

В.Ф. Монастырский, д-р техн. наук,
В.Ю. Максютенко, канд. техн. наук,
Р.В. Кирия, канд. техн. наук,
Т.Ф. Мищенко, вед. инж.
(ИГТМ НАН Украины)

МЕТОДОЛОГИЯ АДАПТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ КОНВЕЙЕРНЫМ ТРАНСПОРТОМ

Розглянуто питання адаптивного управління конвеєрним транспортом в різних умовах експлуатації. Встановлено основні способи створення адаптивних систем управління, їх реалізація в промислових умовах, для чого використано розроблене в ІГТМ НАНУ математичне забезпечення для розкриття невизначеності управління. Запропоновано принципи створення адаптивних систем управління, технічне забезпечення та вимоги, що пред'являються до основних компонентів системи (підсистем).

METHODOLOGY OF CONVEYER TRANSPORT ADAPTIVE CONTROL

The question of conveyer transport adaptive control under various conditions is considered. The basic modes of development of adaptive control systems and their realization in industrial conditions are set, for that purpose, the mathematical support for exposing the vagueness of control worked out by IGTM NASU is used. The principles of development of adaptive control systems, technical support and requirements produced to the basic components of system (subsystems) are proposed.

Интенсификация производства в различных отраслях промышленности (в горной, химической, строительной) неразрывно связана с улучшением качества транспортных средств, среди которых конвейерный транспорт занимает ведущее место и является наиболее экономически целесообразным для различных условий эксплуатации. Несоответствие производственного качества конвейерного транспорта потребителю приводит к аварийным простоям оборудования и к снижению эффективности его работы. Процесс приспособления, т.е. адаптация конвейеров к изменяющимся условиям эксплуатации, предполагает, что при заданном уровне производственного качества конвейер может выполнять свои функции [1,2].

Управлять конвейерным транспортом возможно путем создания систем адаптивного управления с целью достижения оптимального состояния системы при изменяющихся условиях эксплуатации и неопределенностях параметрической, структурной, алгоритма управления, управляющего воздействия.

Проблеме адаптивного управления посвящено большое количество монографий [3-8] и научных статей [9-12], в которых изложены основные понятия, принципы создания адаптивных систем управления, способы реализации адаптивного управления, критерии эффективности и требования, предъявляемые к средствам управления. Однако до настоящего времени такие задачи не решены для конвейерного транспорта, так как на практике контроль входных и выходных параметров весьма ограничен, не применяются метод системного анализа, декомпозиция конвейерных систем, структурный анализ объекта управления, не исследуются кор-

реляционные связи между факторами внешнего воздействия и выходными параметрами, практически отсутствуют математические модели, пригодные для адаптивного управления отдельными процессами, узлами конвейера.

Система конвейерного транспорта представляет собой сложную систему с большим количеством элементов и возможностью переходить в большое количество состояний в зависимости от внешних и внутренних условий эксплуатации.

Для создания адаптивного управления такой системой необходимо разделить ее на несколько иерархических уровней.

На рис. 1 дана схема адаптивного управления системой конвейерного транспорта в условиях горных предприятий.

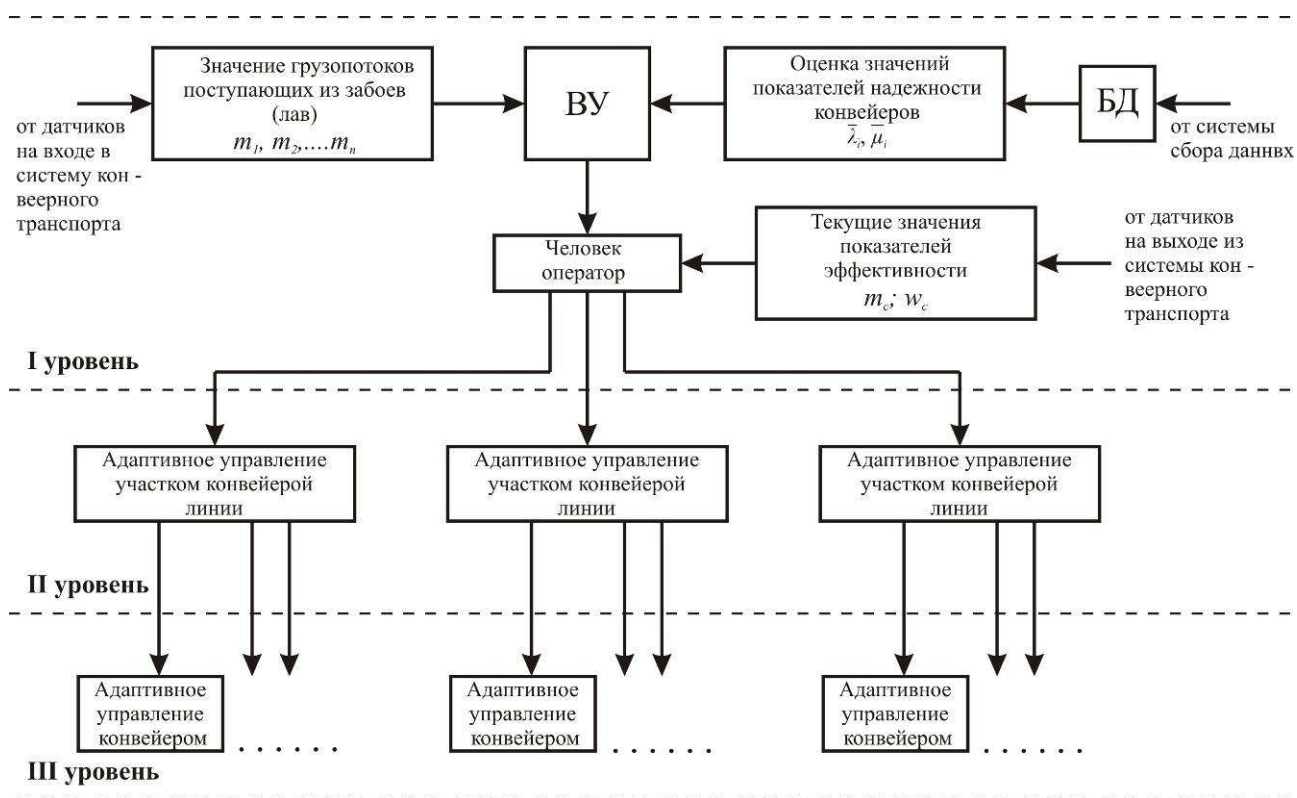


Рис. 1 – Схема адаптивного управления системой конвейерного транспорта горных предприятий

Из рис. 1 видно, что адаптивная система управления конвейерным транспортом разбивается на три иерархических уровня. На верхнем уровне управления I решается задача автоматизированного управления конвейерными линиями. При этом на вычислительное устройство (ВУ) от датчиков на входе в систему конвейерного транспорта поступает информация о значениях грузопотоков, поступающих из забоев (лав) $\{m_1, m_2, \dots, m_n\}$, а также информация из банка данных об оценках показателей надежности конвейеров $\bar{\lambda}_i$ и $\bar{\mu}_i$ (параметры потока отказов и восстановления конвейеров) системы конвейерного транспорта.

После обработки полученная информация из ВУ поступает человеку-оператору. Человек-оператор на основе сравнения эталонных значений выходных параметров m_c^*, w_c^* (максимальной средней пропускной способности и ми-

нимальной средней энергоемкости транспортирования соответственно) и текущих значений этих параметров m_c , w_c , получаемых от датчиков на выходе из системы конвейерного транспорта, принимает решение о переключении грузопотоков, которое передается на второй уровень адаптивного управления.

На II уровне адаптивного управления участками конвейерных линий решается задача пуска или остановки последовательно соединенных конвейеров, а также решается задача адаптивного управления скоростями питателей и элементами перегрузочных узлов.

На III уровне адаптивного управления решается задача управления пуском, распределением тягового усилия и сходом ленты конвейера.

Следовательно, для создания системы адаптивного управления системой конвейерного транспорта, эксплуатируемого на горных предприятиях, можно выделить следующие задачи адаптивного управления:

- адаптивное автоматизированное управление конвейерными линиями, позволяющее осуществить переключение потоков насыпного груза с одной линии на другую, последовательный пуск и остановку конвейерных линий;

- адаптивное автоматическое управление пуском и торможением ленточного конвейера с минимальным временем пуска и динамической нагрузкой на его привод;

- адаптивное автоматическое регулирование натяжением ленты конвейера, обеспечивающее его работу без пробуксовки ленты;

- адаптивное автоматическое распределение тяговых усилий, обеспечивающее максимальный запас сцепления ленты с приводными барабанами;

- адаптивное автоматическое центрирование ленты, обеспечивающее ее боковую устойчивость при внецентренной загрузке насыпного груза и непрямолинейности става конвейера;

- адаптивное автоматическое управление перегрузочными узлами ленточных конвейеров, обеспечивающее их эффективную работу при изменении грузопотоков и режимов работы конвейерного оборудования.

При решении поставленных задач применяются следующие способы адаптивного управления:

- с использованием математической модели объекта управления с нераскрытой неопределенностью управляющего воздействия (экстремальные системы управления);

- с использованием математической модели объекта управления с нераскрытой неопределенностью управляющего воздействия и параметров объекта (самоадаптирующиеся системы управления);

- с использованием математической модели объекта управления с нераскрытой неопределенностью управляющего воздействия, параметров и структуры объекта управления (самоорганизующиеся системы управления);

- с использованием математической модели объекта управления с нераскрытой неопределенностью управляющего воздействия, параметров, структуры системы, алгоритмов управления и целевой функции (самообучающиеся системы управления).

Структурная неопределенность при адаптивном управлении системой конвейерного транспорта (линии) раскрывается путем выбора наиболее эффективного пути транспортирования насыпного груза [7,8,9]. При этом должны быть предусмотрены основное и резервное оборудование, которое включается в работу в местах наибольшей опасности возникновения аварийной ситуации. В этом случае ставится задача структурной адаптации системы конвейерного транспорта в условиях изменения грузопотоков и отказов конвейеров, целью которой является стабилизация характеристик грузопотока [3,4,6].

В случае экстремального управления оптимальные значения показателей качества обеспечиваются выбором соответствующих управляющих воздействий. Как правило, такие системы управления одноканальные и предполагают наличие одного экстремума в критериях эффективности функционирования объекта управления [3,4,9].

Применительно к конвейерному транспорту такие системы реализуются в случае, когда параметры математической модели неизменные, а критерии эффективности функционирования конвейерного транспорта являются функциями управляющего воздействия.

Раскрытие параметрической неопределенности выполняется при адаптивном управлении пуском в моделях пуска конвейера (линии), тяговой способности, загрузочных устройств и центрирования ленты на конвейере, для которых разработаны математические модели их функционирования.

Реализация указанных способов адаптивного управления предполагает наличие следующих основных компонентов: математического, информационного, организационного и технического обеспечения.

Организационное обеспечение использует иерархический подход, который позволяет установить уровни сложности системы и подуровни управления системой. Такой подход предполагает декомпозицию системы – деление системы на локальные подсистемы управления конвейерными линиями и отдельными узлами конвейера [3].

Математическое обеспечение включает математические модели функционирования конвейерного транспорта с учётом причинно-логических связей между ними, регрессионную и корреляционную модели анализа входо-выходной информации [4,5].

Информационное обеспечение позволяет при помощи датчиков контроля (диагностики) в реальном масштабе времени определить параметры математических моделей подсистем конвейера, корректировать параметры моделей для изменившихся условий эксплуатации (раскрыть параметрическую неопределенность) с учетом априорной информации базы данных [4,9].

Техническое обеспечение включает комплекс технических средств (КТС), позволяющих оценить функционирование конвейера (узлов) в заданных или изменившихся условиях по показателям эффективности их работы [4].

Каждая из указанных выше частей адаптивного управления системой конвейерного транспорта должна учитывать субъективный и научный подход при их обосновании. Наиболее часто при решении задач управления применяют

системный подход, который предполагает [3,4,10]:

- постановку задачи исследований, выбор цели и критериев для ее достижения;
- определение влияния внешних факторов на управляемую систему, т.е. в системе выделяются входные и выходные параметры;

- формализация, т.е. создание математической модели системы (подсистем), позволяющей установить взаимосвязи между выходными параметрами и внешними факторами, и ее обоснование.

Исходный массив факторов внешней среды можно выбрать из общего их количества, принятых в СПКП для горных машин (стандарта показателей качества продукции) [13]: горнотехнические, физические свойства пород, технологические, эксплуатационные, экономические, экологические, эргономические.

Значимые факторы определяются в следующей последовательности:

- первоначально отбирают те, которые отражают специфику работы конвейера;
- ранжируют значимость выбранных факторов;
- определяют корреляционную связь между значимыми факторами (парная корреляция);

- минимизируют количество значимых факторов с учетом информативности и достоверности.

Выходные параметры назначаются по их информативности или исходя из априорной информации (выполненных исследований, опыта эксплуатации или создания аналогичных систем управления). Для конвейерной линии и ленточного конвейера принимаются следующие выходные параметры, по которым определяют эффективность их функционирования:

- пропускная способность конвейера (линии);
- энергоемкость транспортирования груза;
- время и динамические нагрузки при пуске ленточного конвейера;
- тяговая способность привода ленточного конвейера;
- несовпадение скорости груза и ленты в месте погрузки на конвейер;
- поперечные смещения ленты на конвейере.

В первом случае для выбора значимых факторов из всего объема используют метод экспертных оценок, нашедший применение для сложных систем [13].

Эксперты выбираются из числа проектировщиков (проектные институты), работников науки (сотрудников НИИ, учебных заведений) и производства (служащих предприятий).

Факторы внешней среды (X_i) и выходные параметры (Y_i) должны быть проверены на наличие тесной связи между ними. При этом составляются выборки данных и, согласно [14], выполняются регрессионный и корреляционный анализы данных эксплуатации или результатов экспериментальных исследований.

По полученным результатам выполняются анализ и обобщение. Если теснота корреляционной связи между отдельными факторами и параметрами системы превышает $r_{yx} = 0,6$, то можно считать, что между ними существует взаимосвязь, обусловленная влиянием неучтенных факторов или наличием обратной связи. Если теснота корреляционной связи менее $r_{yx} < 0,6$, то к отдельным показателям и факторам необходимо применить многокритериальный корреляцион-

ный анализ [4,5].

Декомпозиция системы адаптивного управления конвейером предполагает деление его на локальные подсистемы управления его узлами, имеющими причинно-логические связи. Такой подход позволяет разделить систему на отдельные иерархические уровни в соответствии с определенными признаками, которые учитывают взаимосвязь системы и подсистем при достижении принятой цели: регулирование, обучение, самоорганизация, адаптация [3,4,12].

На рис. 2 представлена структурная схема адаптивного управления конвейером с декомпозицией системы управления на отдельные иерархические уровни (подсистемы), для которых задача построения математической модели начинается с параметризации – установления взаимосвязи между входными и выходными параметрами. Характер этих взаимосвязей во многом зависит от принятого при обосновании модели аналога.

Математические модели функционирования конвейера (узла) представляют собой описание детерминированных или вероятностных процессов в виде уравнений

$$L(x, y) = F(t),$$

где $L(x, y)$ – оператор динамического процесса, происходящего в конвейере (узле), который может быть представлен в виде линейного или нелинейного функционала от входных x и выходных y параметров системы; $F(t)$ – управляющее воздействие на конвейер (узел); t – текущее время функционирования системы.

Основой для создания систем адаптивного управления конвейерным транспортом служат ниже приведенные принципы, учитывающие особенности структуры объекта управления, его декомпозицию, функциональные связи, способы выбора управляющих воздействий, модели функционирования, информационное, программное и техническое обеспечения.

Функциональная структура системы адаптивного управления конвейером (узлами) должна включать:

а) информационную систему (банк данных), которая представляет собой совокупность файлов и программ, обеспечивающих ввод, вывод, систематизацию и обработку поступающей информации; передачу входной информации в программы подготовки исходных данных; прогнозирование или расчет параметров математических моделей; обновление их; выбор управляющих воздействий по данным экспериментальных исследований и критериев эффективности функционирования конвейеров (узлов); определение выходных параметров и сравнение их с допустимыми; принятие решения на выполнение управляющих воздействий;

б) структурную схему декомпозиции конвейера (узла), содержащую минимальное количество иерархических уровней и математические модели их функционирования (банк моделей);

г) математические модели для расчета и выбора наилучших значений параметров конвейера (узла);

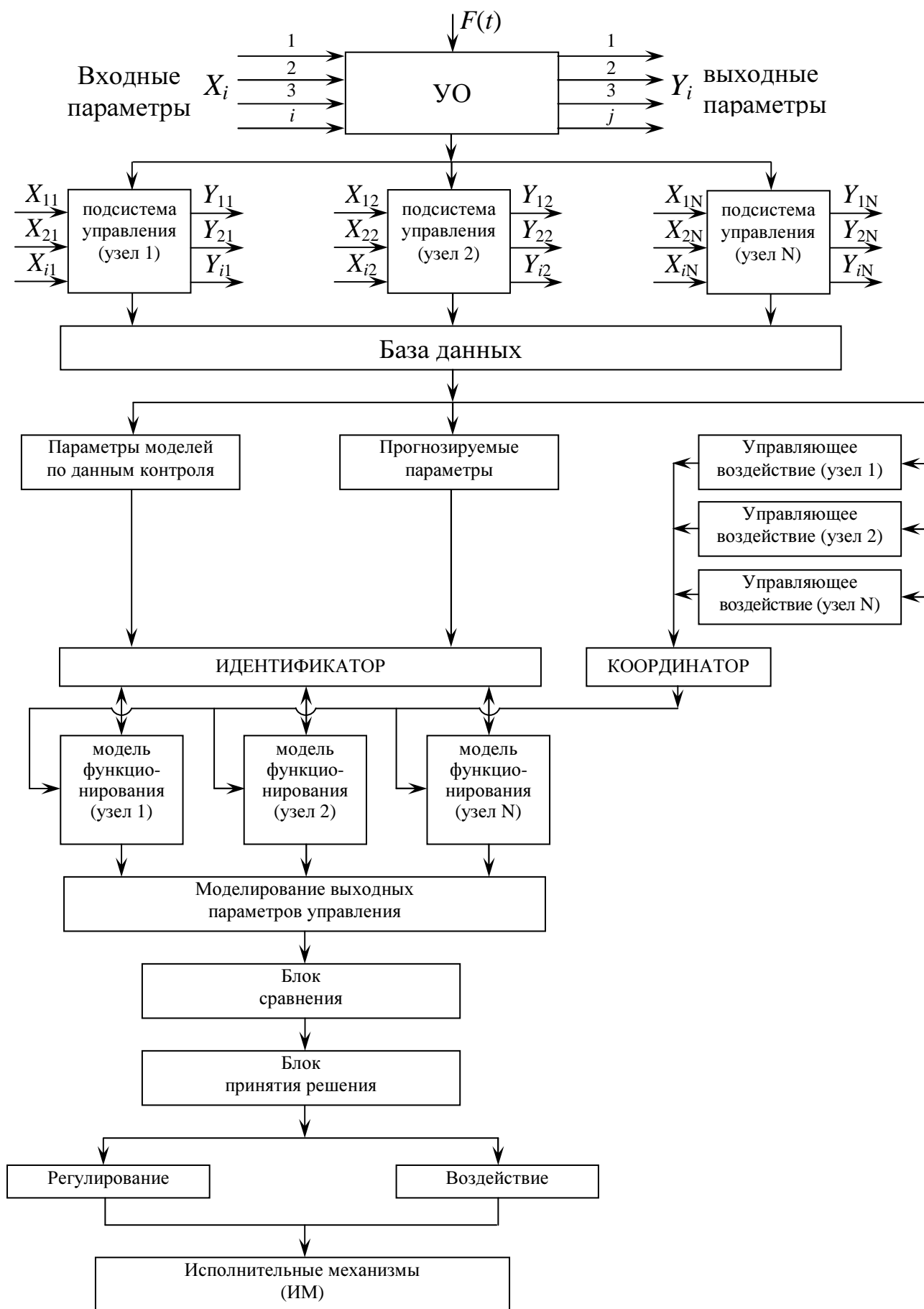


Рис. 2 – Схема адаптивного управления конвейером (узлом)

в) критерии эффективности функционирования конвейера (узла) и аналитические их зависимости от входных и выходных параметров, а также от управляющего воздействия;

д) контрольно-измерительную аппаратуру, позволяющую получать значения входных и выходных параметров конвейеров и его узлов;

е) средства воздействия, которые снабжены исполнительными механизмами с дистанционным или автоматическим управлением их приводами.

ж) информативные параметры, по значениям которых в реальном масштабе времени идентифицируются математические модели функционирования конвейера (узла);

з) техническое обеспечение, содержащее микропроцессорную технику, частотные преобразователи, контроллеры, блоки и пульт управления, которые взаимосвязаны между собой.

Функционирование системы адаптивного управления должно выполняться в реальном масштабе времени. При этом в соответствии с изменяющимися условиями эксплуатации по обновленным математическим моделям с учетом управляющих воздействий формируется совокупность решений, позволяющих конвейеру (узлу) функционировать в новых условиях с максимальной эффективностью.

Функциональные связи между отдельными узлами конвейера должны с достаточной степенью достоверности описывать процессы, происходящие при транспортировании насыпного груза, и обеспечивать выполнение основных управляющих функций для достижения поставленной цели.

Программное обеспечение для перспективного развития систем адаптивного управления конвейером должно содержать корректировку структуры алгоритмов управления на основании опыта их применения, обновление базы данных, управляющих воздействий и средств для их реализации.

Алгоритмы адаптивного управления конвейерным транспортом должны учитывать структурные особенности системы, функциональные связи между ее элементами, модели отдельных процессов или конвейеров (узлов), управляющие воздействия, моделирование выходных параметров и формирование решений на повышение эффективности функционирования конвейерного транспорта. Со временем алгоритмы адаптивного управления подвергаются корректировке на основе опыта их применения.

Для реализации системы адаптивного управления системой конвейерного транспорта (конвейером) в промышленных условиях можно рекомендовать широко используемые следующие технические средства:

- комплекс технических средств (КТС), включающий средства по запуску оборудования в работу, по контролю за режимами его работы, по управлению технологическими процессами, по реализации информационных функций, контролю входных и выходных параметров, а также по управлению конвейерным оборудованием;

- технические средства вычислительной техники верхнего и нижнего уровней реализуют все информационные и управляющие функции. К ним относятся управляющий компьютер, контроллеры, преобразователи, средства нормализации, ввода данных и передачи их в компьютер верхнего уровня;

- датчики контроля параметров конвейера (нагрузки, схода ленты, натяжения ленты, пуска конвейеров, проскальзывания ленты на барабане и других);

- технические средства для регулирования скорости ленты конвейера, питателей и элементов перегрузочных узлов (частотные преобразователи).

К системе адаптивного управления ленточным конвейером и его частями предъявляются следующие основные требования:

- коэффициент ошибок передачи информации должен находиться в пределах $10^{-6} \dots 10^{-8}$, а ошибка передачи информации – в пределах погрешности для каждого показателя;

- реакция системы на обращение пользователя не должна превышать 5 с;

- полнота информации и ее достоверность должны быть достаточными для анализа, обобщения и принятия решения на внешнее воздействие;

- комплекс технических средств (КТС) для контроля за функционированием ленточного конвейера оценивается по следующим показателям:

1) коэффициент готовности КТС не должен быть ниже 0,99;

2) интенсивность потока отказов $\lambda = 500 \cdot 10^{-6}$ 1/ч;

3) интенсивность потока восстановлений $\mu = 1,25$ 1/ч;

4) наработка на отказ $H = 2000$ ч;

5) среднее время восстановления КТС $T_e = 0,84$ ч;

- безопасное исполнение приборов, датчиков для работы в шахтных условиях;

- высокая точность показателей приборов и стабильность метрологических характеристик;

- КТС должен быть оборудован специальной сигнализацией для предупреждения пользователя о наступлении предотказной ситуации и необходимости принятия решения по ее устранению: при проскальзывании ленты на приводном барабане; перегрузке приводов; затянувшемся пуске; смещении ленты на конвейере; снижении натяжения ленты;

- выбор программного обеспечения для системы адаптивного управления ленточным конвейером должен производиться с учетом разработанных алгоритмов и комплекса технических средств.

Предложенная методология позволяет на базе опыта работы АСУ конвейерным транспортом и выполненных теоретических и экспериментальных исследований по обоснованию моделей процессов функционирования конвейерных линий приступить к созданию системы адаптивного управления конвейерным транспортом горных предприятий. Основные положения методологии использованы при разработке методики определения критериев эффективности и структуры алгоритмов адаптивного управления конвейерными линиями.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ширин Л.Н. Адаптация эргатических систем с шахтными конвейерами / Л.Н. Ширин, С.В. Корнеев, В.А. Зотов. – Днепрпетровск: НГУ, 2010. – С. 25-29.
2. Гливанский А.А. Методы управления шахтным подземным транспортом / А.А. Гливанский, И.П. Коновалова, Е.К. Травкин // Средства и аппаратура горной автоматики. – М.: Гипроуглеавтом., 1978. – С. 38-44.
3. Власов К.П. Теория автоматического управления. Учебное пособие - Харьков: Изд-во Гуманитарный центр, 2007. - 526 с.
4. Справочник проектирования автоматизированных систем управления технологическими процессами / Под общ. ред. Г.К. Смелянского. – М.: Машиностроение, 1983. – 520 с.
5. Фомин В.Н. Адаптивное управление динамическими объектами / В.Н. Фомин, А.Л. Фрадков, Якубович В.А. - М.: Наука, 1981. - 447 с.
6. Ким Д.П. Теория автоматического управления. Т.2 Многомерные, нелинейные оптимальные и адаптивные системы: Учеб. пособие. - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2004. - 464 с.
7. Козлов Ю.М. Беспорисковые самонастраивающиеся системы / Ю.М. Козлов, Р.М. Юсупов. - М.: Наука, 1969. - 456 с.
8. Ядыкин И.Б. Адаптивное управление непрерывными технологическими процессами / И.Б. Ядыкин, В.М. Шумский, Ф.А. Овсепян. - М.: Энергоатомиздат, 1985. - 240 с.
9. Брусин В.А. Об управлении динамическими системами в условиях неопределенности / В.А. Брусин // Соросовский Образовательный Журнал. – 1996. - №6. – С. 115-121.
10. Фомин В.Н. Некоторые общие принципы построения адаптивных систем управления / В.Н. Фомин // Соросовский Образовательный Журнал. - 1996. - №12. - С. 101-107.
11. Растрингин А.А. Проблемы адаптации в технике, биологии и социологии / А.А. Растрингин // Адаптивные системы. – Рига: 1972. - №1. – С. 3-8.
12. Цыпкин Я.З. Адаптация, обучение и самообучение в автоматических системах управления / Я.З. Цыпкин // Автоматика и телемеханика. – 1976. - №1. – С. 49-54.
13. Радкевич Я.М. Математическая модель качества конструкции конвейера / Я.М. Радкевич // Шахтный и карьерный транспорт. - М.: Недра.- 1980. - С. 87-90.
14. Поляков Н.С. Тормозные режимы работы ленточных конвейеров / Н.С. Поляков, Е.М. Высочин, В.К. Смирнов // Вопросы рудничного транспорта. - М.: Недра, 1967. - Вып. 10. - С. 3-18.