

## УТВЕРЖДАЮ

Генеральный директор ООО «ПРОМТЕХ»  
доктор технических наук  
Котлярский Александр Исаевич

  
\_\_\_\_\_ 2021г.  
МП



## ОТЗЫВ

ведущей организации Общество с ограниченной ответственностью «Промышленные технологии» (ООО «ПРОМТЕХ») на диссертационную работу Ле Динь Хиеу на тему **«Разработка алгоритмов управления забойными скребковыми конвейерами на основе мягких вычислительных моделей»**, представленную на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности **05.13.06 - «Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (промышленность)»**.

### Актуальность темы диссертационной работы.

На сегодняшний день Вьетнам отстает от ведущих стран в части эффективности подземных горных работ. В странах с наиболее развитыми технологиями подземной угледобычи, большая часть добываемого сырья обеспечивается комплексно - механизированными системами, оснащенными самопередвигающимися механизированными крепями, гидроприводом и скребковыми конвейерными устройствами, а во Вьетнаме до недавнего времени использовались преимущественно старые технологии добычи угля, из-за чего производительность труда была весьма низкой и составляла всего лишь 1,5-3 т в смену, а скорость отработки пластов составляла всего ~18-25 м/месяц.

По перспективному плану компании «Винакомин» в период до 2025 г. рост добычи угля должен составить более 12%. При этом к 2025 году уровень добычи угля подземным способом должен возрасти с 46% до 90%. Перспективный прогноз до 2040 г. подтверждает сохранение тенденции значительного преобладания подземной добычи над открытой.

Следовательно, необходимо сосредотачивать свои усилия на разработке и внедрении современных транспортно-технологических систем подземной угледобычи. Поскольку скребковые конвейеры являются важной составной частью комплексно-механизированных забойных систем, вопросы автоматизации работы скребкового конвейера и разработки соответствующих алгоритмов управления, в целях повышения надежности оборудования и эффективности подземных работ по добыче угля за счет уменьшения времени аварийных простоев, является важной научно-практической задачей.

На основании вышеизложенного, можно заключить, что тематика рецензируемой диссертации Ле Динь Хиеу, ориентированная на повышение эксплуатационных характеристик скребковых конвейеров в условиях неравномерной нагрузки за счет разработки автоматизированной системы стабилизации скорости перемещения и силы натяжения конвейерной цепи, а также оптимизации процесса запуска скребкового конвейера в шахтах, является актуальной.

### **Структура, объем диссертации и ее содержание.**

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы, включающего 100 наименований, приложения, изложенных на 121 страницах машинописного текста, содержит 66 рисунков, 14 таблиц. Диссертация написана понятным языком, изложение материала хорошо структурировано, каждая глава диссертации завершается краткими выводами по результатам проведенных исследований.

В первой главе диссертации дается общая характеристика горно-геологических и горнотехнических условий в шахтах Вьетнама. Рассматриваются основные направления развития конвейерного транспорта в шахтах Вьетнама. Выполнен анализ работ, посвященных вопросам повышения эффективности шахтного конвейерного транспорта. Подробно описываются принципы работы скребкового конвейера, а также структура систем управления этим объектом. Выполнен анализ возможностей использования мягких вычислительных моделей при управлении шахтным конвейерным транспортом. Подчеркивается, что управление на основе нечеткой логики, является адекватным инструментом управления такого рода сложными нелинейными объектами. Делается вывод о возможности использования ПИД регуляторов с нечеткой подстройкой параметров и их адаптационной оптимизации с использованием различных эволюционных алгоритмов.

Во второй главе представлены материалы по моделированию и расчету пусковых режимов скребкового конвейера. Интегральная модель системы СК

была построена в программной среде MATLAB. За основу при построении модели была взята структурная схема, корректно построенная на основе формализмов Кельвина-Фойгта. Изучены режимы запуска скребкового конвейера, такие как: прямой, линейный, синусоидальный, параболический и Анти-S тип, который дает наилучшие результаты при двухскоростном режиме запуска. Также исследованы режимы работы СК в таких условиях, как: горизонтальное и наклонное положение конвейера. Произведены расчеты длины СК и максимальной мощности электродвигателя в каждом из конкретных случаев подъема, спуска, под разными углами, с целью предоставления рекомендаций по оптимальной установке СК. Сформулированы подходы к автоматическому регулированию натяжения конвейерной цепи в критических точках. Разработан нечеткий ПИД регулятор, позволяющий снизить ударные нагрузки на основные функциональные элементы. Сравнительный анализ различных схем запуска позволил, исходя из сформулированных критериев оценки качества переходных процессов, определить наилучший из них, а именно, анти-S образная схема с предварительным запуском.

В третьей главе диссертации выполнена обработка результатов экспериментальных исследований: Описан метод наблюдения за крутящим моментом нагрузки на валу двигателя СДПМ, отслеживающий неравномерность поступления массы угля в желоб, из-за чего на звездочку воздействуют разные крутящие моменты. Для гарантии того, что приводной двигатель звездочки не перегрузится или не повредит шестерню, на основе тока статора и скорости двигателя был разработан наблюдатель крутящего момента нагрузки. Разработаны алгоритмы нечеткого управления НЛ-ПИД, а также методы нечеткого управления с эволюционной оптимизацией основных параметров пропорционально-интегрально-дифференциального регулятора  $K_p$ ,  $K_i$ ,  $K_d$ : «метод роя частиц»-ПИД, а также «оптимизация сбора бактерий»-«метод роя частиц»-ПИД для контроля стабильности скорости, на основе анализа взаимосвязи оптимальных параметров ПИД-регулирования и характеристик отклика. Представлены результаты сравнительного анализа всех разработанных алгоритмов регулирования.

В четвертой главе представлен процесс тестирования и применения модели управления скребковым конвейером. Разработан человеко-машинный интерфейс для мониторинга работы СК.

Программа Matlab-Simulink была скомпилирована в системе управления dSPACE для работы в режиме реального времени с целью обеспечения управления СК путем активации подходящих значений скорости и крутящего момента. Программное обеспечение dSPACE Control Desk, установленное на

компьютерах станций мониторинга, собирает данные и может управлять аварийными остановками с помощью оптоволоконной сети. Программный инструмент Matlab-Simulink 2018b-Control Desk dSPACE 2020 объединяет центральную систему обработки dSPACE с PLC Siemens Simatic S7-317 с инвертором, датчиком тока, датчиком скорости, датчиком силы и датчиком переменного тягового действия цепи. В завершение представлены входные сигналы системы dSPACE и интерфейсы системы мониторинга. Даются рекомендации по применению программного обеспечения для системы управления конвейером.

### **Основные научные положения и их новизна.**

В качестве основных научных результатов диссертантом выдвинуты следующие положения:

1. Алгоритм, основанный на использовании двухэтапной процедуры запуска приводов, с использованием анти S – образной схемы пуска («анти – S»), который нацелен на снижение ударной нагрузки. Научная новизна алгоритма заключается в комплексности решения, построенного на использовании оригинального способа запуска в сочетании с нечетким регулятором силы натяжения цепи в критических точках, что (как показывает достаточно корректно выполненное имитационное моделирование) обеспечивает существенное снижение нагрузки по сравнению с традиционными методами запуска.
2. Алгоритм стабилизации натяжения цепи в условиях неравномерной нагрузки на приводы, в котором, используются данные, полученные с помощью наблюдателя крутящего момента нагрузки в скользящем режиме в комбинации с НЛ-ПИД регулятором скорости движения цепи. Данный алгоритм позволяет реализовать оперативную (в пределах 0,1 сек) автоматическую регулировку параметров ПИД-регулятора, обеспечивая стабилизацию скорости с ошибкой в пределах 2% и, следовательно, эффективно управлять натяжением скребкового конвейера в рабочем режиме, снижая опасность его повреждений.
3. Программный алгоритм управления скоростью и моментом двигателя «СДПМ», в котором впервые для данного класса объектов предложено использовать сочетания НЛ-ПИД и методов эволюционной оптимизации, которые позволяют оперативно

адаптировать параметры ПИД-регулятора, что обеспечивает существенное на 12-20% снижение расход энергии, в зависимости от схемы расположения конвейера в забое.

**Практическое значение диссертации** состоит в программно-аппаратной реализации алгоритмов управления функционированием забойного скребкового конвейера, которая обеспечивает снижение энергетических затрат и способствует повышению надежности эксплуатации конвейера. Достоинством разработанного автором аппаратно-программного комплекса является возможность оперативной настройки параметров при различных условиях установки скребкового конвейера в забое.

**Конкретное личное участие соискателя ученой степени в получении результатов заключается:**

1. В анализе особенностей работы скребкового конвейера, с учетом залегания подземных угольных пластов в шахтах Вьетнама.
2. В исследовании способов оптимизации процессов запуска синхронного двигателя с постоянными магнитами и регулирования его режимов с использованием нечеткой логики.
3. В построении математической модели и алгоритма управления натяжением цепи скребкового конвейера в процессе эксплуатации.
4. В разработке алгоритмов управления скоростью вращения двигателя СДПМ с использованием различных мягких вычислительных моделей.
5. В проведение экспериментальных исследований разработанных алгоритмов в системе dSPACE с использованием средств программно-аппаратного моделирования.

**Достоверность научных положений, основных выводов и результатов диссертации** подтверждается:

1. Корректным описанием функционирования конвейерной системы с использованием динамических уравнений Кельвина – Фойгта.
2. Грамотным применением методов цифрового моделирования для описания и исследования системы автоматического управления скребковым конвейером.
3. Корректным использованием методов управления крутящим моментом синхронного двигателя с постоянными магнитами.

4. Согласованностью теоретических выводов с результатами экспериментальной проверки работоспособности моделей, алгоритмов и программ.
5. Апробацией основных теоретических положений диссертации в печатных трудах и докладах на международных научных специализированных конференциях.

Основные научные результаты данной работы приняты к использованию Ханойским институтом горной науки и технологий (ХИГНиТ) для документирования разработки и построения алгоритма управления скребкового конвейера в подземных угольных шахтах провинции Куангнинь, Вьетнам.

**Реализация результатов работы и рекомендации по их дальнейшему использованию.**

1. Проведенные Ле Динь Хиеу исследования позволили выявить перспективное направление, связанное с использованием мягких вычислительных моделей, а также способы решения, возникающих при этом задач, для разработки алгоритмов управления пуском и скоростью перемещения конвейерной ленты скребкового конвейера и диспетчеризации процессов.
2. Основные научные результаты данной работы приняты к использованию Ханойским институтом горной науки и технологий (ХИГНиТ) для документирования разработки и построения алгоритма управления скребкового конвейера в подземных угольных шахтах провинции Куангнинь, Вьетнам.
3. Предложенный автором подход может быть вполне перспективен для применения в рамках более широкой проблемы – управления транспортно-технологическими комплексами подземных горных предприятий.
4. Разработанные в диссертации алгоритмы могут быть, при необходимости решения соответствующих практических задач на горных предприятиях РФ, с учетом доработки и адаптации, использованы специалистами ООО «ПРОМТЕХ» в своих проектах.



## **Апробация работы.**

Основные результаты работ докладывались и получили положительную оценку на научно-технических конференциях и семинарах положения и результаты работы докладывались на:

1. IEEE Seventh International Conference on Communications and Electronics (ICCE) (Вьетнам, 2018 г);
2. Международный симпозиум «Неделя горняка» (Москва, 2020 г);
3. Conference of IOP Conference Series: Materials Science and Engineering (Москва, 2021 г).

## **Замечания по диссертационной работе.**

1. В работе приводится достаточно много сведений об угольной отрасли Вьетнама, в целом, однако, не хватает анализа экономической эффективности использования скребковых конвейеров во Вьетнаме и их сравнения с уже существующими полуавтоматическими методами извлечения угля.
2. При построении математической модели процесса транспортировки угля скребковым конвейером не учитывались пределы максимальной нагрузки и коэффициенты трения при неравномерной загрузке, что не позволяет в полной мере оценить степень адекватности модели. Не понятно, сколь сильно сказывается на точности моделирования не учет этих факторов
3. Из текста диссертации не ясно, каким образом должна функционировать система при возникновении различного рода аварийных ситуаций, а таких может быть много, например, не рассматриваются случаи повреждения гидросистемы скребкового конвейера и заклинивания оборудования. То есть не понятно, каким образом в этом случае должна реагировать система.

4. В главе 3 автор приводит сравнительные характеристики результатов работы алгоритмов регулирования с эволюционной оптимизацией, однако отсутствуют данные по каноническому ПИД регулятору.

Отмеченные недостатки, тем не менее, не влияют на положительную оценку диссертационной работы и могут рассматриваться как рекомендации для дальнейшей научной работы автора.

## **Заключение.**

Оценивая работу в целом, следует отметить ее высокий уровень, научную обоснованность предлагаемых алгоритмических решений, доказательность изложения, актуальность и практическую ценность результатов.

Диссертационная работа Ле-Динь-Хиеу «Разработка алгоритмов управления забойными скребковыми конвейерами на основе мягких вычислительных моделей» является законченной научно квалификационной работой, в которой изложены новые научно обоснованные программно-технические и технологические решения, внедрение которых повысит эффективность использования скребковых конвейеров. Работа выполнена на хорошем научном уровне, является законченной научно - квалификационной работой, научные положения которой соответствуют следующим пунктам паспорта специальности 05.13.06:

п. 3. Методология, научные основы и формализованные методы построения автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУТП) и производствами (АСУП), а также технической подготовкой производства (АСТПП) и т. д.;

п.4. теоретические основы и методы математического моделирования организационно-технологических систем и комплексов, функциональных задач и объектов управления и их алгоритмизация;

п. 15. Теоретические основы, методы и алгоритмы интеллектуализации решения прикладных задач при построении АСУ широкого назначения (АСУТП, АСУП, АСТПП и др.).

Рецензируемая работа соответствует требованиям «Положения о порядке присуждения ученых степеней в Национальном исследовательском технологическом университете «МИСиС», а ее автор, Ле-Динь-Хиеу, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по



специальности 05.13.06 - «Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (промышленность)».

Отзыв составил:

Заместитель технического директора  
ООО «ПРОМТЕХ»,  
доктор технических наук



З.А. Черняк

Диссертационная работа Ле-Динь-Хиеу «Разработка алгоритмов управления забойными скребковыми конвейерами на основе мягких вычислительных моделей» заслушана и обсуждена на заседании Научно-технического совета ООО «ПРОМТЕХ», Протокол № 5 от «06» сентября 2021 г.

Ученый секретарь НТС –  
директор департамента автоматизации  
производственных процессов ООО «ПРОМТЕХ»,  
кандидат технических наук



О.А.Леттиев

Подписи заместителя технического директора З.А.Черняка и ученого секретаря НТС О.А.Леттиева заверяю.



ООО «ПРОМТЕХ»

Адрес для корреспонденции: 105077, г.Москва, ул. Средняя Первомайская, д.23

Тел.: +7(495) 225-48-29

Почта: [info@promtex.ru](mailto:info@promtex.ru)

<http://www.promtex.ru>