

ПРИМЕНЕНИЕ МОДЕЛИ SARIMAX ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПРОСТОЕВ ОБОРУДОВАНИЯ

Евдокимов В. Г., Ломако А. В.

Кафедра информационных технологий автоматизированных систем,
Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
Минск, Республика Беларусь
E-mail: vigandvdk@gmail.com, lavlot@bsuir.by

Предлагается усовершенствованный алгоритм прогнозирования простоев с динамическим набором экзогенных факторов на основе модифицированной модели SARIMAX, что позволит учитывать специфические условия эксплуатации оборудования и снижать общие затраты на техническое обслуживание. Оценивается эффективность применения модели SARIMAX для прогнозирования простоев промышленного оборудования с учетом внешних факторов и сезонных колебаний.

ВВЕДЕНИЕ

Простои оборудования на промышленных предприятиях могут значительно снижать производственную эффективность и приводить к финансовым убыткам. В условиях информатизации задача прогнозирования простоев становится особенно важной. Традиционные методы, такие как FMEA, FMECA и FMEDA, помогают выявить критические точки в эксплуатации оборудования, но имеют ограничения, так как в основном направлены на анализ уже произошедших событий [1].

Современные методы анализа временных рядов, такие как ARIMA и SARIMA, учитывают временные зависимости и сезонные колебания [2], что делает их полезными для краткосрочного прогнозирования. Однако они не всегда эффективно учитывают внешние факторы, влияющие на работу оборудования

I. АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ МЕТОДОВ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ

Традиционные методы анализа отказов, такие как FMEA, FMECA и FMEDA, направлены на выявление и оценку последствий отказов оборудования. Эти методы хорошо подходят для анализа потенциальных сбоев и их критичности, однако они не предоставляют средств для точного прогнозирования моментов времени возникновения простоев. В условиях научно-технического прогресса и быстрого развития технологий требуется более гибкий подход, который позволит не только анализировать прошлые данные, но и предсказывать будущие события. В ходе исследования были также рассмотрены модели временных рядов, такие как ARIMA и SARIMA, которые широко используются для прогнозирования временных зависимостей. Модель ARIMA учитывает прошлые значения ряда и ошибки прогнозирования, а SARIMA добавляет возможность работы с сезонными компонентами. Была выявлена проблема, заключающаяся в том, что эти модели эффективны только для краткосрочных прогнозов и оказываются недостаточными при необхо-

димости учитывать внешние факторы, такие как изменения в условиях эксплуатации оборудования, организационные факторы и т.д. Для решения этой проблемы предлагается использование модели SARIMAX, расширяющей возможности SARIMA за счет включения экзогенных переменных, способных учитывать влияние внешних факторов на прогноз.

II. МОДЕЛЬ SARIMAX

Модель SARIMAX (Seasonal AutoRegressive Integrated Moving Average with eXogenous variables) представляет собой расширение модели SARIMA и позволяет учитывать внешние переменные, которые могут существенно влиять на динамику временного ряда. Это делает модель SARIMAX полезной в тех случаях, когда нужно прогнозировать простои промышленного оборудования, а на работу могут влиять сезонные колебания, внешние условия эксплуатации и множество иных факторов. Формула модели SARIMAX [3]:

$$Y_t = \mu + \sum_{i=1}^p \phi_i Y_{t-i} + \sum_{j=1}^q \theta_j \epsilon_{t-j} + \sum_{k=1}^m \delta_k X_{t-k} + \epsilon_t,$$

где:

- Y_t – значение прогнозируемой переменной в момент времени t ,
- μ – среднее значение временного ряда,
- ϕ_1, \dots, ϕ_p – коэффициенты авторегрессии (AR),
- $\theta_1, \dots, \theta_q$ – коэффициенты скользящего среднего (MA),
- ϵ_t – случайная ошибка (белый шум),
- X_{t-1}, \dots, X_{t-k} – экзогенные переменные (внешние факторы),
- $\delta_1, \dots, \delta_k$ – коэффициенты экзогенных переменных.

Модель SARIMAX использует как временные зависимости, так и внешние переменные, что позволяет более точно предсказывать простои оборудования. Например, модель может учитывать не только изменения в условиях эксплуатации или внешние факторы, такие как температура, влажность и рабочие нагрузки, но также и

косвенные факторы организационного характера, включая внутреннюю логистику, объем полуфабрикатов, графики поставок или распределение ресурсов. Это делает модель особенно полезной для комплексного и точного прогнозирования простоев в производственных процессах.

III. АЛГОРИТМ НА ОСНОВЕ SARIMAX

Алгоритм прогнозирования простоев оборудования с использованием модели ARIMAX/SARIMAX включает следующие ключевые этапы, как показано на рисунке 1:

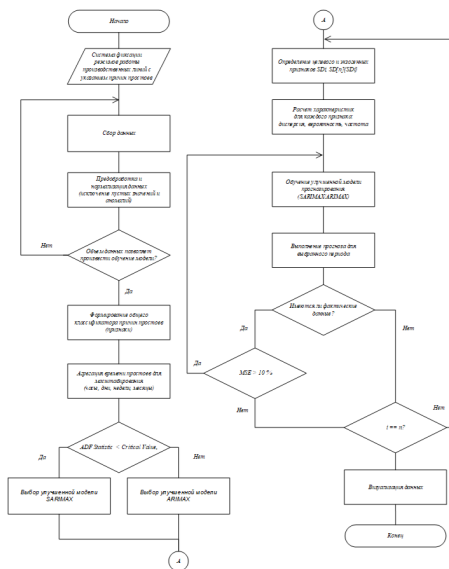


Рис. 1 – Алгоритм прогнозирования на основе ARIMAX/SARIMAX

1. Сбор и обработка данных
2. Формирование классификатора и агрегирование данных
3. Проверка на стационарность ряда
4. Определение целевого и экзогенных признаков
5. Расчет характеристик временных рядов
6. Обучение модели SARIMAX/ARIMAX
7. Прогнозирование
8. Оценка прогнозов

Результаты тестирования показали, что использование модели SARIMAX позволяет более точно прогнозировать простои оборудования по сравнению с традиционными методами, особенно в случаях, когда на работу оборудования влияют внешние факторы. В рамках эксперимента, проведенного на основе эмпирических данных, модель SARIMAX продемонстрировала высокую, достигающую 90%, точность прогнозирования простоев оборудования. Следует заметить, что базовая версия модели в случаях, когда экзогенный признак имеет более сложную нелинейную природу, дает результаты с точностью до 60%, тогда как модифицированная версия, учитывающая частотные и вероятностные характеристики экзогенных признаков, обеспечивает более надёжные и стабильные прогнозы, значительно снижая разброс точности.



Рис. 2 – Сравнительный график результатов прогнозирования

Формула модифицированной модели SARIMAX:

$$Y_t = \mu + \sum_{i=1}^p \phi_i Y_{t-i} + \sum_{j=1}^q \theta_j \epsilon_{t-j} + \sum_{k=1}^m \delta_k (X_{t-k} \cdot \sigma_n \cdot p_{t,n} \cdot f_{t,n}) \cdot I(\sigma_n, p_{t,n}, f_{t,n}) + \epsilon_t$$

где:

- σ_n – дисперсия признака n ,
- $p_{t,n}$ – вероятность признака n ,
- $f_{t,n}$ – частота признака n ,
- I – интеграл характеристик признака n .

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработанный алгоритм прогнозирования простоев оборудования, основанный на модифицированной модели SARIMAX, имеет высокий показатель эффективности. Однако требуется дальнейшая углубленная проверка алгоритма, поскольку достигнутая в эксперименте точность является нетипично высокой. Необходимо дополнительное тестирование и валидация модели для подтверждения ее устойчивости и обоснования общей применимости. Кроме того, для случаев, когда причины простоев или другие экзогенные факторы заранее неизвестны, целесообразно рассмотреть использование нейросетевых моделей для автоматического выявления и группировки данных, что позволит сформировать перечень экзогенных признаков.

IV. СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Евдокимов, В. Г. Факторы совершенствования алгоритмов прогнозирования простоев оборудования / В. Г. Евдокимов // Информационные технологии и управление : материалы 59-ой научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов, Минск, 17–21 апреля 2023 года. – БГУИР. – Минск, 2023. – № 59. – С. 24–25.
2. Евдокимов, В. Г. Анализ влияния сезонности на простои промышленного оборудования / В. Г. Евдокимов // Информационные технологии и управление : материалы 60-ой научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов, Минск, 22–26 апреля 2024 года. – БГУИР. – Минск, 2023. – № 60. – С. 22–23.
3. Box, G. E. P., Jenkins, G. M., Reinsel, G. C., Ljung, G. M. Time Series Analysis: Forecasting and Control // Wiley Series in Probability and Statistics. – John Wiley and Sons, 2015. – 5th ed. – 712 p.