

Закономерности эволюции шумовых характеристик машин

Иванов Н.И.¹, Заплетников И.Н.^{2*}

¹ Зав. каф. экологии и БЖД, Балтийский государственный технический университет «Вонмех» им. Д. Ф. Устинова, РФ, Санкт-Петербург, ул. 1-я Красноармейская, д. 1

² Зав. каф. оборудования пищевых производств, Донецкий национальный университет экономики и торговли имени Михаила Туган-Барановского, РФ, г. Донецк, ул. Дубравная, д. 54

Аннотация

Представлены закономерности, описывающие эволюцию шумовых характеристик машин в период безотказной эксплуатации на примере оборудования пищевых производств. Обоснована деградация этих характеристик. Предложена методика их прогноза.

Ключевые слова: шумовая характеристика, оборудование, эволюция, прогноз, шумовой отказ.

Patterns of evolution of the noise characteristics of machines

Ivanov N.I.¹, Zapletnikov I.N.².

¹*Professor, Baltic State Technical University «VOENMEH» named after D.F. Ustinov, Saint-Petersburg, Russia*

²*Professor, Donetsk National University of Economics and Trade named after Mikhail Tugan-Baranovsky, Donetsk, Ukraine*

Abstract

Article considers laws, which are describing the evolution of the noise characteristics of the machines during the trouble-free operation on the example of equipment for food production. Authors substantiated the degradation of these characteristics. Authors offered the technique of the forecast.

Key words: *noise characteristics, equipment, evolution, prognosis, noise rejection.*

Важнейшим современным научно-техническим направлением в машиностроении является соблюдение экологических требований, прежде всего по шуму и вибрации.

Шумовые характеристики (далее – ШХ) машин в виде уровней звуковой мощности по характеристике А и в октавных полосах частот ограничиваются национальными и межнациональными стандартами: техническими, санитарно-гигиеническими, строительными и другими нормативно-техническими документами, обеспечивающими выполнение экологических требований по охране окружающей среды.

Итоговый контроль ШХ машин осуществляется при сертификации машиностроительной продукции, после чего машины вводятся в эксплуатацию. В дальнейшем, санитарно-гигиенические службы контролируют лишь уровни шума в производственных и бытовых помещениях, сельском хозяйстве, строительстве, транспорте и др. Периодический или эпизодический контроль за заявленными ШХ машин в процессе их эксплуатации отсутствует.

Экспериментально в производственных условиях, а потом, тщательно, и в лабораторных условиях установлено, что ШХ машин нестабильны, а изменяются даже в период безотказной работы. Излучаемая звуковая мощность машин возрастает и

* E-mail: kb_iak@mail.com (Иванов Н.И.), obladrn@kaf.donnuet.dn.ua (Заплетников И. Н.)

может превысить допустимые нормы. В таком случае наступает «шумовой отказ». Это явление приводит к тому, что «шумовой отказ» может наступить раньше механического или электрического. Машина продолжает эксплуатироваться с нарушением экологических требований. Шумовое воздействие на оператора становится бесконтрольным и не допустимым.

Явление эволюции шумовых характеристик машин в период безотказной эксплуатации не нашло отражения в нормативной и технической литературе за исключением работ авторов [1, 2, 3] и их учеников.

Целью данного исследования является установление закономерностей изменения ШХ машин в период безотказной работы и выбор адекватных прогнозирующих моделей этих процессов.

Явление нестабильности ШХ машин изучалось на технологическом оборудовании пищевых производств. В производственных условиях эксперимент проводился на серийном технологическом оборудовании наиболее распространенных типов: тестомесильной машине ТММ-1М и машине очистки картофеля – МОК 250. Машины работали в типовых условиях эксплуатации.

Контроль ШХ проводился одним и тем же шумомером в течение 115 дней безотказной работы. Измерялся уровень звука и уровни звукового давления в октавных полосах частот, а также внешний шум в производственных помещениях. Временная характеристика шума, излучаемого машинами, постоянная. ШХ измерялись периодически при работе машины без нагрузки, в них закладывалась информация о влиянии реальных эксплуатационных условий на ШХ в период между измерениями и исключалась погрешность в момент измерений, которая возникала бы из-за неравномерной загрузки машины и изменчивости в определенных пределах свойств загружаемого продукта.

Результаты наблюдений за изменением ШХ во времени t обрабатывались на ПК с целью получения моделей скорректированных уровней звуковой мощности L_{PA} и уровней звуковой мощности в октавных полосах частот L_P . Использовался метод динамической регрессии [4] не только для построения моделей, но и для их прогнозирования. Собственно модели и ошибки прогноза оценивались моделями трех видов: МНК (метод наименьших квадратов), СС(1) (скользящего среднего первого порядка) и смешанная модель – авторегрессионная и скользящего среднего АРСС (1, 1) первого порядка. Отбирались модели, дающие наименьшую среднеквадратическую ошибку прогноза σ_n . Оптимальные модели приведены в таблице 1. Временные модели ШХ, как правило, линейные и лишь на средних частотах 500 и 1000 Гц уровни звуковой мощности оборудования изменяются со временем по криволинейной зависимости, представленной полиномом второй степени. Модели включают свободный член и член уравнения, учитывающий влияние временного фактора. Остальные члены уравнения учитывают процесс образования ошибки прогноза U , в формировании которой участвуют случайные независимо и нормально распределенные переменные v с нулевыми средними значениями и общей дисперсией.

Анализ моделей показывает, что скорректированный уровень звуковой мощности МОК-250 имеет тенденцию к увеличению, а у ТММ-1М остается практически стабильным. Тенденция к ухудшению ШХ у последней машины проявляется за более длительный промежуток времени работы. Аналогичная картина наблюдается на низких и средних частотах, однако на средних частотах у МОК-250 следует ожидать более значительного возрастания ШХ. На частотах 2 и 4 кГц у машины МОК-250 уровень звуковой мощности остается без изменений, а у ТММ-1М стремится к возрастанию. Модели ШХ исследуемых машин приведены в таблице 1

Таким образом ШХ стационарного технологического оборудования в процессе безотказной работы от начала эксплуатации стремятся к ухудшению, т.е. возрастанию излучаемой звуковой мощности. Преимущественно это проявляется у более легких машин. Величина изменения ШХ различна у разных машин.

Таблица 1.

Модели шумовых характеристик оборудования

Частота, кГц	Тип модели	МОК-250	σ_n	Тип модели	ТММ-1М	σ_n
A	CC(1)	$L_{pA}=0,0123t+79,399-0,9066v_{-1}+v$;	0,718	ОМНК	$L_{pA}=84,077-0,0058t$	0,36
(0,125) низкая	APCC(1, 1)	$L_p=57,193+0,0471t+U$; $U=0,907U_{-1}$ $U_1=0,9799v_{-1}+v$	0,60	CC(1)	$L_p=73,747+0,00583t-0,902v_{-1}+v$	0,82
(0,5) средняя	CC(1)	$L_p=65,663+0,0185t-0,8957v_{-1}+v$	1,76	CC(1)	$L_p=80,144-0,0217t+0,0027t^2-0,904v_{-1}+v$	0,79
(4) высокая	CC(1)	$L_p=59,0-0,00075t-0,9054v_{-1}+v$	1,69	CC(1)	$L_p=67,45+0,0168t-0,893v_{-1}+v$	0,72

Наиболее четко проявилась тенденция к ухудшению ШХ в период безотказной работы при исследовании их изменения в лабораторных условиях на машине измельчения мяса МИМ-300. Исследованиями С.А. Соколова на специальном стенде по методике ускоренных испытаний производилось нагружение машины в соответствии с ее режимом работы за фиксированные промежутки времени и контролировались изменения ШХ [5]. Эти изменения представлены на рисунках 1-4.

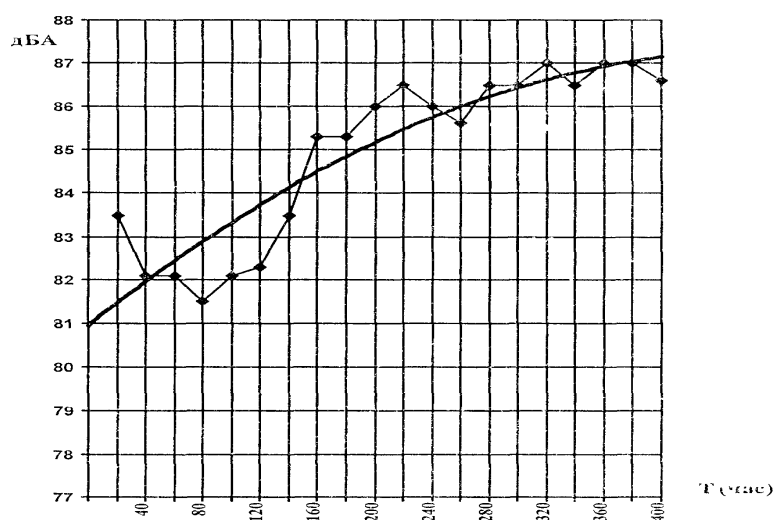


Рис. 1. Динамика значений уровня звука

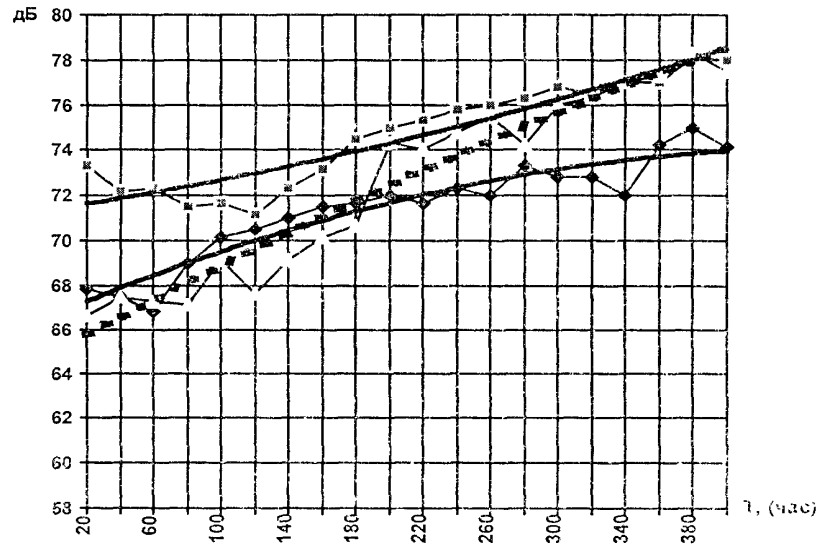


Рис. 2. Динамика уровней звукового давления для низких частот машины МИМ-300

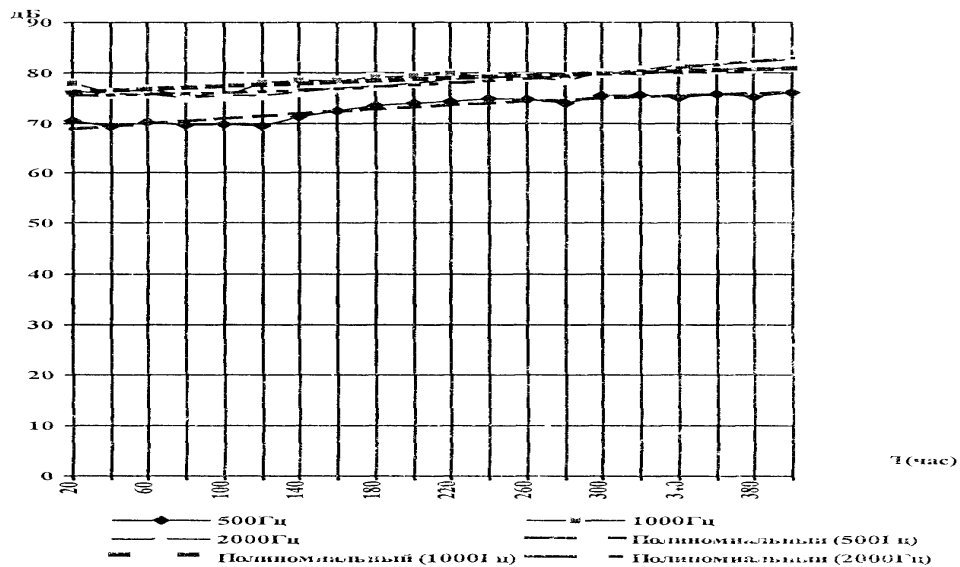


Рис. 3. Динамика уровней звукового давления для средних частот машины МИМ-300

Регрессионные модели изменения ШХ в период безотказной мясорубки МИМ-300 по уровню звука L_A и уровням звукового давления L_i в октавных полосах частот имеют вид

$$\left. \begin{aligned}
 L_A &= 80,398 + 0,5568t - 0,0112t^2 \\
 L_{125} &= 71,411 + 0,22t + 0,0068t^2 \\
 L_{500} &= 68,244 + 0,604t + 0,011t^2 \\
 L_{4000} &= 70,07 + 0,1642t + 0,0075t^2 \\
 L_{8000} &= 68,319 + 0,3866t + 0,0019t^2
 \end{aligned} \right\} (1)$$

Результаты исследований и анализ полученных моделей свидетельствует, что ШХ машины МИМ-300 в период безотказной работы стремятся к возрастанию,

увеличению уровня изучаемой звуковой мощности как по скорректированному уровню, так и в октавных полосах частот. Степень эволюции ШХ различна у разнообразных машин. Она зависит от ряда взаимосвязанных факторов. К основным следует отнести конструктивные, качество изготовления и монтажа, характер и величину нагружения машин, трение, степень изнашивания их во времени, условия эксплуатации и др.

В связи с этим процесс эволюции ШХ машин изучался и моделировался стохастическими методами.

Одним из методов обеспечения надежной работы машин на стадии эксплуатации без возникновения «шумового отказа» является прогнозирование эволюции их ШХ [6].

Задачи прогнозирования в данном случае сводятся к получению оценки будущих значений изменения ШХ во времени на основе анализа уже имеющихся значений изменения ШХ машин. Исходными данными для прогнозирования эволюции ШХ являются уровни звуковой мощности по скорректированному уровню и в октавных полосах частот, определенные экспериментально на исследуемом образце.

Для определения ШХ исследуемого образца (машины очистки картофеля МОК-350) использовался технический метод ИСО 3743-2-94. Измерения проводились в реверберационных полях в помещениях с жесткими стенами с использованием шумомера I класса.

Существуют разные алгоритмы поисков закономерностей в существующих данных, но независимо от используемого метода, необходимо решить два вопроса: что является прогнозируемой величиной и что являются входными данными. В данном случае прогнозируемой величиной являются значения ШХ машины в интервале $[T(n+1), T(n+1)]$, где $T(n)$ – текущий момент времени, а f – интервал прогнозирования [6].

Наибольшую ценность для прогнозирования ШХ представляют адаптивные математические методы и методы статистического моделирования.

Нестационарные временные ряды значений ШХ можно трансформировать в стационарные путем взятия от исходного ряда разности соответствующего порядка d . Тогда к преобразованному ряду можно подобрать одну из рассмотренных ниже моделей.

Введем обобщенный авторегрессионный оператор

$$\varphi(B) = \Phi(B)(1-B)^d \quad (2)$$

где $\Phi(B)$ - стационарный оператор, тогда модель можно записать

$$\varphi(B)Z_t = \Phi(B)(1-B)^d = Q(B)a_t$$

или $\Phi(B)W_t = Q(B)a_t$, где $W_t = {}^d Z_t$ (3)

На практике обычно $d = 0, 1, 2$.

Используем последнюю модель, наиболее общую: интегрированная модель авторегрессии скользящего среднего (АРИСС) порядка (p, d, q) .

Выбор и привязка АРИСС (p, d, q) к исходным ШХ лучше всего достигается с помощью трехстадийной процедуры, которая включает идентификацию, оценку и диагностическую проверку модели. После этого модель используется для прогнозирования.

Под идентификацией следует понимать использование наблюдаемых значений ШХ для определения подкласса экономных (с точки зрения количества параметров) моделей, среди которых находим адекватную исследуемому процессу.

Под оценкой понимается эффективное использование данных ШХ для получения численных значений параметров модели в предположении её адекватности процессу.

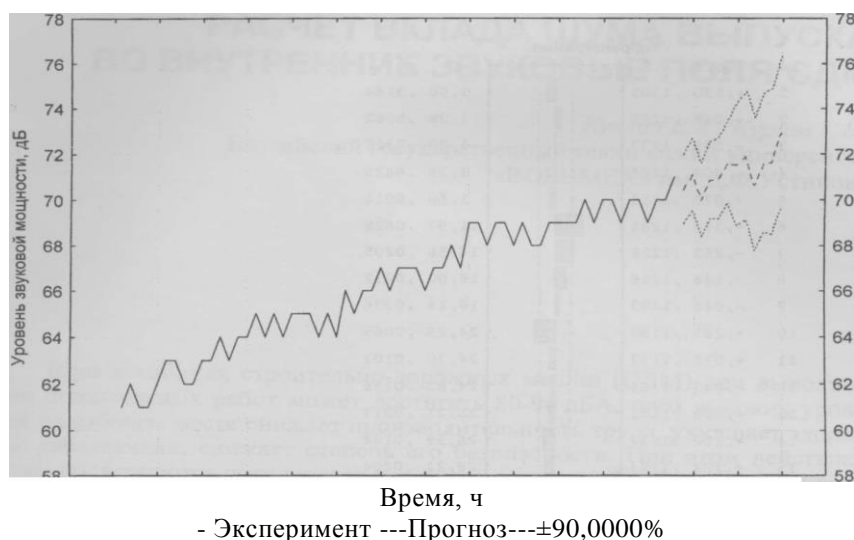


Рис. 4. Прогнозирование эволюции ВАХ на октавной частоте 1000 Гц

Диагностическую проверку адекватности модели исследуемому процессу проводит путем анализа значений автокорреляционных коэффициентов. После выполнения этих процедур модель можно использовать для прогноза.

Программа прогноза методом АРИСС реализована на ПК для прогнозирования эволюции ШХ на примере прогнозирования эволюции ШХ машины очистки картофеля типа МОК-350. Значения изменения ШХ во времени было определено путем проведения ускоренных испытаний. Прогнозирование эволюции ШХ машины МОК-350 методом АРИСС проводилось для октавной частоты 1000 Гц в пакете прикладных программ Statistica с использованием модуля Time Series/Forecasting (TS) – анализ временных рядов/прогнозирование [3].

Эволюция ВАХ прогнозировалась по уровням звуковой мощности на октавной полосе частот 1000 Гц на тринадцать шагов вперед (рис. 4).

Анализ полученных значений прогнозирования указывает на ухудшение ШХ на октавной частоте 1000 Гц через 78 часов работы машины на 8 дБ.

Адекватность полученной модели определяем с помощью коррелограммы.

Коррелограмма показывает численно и графически автокорреляционную функцию, другими словами коэффициенты автокорреляции (Corr) и частную автокорреляционную функцию, точнее ее коэффициенты (S.E.) на 15 шагов прогноза значений ШХ (Lag). На сходимость модели указывают ее параметры Q и P.

Анализ коррелограммы (рис. 5) указывает на довольно высокие значения параметров Q и P и доказывают сходимость прогнозируемых значений ШХ с экспериментальными данными. На основе полученных результатов коррелограмм можно сделать вывод об адекватности прогноза ШХ. Таким образом, полученную модель можно использовать для прогноза.

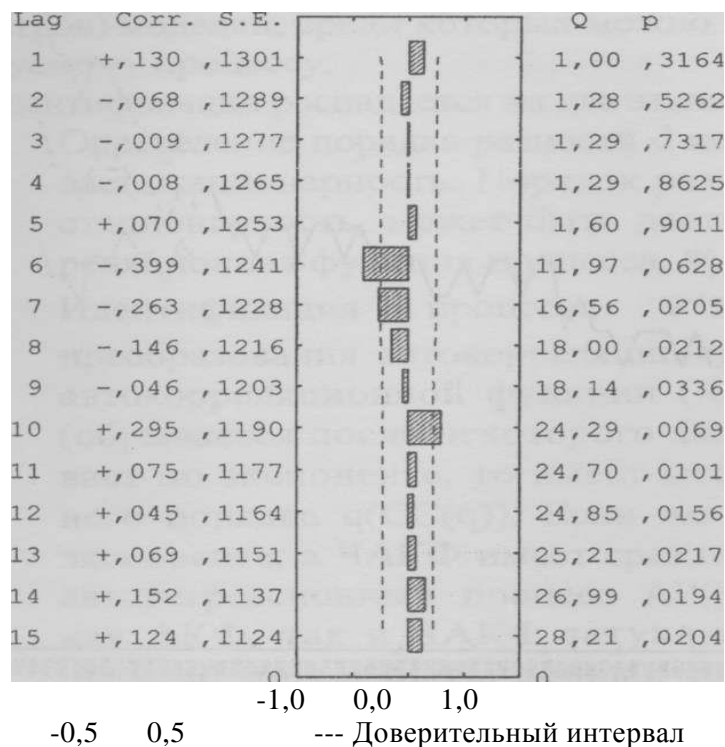


Рис. 5. Коррелограмма прогноза ШХ машины МОК-350

Имея информацию о реальном процессе изменения ШХ машины на этапе эксплуатации можно сделать обоснованный прогноз о времени наступления «шумового отказа» в будущем. Это позволит своевременно предупредить «шумовой отказ», а также управлять состоянием оборудования путем замены его элементов резервными или путем изменения рабочих режимов.

Заключение

1. Впервые научно обосновано и экспериментально подтверждено на примере машин пищевого оборудования явление деградации шумовых характеристик машин в период безотказной работы. Излучаемая звуковая мощность машин возрастает и может превышать допустимые нормы [7].

2. Изложенная методика позволяет установить время наступления «шумового отказа» и нормировать ШХ машин с учетом этого явления.

Список литературы

1. Заплетников И.Н. Моделирование виброакустических процессов технологического оборудования пищевых производств – Донецк: ДонГУЭТ, 2001. – 141с.
2. Zapletnikov I.N. Models of evolution of equipment noise performances// Proc. 6 th International symposium Transport Noise and Vibration 4-6 June. 2002. St. Petersburg, Russia. – 2002. – P. 55 – 62.
3. Иванов Н.И., Заплетников И.Н., Кириченко В.А. Прогнозирование эволюции виброакустических характеристик очистительного оборудования. Новое в теоретической и прикладной акустике: Сборник трудов школы-семинара с международным участием. – БГТУ, СПб., 2007.

-
4. Песаран М., Слейтер Л. Динамическая регрессия: Теория и алгоритмы. – М.: Финансы и статистика, 1984. – 310 с.
 5. Соколов С.А. Некоторые аспекты определения изменчивости шумовых характеристик торгово-технологического оборудования в условиях эксплуатации // Тем. сб. Торговля в условиях перехода к рыночным отношениям, - ДИСТ, - 1991. - с. 187-191
 6. Заплетніков І.М. Прогнозування еволюції віброакустичних характеристик обладнання харчових виробництв: монографія / І.М. Заплетніков, В.О. Кіріченко, Ю.В. Жидков – Донецьк: ДонНУЕТ, 2012. – 144 с.
 7. Иванов Н.И., Заплетников И.Н., Шубин А.А. Закономерность изменения уровня излучаемой звуковой мощности механизмов при их безотказной работе. Диплом № 455 на открытие, РФ, РАЕН, от 25.11.2013г.