# Диагностика многоприводных ленточных конвейеров

Анализ работы угледобывающих предприятий, как в России, так и за рубежом, показывает увеличение доли угледобычи подземным способом с преобладанием длинных очистных забоев над камерно-столбовыми системами разработки.

**В Кузбассе эта тенденция выражается в применении новой технологии разработки полезных ископаемых «шахта-лава»:**

* Шахта «Южная».
* Шахта «Котинская».

Применение данной технологии обусловлено непрерывным совершенствованием очистных механизированных комплексов.

## Применение методологии Model Based Fault Detection для мониторинга и диагностики

Актуальный уровень энерговооруженности современного очистного забоя находится около отметки 2 МВт, при этом суточная производительность забоя достигает 10000 тонн.

Для работы забоя с такой производительностью необходима мощная транспортная система. Наиболее обоснованным решением этой задачи является применение **многоприводных ленточных конвейеров (МШС)**.

**Использование МШС позволяет:**

* Избежать перегрузки породы.
* Увеличить удельную массу ленты.
* Увеличить размеры приводных станций.
* Отпадает необходимость в подземных камерах большого размера, которые необходимы для размещения перегрузочного комплекса.

**Однако внедрение МШС связано с целым рядом технических проблем, таких как:**

* Обеспечение требуемого уровня надежности конвейерной установки.
* Необходимость обеспечения оптимального распределения нагрузки между приводными станциями и других факторов.

Увеличение длины конвейеров приводит к росту затрат на обслуживание и ремонт.

**Уменьшить эти затраты можно благодаря использованию следующих средств:**

* Диагностики системы.
* Мониторинга системы.

Одним из перспективных направлений в данной области является использование методов диагностики на основе моделей **Model Based Fault Detection (MBFD)**.

На основании данного метода анализируется поведение исправной системы моделируется на основе измеренных данных, а вывод о неисправности делается из несоответствия между моделируемыми и реально протекающими процессами. Данный метод описан в работе [1].

Распространены также подходы, в которых сравниваются как величины, доступные для прямого измерения, так и величины, требующие предварительного оценивания параметров объекта, или переменных состояния. Данный подход описан в работе [2].

**На рисунке 1 представлена структурная схема данного решения:**



Рисунок 1 – Диагностика на основе модели

**где**

* U- вектор входных величин.
* Y - вектор выходных величин.
* Р̂ - вектор оценок параметров.
* X̂ - вектор оценок переменных состояния.
* r - вектор расхождения измеряемых параметров.

Ключевым элементом метода MBFD является модель объекта или процесса, подвергающегося диагностике с последующим определением измеряемых наблюдаемых переменных состояния.

Шахтный ленточный конвейер представляет собой сложную электромеханическую систему, находящуюся под воздействием разнообразных технологических факторов.

**Основными факторами, определяющими его специфику, являются:**

* Фрикционное взаимодействие приводной станции с тяговым органом.
* Присутствует неравномерное распределение сил сопротивления вдоль става.
* Наличие большого количества распределённых вращающихся элементов в системе.
* Присутствуют существенные упругие деформации ленты в нестационарных режимах.

**Достаточно полно учесть данные факторы позволяет модель, полученная на основе дискретной схемы замещения ленточного конвейера рисунок 2:**



Рисунок 2 – Расчетная схема ленточного конвейера

Представленная расчётная схема дополняется соответствующими подсистемами.

**Механическая подсистема, состоящая из:**

* Муфты.
* Редукторы.

**Электрическая подсистема, состоящая из:**

* Электродвигателей.
* Преобразователей энергии.

## Получение и адаптация модели для анализа работы ленточных конвейеров

Уравнения для 7-го элемента ленты получается на основе общей схемы Лагранжа.

**При этом учитываются механические свойства ленты и потери энергии при движении ее по роликоопорам:**



Для дальнейшей работы с моделью удобно привести механические координаты электродвигателя к приводным барабанам, и считать при этом, что валы и шестерни имеют бесконечную жесткость и не имеют зазоров.

**На основании данных допущений, тогда уравнения движения приводной станции примет вид:**



Общая размерность дискретной модели определяется на основании сравнения результатов моделирования с процессами в реальном конвейере.

**На рисунке 3 представлены результаты пуска конвейера, полученные на модели, состоящей из 20 дискретных элементов:**



Рисунок 3 – Результаты моделирования пуска МЛК

**где**

* 1 - линейная скорость элементов ленты.
* 2 - угловая скорость приводных барабанов.
* 3 - угловая скорость натяжного барабана.

**На рисунке 4 представлены результаты пуска конвейера с фиксированием трендов по моментам:**



Рисунок 4 - Результаты моделирования пуска МЛК

**где**

* М1 - электромагнитный момент головного двигателя.
* М2 - электромагнитный момент промежуточного двигателя.

Для использования представленной модели конвейера в схеме диагностики MBFD целесообразно в дополнении к измерению электрических и механических переменных на приводных станциях.

**Электрические переменные системы:**

* Сила тока.
* Напряжение.
* Частота вращения приводных электродвигателей.

**Механические переменные системы:**

* Натяжения грузовой ветви конвейера.
* Распределение массы породы по длине конвейера.
* Скорости движения отдельных участков ленты конвейера.

**Решение этой задачи возможно с помощью распределенной измерительной системы, включающей в себя:**

* Датчики.
* Измерительные преобразователи, подключаемые к измерительным модулям.
* Управляющий компьютер с подсистемой динамической идентификации и анализа.
* Промышленная сеть на основе Industrial Ethernet, объединяющую компоненты системы.

## Список литературы

1. С. Angeli, On-Line Fault Detection Techniques for Technical Systems: A Survey // International Journal of Computer Science & Applications Vol 1, №1, pp. 12 - 30.
2. R. Isermann, Trends in the application of model based fault detection and diagnosis of technical processes / Control Engineering Practice Vol. 5, №5, pp 709 - 719.
3. [Система мониторинга динамического состояния электроприводов карьерных экскаваторов.](https://gekoms.org/2021/05/27/sistema-monitoringa-dinamicheskogo-sostojanija-jelektroprivodov-karernyh-jekskavatorov/)
4. [К вопросу формирования математической модели для исследования эффективности способов управления пуском горных и транспортных машин.](https://gekoms.org/2021/07/15/k-voprosu-formirovanija-matematicheskoj-modeli-dlja-issledovanija-jeffektivnosti-sposobov-upravlenija-puskom-gornyh-i-transportnyh-mashin/)
5. [Компьютерная система управления конвейерной линией.](https://gekoms.org/2015/01/07/kompjuternaja-sistema-upravlenija-konvejernoj-liniej/)

Источник: Диагностика многоприводных ленточных конвейеров / В.Г. Каширских, А.В. Нестеровский, А.П. Носков // Вестник КузГТУ. - 2012. - №4. - C. 141-143.