

**ПРИМЕНЕНИЕ ЛИНЕЙНОЙ РЕГРЕССИИ ДЛЯ ЦИФРОВОЙ
ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ БИЕНИЯ ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ
ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ РАСХОДОМЕРОВ**

Гаврилин П.А.

ФГАОУ ВО «УрФУ имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»,

Екатеринбург, Россия

gapeal@mail.ru

Аннотация. На основании экспериментальных данных опробовано применение алгоритма линейной регрессии для вычисления расхода жидкости на имеющихся данных о сигналах биения пьезоэлектрических преобразователей ультразвуковых расходомеров. Выполнена предварительная обработка и извлечение признаков из имеющихся данных.

Ключевые слова: ультразвуковые расходомеры, линейная регрессия, обработка сигналов, машинное обучение.

**LINEAR REGRESSION FOR DIGITAL PROCESSING OF RUNOUT
SIGNALS OF PIEZOELECTRIC TRANSDUCERS OF ULTRASONIC
FLOWMETERS**

Gavrilin P.A.

Ural Federal University, Ekaterinburg, Russia

Abstract. Linear regression was tested as signal digital processing for ultrasonic flowmeters. Experimental data consists of flow rate and the runout signals of piezoelectric transducers. Preprocessing and extraction of features from the data has been performed.

Keywords: ultrasonic flowmeters, linear regression, signal processing, machine learning

1. Введение

На рост погрешности ультразвуковых расходомеров существенное влияние оказывает некорректный расчёт поправочного гидравлического коэффициента, который учитывает неравномерность профиля скоростей потока [1]. С учётом затруднительности определения вышеуказанного коэффициента и существенного влияния на него расхода, при котором проводится калибровка прибора, актуальной становится задача разработки алгоритмов цифровой обработки сигналов биения, обеспечивающих повышение точности измерения расходомеров.

При этом с учётом развития вычислительной техники и повышения скорости обработки данных возникли дополнительные возможности использования машинного обучения и нейронных сетей для анализа и обработки сигналов датчиков измерительных приборов [2].

2. Построение модели линейной регрессии

Для целей исследования были использованы результаты экспериментальных исследований ультразвукового времяпролётного расходомера со сложномодулированными сигналами [3]. Выборка, соответствующая одному периоду линейно-частотной модуляции, имеет объем из 512 временных точек со значениями напряжения электрического сигнала для каждого преобразователя. В рассматриваемом датасете 3 915 измерений. Каждой записи двух сигналов соответствует расход жидкости, измеренный эталонным расходомером. Один из сигналов записывался по потоку, второй против потока. Изменение расхода было ступенчатым, так как для измерения необходим ламинарный режим потока жидкости [4]. Всего было 9 режимов, внутри которых расход изменялся незначительно.

Предварительная обработка данных состояла в применении сглаживания с помощью фильтра Савицкого-Голея, извлечения признаков с помощью библиотеки TSFEL, эффективной для временных рядов [5], а также

удаления признаков с сильной корреляцией и с низкой дисперсией (рисунок 1).

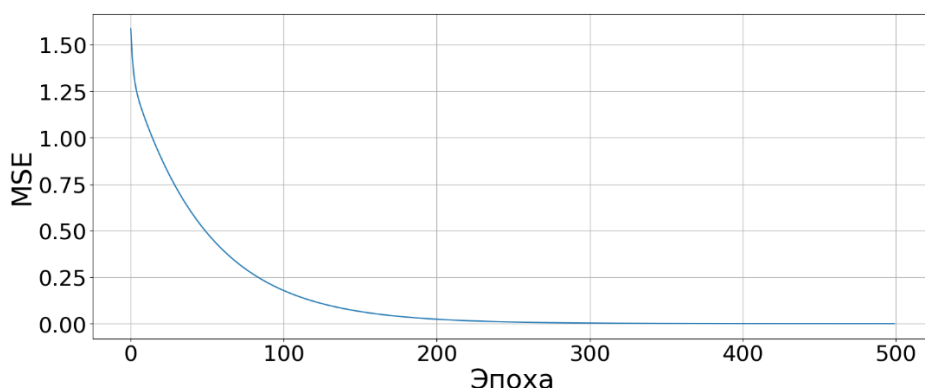


Рисунок 1 – Процесс обучения модели линейной регрессии

Для решения задачи исследования была выбрана линейная регрессия, как наиболее простой и производительный метод машинного обучения. Модель построена с использованием библиотеки Scikit-learn языка Python. В результате подбора гиперпараметров лучшие метрики показала линейная регрессия без применения регуляризации: MSE: 0.00025, RMSE: 0.01597, R2: 0.99951 (рисунок 2).

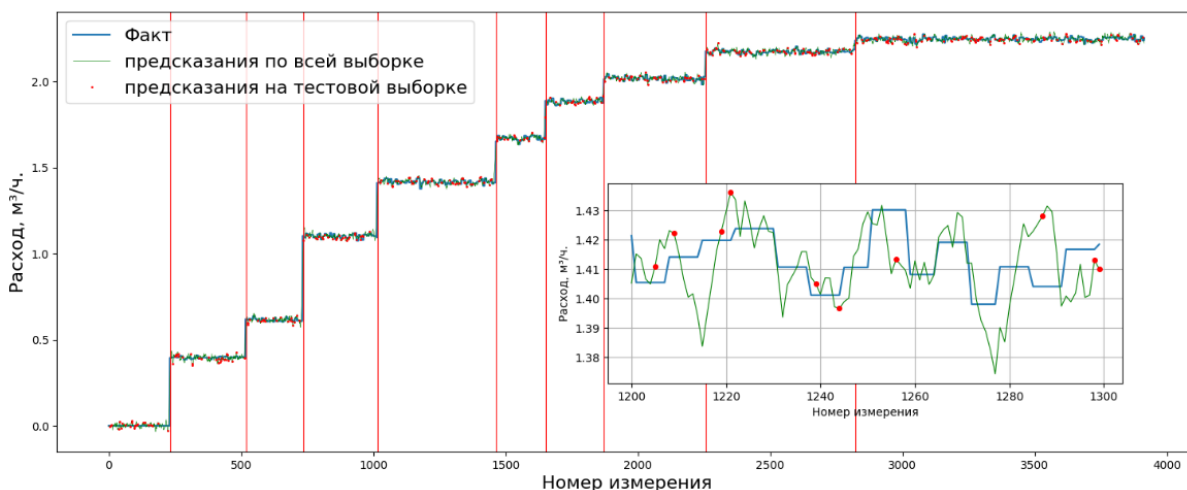


Рисунок 2 – Сравнение расхода, измеренного эталонным расходомером, и рассчитанного с использованием линейной регрессии

Также было проведено моделирование, в котором в тестовую выборку отнесен только один режим с 1015 по 1464 измерение со средним расходом 1,4 м³/с. Метрики значительно ухудшились: MSE: 0.00209, RMSE: 0.04572, но среднее значение расхода по режиму сохранилось (рисунок 3).

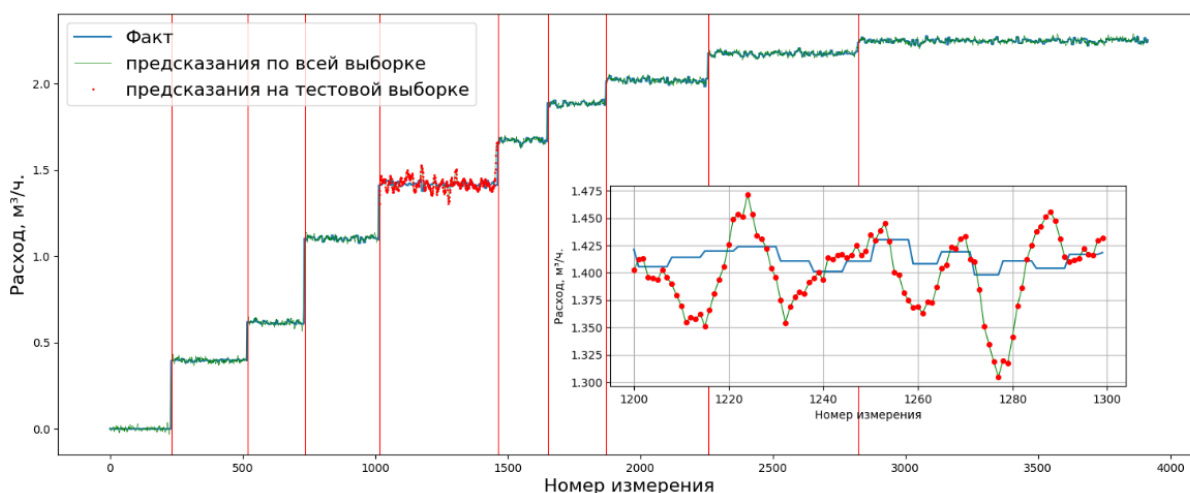


Рисунок 3 – Сравнение расхода, измеренного эталонным расходомером, и рассчитанного с использованием линейной регрессии, для режима, не участвовавшего в обучении модели.

Из рисунков 1 и 2 следует возможность использования предложенной методики для цифровой обработки сигналов биения пьезоэлектрических элементов ультразвуковых расходомеров. Однако отметим, что полученные точности достигаются только для записанных в тренировочной выборке значений расхода. При калибровке ультразвукового расходомера, использующего алгоритмы машинного обучения, необходимо определять минимально необходимый шаг изменения расхода для обеспечения необходимого уровня точности.

3. Заключение

Результаты, полученные при построении модели линейной регрессии, подтверждают применимость использования машинного обучения для цифровой обработки сигналов ультразвуковых расходомеров с точностью по метрикам MSE: 0.00025, RMSE: 0.01597, R2: 0.99951. Результаты могут быть использованы для калибровки показаний существующих расходомеров. В текущем исследовании испытаны только линейные алгоритмы. Дальнейшее исследование поставленной проблемы может быть направлено на расширение инструментария алгоритмов и подходов для работы с ними.

Библиографический список

1. Кремлевский П.П. Расходомеры и счетчики количества вещества. Книга 2. – М.: Политехника, 2004. – 411 с.
2. Кастелан, Б. Более быстрые измерения с использованием ИИ / Б. Кастелан, Р. Альфельд // Control Engineering Russia. – 2023. – № 3. – С.64-65.
3. Ronkin, M. Novel FMCW-interferometry method testing on an ultrasonic clamp-on flowmeter / M. Ronkin, A. Kalmykov, K. Zeyd // IEEE Sensors Journal. – 2020. – Т. 20. – №11. – p. 6029-6037.
4. Kalmykov, A. A FMCW – Interferometry approach for ultrasonic flow meters / A. Kalmykov A., M. Ronkin // 2018 Ural Symposium on Biomedical Engineering, Radioelectronics and Information Technology (USBREIT). – IEEE, 2018. – p. 237-240.
5. Barandas, M. TSFEL: Time Series Feature Extraction Library / Marília Barandas, Duarte Folgado, Letícia Fernandes, Sara Santos, Mariana Abreu, Patrícia Bota, Hui Liu, Tanja Schultz, Hugo Gamboa // SoftwareX. – 2020. - №11. – 100456.