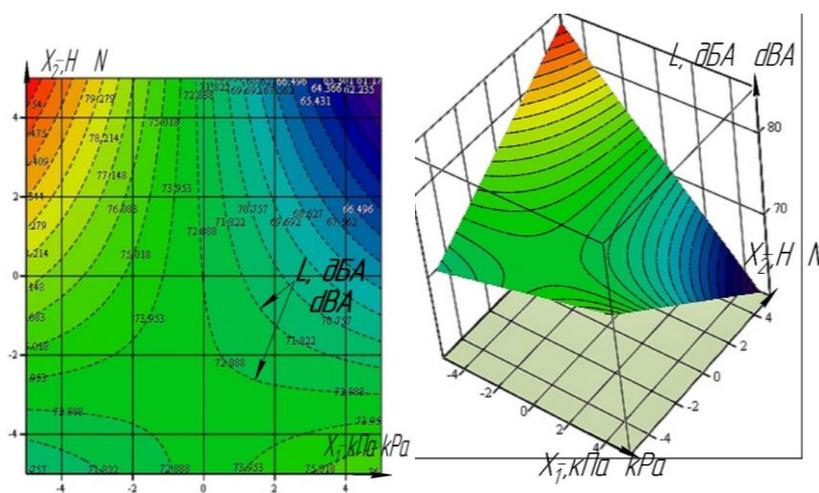


Рисунок 5 График кривых равных значений (а) и поверхности отклика (б) зависимости уровня звуковой мощности L_{pa} , дБА от: модуля упругости продукта X_1 , кПа и усилия на толкателе X_2 , Н

В качестве второго исследуемого образца использовалась машина Braun 1500 (Чехия).

Излучаемые уровни звуковой мощности (УЗМ) машин МИМ при работе без нагрузки и с нагрузкой в октавных полосах приведены на рисунке 6.

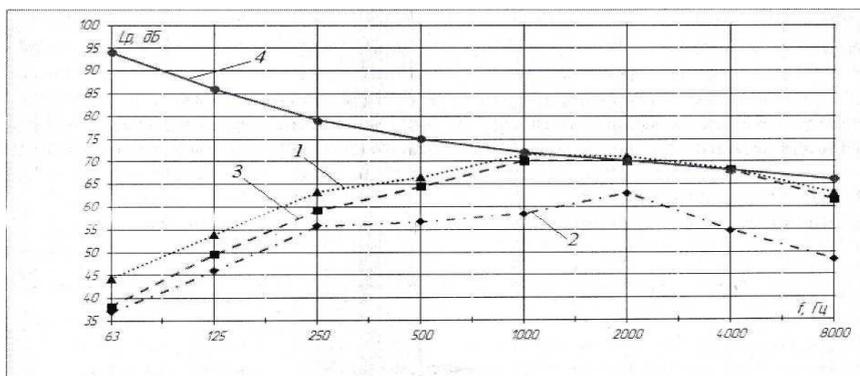


Рисунок 6 - Уровни звуковой мощности мясорубки Braun 1500
 1 - УЗМ без нагрузки; 2 - УЗМ при измельчении свинины; 3 - УЗМ при измельчении рыбы; 4-ПДШХ.

Определены предельно допустимые значения по современным санитарно – гигиеническим нормам и стандартам. Превышение ПДШХ машин наблюдается на средних частотах. Вибрационные характеристики находятся в пределах норм.

Определена перспектива дальнейших исследований, ею может служить совершенствование конструкций мясорубок в направлении улучшения взаимодействия ножа и решетки МИМ.

В пятом разделе «Применение результатов исследования на предприятиях питания» на основании проведенных исследований виброакустических моделей технологического оборудования предложены меры для снижения виброактивности внутренних источников шума, представлены варианты модернизации ножа (рис. 6) и ножевой решетки (рис. 7)



Рисунок 6 Ножи мясорубки Консар
 1 - Усовершенствованная конструкции 2 - Нож без изменения конструкции



Рисунок 7 Ножевые решетки мясорубки Консар
 1 - решетка усовершенствованная (отверстия конические)

2 - решетка без изменения конструкции (отверстия цилиндрические)

Получены осциллограммы виброакустических процессов машины измельчения мяса до (рис. 8) и после (рис. 9) усовершенствования конструкции.

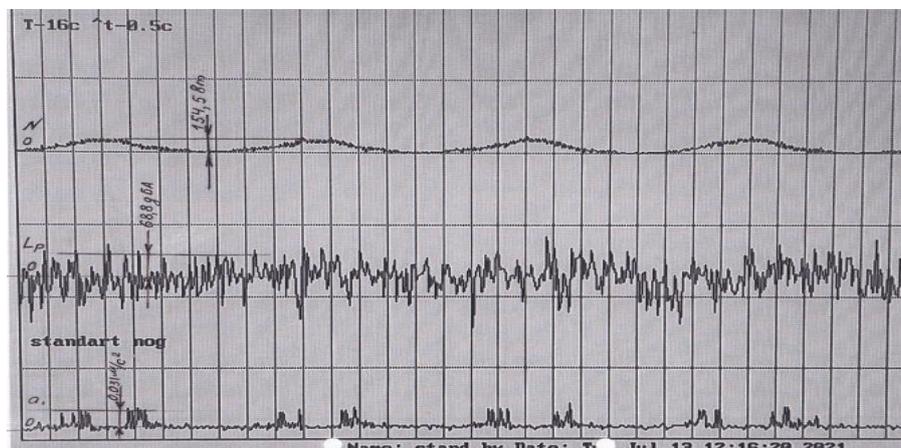


Рисунок 8 Осциллограммы изменения параметров N, Lp, мясорубки решеткой при измельчении мяса-свинины

Сравнение осциллограмм Lp на рисунках 8 и 9 показало снижение уровня шума машины на 19 дБА от применения новой ножевой решетки и виброускорения на $0,003 \text{ м/с}^2$.

На основе аналитических исследований предложена методика расчета шумовой характеристики мясорубок и приведен численный пример использования методики.

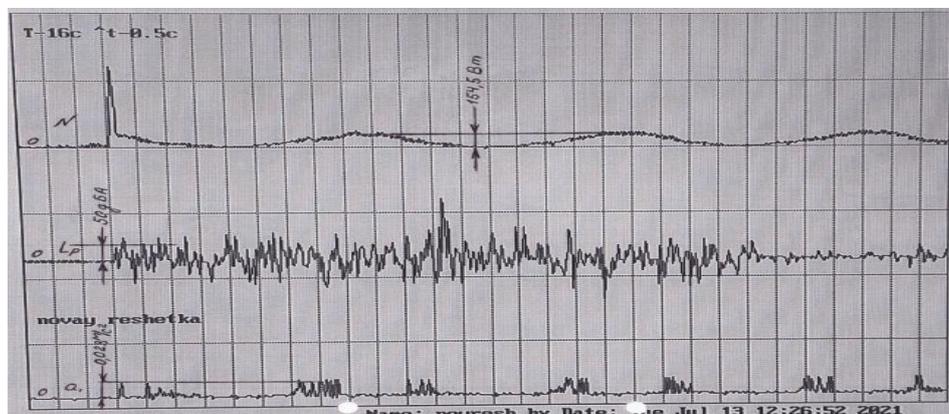


Рисунок 9 Осциллограммы изменения параметров N, Lp, мясорубки с новой решеткой при измельчении мяса-свинины

Проведен расчет социально-экономической эффективности улучшения виброакустических характеристик мясорубки Koncar MEM -12E от модернизации оборудования.

ВЫВОДЫ

1. Машины измельчения мяса и рыбы нашли широкое применение на предприятиях пищевых производств. Машины МИМ выпускаются многими заводами и фирмами торгового машиностроения и отличаются конструкцией, дизайном, производительностью, установленной мощностью электродвигателя, приводом и режущими инструментами в зависимости от технологических потребностей и условий применения. Виброакустические характеристики МИМ в технической литературе отсутствуют.

2. Теоретическое описание закономерностей формирования виброакустических процессов в технологических машинах возможно на основании использования синтеза динамических и акустических моделей. В результате получены выражения для разработки методики расчета ШХ. С целью приближения теоретических результатов к практическим необходимо учитывать конструкцию технологической машины, в данной работе - машин измельчения мяса и рыбы. Впервые предложено в методике расчета ВАХ мясорубок экспериментально определять коэффициент потерь колебательной энергии и вводить в расчет.

3. Разработана методика выполнения работы с использованием современных стандартов в области акустики и вибрации машин позволяет определить шумовые и вибрационные характеристики машин измельчения мяса и рыбы для предприятий питания и оценить их соответствие предельно допустимым значениям и санитарным нормам. Расчет предельно допустимых значений шумовых характеристик мясорубок проведен по ГОСТ 30530-97 методом поправок.

4. Установлены виброакустические характеристики машин измельчения мяса и рыбы на натуральных образцах Kopcar MEM 12-E (Хорватия)-79,7 дБА и Braun 1500 (Чехия)- 76,6 дБА, а также в октавных полосах частот. Определены предельно допустимые значения по современным санитарно – гигиеническим нормам и стандартам.

Превышение ПДШХ у мясорубок наблюдается на средних частотах. Вибрационные характеристики находятся в пределах норм.

Наиболее значительное влияние на шумовую характеристику машин оказывает шум, излучаемый редуктором и электродвигателем.

Получены многофакторные модели формирования виброакустических характеристик мясорубок с применением метода Бокса – Уилсона, которые позволили оценить влияние внешних факторов на величину ВАХ:

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

- Влияние усилия на толкателе также не велико в исследуемом диапазоне. С увеличением усилия на толкателе ШХ возрастают до эргономического показателя - 70Н.

- Острота ножа аналогична влиянию на ШХ усилия на толкателе.

5. Научно обосновано, что замена цилиндрических отверстий решеток мясорубок на конические с вершиной конуса, прилегающих к ножу, приводит к снижению уровня излучаемого шума в мясорубках: у мясорубки Koncar MEM 12-E на 19 дБА.

6. Разработанная методика расчета виброакустических характеристик позволяет рассчитать эти характеристики на стадии проектирования технологического оборудования в пределах погрешности до 12%. Приведенный численный пример расчета шумовой характеристики мясорубки Koncar позволил рассчитать уровни звуковой мощности машины в октавных полосах частот и по характеристике А в пределах диапазона неопределенности.

7. Расчет экономической эффективности от снижения уровня шума мясорубки показал положительный результат, общий экономический эффект составил 74,8 тыс. руб.

Результаты исследования внедрены в учебный процесс по направлениям: 15.03.02 Технологические машины и оборудование профиль «Оборудование перерабатывающих и пищевых производств» и 19.03.04 «Технология продукции и организации общественного» питания по дисциплине «Оборудование общественного питания».

Перечень работ, опубликованных по материалам диссертации

Статьи в научных сборниках:

1. Заплетников И.Н., Севаторова И.С., Квилинский О.Д., Савченко С.М. Исследование влияния конструкции мясорубок напольного типа на их виброакустику. – Тем.сб. научн. трудов /Оборудование и технологии пищевых производств. – Донецк: ГО ВПО «ДонНУЭТ». – 2018. – Вып. 5(38). – С. 4-10

2. Заплетников И.Н., Гордиенко А.В., Квилинский О.Д., Эволюция уровней звуковой мощности мясорубок для предприятий общественного питания. Тем.сб. научн. трудов /Оборудование и технологии пищевых производств. – Донецк: ГО ВПО «ДонНУЭТ». – 2018. – Вып. 4(37). – С. 68-77

3. Пильненко А.К., Заплетников И.Н., Квилинский О.Д., Томазенко Р.А. Анализ исследования прохождения ударных волн в пищевом продукте. Тем.сб. научн. трудов /Оборудование и технологии пищевых производств. – Донецк: ГО ВПО «ДонНУЭТ». – 2019. – Вып. 8(41). – С. 18-26

4. Заплетников И.Н., Севаторова И.С., Квилинский О.Д., Излучение звуковой мощности мясорубкой Braun – 1500. Тем.сб. научн. трудов /Оборудование и технологии пищевых производств. – Донецк: ГО ВПО «ДонНУЭТ». – 2020. – Вып. 10(43). – С. 1-5

5. Квилинский О.Д., Применение результатов исследования виброакустики усовершенствованных мясорубок на предприятиях питания. Тем.сб. научн. трудов /Оборудование и технологии пищевых производств. – Донецк: ГО ВПО «ДонНУЭТ». – 2021. – Вып. 15(48). – С. 65

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

7. Пильненко А.К., Заплетников И.Н., Гордиенко А.В., Квилинский О.Д., Шумовые характеристики машин измельчения мяса на предприятиях общественного питания//Noise Theory and Practice/Acoustic Design Institute/Vol.2 No.3.-2016 №III.- С. 23-29

8. Заплетников И.Н., Пильненко А.К., Квилинский О.Д., Савченко С.М., Экологический мониторинг измельчительного оборудования предприятий питания//Noise Theory and Practice/Acoustic Design Institute/Vol4 No.3.-2018 №III.- С. 30-35

9. Заплетников И.Н., Пильненко А.К., Квилинский О.Д., О совершенствовании конструкции кухонных машин для улучшения их шумовых характеристик //Noise Theory and Practice/Acoustic Design Institute/Vol5 No.4.-2019 №IV.- С. 41-45

Материалы научно-технических конференций:

10. Квилинский О.Д., Лосев Е.О., Заплетников И.Н., Спектральный анализ шумовых характеристик машин измельчения мяса // Научно-техническое творчество студентов по процессам и оборудованию пищевых производств: сб.тез., Междунар. студ. науч.-практ. Интернет-конф. /Глав.ред. Е.М.Азарян – Донецк: ГО ВПО «ДонНУЭТ». – 2017. – Вып. 9. – С. 180-182

11. Квилинский О.Д., Заплетников И.Н., Пильненко А.К., Применение технического метода определения звуковой мощности машин в свободном звуковом поле// Научно-техническое творчество студентов по процессам и оборудованию пищевых производств: сб.тез., Междунар. студ. науч.-практ. Интернет-конф. /Глав.ред. Е.М.Азарян – Донецк: ГО ВПО «ДонНУЭТ». – 2017. – Вып. 9. – С. 147-149

12. Заплетников И.Н., Гордиенко А.В., Квилинский О.Д., Лосев Е.О., Расчет динамических параметров машины измельчения мяса. /Техника и технология пищевых производств: Т38/ХIII Междунар. Науч.-техн. конф., 23-24 апреля 2020 г., в 2-х т., Могилев/Учреждение образования «Могилевский государственный университет продовольствия»;- Могилев: МГУП, 2020. – Т2. С. 66-81

13. Заплетников И.Н., Севаторова И.С., Квилинский О.Д., Лосев Е.О. Расчет мощности излучения шума машиной измельчения мяса от внутренних источников /Техника и технология пищевых производств: Т38/ХIII Междунар. Науч.-техн. конф., 23-24 апреля 2020 г., в 2-х т., Могилев/Учреждение образования «Могилевский государственный университет продовольствия»;- Могилев: МГУП, 2020. – Т2. С. 80-83

14. Квилинский О.Д., Лукьянченко А.П., Заплетников И.Н., Пильненко А.К., Машина измельчения мяса и ее шумовая характеристика./Техника и технология пищевых производств: тезисы докладов XI Международной науч.-техн. конф., 201-21 апреля 2017 г., г. Могилев/Учреждение образования «Могилевский государственный университет продовольствия»;-Могилев: МГУП, 2017. – С. 244

В работах: 1,4,6,7,10,14, соискателем проведены экспериментальные исследования ВАХ мясорубок и дана оценка влияния на их конструкцию.

В работе 2,8 соискателем проведено сравнение шумовых характеристик МИМ в процессе их производства и установлены эмпирические зависимости связи ШХ с основными характеристиками машин.

В работе 3 соискатель представил графическую интерпретацию результатов экспериментов при моделировании ШХ мясорубок.

В работе 9 соискателем даны рекомендации по совершенствованию мясорубок, как сменных механизмов кухонных машин.

В работе 11 соискателем выбран метод и проведены акустические расчеты по определению уровня звуковой мощности мясорубок.

В работах 12 и 13 соискателем предложена методика расчета ШХ мясорубок и приведен численный пример расчета.

АННОТАЦИЯ

Квилинский О.Д. Виброакустика машин измельчения мяса и рыбы для 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, 2021.

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

Анализ конструкций машин измельчения мяса и рыбы предприятий питания и обзор научно- технической информации по теме исследований подтвердили актуальность темы, сформулированы направления дальнейших исследований машин измельчения мяса и рыбы с целью представления технических предложений по усовершенствованию конструкции машины, её отдельных элементов, а так же создание методики расчета их виброакустических характеристик.

Впервые предложено в методике расчета ВАХ мясорубок экспериментально определять коэффициент потерь колебательной энергии и коэффициент излучения шума машины, т.к. их аналитические значения не соответствуют экспериментальным. Разработана методика выполнения работы с применением современных стандартов в области акустики и вибрации машин. Расчет предельно допустимых значений шумовых характеристик мясорубок проведен по ГОСТ 30530-97 методом поправок.

Экспериментально установлено, что превышение ПДШХ машин наблюдается на средних частотах. Вибрационные характеристики находятся в пределах норм. Установлено влияние внешних факторов на величину ВАХ: модуля упругости продукта, усилия на толкателе, остроты ножа.

Научно обосновано, что замена цилиндрических отверстий решеток мясорубок на конические с вершиной конуса, прилегающих к ножу, приводит к снижению уровня излучаемого шума в мясорубках, в частности, у мясорубки Kopcar MEM 12-E на 19 дБА.

Приведенный численный пример расчета шумовой характеристики мясорубки Kopcar позволил рассчитать уровни звуковой мощности машины в октавных полосах частот и по характеристике А в пределах диапазона неопределенности.

Усовершенствованная конструкция машины измельчения мяса и рыбы Kopcar MEM12-Ec улучшенными ВАХ внедрена в ООО «ПростоР», ООО Фирма «Мисс Натали» и ИП Ковальский А.В. Результаты исследований внедрены в учебный процесс.

ANNOTATION

Kvilinskiy O.D. Vibroacoustics of meat and fish grinding machines for catering establishments.–The manuscript.

Dissertation for the degree of candidate of technical sciences in specialty 05.18.12 - Processes and apparatus of food production.

" Donetsk National University of Economics and Tradenamed after Mikhail Tugan-Baranovsky" of the Ministry of Education and Science of the DPR Donetsk, 2021.

The dissertation is devoted to a topical issue - the problems associated with engineering methods of dealing with industrial noise and vibration.

An analysis of the designs of meat and fish grinding machines for catering enterprises and a review of scientific and technical information on the research topic confirmed the relevance of the topic, directions for further research of meat and fish grinding machines were formulated in order to present technical proposals for improving the design of the machine, its individual elements, as well as creating a methodology calculation of their vibroacoustic characteristics.

For the first time, it was proposed in the methodology of calculating the VAC characteristic of meat grinders to experimentally determine the coefficient of losses of vibrational energy and the emissivity of machine noise, since their analytical values do not correspond to the experimental ones. A methodology for performing work using modern standards in the field of acoustics and vibration of machines has been developed. The calculation of the maximum permissible values of the noise characteristics of meat grinders was carried out in accordance with GOST 30530-97 by the method of corrections.

It has been experimentally established that the excess of the MPNC of the machines is observed at medium frequencies. Vibration characteristics are within normal limits. The influence of external factors on the value of the VAC characteristic is established: the modulus of elasticity of the product, the influence of the force on the pusher, the sharpness of the knife.

It is scientifically substantiated that replacing the cylindrical holes of the grills of meat grinders with conical holes with the top of the cone, adjacent to the knife, leads to a decrease in the level of radiated noise in meat grinders, in particular, in the Koncar MEM 12-E meat grinder by 19 dBA.

The given numerical example of calculating the noise characteristic of a Koncar meat grinder made it possible to calculate the sound power levels of a machine in octave frequency bands and according to characteristic A within the uncertainty range.

The improved design of the Koncar MEM12-E meat and fish grinding machine with improved CVC has been implemented in ProstoR LLC, Miss Natalie Firm LLC and A.V. Kovalskiy IE. The research results are introduced into the educational process.

Подписано в печать 5.09.2022. Формат 60x84x1/16. Усл. печ. л. 2,0. Печать лазерная. Заказ № _____. Тираж 100 экз. Отпечатано в ООО «Цифровая типография» на цифровых издательских комплексах Rank Xerox DocuTech 135 и DocuColor 2060. 83003, г. Донецк, ул. Артема, 181, тел. (062) 348-01-79, <http://cifra.donetsk.ua>