

УДК 534-16, 534.642

OECD 01.03.AA

Экспериментальное исследование акустических и технологических параметров машины замеса теста

Заплетников И.Н.¹, Гордиенко А.В.², Пильненко А.К.³, Лукьянченко А. П.⁴

¹ Заведующий кафедрой оборудования пищевых производств,

^{2,3} Доцент кафедры оборудования пищевых производств,

⁴ Магистрант,

^{1, 2, 3, 4} Донецкий национальный университет экономики и торговли имени Михаила Туган-Барановского, г. Донецк, ул. Щорса, 31

Аннотация

Трудоемкой операцией на предприятиях питания является приготовление теста, которое выполняется с помощью машин замеса теста. Эти машины широко применяются в кулинарных, кондитерских, производственных цехах столовых, кафе, ресторанах, а также специализированных цехах предприятий малого и среднего бизнеса. Недостатком в эксплуатации этих машин является повышенный уровень шума, превышающий допустимые санитарные нормы. Целью работы является определение шумовых характеристик (ШХ) тестомесильной машины в различных режимах работы, а также установление влияния технологических и кинематических факторов на её ШХ. Определение ШХ проводилось в реверберационной камере объемом 100 м³ шумомером «Ассистент» НТМ-Защита РФ по ГОСТ 51400-99 (ИСО 3743-1(2)-94). Использовалась машина PSP-800 KG-8 итальянского производства фирмы «Pasquini». Машина исследовалась на холостом и рабочих режимах. Установлено превышение нормы на 11 дБА на холостом и на 14 дБА при рабочем режиме. Для установления зависимости ШХ от технологических и кинематических параметров проведен планируемый эксперимент вида 2³. Получены многофакторные модели, описывающие эти зависимости. Даны рекомендации по улучшению акустических параметров машины.

Ключевые слова: машины замеса теста, шумовые характеристики, плотность теста, частота вращения рабочего органа, многофакторные модели.

Experimental study of acoustic and technological parameters of the dough kneading machine

Zapletnikov I.N.¹, Gordienko A.V.², Pilnenko A.K.³, Lukyanchenko A.P.⁴

¹ Professor,

^{2,3} Assistant professor,

⁴ Master,

^{1, 2, 3, 4} Donetsk National University of Economics and Trade named after Mikhail Tugan-Baranovsky, Donetsk, Ukraine

Abstract

A labor-intensive operation at food enterprises is the preparation of a dough, which is performed with the help of kneading machines. These machines are widely used in culinary, confectionery, production workshops of canteens, cafes, restaurants, as well as specialized workshops of small and medium-sized businesses. A disadvantage in the operation of these machines is an increased noise level, exceeding the permissible sanitary standards. The aim of the work is to determine the noise characteristics (NC) of a kneading machine in various operating modes, as well as to determine the influence of technological and kinematic factors on its NC. The NC determination was carried out in a 100 m³ reverberation chamber with the 'Assistant' noise meter NTM-RF Protection according to GOST 51400-99 (ISO 3743-1 (2) -94). The PSP-800 KG-8 machine of the Italian company 'Pasquini' was used. The machine was tested at idle and operating conditions.

E-mail: obladn@kaf.donnuet.education (Заплетников И.Н.), gordienko_aleksa@mail.ru (Гордиенко А.В.), pilnenko_a@mail.ru (Пильненко А.К.), zim94@inbox.ru (Лукьянченко А. П.)

The excess of the norm was established at 11 dBA at idle and at 14 dBA at operating conditions. To establish the NC dependence on the technological and kinematic parameters, a planned experiment of the type 2³ was carried out. Multivariate models describing these dependences were obtained. Recommendations for improving the acoustic parameters of the machine are given.

Key words: kneading machines, noise characteristics, density of dough, rotation speed of the working element, multifactor models.

Введение

Одной из наиболее распространённых и трудоёмких операций на предприятиях питания является приготовление теста. Тесто имеет разную консистенцию в зависимости от вида конечного продукта. Для вареников и пельменей используется крутое тесто высокой плотности, для приготовления кулинарной продукции дрожжевое тесто, кондитерских изделий – бисквитное тесто, блинов – жидкое тесто. Консистенция теста характеризуется его плотностью ρ . Работа машины зависит и от объёма V теста в бачке, а также от частоты вращения рабочего органа n .

В качестве экспериментальной модели принят натуральный образец тестомесильной машины серии PSP-800 KG-8 итальянского производства фирмы 'Pasquini' производительностью 30 кг/ч с массой замеса 7 кг, установленной мощностью электродвигателя 0,37 кВт и номинальной частотой вращения 1400 об/мин. Рабочий орган совершает планетарное вращательное движение.

Выбор машины обосновывается распространённостью на предприятиях питания малого и среднего бизнеса, а также её технико-экономическими показателями: компактностью, низкой материалоемкостью, достаточной производительностью для данных предприятий, возможностью подключения к сети как 220 В, так и 380 В, хорошим дизайном. Несмотря на перечисленные достоинства, машина обладает недостатком – излучает повышенный уровень шума. Проведенный обзор информации по ШХ тестомесильных машин указал на отсутствие информации о ШХ машины PSP-800 KG-8 [1, 2, 3].

Целью работы является определение ШХ тестомесильной машины в различных режимах работы, а также установление влияния технологических и кинематических факторов на её ШХ.

1. Методические предпосылки

Определение ШХ машины проводилось в соответствии с ГОСТ 51400-99 (ИСО 3743-1(2)-94) «Определение уровней звуковой мощности источников шума по звуковому давлению. Технические методы в реверберационных полях» [4]. Использовалась аттестованная реверберационная камера объёмом в 100 м³, где размещалась тестомесильная машина. Измерялись эквивалентные уровни звукового давления в октавных полосах частот и по характеристике А. В соответствии со стандартом уровни звукового давления (УЗД) пересчитаны в уровни звуковой мощности (УЗМ), которые сравнивались с предельно допустимыми шумовыми характеристиками (ПДШХ) для производственных помещений РФ, залов кафе, ресторанов, столовых и непосредственно прилегающих территорий [5].

Использовалась звукозаписывающая аппаратура: шумомер «Ассистент» РФ с автоматической записью УЗД и передачей информации на ноутбук.

В результате на ПК были записаны осциллограммы в реальном масштабе времени изменения УЗД - L_p , дБ, виброускорения машины на электродвигателе $a_{дв}$, м/с и корпусе машины a_k , м/с. Расходуемая мощность определялась образцовым ваттметром. Отметка времени составила 0,1 с (рис. 1). Тарировка осциллограмм по УЗД

и уровням виброускорения проводилась по прибору «Ассистент». Статистическая обработка результатов измерения проводилась в соответствии с ГОСТ 27408-87 [7] с расчетом величины неопределенности измерения до 1,5 дБ (дБА).

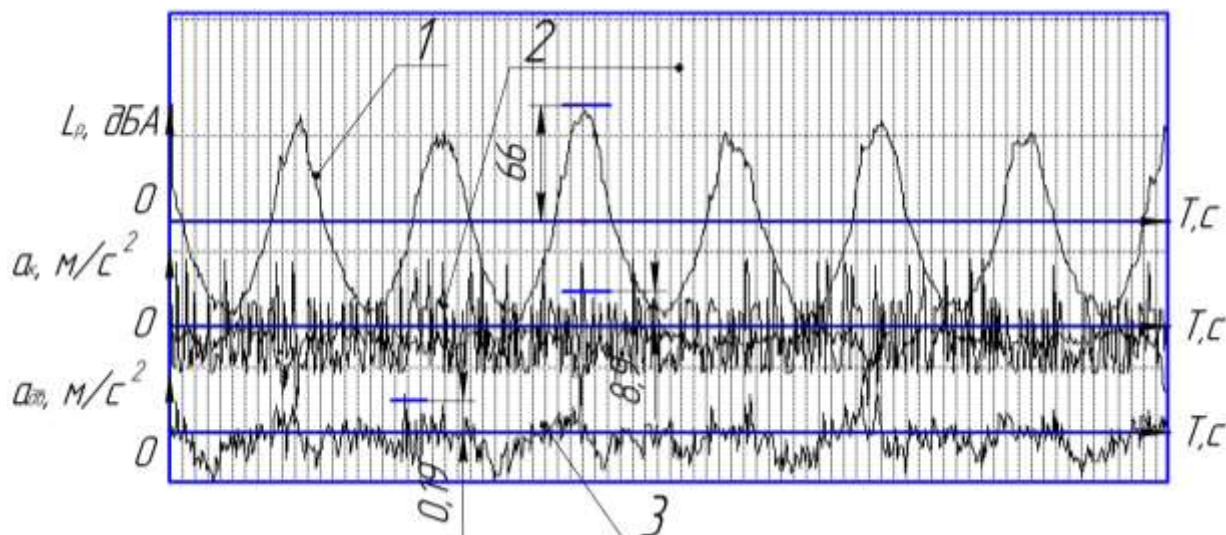


Рис. 1. Осциллограмма записи акустических параметров: 1 - УЗД; 2 - виброускорение корпуса машины; 3 - виброускорение корпуса двигателя

Машина PSP-800 KG-8 исследовалась в режимах работы: без нагрузки (XX), при замесе теста (PX) различной плотности, различного объема теста и частоте вращения рабочего органа, т.е. применён метод планирования эксперимента вида 2^3 по методике Бокса-Уилсона [6].

2. Результаты экспериментальных исследований

Анализ результатов экспериментальных исследований показал следующее: машина излучает постоянный уровень шума, как без нагрузки, так и под нагрузкой.

Излучаемый машиной уровень звуковой мощности при работе на XX составляет 78,1 дБА, при PX – 81,2 дБА. ПДШХ по характеристике А для указанных помещений равна 67,1 дБА. Имеет место превышение ПДШХ при работе без нагрузки - на 11 дБА, а в рабочем режиме – на 14 дБА. В некоторых странах (например, в Украине) установлен максимальный уровень звука для помещений предприятий питания 70 дБА, что соответствует ПДШХ для исследуемой машины - 82,1 дБА, т.е. машина отвечает санитарным нормам. Проведенный спектральный анализ сравнения УЗМ с ПДШХ показал, что в диапазоне частот 63-8000 Гц превышение наблюдается только на частоте 250 Гц на 11 дБ. Это свидетельствует о том, что основным источником шума являются зубчатые передачи в редукторе машины.

Экспериментальные исследования в соответствии с D-оптимальным планом 2^3 проведены при плотностях теста X_1 1170 и 1240 кг/м³, объемах продукта в деже X_2 $2 \cdot 10^{-3}$ и $4 \cdot 10^{-3}$ м³, частоте вращения рабочего органа X_3 8,6 и 10,4 об/мин. Для измерения частоты вращения рабочего органа использовался латер, а контроль фактической частоты вращения осуществлялся тахометром. Использовалась известная матрица планирования из восьми опытов с повторяемостью результатов - 10.

После проверки воспроизводимости процесса, определения коэффициентов регрессии, их значимости и гипотезы об адекватности представления результатов

получили уравнение регрессии зависимости целевой функции - УЗМ от вариации исследуемых переменных факторов в кодированных переменных.

$$Y_L(X_1, X_2, X_3) = 56,4 - 0,76X_1 - 0,25X_2 + 9,4X_3 - 0,68X_1X_2 - 1,78X_1X_3 - 0,03X_2X_3 - 0,26X_1X_2X_3 \quad (1)$$

Факторный анализ полученного уравнения регрессии показал, что наиболее существенное влияние на излучаемый уровень шума L_w оказывает частота вращения рабочего органа, с увеличением которой УЗМ машины возрастает. Остальные факторы ρ и V оказывают незначительное влияние на УЗМ с отрицательным знаком. Парное взаимодействие факторов сказывается незначительно, кроме X_1X_3 – совместного влияния факторов ρ и n .

Перевод кодированных значений уравнения (1) в натуральные значения факторов производился по формулам:

$$X_1 = \frac{\rho - 1205}{70}; \quad X_2 = \frac{V - 3}{2}; \quad X_3 = \frac{n - 9,5}{1,8} \quad (2)$$

Многофакторная модель зависимости УЗМ машины от переменных факторов имеет вид:

$$L_w(\rho, V, n) = -123,83 + 0,108\rho - 6,003V + 18,54n + 0,005\rho V - 0,011\rho n - 0,001\rho Vn, \text{ дБА} \quad (3)$$

Для инженерных расчётов, пренебрегая незначительным влиянием переменных факторов ρ и V , УЗМ тестомесильной машины можно представить в виде:

$$L_w = -123,83 + 18,54n, \text{ дБА} \quad (4)$$

Для определения максимально и минимально возможного уровня УЗМ машины, подставляем в уравнение (3) максимальные и минимальные значения переменных факторов, получаем, что

$$L_w^{\max} = 68,21 \text{ дБА} \text{ и } L_w^{\min} = 51,58 \text{ дБА}$$

Для снижения уровня излучаемого шума машиной PSP-800 KG-8 целесообразно изменить конструкцию редуктора машины с зубчатого на червячный или применить звукоизоляцию для гашения излучаемых низких частот.

Представляет интерес также сопоставление излучаемой звуковой мощности машины и потребляемой мощности исследуемой технологической машины.

Матрица планирования 2^3 и уровни переменных факторов остались без изменения. Целевая функция N изменялась в пределах от 130 Вт до 580 Вт. Многофакторная модель зависимости потребляемой мощности от варьируемых технологических параметров в кодированных переменных приведена ниже.

$$Y_N(X_1, X_2, X_3) = 367,4 + 66,25X_1 + 25X_2 + 147,75X_3 + 25X_1X_2 - 23,7X_1X_3 - 10X_2X_3 - 7,5X_1X_2X_3 \quad (5)$$

Анализ модели (5) показывает, что на потребляемую машиной мощность, как и на УЗД наибольшее влияние оказывает третий фактор, т.е. частота вращения рабочего органа. Парное и тройное взаимодействие факторов влияет незначительно. Как и в любой технологической машине с увеличением частоты вращения рабочего органа возрастает и потребляемая мощность. С увеличением плотности продукта и наполняемости дежи возникает тенденция к возрастанию потребляемой мощности.

Уравнение (5) в натуральных переменных примет вид

$$N(\rho, V, n) = 2330,8 + 2,23\rho - 569,8V - 262,7n - 0,46\rho V + 38,6Vn + 0,27\rho n - 0,03\rho Vn, \text{ Вт} \quad (6)$$

Максимальный расход мощности в планируемом эксперименте составил 417,5 Вт, а минимальный - 259,9 Вт.

Уравнение (6) в натуральных переменных с учетом величины и взаимного влияния переменных факторов можно упростить и использовать в расчетах

$$N = 2330,8 - 262,7n \quad (7)$$

Заключение

Проведенные исследования показали, что машина замеса теста PSP-800 KG-8 не в полной мере удовлетворяет санитарным нормам по шуму для стран СНГ. Превышение составляет 11 дБА без нагрузки и 14 дБА под нагрузкой. Основным источником шума – редуктор. Этот вывод подтверждается и исследованием многофакторных моделей УЗМ и потребляемой мощности, которые показали, что с повышением частоты вращения рабочего органа, а, соответственно, и последней ступени редуктора излучения шума машиной возрастает. В результате исследований получены рабочие уравнения для определения УЗМ по характеристике А и расхода потребляемой мощности. Даны рекомендации по снижению излучаемого шума.

Дальнейшие исследования будут направлены на исследование вибрационных характеристика машины.

Список литературы

1. Заплетников И.Н. Виброакустика оборудования пищевых производств: монография. – Харьков: Изд-во НТМТ, 2015. – 542 с.
2. Заплетников И.Н., Исследование шумовых характеристик планетарного миксера VM-10 / И.Н. Заплетников, А.В. Гордиенко, А.К. Пильненко // Noise Theory and Practice: Электронный научный журнал – СПб: ООО «Институт акустических конструкций», 2016. – Вып. 2. – №4. – 89 с. – С. 17-23.
3. Заплетников И. Н. Шумовые характеристики взбивальной машины для эксплуатации на предприятиях общественного питания / И. Н. Заплетников, А. В. Гордиенко, А. К. Пильненко // «Явления переноса в процессах и аппаратах химических и пищевых производств»: Междун. научно-технич. конф., 16-17 ноября 2016 г.: / редкол. А.Н. Остриков [тезисы докл.] – Воронеж: ФГБОУ ВО «ВГУИТ», 2016. – 624 с. – С. 585-589.
4. ГОСТ Р 51400-99 (ИСО 3743-1-94, 3743-2-94) «Шум машин. Определние уровней звуковой мощности источника шума по звуковому давлению»
5. Иванов Н.И. Инженерная акустика. Теория и практика борьбы с шумом: учебник. – 3-е изд. Переаб. – М.: Лотос, 2013. – 432 с.
6. Адлер Ю.П., Маркова Е.В., Грановский Ю.В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. – М.: Наука, 1976 - 276 с.
7. ГОСТ 27408-87 «Шум. Методы статистической обработки результатов определения и контроля уровня шума, излучаемого машинами»