

**ДИАГНОСТИКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ ПО
ИНТЕГРАЛЬНЫМ ХАРАКТЕРИСТИКАМ ВИБРАЦИИ И ЗВУКА С
ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ**
Яблоков А.Е.¹, Федоренко Б.Н.², Благовещенский И.Г.³, Ольшанова Е.А.⁴
Email: Yablokov17140@scientifictext.ru

¹Яблоков Александр Евгеньевич - кандидат технических наук, доцент;

²Федоренко Борис Николаевич - доктор технических наук, профессор,
кафедра прикладной механики и инжиниринга технических систем;

³Благовещенский Иван Германович - доктор технических наук, доцент,
кафедра автоматизированных систем управления биотехнологическими процессами;

⁴Ольшанова Елена Александровна - бакалавр,
Московский государственный университет пищевых производств,
г. Москва

Аннотация: в статье рассмотрены метод технического диагностирования состояние машины мукомольного производства - доташера по среднеквадратичным значениям вибрации корпуса и излучаемому звуку. Определены наиболее информативные точки снятие диагностической информации. Для классификации технического состояния использован метод нейросетевого анализа данных. В качестве входных непрерывных переменных использованы значения уровня звука и вибрации в четырех измерительных точках. В качестве входных категориальных переменных использованы текстовые метки технического состояния. Наибольшую производительность показала нейронная сеть с архитектурой многослойного перцептрона MLP5-7-5.

Ключевые слова: техническая диагностика, вибрационная диагностика, нейросетевой анализ данных, диагностика машин зерноперерабатывающих предприятий.

**DIAGNOSTICS OF TECHNOLOGICAL EQUIPMENT ON THE INTEGRAL
CHARACTERISTICS OF VIBRATION AND SOUND USING THE MACHINE
TRAINING METHODS**

Yablokov A.E.¹, Fedorenko B.N.², Blagoveshchensky I.G.³, Olshanova E.A.⁴

¹Yablokov Alexander Evgenievich - PhD in Technical Sciences, Associate Professor;

²Fedorenko Boris Nikolaevich - PhD in Technical Sciences, Professor,
DEPARTMENT OF APPLIED MECHANICS AND ENGINEERING OF TECHNICAL SYSTEMS;

³Blagoveshchensky Ivan Germanovich - PhD in Technical Sciences, Associate Professor,
DEPARTMENT OF AUTOMATED CONTROL SYSTEMS OF BIOTECHNOLOGICAL PROCESSES;

⁴Olshanova Elena Alexandrovna - Bachelor,
MOSCOW STATE UNIVERSITY OF FOOD PRODUCTION,
MOSCOW

Abstract: the article discusses the method of technical diagnostics of the state of the flour-milling machine - the detailer on the mean-square values of the vibration of the body and the radiated sound. Identified the most informative point removal of diagnostic information. For the classification of the technical state used the method of neural network data analysis. As input continuous variables, the values of sound level and vibration at four measuring points were used. As input categorical variables used text labels technical condition. The greatest performance was shown by the neural network with the architecture of the multilayer perceptron MLP 5-7-5.

Keywords: technical diagnostics, vibration diagnostics, neural network data analysis, diagnostics of machines of grain processing enterprises.

УДК 664.71.2. 81.83.20

Методы и средства технического мониторинга и диагностики оборудования широко используются в различных отраслях промышленности для оптимизации технического обслуживания оборудования, повышения эксплуатационной надежности и безопасности на производстве. Зерноперерабатывающие предприятия относятся к категории повышенной пожарной опасности (В2). Любая аварийная ситуация на производстве, связанная с внезапной поломкой оборудования, способна привести к возникновению источника загорания, и как следствие – к пожару или взрыву. С целью снижения вероятности внезапных поломок и аварий необходимо проводить мероприятия по техническому мониторингу и диагностике оборудования.

Согласно определению ГОСТ 20911-89, техническая диагностика есть область знаний, охватывающая теорию, методы и средства определения технического состояния объектов. Текущее техническое

состояние объект контроля определяется на основе значения диагностических признаков измеренных у объекта. В качестве диагностических признаков могут быть использованы различные физические величины, сопровождающие работу объекта. Обзор современных систем диагностирования показал, что наиболее универсальными и информативно-ёмкими диагностическими признаками являются значения вибрации оборудования и излучаемого шума.

Среднеквадратичное значение (СКЗ) является интегральной характеристикой контролируемых величин, и служит для оценки общего технического состояния машины, выявления у нее грубых дефектов. СКЗ виброскорости оценивается в диапазоне частот от 10 до 1000 Гц. Нормы и стандартные методики виброконтроля содержатся в нормативных документах: ГОСТ 13373-1-2009, ГОСТ 13379-2009 и ИСО 2372-74.

Решение задачи классификации технического состояния оборудования может осуществляться различными методами. Наиболее известные из которых - детерминистские методы распознавание образов [1]. К современным методам классификации относится метод искусственных нейронных сетей (ИНС) [2].

В Московском государственном университете пищевых производств (МГУПП) проводятся исследования по разработке методов и средств мониторинга и диагностики оборудования зерноперерабатывающих предприятий. Цель исследований - повышение эксплуатационной надежности и безопасности производства путем совершенствования методов технического мониторинга и диагностики оборудования.

В качестве примера рассмотрим машину мукомольного производства – деташер [3]. Данная машина роторного типа, ударно-истекающего принцип действия, предназначена для измельчения продуктов размола зерна. Исследование показателей надежности машины на производстве показали, что основными дефектами машины являются дисбаланс ротора, дефекты монтажа, выход из строя подшипников качения.

Исследования проведены на экспериментальной установке (рисунок 1) в лаборатории МГУПП методом натурального моделирования различных технических состояний деташера. В качестве измерительной системы использовался прибор СТМ-12Т (1). Прибор позволяет в режиме реального времени измерять СКЗ вибрации и звука [4]. Ротор деташера (2) посредством кулачковой муфты (3) приводится во вращение от электродвигателя (4). Натурные эксперименты проведены при работе машины на холостом ходу при частоте вращения ротора 750 об/мин. Вибрация машины измерялась в четырех различных точках, расположение которых обозначено на рисунке 1. Вибрация в точках: *m.1*, *m.3* и *m.4* измерялась в вертикальном направлении. В *m.2* – в горизонтальном направлении. Датчики устанавливались на поверхность подшипниковых узлов с помощью винтов. Микрофон для измерения уровня звука был установлен на расстоянии 1 метр от машины. Смоделированы следующие технические состояния машины:

Норм – машина в исправном техническом состоянии (все параметры соответствуют нормативно-технической документации);

Дисб.1 – динамический дисбаланс ротора величиной 50 г•см;

Дисб.2 – динамический дисбаланс ротора величиной 100 г•см;

Пер.1 – угловой перекося валов деташера и электродвигателя на величину 0,6 град;

Пер.2 – угловой перекося валов деташера и электродвигателя на величину 1,2 град.

Для каждого технического состояния было проведено по 30 измерений. Результаты измерений в режиме реального времени передавались по беспроводному каналу связи в базу данных (БД). Дальнейший анализ проведен в программе Statistica 10.

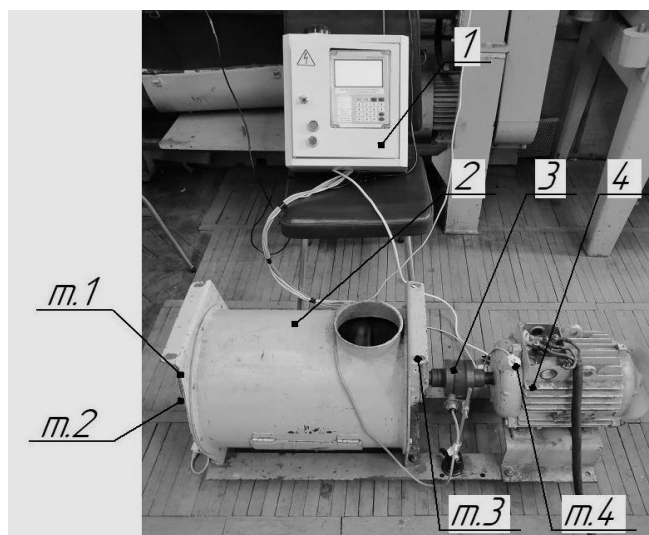


Рис. 1. Общий вид экспериментальной установки: 1 – система технического мониторинга СТМ-12Т; 2 – деташер; 3 – кулачковая муфта; 3 – электродвигатель; m.1, m.2, m.3, m.4 – точки установки датчиков вибрации

Диаграмма размаха СКЗ вибрации для различных точек в зависимости от технического состояния представлена на рисунке 2. Визуальный анализ показал, что значение СКЗ вибрации для различных технических состояний отличаются значимо, и могут служить в качестве диагностических признаков дефектов.

Диаграмма размаха значений СКЗ звука представлена на рисунке 3. Статистический анализ данных показал высокую нестабильность значений уровня звука. Медианы значений имеют незначительные изменения.

Для решения задачи классификации используется технология искусственных нейронных сетей, преимущество которых заключается в возможности решения нелинейных задач классификации. Нейронные сети смоделированы в программе STATISTICA 10. В качестве входных непрерывных величин для построения сетей использованы значения СКЗ вибрации в различных измерительных точках (V_1, V_2, V_3, V_4), а также значения уровня звука (S). В качестве входных категориальных значений использованы текстовые метки технического состояния машины.

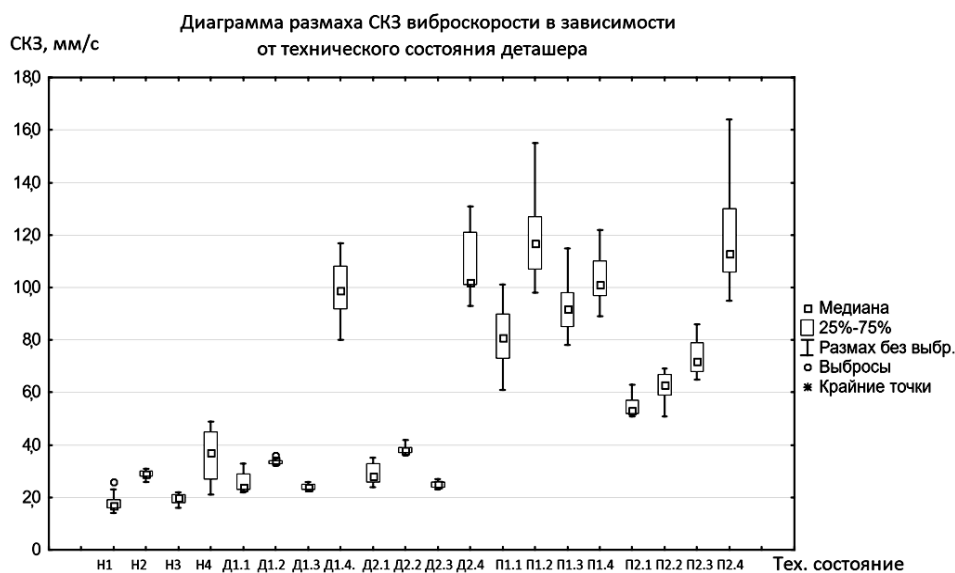


Рис. 2. Диаграмма размаха значений СКЗ виброскорости для различных измерительных точек в зависимости от технического состояния деташера

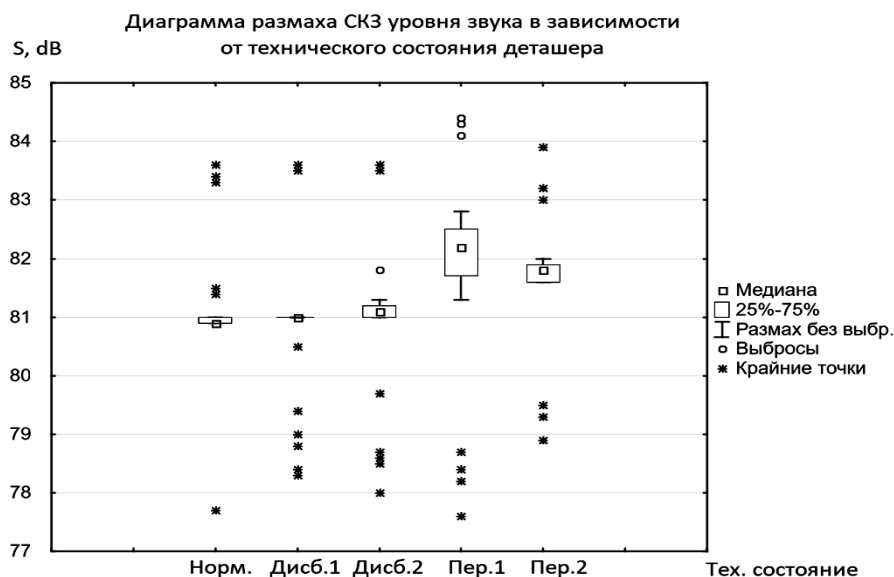


Рис. 3. Диаграмма размаха значений СКЗ уровня звука в зависимости от технического состояния деташера

В результате моделирования было построено 25 нейронных сетей различных архитектур. В таблице 1 представлено 4 ИНС имеющих максимальную производительность. Наибольшую производительность по обучающим и контрольным выборкам показала сеть MLP 5-7-5 с алгоритмом обучения BFGS-40. Эта сеть взята за основу и будет в дальнейшем использована при решении задач технического диагностирования деташера.

Таблица 1. Результаты моделирования ИНС различных архитектур в системе Statistica

Сеть ID	Архитект.	Прозв.	Контр. произв.	Алго-ритм	Функция ошибки	Акт. скрыт. нейр.	Акт. выход. нейр.
1	MLP 5-9-5	89,11	90,48	BFGS16	СЕ	Тождеств.	Софтмакс
2	MLP 5-5-5	88,11	95,24	BFGS29	Сум.кв.	Экспонента	Гиперб.
3	MLP 5-5-5	91,09	95,24	BFGS17	СЕ	Тождеств.	Софтмакс
4	MLP 5-9-5	93,07	95,24	BFGS40	СЕ	Логистич	Софтмакс

В таблице 2 представлены результаты анализа чувствительности диагностических признаков. Наибольшую ценность имеют СКЗ виброскорости (V_2) в точке 2 (рис.1). Наименьшую ценность представляет уровень шума (S), излучаемый машиной.

Таблица 2. Анализ чувствительности диагностических признаков

Сеть	V_2	V_1	V_4	V_3	S
MLP5-7-5	19,974	8,299	3,167	2,494	0,997

В таблице 3 приводятся итоги классификации технического состояния машины на обучающей выборке с использованием выбранной ИНС. Сеть показала вероятность правильной классификации технического состояния более 93%.

Таблица 3. Итоги классификации на обучающей выборке с использованием ИНС MLP 5-7-5

	Дисб. 1	Дисб. 1	Пер. 2	Пер. 1	Норм	Все
Все	17	21	15	21	27	101
Правильно	16	19	14	20	25	94
Неправильно	1	2	1	1	2	7
Правильно, %	94,1	90,5	93,3	95,2	92,6	93,1
Неправильно, %	5,9	9,5	6,7	4,8	7,4	6,9

Выводы:

1. Методы технического диагностирования позволяют снизить вероятность аварий на производстве путем своевременного определения текущего технического состояние оборудования;
2. Исследования показали, что СКЗ виброскорости являются информативными диагностическими признаками, которые можно использовать при определении текущего технического состояния деташера;

3. Для классификации технического состояния могут успешно применяться нейросетевые методы анализа данных;

4. В результате моделирования в программе STATISTICA построена высокопроизводительная ИНС типа MLP 5-7-5, которая будет использована в дальнейшем для классификации технических состояний деташера на производстве.

Список литературы / References

1. *Биргер И.А.* Техническая диагностика. М.: Машиностроение, 1978. 240 с., ил.
2. *Галушкин А.И.* Нейронные сети. Основы теории. М.: Горячая линия – Телеком, 2012, 496 с.
3. Технологическое оборудование и поточные линии предприятий по переработке зерна: учебник / Л.А. Глебов, А.Б. Демский, В.Ф. Веденьев, А.Е. Яблоков; I и III части под ред. Л.А. Глебова, II часть под ред. А.Б. Демского. - М.: ДеЛи принт, 2010. 696 с.
4. *Яблоков А., Федоренко Б., Латышев М.* Технический мониторинг, диагностика и защита оборудования // Комбикорма. 2018. № 6. С. 32-34.
- 5.