

УТВЕРЖДАЮ



Первый проректор ТУСУР,
доктор техн. наук, профессор
Ю.А. Шурыгин

2017 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации – федерального государственного бюджетного
образовательного учреждения высшего образования
«Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники»
на диссертационную работу Шигиной Анны Александровны
«Интеллектуальная автоматизированная система управления процессом
шарошечного бурения» по специальности 05.13.06 – Автоматизация и управление
технологическими процессами и производствами (промышленность)
на соискание ученой степени кандидата технических наук

Актуальность темы исследования

Диссертационная работа А.А. Шигиной посвящена повышению качества и эффективности управления процессом шарошечного бурения за счет оптимизации режимных параметров. Для своевременного регулирования и оптимизации режимных параметров процесса шарошечного бурения используется адаптивный элемент и оптимизационная модель, основанная на интегральном показателе, включающем оценку минимальных удельных затрат и производительности.

Процесс шарошечного бурения характеризуется высокой степенью неопределенности информации, связанной со случайным изменением свойств буримой породы, что значительно усложняет процесс выбора оптимальных решений при бурении и может привести к непредсказуемым результатам, например, преждевременному отказу бурового долота. В связи с этим возникает необходимость применения адекватных моделей и методов управления технологическим процессом, так как режимы работы машин в таких условиях находятся за пределами области оптимальных значений. При неустановившихся режимах эксплуатации техники повышаются требования к оптимальному управлению и эффективности технологического процесса.

Актуальность темы определяется необходимостью исследования вопросов оптимизации, регулирования параметров процесса шарошечного бурения и учета неконтролируемых факторов, вызванных случайным изменением свойств пород (структуры и прочности). Изменение значений одного или нескольких параметров процесса шарошечного бурения может происходить в очень малые промежутки времени, поэтому информация об этих изменениях, полученная при помощи современных средств мониторинга, необходимая для управления процессом, может существенно отличаться от значений этих параметров в текущий момент времени. В связи с этим особую важность приобретают исследования, направленные на создание интеллектуальной автоматизированной системы управления (АСУ), оперирующей в постоянном режиме косвенной информацией о текущих изменениях свойств породы и позволяющей осуществлять корректировку режимов с использованием адаптивного устройства.

Таким образом, актуальность задачи разработки интеллектуальной АСУ процессом шарошечного бурения, решаемой в диссертационной работе, не вызывает сомнений.

Общая характеристика диссертации

Во введении обоснована актуальность работы, сформулированы цель и задачи исследования, научная новизна, теоретическая и практическая значимость проведенных исследований, основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе рассматривается современное состояние технологии и особенности управления процессом шарошечного бурения. Подчеркивается необходимость применения средств адаптивного управления при построении автоматизированных систем управления процессом бурения. Исследованы проблемы оптимального управления процессом шарошечного бурения в условиях неполноты информации об изменении свойств породы. Приводятся известные системы управления процессом бурения, построенные на различных принципах. Рассмотрены

методы управления процессом бурения, основанные: на программном и экстремальном управлении, на автоматическом регулировании параметров бурения по априорной модели и активном многоканальном поиске локальных и глобального экстремумов критерия оптимизации. Описаны подходы к решению задачи адаптивного управления процессом шарошечного бурения.

Во второй главе предлагается математическая модель процесса шарошечного бурения, основанная на установленных взаимосвязях его параметров и учитывающая изменения физико-механических свойств пород в процессе бурения. Рассмотрены технологические и режимные параметры, влияющие на эффективность процесса шарошечного бурения. При моделировании процесса предложено использовать среднестатистические данные, включающие показатель буримости и его изменение, количество и размеры областей с изменяющимися физико-механическими свойствами. Предложено использовать адаптивный вращательно-подающий механизм (АВПМ) для своевременного реагирования на непрогнозируемые ударные нагрузки в процессе шарошечного бурения. В модель процесса шарошечного бурения введен регулятор, содержащий датчик – АВПМ в качестве адаптивного элемента. Рассмотрены функционалы, выражающие закономерность управления процессом шарошечного бурения. Разработанная математическая модель процесса шарошечного бурения позволяет оценить соотношение производительности процесса бурения и ресурса долота с учетом долей от общего количества циклов нагружения тел качения шарошек, приходящихся на бурение однородной, слоистой и трещиноватой породы. Оценка адекватности математической модели произведена с учетом статистических данных по наработке на отказ шарошечных долот. Проверка на сходимость экспериментальных и расчетных значений показала достаточно высокую точность математической модели, применительно к значениям физико-механических свойств пород, наиболее часто встречающихся в условиях карьеров и при бурении нефтяных и газовых скважин.

Третья глава посвящена разработке модели управления шарошечным бурением в условиях случайного изменении свойств породы. Предложена структура интеллектуальной АСУ шарошечным бурением с адаптивным элементом и описан алгоритм ее функционирования. В главе рассматривается подход к построению интеллектуальной АСУ, основанный на сочетании принципов управления по возмущению и отклонению. Предложен критерий оптимизации процесса разрушения породы шарошечным долотом: равенство времени контакта зубца с породой и времени разрушения породы. Разработан метод оптимизации режимных параметров процесса шарошечного бурения, основанный на корректировке значений осевого усилия и частоты вращения. Минимизация себестоимости обеспечивается соблюдением критериев оптимизации частоты вращения и осевого усилия, что приводит к получению оптимального соотношения производительности и ресурса. Предложены математические зависимости для расчета оптимальных значений режимных параметров процесса шарошечного бурения, соответствующих минимальным удельным затратам на технологический процесс. В работе предложена оптимизационная модель управления параметрами процесса шарошечного бурения в условиях случайного изменения свойств породы, использующая корректирующие величины осевого усилия и частоты вращения. В качестве интегрального критерия оценки эффективности управления процессом шарошечного бурения (включая режимные параметры) приняты эксплуатационные затраты на бурение 1 м скважины с учетом повышения производительности и ресурса долота при оптимальном управлении. Оценка эффективности управления шарошечным бурением по интегральному показателю с учетом критериев оптимизации при использовании интеллектуальной системы управления и адаптивного элемента позволяет определять минимальную себестоимость технологического процесса с условием поддержания оптимальных значений режимных параметров. При расчете интегрального показателя получено снижение себестоимости процесса бурения до 17,5%. Сопоставление полученных результатов со статистической информацией промышленной эксплуатации шарошечных буровых станков в условиях Черногорского угольного разреза компании СУЭК показало, что своевременное

регулирование значений режимных параметров процесса шарошечного бурения с использованием интеллектуальной АСУ обеспечивает повышение механической скорости бурения за счет оптимизации осевого усилия и частоты вращения бурового долота – в 2,3 раза и 1,8 раза соответственно и в 3,1 раза при их совместном регулировании.

Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения, списка литературы, включающего 149 наименований, 1 приложения. Общий объем работы составляет 128 страниц, включая 28 рисунков и 5 таблиц.

Основные результаты диссертации состоят в разработке и исследовании

1) математической модели процесса шарошечного бурения, позволяющей оценить соотношение производительности процесса бурения и ресурса долота с учетом долей от общего количества циклов нагружения тел качения шарошек, приходящихся на бурение однородной, слоистой и трещиноватой породы;

2) метода оптимизации режимных параметров процесса шарошечного бурения, основанного на корректировке значений осевого усилия и частоты вращения в зависимости от технических характеристик бурового агрегата и физико-механических свойств породы и позволяющего определить максимальные значения ресурса долота и производительности;

3) математических зависимостей для расчета оптимальных значений режимных параметров процесса шарошечного бурения, соответствующих минимальным удельным затратам на технологический процесс;

4) структуры интеллектуальной АСУ шарошечным бурением, осуществляющей корректировку режимов в условиях случайного изменения свойств породы.

Научная новизна исследования

Научная новизна результатов диссертационной работы состоит в следующем:

1. Впервые разработана математическая модель процесса шарошечного бурения, раскрывающая взаимосвязи режимных параметров с производительностью процесса бурения и ресурсом долота и отличающаяся от известных учетом долей от общего количества циклов нагружения тел качения шарошек, приходящиеся на бурение однородной, слоистой, трещиноватой породы, и позволяющая эффективно определять ресурс шарошечных долот при бурении сложноструктурных массивов.

2. Разработан метод оптимизации режимных параметров процесса шарошечного бурения, отличающийся от известных использованием корректирующих величин осевого усилия и частоты вращения, получаемых в регуляторе при помощи расчетных методик на основе критерия оптимизации, определяемого из соотношения энергетических и временных параметров разрушения породы одним зубцом, и за счет этого превосходящий по эффективности другие методы оптимизации процесса бурения.

3. Предложены математические зависимости для расчета оптимальных значений режимных параметров, отличающиеся тем, что учитываются в явном виде все параметры процесса, включая энергетические, кинематические, конструктивные характеристики и изменение структурных и прочностных свойств породы и позволяющие определить условия оптимизации процесса шарошечного бурения, существенно повысить точность определения оптимального режима.

Теоретическая и практическая значимость полученных автором диссертации результатов

Теоретическая значимость результатов диссертационной работы состоит в разработке расчетных методик, учитывающих физику процесса шарошечного бурения при определении его оптимальных режимных параметров и используемых для оценки эффективности технологического процесса. В работе учитываются особенности процесса разрушения породы при создании расчетных зависимостей для определения оптимальных значений режимных

параметров. Выявлен универсальный критерий оптимизации процесса шарошечного бурения, отражающий соотношение времени контакта отдельных зубцов долота с породой и времени, необходимого для совершения работы разрушения породы соответствующими зубцами. Разработка математической модели процесса шарошечного бурения, оптимизационной модели управления параметрами и системы интеллектуального управления являются существенным вкладом в развитие методов интеллектуальной поддержки процессов управления технологическими процессами и методов оптимизации.

Практическая значимость диссертационной работы состоит в возможности использования результатов в системах управления процессом шарошечного бурения на предприятиях горнодобывающей, нефтегазовой и строительной промышленности.

Разработано программное обеспечение для расчета технологических показателей и оптимальных значений основных режимных параметров процесса шарошечного бурения в зависимости от изменения свойств породного массива, определения ресурса долота, производительности бурового агрегата и может быть использовано инженерным персоналом на действующих предприятиях горнодобывающей, нефтегазовой и строительной промышленности.

Результаты диссертационной работы используются на предприятиях ООО «Краспромавтоматика» (г. Красноярск), ООО «Тяжмашсервис» (г. Красноярск), ООО «Управление по буровзрывным работам» (Восточно-Бейский разрез Сибирской угольной энергетической компании (СУЭК)), Республика Хакасия, г. Черногорск), АО «Хакасвзрывпром» (Черногорский разрез СУЭК, Республика Хакасия, г. Черногорск), ООО «Центр содействия развитию научных исследований» (г. Новосибирск) в виде: адаптивной модели и алгоритма оптимального управления процессом шарошечного бурения в условиях высокой информационной неопределенности, вызванной случайным изменением свойств пород различной крепости в процессе бурения; расчетных методик и рекомендаций для определения рациональных режимов бурения, ресурса шарошечных долот и удельной стоимости технологического процесса.

Разработанная программа для ЭВМ «Система моделирования режимных параметров процесса бурения» используется в учебно-образовательной деятельности Института управления бизнес-процессами и экономики и Института горного дела, геологии и геотехнологий Сибирского федерального университета при подготовке студентов по направлениям 09.03.03 «Прикладная информатика» и 21.05.04 «Горное дело».

Результаты диссертационной работы реализованы:

- в Федеральной целевой программе «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» № 16.740.11.0622, мероприятие № 1.3.1. в рамках проекта «Разработка адаптивных систем буровых станков для бурения сложноструктурных горных пород» (2011 – 2013 гг.);

- в гранте Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых МК-2531.2014.8 (2014 – 2015 гг.);

- в грантах Красноярского краевого фонда поддержки научной и научно-технической деятельности в рамках конкурса по организации участия студентов, аспирантов и молодых ученых во всероссийских, международных конференциях, научных мероприятиях и стажировках (2013 г.) и конкурса научных проектов авторских коллективов студентов и аспирантов под руководством молодых ученых на реализацию проекта (2014 г.);

- в гранте Российского фонда фундаментальных исследований в рамках конкурса научных проектов, выполняемых молодыми учеными под руководством кандидатов и докторов наук в научных организациях Российской Федерации (2015 г.).

Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации

Считаем целесообразным продолжить работу по направлению разработки интеллектуальных систем управления технологическими процессами в условиях неопределенности. В частности, разработанные математическая и оптимизационная модели могут использоваться при решении задачи оптимизации режимных параметров за счет их своевременного регулирования в

условиях непрогнозируемых (случайных) изменений характеристик внешней среды с применением адаптивного элемента. Интересными для промышленного (практического) использования являются: предложенная структура интеллектуальной АСУ процессом шарошечного бурения, позволяющей осуществлять корректировку режимов с использованием адаптивного устройства (АВПМ) и оптимизационной модели; разработанное программное обеспечение для моделирования и оптимизации режимных параметров процесса шарошечного бурения, при создании которого использовалась предложенная в работе математическая модель данного процесса.

Программное обеспечение является расчетным блоком интеллектуальной АСУ процессом шарошечного бурения и позволяет осуществлять мониторинг всех необходимых характеристик и выбирать оптимальные значения режимных параметров. Программа реализует алгоритм оптимального управления данным процессом, учитывающий информационную неопределенность, вызванной случайным изменением свойств породы.

Достоверность основных научных положений, выводов и рекомендаций обеспечивается: сопоставлением теоретических и экспериментальных результатов со значительным объемом статистической информации, полученной в результате комплексных исследований; корректным использованием математического аппарата, достоверностью исходной информации, сопоставимостью теоретических и экспериментальных результатов бурения сложноструктурных породных массивов; отсутствием противоречий с результатами опытно-промышленных исследований автора и ранее проведенных исследований другими учеными.

Публикации и апробация результатов исследования

По теме диссертационной работы опубликовано 30 работ, включая 8 статей в ведущих рецензируемых журналах, входящих в перечень ВАК, 7 статей в зарубежных изданиях, индексируемых международной базой цитирования Scopus, 11

статей в трудах всероссийских и международных конференций, симпозиумов. Имеются 2 свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ, 2 патента. Основные положения и результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на 11 конференциях различного уровня.

Правильность оформления диссертации и автореферата, соответствие автореферата диссертации её содержанию

Диссертация и автореферат оформлены в соответствии с принятыми для научных квалификационных работ нормами и требованиями. Автореферат адекватно и в полной мере отражает основные научные результаты и положения, сформулированные в тексте диссертации.

Замечания по диссертационной работе:

1. В разделе диссертации 1.3 рассматриваются базовые принципы построения АСУ процессом бурения. Однако, на рис 1.3 представлена в общем виде блок-схема функционирования АСУ ТП, что не вполне соотносится с направленностью данного раздела. Так было бы уместнее показать здесь блок-схему АСУ процесса бурения.

2. При рассмотрении принципов формирования АСУ процессом бурения (стр. 24) не вполне понятно, что автор вкладывает в операторы $A_1 - A_n$.

3. Из диссертации не вполне понятно, как автор аргументирует свою позицию, что критерий $P_{ос}n_{вр} = const$, применяющийся для контроля бурения в большинстве систем, не позволяет оптимизировать процесс бурения в реальном времени.

4. Из текста диссертации (стр 43, рис. 2.2) не вполне понятно, как характеризуется ошибка управления в переходном процессе в объекте управления, применительно к процессу бурения.

5. Для описания процесса бурения в математической форме автор разработал ресурсную математическую модель, опирающуюся на процесс изменения скорости элементов долота в процессе бурения, и, как результат,

возникновения динамической составляющей, увеличивающей нагрузку. Каким образом ресурсная модель позволяет оптимизировать процесс бурения при необходимости повышения производительности или снижения себестоимости?

6. В работе выполнена статистическая оценка адекватности математической модели на основе анализа наработки на отказ долот на карьере «Восточный» Олимпиадинского горно-обогатительного комбината. В таблице 2.3 показана удовлетворительная сходимость результатов. Однако, при увеличении прочностных характеристик породы, сходимость ухудшается. В связи с этим возникает вопрос: в каком диапазоне свойств пород пригодна математическая модель и оптимизационная модель, разработанные автором?

Отмеченные недостатки не снижают научной значимости и не влияют на общую положительную оценку диссертации в целом. Диссертационная работа выполнена на высоком научном уровне, автором получен ряд новых результатов, представляющих интерес для автоматизации и управления процессом шарошечного бурения.

Заключение

Диссертационная работа Шигиной Анны Александровны является законченной научно-квалификационной работой, выполненной на актуальную тему, содержащей новые научные результаты. Автореферат полностью отражает содержание диссертации.

В целом, диссертация четко структурирована, написана грамотным научным языком. Цель и задачи диссертации полностью соответствуют полученным научным результатам. Выводы достаточно обоснованы.

Диссертационная работа «Интеллектуальная автоматизированная система управления процессом шарошечного бурения» соответствует критериям «Положения о порядке присуждения ученых степеней» ВАК РФ, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор Шигина Анна Александровна заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по

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

Отзыв на диссертацию заслушан, обсужден и одобрен на заседании научно-технического семинара Научно-исследовательского института автоматики и электромеханики ТУСУР (протокол №. 11 от «2» ноября 2017 г.).

Заместитель директора
по научной работе НИИ АЭМ ТУСУР,
Кандидат технических наук (05.09.03)

Целебровский
Игорь Викторович

Заведующий отделом НИИ АЭМ ТУСУР,
Кандидат технических наук (05.09.13)

Кремзуков
Юрий Александрович

Подписи заверяю:

Ученый секретарь ТУСУР



Е.В. Прокопчук

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники» (ФГБОУ ВО «ТУСУР»)

Адрес: 634050, г. Томск, пр. Ленина, 40

<http://tusur.ru/>

Тел.: (3822) 51-05-30

E-mail: office@tusur.ru