

Рис. 2. Структура измерительного модуля

□ Авторы статьи:

Каширских
Вениамин Георгиевич,
докт. техн. наук, профессор,
декан горно-электромеханического
факультета КузГТУ,
email: kvg@kuzstu.ru

Нестеровский
Александр Владимирович,
канд. техн. наук, доцент
каф. электропривода и автоматиза-
ции КузГТУ,
email: nsky@tut.by

Носков
Алексей Петрович,
старший преподаватель
каф. электропривода и автоматиза-
ции КузГТУ,
email: nap.eav@kuzstu.ru

УДК 621.313.333:045.028

В.Г. Каширских, А.В. Нестеровский, А.П. Носков

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» (ш. «Южная», ш. «Котинская»). Применение данной технологии обусловлено непрерывным совершенствованием очистных механизированных комплексов. 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 (МЛК).

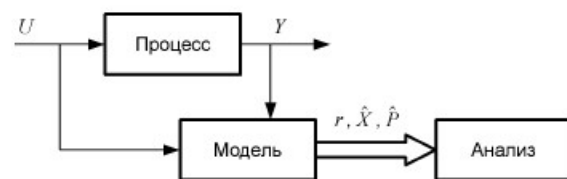


Рис. 1. Диагностика на основе модели

Использование МЛК позволяет избежать перегрузки породы, увеличения удельной массы ленты, размеров приводных станций. Кроме того, отпадает необходимость в подземных камерах большого размера, которые необходимы для размещения перегрузочного комплекса. Однако внедрение МЛК связано с целым рядом технических проблем, таких как необходимость обеспечения оптимального распределения нагрузки между приводными станциями, обеспечение требуемого уровня надежности конвейерной установки и др.

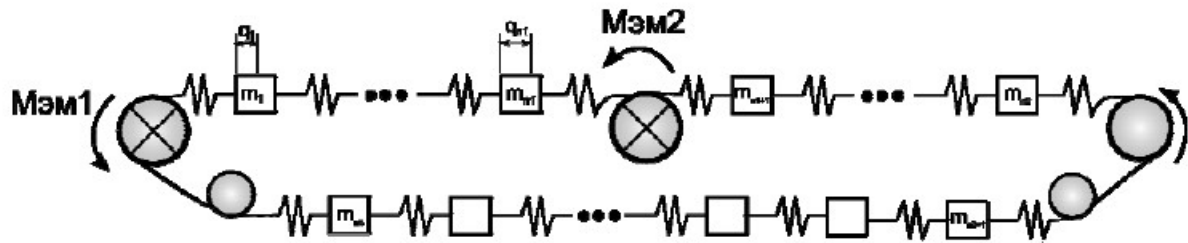


Рис. 2. Расчетная схема ленточного конвейера

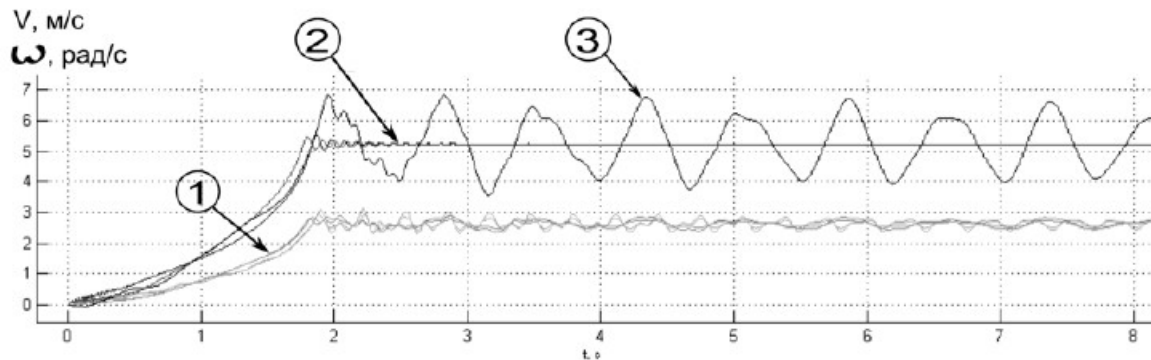


Рис. 3. Результаты моделирования пуска МЛК: 1 – линейная скорость элементов ленты; 2 – угловая скорость приводных барабанов; 3 – угловая скорость натяжного барабана

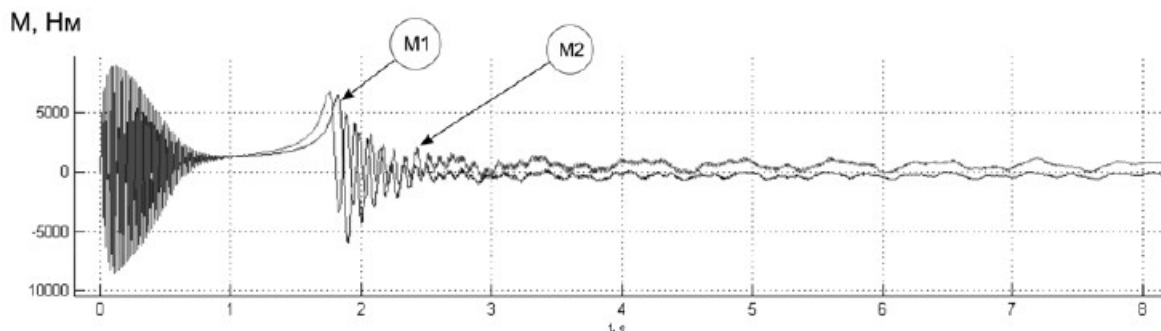


Рис. 4. Результаты моделирования пуска МЛК: M1 – электромагнитный момент головного двигателя; M2 – электромагнитный момент промежуточного двигателя

Увеличение длины конвейеров приводит к росту затрат на обслуживание и ремонт. Уменьшить эти затраты можно благодаря использованию средств мониторинга и диагностики. Одним из перспективных направлений в данной области является использование методов диагностики на основе моделей (Model Based Fault Detection – MBFD), в которых поведение исправной системы моделируется на основе измеренных данных, а вывод о неисправности делается из несоответствия между моделируемыми и реально протекающими процессами [1]. Распространены также подходы, в которых сравниваются как величины, доступные для прямого измерения, так и величины, требующие предварительного оценивания параметров объекта, или переменных состояния [2].

На рис. 1 представлена структурная схема, где U – вектор входных величин, Y – вектор выходных

величин, r – вектор расхождения измеряемых параметров, \hat{X} – вектор оценок переменных состояния, \hat{P} – вектор оценок параметров. Ключевым элементом метода MBFD является модель объекта или процесса, подвергающегося диагностике с последующим определением измеряемых и 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; существенные упругие деформации ленты в нестационарных режимах; неравномерное распределение сил сопротивления вдоль става; большое количество распределённых

вращающихся элементов. Достаточно полно учесть данные факторы позволяет модель, полученная на основе дискретной схемы замещения ленточного конвейера (рис. 2). Представленная здесь расчётная схема дополняется уравнениями механической подсистемы (редукторы, муфты) и электрической подсистемы (преобразователи энергии, электродвигатели).

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

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

$$m_i \ddot{q}_i = -m_i g \cdot \sin(\beta) - c(-q_{i-1} + 2q_i - q_{i+1}) - m_i g f \cdot \cos(\beta) \cdot \text{sign}(\dot{q}_i) - 2\eta(-\dot{q}_{i-1} + 2\dot{q}_i - \dot{q}_{i+1})$$

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, тогда уравнения движения приводной станции примет вид:

$$\frac{d\omega_i}{dt} = \frac{1}{J_i} (M_i^{up} - (F_i^{up} - F_i^{down}) R d_i)$$

$$F_i^{up} = k_s (\varphi_i \cdot R d_i - q_{i+1}) + 2\eta (\omega_i \cdot R d_i - \dot{q}_{i+1})$$

$$F_i^{down} = k_s (q_N - \varphi_i \cdot R d_i) + 2\eta (\dot{q}_N - \omega_i \cdot R d_i)$$

Общая размерность дискретной модели определяется на основании сравнения результатов моделирования с процессами в реальном конвейере. На рис. 3-4 представлены результаты пуска конвейера, полученные на модели, состоящей из 20 дискретных элементов.

Для использования представленной модели конвейера в схеме диагностики MBFD целесообразно в дополнение к измерению электрических и механических переменных на приводных станциях, таких как токи, напряжения, частоты вращения приводных двигателей, определять также натяжения грузовой ветви конвейера, распределение массы породы по длине конвейера, скорости движения отдельных участков ленты.

Решение этой задачи возможно с помощью распределенной измерительной системы, включающей в себя датчики, измерительные преобразователи, подключаемые к измерительным модулям, промышленную сеть на основе Industrial Ethernet, объединяющую компоненты системы, и управляющий компьютер с подсистемой динамической идентификации и анализа.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. C. 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.

□ Авторы статьи:

Каширских
Вениамин Георгиевич,
докт. техн. наук, профессор,
декан горно-электромеханического
факультета КузГТУ,
email: kvg@kuzstu.ru

Нестеровский
Александр Владимирович,
канд. техн. наук, доцент
каф. электропривода и
автоматизации КузГТУ,
email: nsky@tut.by

Носков
Алексей Петрович,
старший преп/каф.
электропривода и автома-
тизации КузГТУ,
email: nap.eav@kuzstu.ru