

Министерство образования Республики Беларусь
Учреждение образования
Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники

УДК 004.421:658.274

Евдокимов
Виталий Геннадьевич

АЛГОРИТМЫ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПРОСТОЕВ ОБОРУДОВАНИЯ

АВТОРЕФЕРАТ

на соискание степени магистра
по специальности 1 - 40 80 02
«Системный анализ, управление и обработка информации»

Научный руководитель

Ломако Александр Викторович,
кандидат технических наук,
доцент

Минск 2024

Нормоконтроль

Ломако Александр Викторович

КРАТКОЕ ВВЕДЕНИЕ

В современном мире, где промышленные предприятия стремятся к максимальной эффективности и рентабельности, проблема простоев оборудования становится все более актуальной. Незапланированные остановки производственных линий и машин могут привести к значительным финансовым потерям, срывам сроков поставок и снижению конкурентоспособности компании. Именно поэтому прогнозирование простоев оборудования является критически важной задачей для любого предприятия, стремящегося оптимизировать свои производственные процессы и минимизировать издержки.

Однако, несмотря на значительные достижения в области прогнозирования простоев оборудования, многие предприятия по-прежнему сталкиваются с рядом проблем и вызовов. Одной из главных сложностей является интеграция новых технологий в существующие производственные процессы и инфраструктуру. Кроме того, внедрение систем прогнозирования требует значительных инвестиций в оборудование, программное обеспечение и обучение персонала. По этим причинам подобные системы зачастую внедряются частично, что, в свою очередь, приводит к отсутствию прямой связи между составляющими элементами этих систем и значительному снижению их эффективности.

Еще одним не менее важным аспектом является и качество собираемых данных, которые должны быть достоверными, полными и актуальными для обеспечения точности прогнозов. Сбор, очистка и предобработка этих данных могут быть трудоемкими и затратными по времени. Кроме того, алгоритмы прогнозирования требуют тщательной настройки гиперпараметров и выбора подходящей архитектуры модели, что требует глубокого понимания предметной области и опыта работы с данными алгоритмами. Не менее важной проблемой является интерпретируемость результатов прогнозирования, особенно в случае использования сложных моделей глубокого обучения, что может затруднять принятие решений на основе полученных прогнозов.

Для прогнозирования простоев оборудования часто используются такие методы, как ARIMA (Авторегрессионная интегрированная модель скользящего среднего) и SARIMA (Сезонная ARIMA). Эти модели способны учитывать временные зависимости и сезонность в данных, что делает их подходящими для прогнозирования временных рядов. Однако при использовании ARIMA и SARIMA могут возникнуть трудности, связанные с подбором оптимальных параметров модели и необходимостью в длинных исторических данных для получения точных прогнозов. Кроме того, эти

модели предполагают линейность и стационарность временного ряда, что не всегда соответствует реальным данным о простоях оборудования, которые могут иметь нелинейный характер и содержать тренды и выбросы.

Актуальность проводимого исследования по разработке универсального алгоритма прогнозирования простоев оборудования обусловлена стремительными изменениями в глобальной экономике и ускоряющимися темпами цифровой трансформации промышленности. В условиях жесткой конкуренции и постоянного давления на сокращение издержек, способность предприятий предотвращать незапланированные остановки производства становится критически важным фактором успеха.

Несмотря на значительные достижения в области автоматизации и внедрения современных систем мониторинга, проблема простоев оборудования по-прежнему остается одной из самых острых для промышленных предприятий во всем мире. Каждая минута простоя может обернуться существенными финансовыми потерями, снижением производительности и срывом сроков поставок, что негативно сказывается на конкурентоспособности компаний.

ПЕРЕЧЕНЬ УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ И СОКРАЩЕНИЙ

ARIMA – *Autoregressive Integrated Moving Average* (авторегрессионная интегрированная скользящая средняя)

DSS – *Decision Support System* (система поддержки принятия решений)

EAM – *Enterprise Asset Management* (управление производственными фондами)

EM – *Equipment Maintenance* (обслуживание оборудования)

ERP – *Enterprise Resource Planning* (планирование ресурсов предприятия)

ETS – *Exponential Smoothing* (модели экспоненциального сглаживания)

FMEA – *Failure Mode and Effects Analysis* (анализ видов и последствий потенциальных отказов)

FMECA – *Failure Mode, Effects, and Criticality Analysis* (анализ видов, последствий и критичности отказов)

FMEDA – *Failure Modes, Effects, and Diagnostic Analysis* (анализ видов, последствий и диагностирования отказов)

GPU – *Graphics Processing Unit* (графический процессор)

MAPE – *Mean Absolute Percentage Error* (средняя абсолютная ошибка)

MES – *Manufacturing Execution System* (система управления производственными процессами)

MSE – *Mean Squared Error* (среднеквадратическая ошибка)

OLAP – *Online Analytical Processing* (оперативная аналитическая обработка данных)

PM – *Plant Maintenance* (техническое обслуживание производственных мощностей)

SAP - *Systems Applications and Products in Data Processing* (системы, приложения и продукты для обработки данных)

SARIMA – *Seasonal Autoregressive Integrated Moving Average* (сезонная авторегрессионная интегрированная скользящая средняя)

ИИ – искусственный интеллект

ЛПР – лицо, принимающее решение

СПР – системы принятия решений

СППР – системы поддержки принятия решений

СХД – системы хранения данных

ТОиР – техническое обслуживание и ремонт

ЭС – экспертные системы

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность исследования

Незапланированные остановки производственных линий и машин могут привести к значительным финансовым потерям, срывам сроков поставок и снижению конкурентоспособности компании. В связи с этим прогнозирование простоев оборудования является критически важной задачей для любого предприятия, стремящегося оптимизировать свои производственные процессы и минимизировать издержки. Соответственно, очевидна актуальность разработки адекватных алгоритмов прогнозирования простоев промышленного оборудования

Цель исследования

Целью данного исследования явилось изучение закономерностей возникновения простоев оборудования с целью выявления возможности алгоритмизации прогнозирования производственных циклов и их реорганизации для снижения длительности совокупных простоев и уменьшения их влияния на рабочий процесс.

Задачи исследования

1. Анализ состояния исследований по теме прогнозирования простоев оборудования.
2. Сравнительный анализ актуальных алгоритмов, применяемых при прогнозировании простоев оборудования.
3. Выявление явных и косвенных закономерностей и взаимосвязей между различными причинами возникновения простоев оборудования.
4. Оценка возможности разработки универсального алгоритма с динамическим набором параметров для прогнозирования простоев оборудования.
5. Обоснование на практике работоспособности и эффективности предложенного алгоритма.

Область исследования

Информационные технологии и алгоритмы в системах прогнозирования возникновения простоев оборудования на производственных объектах.

Содержание диссертации соответствует образовательному стандарту высшего образования второй ступени (магистратуры) ОСВО 1-40 80 02-2020 специальности 1-40 80 02 «Системный анализ, управление и обработка информации».

Теоретическая и методологическая основа исследования

В основу диссертации легли работы отечественных и зарубежных исследователей в области прогнозирования простоев промышленного оборудования, а также технические нормативные правовые акты по тематике диссертационной работы.

Информационная база исследования сформирована на основе технической литературы, открытой информации, технических нормативно-правовых актов, сведений из электронных ресурсов, а также материалов научных конференций и семинаров.

Новизна полученных результатов

Научная новизна результатов работы заключается в следующих положениях:

- определены недостатки существующих алгоритмов прогнозирования простоев промышленного оборудования;
- выявлены явные и косвенные закономерности между причинами возникновения простоев;
- показана и реализована возможность разработки универсального алгоритма прогнозирования простоев промышленного оборудования на основе модели *SARIMAX*.

Личный вклад соискателя

Соискателем выполнены все описанные в диссертации разработки и исследования. Постановка задач и обсуждение результатов проводились совместно с научным руководителем и сотрудниками кафедры информационных технологий автоматизированных систем Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники. Обработка и интерпретация данных, а также выводы сделаны автором самостоятельно.

Опубликованность результатов диссертации

Изложенные в диссертации основные положения и выводы опубликованы в сборнике материалов 59-й научно-технической конференции аспирантов, магистрантов и студентов УО «БГУИР» в 2023 году. Общий объём публикации по теме диссертации составляет 2 страницы.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении тезисно представлены следующие положения:

1 Проблема прогнозирования простоев оборудования является актуальной и сложной. Имеется специфика области, связанная с наличием множества факторов, влияющих на производственные процессы, которые, в свою очередь, могут косвенно послужить причиной возникновения длительных простоев или привести к увеличению длительности запланированных простоев;

2 Существуют и требуют решения проблемы, связанные с внедрением систем прогнозирования простоев;

3 Назрела необходимость разработки универсального алгоритма прогнозирования простоев, способного выполнять прогноз с учетом динамического набора факторов.

В общей характеристике работы представлены объект и предмет исследования, сформулированы главные цели и задачи работы, отражены методы исследования, представлены положения, выносимые на защиту, приведены сведения об апробации результатов исследования и их публикации, также отражена структура и объем диссертации.

В первой главе приведены результаты обзора существующих решений, выполнена оценка степени интеграции систем учета простоев и дана оценка их эффективности.

Во второй главе рассмотрены актуальные методы и алгоритмы, применяемые при прогнозировании простоев оборудования. Выполнен сравнительный анализ их эффективности.

Третья глава посвящена описанию деталей процесса исследования: описаны исходные данные, произведена оценка прямого и косвенного влияния ряда признаков друг на друга, выполнена оценка влияния сезонности на характер простоев, приведены результаты экспериментов для некоторых признаков простоев. Также в этой главе представлена усовершенствованная модель прогнозирования *SARIMAX*, учитывающая в качестве дополнительных параметров дополнительные характеристики экзогенных признаков. Дана оценка эффективности модели и предложен усовершенствованный алгоритм прогнозирования.

В приложениях представлены дополнительные материалы, уточняющие и дополняющие некоторые положения основной части работы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной магистерской диссертации исследованы проблемы прогнозирования простоев и построения систем принятия решений, основывающихся на подобных прогнозах.

Главной целью исследования было выявление закономерностей возникновения простоев оборудования с целью оценки возможности прогнозирования производственных циклов и их реорганизации для снижения длительности совокупных простоев и их влияния на рабочий процесс.

В процессе выполнения поставленной задачи было установлено, что большая часть причин простоев связаны между собой прямо или косвенно и оказывают влияние друг на друга.

Как показали эксперименты, проведенные на достаточно большой и детализированной выборке эмпирических данных, несмотря на то, что степень влияния каждого отдельного фактора друг на друга может колебаться в разной степени, совокупное влияние оказывается значительным.

Это позволило усовершенствовать и без того мощную модель прогнозирования *SARIMAX*, которая стала способной более точно учитывать влияние экзогенных параметров на целевой признак.

В ходе исследования для достижения поставленных целей были решены следующие задачи:

- сбор данных о простоях оборудования за период одного года с шагом в 1 минуту;
- классификация причин простоев и их агрегирование по дням;
- анализ взаимосвязей между выявленными простоями;
- расчет характеристик экзогенных признаков, а именно: вероятности возникновения, частоты возникновения и дисперсии;
- формирование списка экзогенных параметров и их использование в моделях *SARIMAX*;
- усовершенствование модели *SARIMAX*;
- оценка точности моделей на основе среднеквадратичной ошибки (*MSE*).

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ АВТОРА

[1–А.] 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. – С. 24-25.