



## ПРОСПЕКТ СВОБОДНЫЙ-2016

МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ СТУДЕНТОВ,  
АСПИРАНТОВ И МОЛОДЫХ УЧЁНЫХ

ЭЛЕКТРОННЫЙ СБОРНИК МАТЕРИАЛОВ  
МЕЖДУНАРОДНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ СТУДЕНТОВ,  
АСПИРАНТОВ И МОЛОДЫХ УЧЁНЫХ  
**«ПРОСПЕКТ СВОБОДНЫЙ-2016»**,  
ПОСВЯЩЁННОЙ ГОДУ ОБРАЗОВАНИЯ  
В СОДРУЖЕСТВЕ НЕЗАВИСИМЫХ ГОСУДАРСТВ

КРАСНОЯРСК, СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

15-25 АПРЕЛЯ 2016 Г.

Министерство образования и науки Российской Федерации  
ФГАОУ ВПО «Сибирский федеральный университет»

Сборник материалов  
Международной конференции студентов,  
аспирантов и молодых учёных  
«Перспектив Свободный-2016»,  
посвящённой Году образования  
в Содружестве Независимых Государств

Красноярск, Сибирский федеральный университет, 15-25 апреля  
2016 г.

Красноярск, 2016



ПЕРСПЕКТИВ СВОБОДНЫЙ-2016

МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ СТУДЕНТОВ, АСПИРАНТОВ И МОЛОДЫХ УЧЁНЫХ

Красноярск, Сибирский федеральный университет, 15-25 апреля 2016 г.

## «Металлургические машины»



## **ЭФФЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ РАБОЧИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ МАШИН**

**Горнов К.С.**

**научный руководитель канд. техн. наук, доц. Шигин А. О.**

*Сибирский федеральный университет*

В современных условиях функционирования машиностроительных предприятий все более актуальными становятся вопросы, связанные с ремонтом технологического оборудования. Обусловлено это, прежде всего, увеличением действующих нагрузок на исполнительные механизмы машин и станков вследствие повышения скоростных параметров современной техники, способствующих снижению работоспособности основных деталей и узлов [1].

Применение легированных сталей для изготовления тяжелонагруженных деталей машин, а также использование цветных металлов и сплавов для ответственных конструктивных элементов оборудования приводят к необходимости более рационального использования дорогостоящих конструкционных материалов. Кроме того, поддержание технического состояния парка действующего оборудования на должном уровне требует организации качественной системы ремонта с внедрением эффективных технологий восстановления изношенных деталей.

Для восстановления эксплуатационных свойств деталей широко применяются такие современные методы, как автоматизированная наплавка под слоем флюса и электрошлаковая наплавка, газотермические методы нанесения функциональных покрытий, пластическое деформирование, электромеханическая обработка и ряд других.

Внедряя прогрессивные технологии ремонта, наряду с реставрацией геометрических форм и размеров деталей, можно в значительной степени улучшить эксплуатационные свойства последних за счет изменения физико-механических характеристик материала поверхностного слоя и обеспечения благоприятного микропрофиля поверхности. Кроме того, применение эффективных бездефектных методов окончательной обработки восстановленных поверхностей позволяет достичь требуемых параметров точности и даже повысить их без дополнительных затрат. Для достижения такого результата при выполнении ремонтных работ весьма перспективным является применение комбинированных методов обработки, заключающихся в совместной реализации методов поверхностного упрочнения деталей и их отделочной обработки без снятия стружки. Такое решение позволяет получать износостойкие слои с требуемыми параметрами качества за счет сочетания преимуществ различных методов обработки. В частности, для обеспечения показателей качества восстанавливаемых деталей представляет интерес сочетание технологии газотермического напыления износостойких металлопокрытий с последующей окончательной обработкой поверхностным пластическим деформированием (ППД).

Газотермические методы напыления широко применяют как для наращивания размеров деталей, так и для создания износостойких и коррозионностойких слоев на поверхностях различных элементов узлов и механизмов. Высокая эффективность и универсальность этих методов определяется возможностью нанесения покрытий из самых разнообразных материалов и рядом других преимуществ, выделяющих газотермическое напыление (ГТН) в категорию наиболее эффективных методов восстановления и упрочнения деталей. Вместе с тем, рекомендуемое в качестве

окончательной обработки газотермических покрытий (ГТП) шлифование проходит со значительными трудностями и часто характеризуется большим разбросом по показателям качества поверхности.

Принципиально новым подходом к вопросам окончательной обработки газотермических металлопокрытий является применение сглаживающей обработки ППД, которая обеспечивает высокую степень чистоты и повышение геометрической точности размеров поверхности, способствует созданию благоприятных сжимающих напряжений в поверхностном слое и улучшению механических и эксплуатационных свойств материала металлопокрытия. Сглаживающую обработку ППД можно применять к металлопокрытиям с различной твердостью. К примеру, для покрытий с твердостью менее 30HRC целесообразно применять обработку бочкообразным роликовым инструментом с радиусом профиля в пределах 50 – 100 мм. Для более твердых покрытий, твердость которых превышает 30HRC, предпочтительным является алмазное выглаживание.

Целесообразность применения газотермических покрытий с последующей обработкой ППД была подтверждена при восстановлении узлов трения скольжения и создании обращенных подшипниковых пар в кинематических цепях [2], а также при упрочнении поверхностей деталей, работающих в условиях интенсивного абразивного изнашивания.

После окончательной обработки ППД бронзовых покрытий, нанесенных газотермическими методами (плазменным напылением и электродуговой металлизацией) шероховатость поверхности покрытий составила  $0,32 \leq Ra \leq 0,63$  мкм, точность обработки соответствовала 7-му качеству, микротвердость материала покрытия повысилась на 35 - 40 %. В результате алмазного выглаживания самофлюсующегося покрытия системы Ni-Cr-B-Si с твердостью 45-50HRC шероховатость поверхности составила  $0,63 \leq Ra \leq 0,8$  мкм, точность обработки соответствовала 7-му качеству.

В обоих рассмотренных случаях в качестве предварительной обработки, перед ППД применялась лезвийная обработка восстанавливаемой поверхности.

### Список литературы

1. Мнацаканян В.У. Восстановление работоспособности подшипниковых опор скольжения. «Производство. Технология. Экология». Сб. научных трудов № 8, том.3. М., МГТУ «Станкин», 2005 г., с. 572-574.
2. Основы технологии машиностроительного производства. Книга II. Мнацаканян В.У., Морозов В.В., Схиртладзе А.Г., Тимирязев В.А. Учебник для Вузов. Владимирский Гос. Университет. 2011. 363 с.



## **ТРИБОТЕХНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПЛАСТИЧНЫХ СМАЗОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ НАПОЛНЕННЫХ ПАРАШКАМИ ТВЕРДЫХ СМАЗОК**

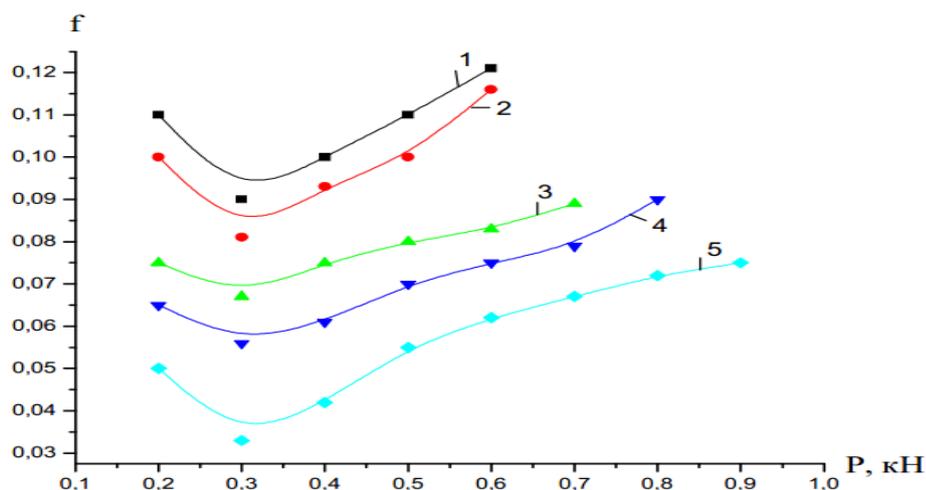
**Демко И.И**

**научный руководитель канд.техн.наук, доц. Шигин А.О.**

*Сибирский федеральный университет*

Твердые тела могут производить смазочное действие, организуя и поддерживая режим трения при граничной смазке. Граничная пленка должна обладать высоким сопротивлением продавливанию и низким сопротивлением срезу. Исходя из таких требований, к твердым смазочным материалам можно отнести вещества слоисто-решетчатой пластинчатой структуры, мягкие металлы. Из веществ слоисто-решетчатой структуры свойствами, необходимыми для смазки металлических поверхностей, обладают графит, дисульфид молибдена (молибденит), сульфид серебра, пористый свинец.

Известно, что при трении без смазки (на воздухе) графит имеет хорошие антифрикционные свойства. Он обладает значительными силами молекулярного сцепления с металлами, образуя на их поверхности пленку, сохраняющую кристаллическую структуру и создающую условия трения графита по графиту. Толщина образующейся пленки графита около  $100 \cdot 10^{-10}$  м, а коэффициент трения при этом очень мал (0,03-0,04) [1]. Триботехнические свойства смазок значительно улучшаются при введении в них порошков мягких металлов, их оксидов и солей некоторых металлов. Для смазки можно использовать пленки металлов меди, свинца, олова и индия. Смазки с такими добавками образуют на поверхности трения так называемый плакирующий слой, обладающий высокой контактной прочностью и пластичностью, хорошей теплопроводностью, увеличивающий фактическую площадь контакта, понижающий коэффициент трения, уменьшающий износ. Исследование триботехнических характеристик разработанного смазочного материала проводилось на машине трения модели СМТ-1. Материал образцов – сталь 45, закаленная до твердости НRC 45÷50. Пара трения: вращающийся диск (ролик) – неподвижный частичный вкладыш. Режим работы пары трения: постоянная скорость скольжения 1 м/с; нагрузка на образец повышалась ступенчато от 0,2 до 0,9 кН. максимальная площадь контакта в зоне трения составляла 0,8 см<sup>2</sup>. В ходе исследований фиксировалось изменение коэффициента трения в зависимости от нагрузки (рис. 1), изменение интенсивности изнашивания образцов в зависимости от нагрузки (рис. 2) и пути трения.

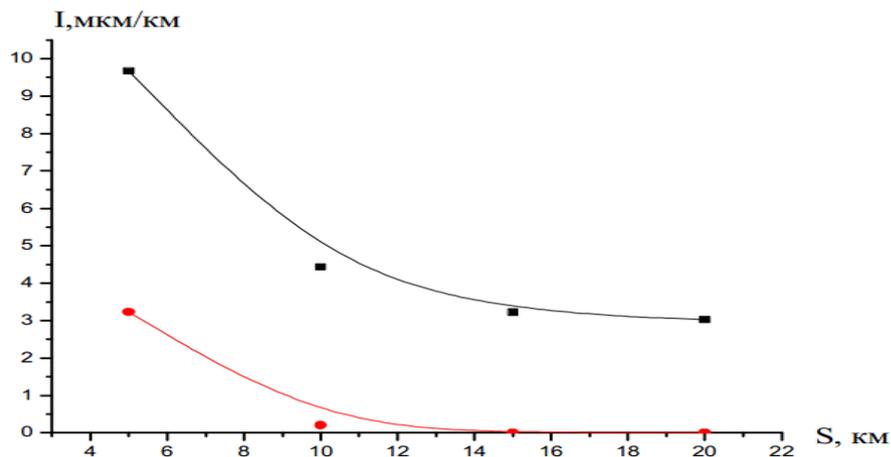


**Рис.1 - Зависимость коэффициента трения  $f$  от нагрузки  $P$  при смазке разработанной смазочной композицией с наполнителями: 1 – ЛИТОЛ-24 без наполнителя; 2 – ЛИТОЛ-24 с порошком меди; 3 – ЛИТОЛ-24 с порошком графита; 4 – ЛИТОЛ-24 с порошками графита и меди; 5 – ЛИТОЛ-24 омедненным графитом**

Образование пленок металлов при трении на металлических поверхностях фрикционного контакта ролика и вкладыша фиксировалась на микроскопе (рис. 3). Предполагается, что такие пленки образуются на локальных участках шероховатостей трущихся поверхностей, испытывающих максимальное контактное взаимодействие при взаимном перемещении

Одновременное введение в ЛИТОЛ-24 (3 мас.% суммарно) порошка меди и графита обеспечивает минимальное значение коэффициента трения 0,056 при нагрузке 0,3 кН, при этом смазочная композиция стабильно работает при нагрузке свыше 0,8 кН. Коэффициент трения снижается в 1,65 раза, интенсивность изнашивания уменьшается в 2,5 раза, по сравнению с трением в ЛИТОЛ-24 без наполнителей. Одновременное введение в пластичный смазочный материал порошков твердой смазки (коллоидного графита) и мягкого металла (меди) приводит к значительному снижению коэффициента трения и повышению нагрузочной способности.

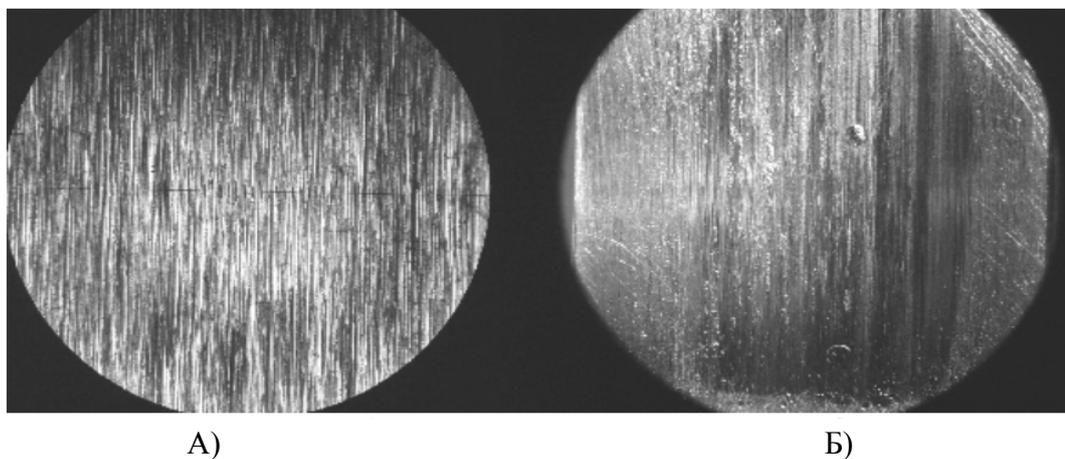
Добавление в смазку ЛИТОЛ-24 (3 мас.%) омедненного порошка графита улучшает триботехнические свойства смазки при данных условиях трения. Путем химического восстановления из раствора на поверхность частиц графита восстанавливалась металлическая медь в количестве 50% мас. от суммарной массы графита и меди. Применение в качестве смазки композиции, содержащей омедненный порошок графита, снижает коэффициент трения в 3 раза при нагрузке 0,3 кН, интенсивность изнашивания при этом снижается в 3,5 раза при нагрузке 0,6 кН. Применение в качестве смазки, содержащей омедненный порошок графита, в узлах трения приводит к образованию на контактирующих поверхностях металлоплакирующих пленок из меди, способных оказывать выраженное антифрикционное и противоизносное действие.



**Рис.2 – зависимость коэффициента трения  $f$  от пути  $S$  при смазке разработанной смазочной композицией с наполнителями: 1- ЛИТОЛ-24 без наполнителя; 2 – ЛИТОЛ-24 с омедненным графитом.**

Можно предположить, что значительное снижение интенсивности изнашивания происходит за счет образования на поверхности трения деталей слоя с повышенной микротвердостью. Микро-твердость поверхностного слоя пары трения увеличилась более чем в 1,5 раза.

Таким образом, введение в базовую пластичную смазку ЛИТОЛ-24 твердых смазок графита и антифрикционного металла меди позволило снизить коэффициент трения и износ пары трения, особенно резко это проявилось при использовании в качестве наполнителя порошка омедненного графита.



**Рис.3 – Поверхность трения образцов до испытаний (А) и после испытаний в смазочной композиции с наполнителем омедненным графитом (Б)**

#### Список литературы

1. Боуден Ф.П., Тейбор Д. Трение и смазка твердых тел / Под ред. И.В. Крагельского - М.: Машиностроение. 1968. – 542 с.
2. Курнаков А.С. // Эффект безызносности и триботехнологии. 1992. №2. с. 3
3. Мельников В.Г., Терентьев В.В., Зарубин В.П., Юдина Т.Ф.// Эффект безызносности и триботехнологии.2004.№1. с.33.

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ НАПЛАВКИ КРАНОВЫХ КОЛЁС

Дюжиков М. Г.

научный руководитель канд.техн.наук, доц. Шигин А.О.

*Сибирский федеральный университет*

В процессе эксплуатации крановые колёса, а именно поверхности реборд, работающие в условиях ударных нагрузок и истирания быстро изнашиваются. При износе на 15...20 мм. согласно техническим требованиям они подлежат утилизации.

Это первым делом может привести к обрушению крана, замена колёс ведет к остановке процессов производства на предприятии и снижению производительности.

В плане экономических затрат, приобретение новых колёс приводит к значительным затратам, что экономически не целесообразно.

Для решения этой проблемы была разработана технология наплавки крановых колёс, увеличивающая твёрдость наплавки до уровня твёрдости основного металла сорбитизированного колеса. При этом не требуются дополнительные по предупреждению трещин по сравнению с применяемыми технологиями наплавки проволоками Нп-30ХГСА и Св-18ХГС. Срок службы наплавленных колёс увеличивается в 1,7 раза по сравнению с новыми сорбитизированными.

Наплавку проволокой Нп-18Х2Г2 проводили на термоупрочненном (сорбитизированном) изношенном колесе диаметром 700 мм из стали 65Г. При этом одну реборду толщиной 5 мм и примыкающую часть дорожки качения предварительно протачивали на глубину 2 мм для удаления наклепа. Другую реборду толщиной 7 мм наплавливали без предварительной проточки прямо по наклепанной поверхности. Наплавку обеих реборд на режиме  $I = 450$  А,  $U_d = 30$  В,  $v_n = 25$  м/ч,  $v_{пп} = 132$  м/ч проводили без предварительного подогрева, так как во время наплавки обод колеса быстро разогревается. После наплавки колесо укрывали асбестовой тканью для замедленного остывания. Наплавку проточенной реборды толщиной 5 мм выполняли проволокой Нп-18Х2Г2 диаметром 3 мм, а другой реборды — проволокой Св-18ХГС диаметром 3 мм. В обоих случаях использовали флюс АН-348А. Из наплавленного колеса газовой горелкой вырезали сегмент обода с длиной окружности около 300 мм. Из его средней части затем вырезали темплет для металлографических исследований и замера твердости. Здесь уместно заметить, что, как показали исследования, при данном уровне твердости колеса не вызывают ускоренного изнашивания рельсов. Твердость металла, наплавленного проволокой Св-18ХГС, оказалась (254 HV) ниже твердости материала сорбитизированного колеса, т. е. подтвердились результаты практического применения.

Наплавка без подогрева могла вызвать появление закалочных структур повышенной твердости при укладке первого слоя. Однако этого не произошло (см. табл. 3), и твердость наплавленного слоя (383 HV) в этом сечении незначительно отличается от средней (324 HV). Таким образом, наплавку крановых колёс проволокой Нп-18Х2Г2 вполне допустимо выполнять без предварительного подогрева, если начинать с наплавки реборд. Микроструктура металла, наплавленного проволокой Нп-18Х2Г2. Экспериментальная наплавка колеса показала, что остаточная толщина реборд 5 и 7 мм не препятствует их восстановлению.

1. Износостойкость крановых колёс, наплавленных проволокой Нп-18Х2Г2, при испытаниях на трение почти в 2 раза выше, чем наплавленных проволокой Нп-30ХГСА, и в 10 раз выше износостойкости сорбитизированной стали 65Г.

2. Срок службы колес, наплавленных проволокой Нп-18Х2Г2, увеличился в 2,3—3,1 раза. При этом для предупреждения трещин не требуется дополнительных мер сверх обычно применяемых.

3. Более износостойкие колеса, наплавленные проволокой Нп-18Х2Г2, не вызывают ускоренного изнашивания рельсов. Износ рельсовой стали при трении о металл, наплавленный проволокой Нп-18Х2Г, в 10 раз ниже, чем при трении о сорбитизированную сталь 65Г.

### Список литературы

1. Александров М.П. Грузоподъемные машины: Учебник для вузов. – М: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана – Высшая школа, 2000 г. – 552с.

2. Глазунов С.Н., Гаврилюк В.С., Вялков В.Г., Овешников А.В. Технология восстановления стальных и чугунных деталей транспортных машин методом электродуговой наплавки с применением ферромагнитной шихты // Ремонт, восстановление, модернизация. – 2002. – № 6. С. 3–5.

3. Ферромагнитная шихта для дуговой наплавки деталей машин, изготовленных из железоуглеродистых сплавов: пат. 2448823 Российская Федерация: МПК В23К 35/36 / Глазунов С.Н. и др.; заявитель и патентообладатель Апраксин Д.В. – № 2010104100/02; заявл. 09.02.2010; опубл. 27.04.2012, Бюл. № 12. – 7 с.

4. Глазунов С.Н. Курс лекций: Технологические процессы реновации. – М: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2009 г., 99с.

5. Апраксин Д.В., Варламова Л.Д., Вялков В.Г., Глазунов С.Н., Слинко Д.Б. Методические указания к лабораторным работам по дисциплине технологические процессы реновации (способы сварки и наплавки). – М.: Изд-во МГТУ, 2009. 60 с., ил.



## **ПРОГРЕССИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ОБОРУДОВАНИЯ ГОРНО-МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА**

**Иванов А. С.**

**научный руководитель канд. техн. наук, доц. Шигин А. О.**

*Сибирский федеральный университет*

Рассмотрена возможность применения композиционных материалов в технологиях ремонта и восстановления оборудования горно-металлургического комплекса. Приведены основные свойства промышленных композиционных материалов. Даны рекомендации по использованию конкретных композиционных материалов для восстановления механизмов и деталей машин.

Необходимость в технологиях ремонта оборудования и систем жизнеобеспечения горно-металлургического комплекса, не требующих значительных финансовых вложений, материальных и трудовых ресурсов, существуют постоянно. Таким требованиям отвечают технологии ремонта с использованием ремонтных полимерных композиционных материалов, использование которых не требует дорогостоящей оснастки и оборудования, и часто являются адекватной замене сварке, пайке и наплавке. Рациональное использование физико-химических свойств полимерных композиционных материалов позволяет значительно снижать трудоемкость и себестоимость ремонта и сокращать расход материалов на их проведение. Особенно эффективно использование новых ремонтных технологий при ремонте трубопроводов, насосов и другого оборудования используемого в металлургических отраслях. Тенденции последних лет указывают на то, что ремонтными службами на горных и обогатительных предприятиях все более пристальное внимание уделяется перспективным технологиям восстановления таких важных систем, какими являются водоотведение, теплоснабжение и вентиляция. Важнейшими элементами этих систем являются трубопроводы, которые работают в различных температурных условиях, но имеют общий характер дефектов и разрушений. Трубопроводы используются для транспортировки жидкостей, газа, а также твердых веществ, перемещаемых под давлением. Используемые для этих целей трубы и трубопроводы по самым разным причинам могут повреждаться и протекать. Коррозия и воздействие химических веществ приводят к прогрессирующему уменьшению толщины стенок труб, вплоть до образования проходных отверстий; в сварных трубопроводах может появиться утечка из-за дефектов сварного шва. Полностью вывести из строя трубы и трубопроводы также могут и абразивные материалы. Аварийное состояние труб или трубопроводов может привести (как крайний случай) к прекращению всей производственной деятельности предприятия. Эрозионная коррозия, может осложнять проведение технического обслуживания, а усталостные изломы на вентиляционных каналах являются причинами многочисленных неполадок.

Для осуществления восстановления размеров деталей наиболее перспективными являются способы, при которых деталь или не подвергается температурным воздействиям, или подвергается незначительному нагреву, не изменяющему ее структуру и механические свойства. К таким способам относятся: гальваническое и электроискровое наращивание металла, различного рода металлизации напылением, импульсная приварка лент, но в первую очередь – применение полимерных композиционных материалов. Это обусловлено:

1. Относительной дешевизной синтетических материалов по сравнению с

металлами;

2. Простотой их применения;
3. Универсальностью при восстановлении деталей из цветных и черных металлов, бетона, дерева, пластмасс, керамики, стекла и др.;
4. Высокой химической стойкостью полимеров к различным агрессивным средам, в том числе кислотам, щелочам, нефтепродуктам, морской воде и др.;
5. Возможностью получения разнообразных, порой уникальных физико-химических свойств полимерных композиционных материалов, часто превосходящих по своим эксплуатационным характеристикам металлы;
6. Малой удельной массой полимеров;
7. Шумо- и вибропоглощением при их использовании в конструкциях машин и механизмов;
8. Антифрикционными и электроизоляционными свойствами.

Несмотря на невысокие (по сравнению с металлами) прочностные характеристики полимеров и адгезионных соединений полимер-металл, а также на невысокую допустимую рабочую температуру восстановленных соединений (в большинстве случаев не выше 200-250 °С), применение полимерных материалов в ремонтных работах возрастает во всем мире. В настоящее время уже достаточно четко определились те области, в которых использование полимерных материалов предпочтительно, а их ценные свойства используются наиболее эффективно.

Ремонтно-восстановительные работы с применением полимерных материалов в различных отраслях промышленности можно условно разделить на два основных направления:

1. использование полимерных материалов для устранения брака и дефектов основной продукции предприятия, например, литьевого брака в литых заготовках;
2. ремонт основного и вспомогательного технологического оборудования самих предприятий (насосное и вентиляционное оборудование, редукторы, системы гидравлики, трубопроводы, технологические емкости и др.);

В настоящее время они начинают применяться в машиностроении, авто- и судоремонте, при ремонте сельскохозяйственных машин, в энергетике, в химической и нефтеперерабатывающей промышленности, коммунальном хозяйстве, полиграфии, деревообрабатывающей, целлюлозно-бумажной промышленности и др. Однако в горном деле их применение пока недостаточно развито.

Восстановление деталей металлополимерными композициями имеет ряд специфических особенностей по сравнению с восстановлением деталей металлами (наплавкой, металлизацией, сваркой, пайкой и т.п.), обусловленных, прежде всего, использованием химической энергии для обеспечения реакции полимеризации. В этом случае необходимо в ходе технологического процесса управлять формированием свойств полимерного материала, показатели которого отличаются от показателей свойств металлической детали. Поэтому незначительное отклонение от оптимальных условий может привести к резкому ухудшению качества восстанавливаемой детали. При восстановлении деталей металлополимерами имеется определенный «запас» качества, в результате чего режимы восстановления не так жестки. Но при этом принципиальное значение приобретают такие операции, как подготовка поверхностей деталей, приготовление и нанесение ремонтных композиций, тепловая и механическая обработка деталей.

Подготовка поверхностей деталей. Одной из основных операций, определяющих качество восстановления деталей, является подготовка их поверхностей перед нанесением металлополимерной композиции. Ее цель – обеспечить наилучшие условия адгезионного взаимодействия между композицией и деталью, а также придать



поверхности детали необходимую геометрическую форму. Весь процесс подготовки можно разделить на следующие операции: очистка и мойка деталей; обезжиривание и химическая обработка восстанавливаемой поверхности; сохранение чистоты восстанавливаемой поверхности до нанесения композиции.

Металлополимерные композиции являются многокомпонентными системами, окончательное приготовление которых осуществляется непосредственно на местах работы и незадолго до их применения. Это обусловлено тем, что после смешивания двух компонентов жизнеспособность композиции колеблется в пределах 40-60 мин., что, в свою очередь, и определяет количество приготавливаемого состава. Перед смешиванием двух компонентов между собой каждый из них должен быть перемешан разными шпателями. Компоненты смешивают в соотношении, указанном в инструкции. Тщательная подготовка ремонтных композиций ведет к получению качественного ремонта.

Нанесение и формирование ремонтных композиций. При восстановлении деталей металлополимерными композициями они должны наноситься на поверхности расположенные под разными углами наклона. В связи с вязкой консистенцией композиции и в связи с наличием гравитационных сил возникает задача по сохранению слоя материала заданных режимов в первый период отверждения. Отсюда следует, что металлополимерные композиции должны обладать вполне определенными реологическими свойствами, обеспечивающими качественное восстановление деталей. После нанесения слоя композиции на поверхность деталей слой материала необходимо подвергнуть формированию, т.е. силовому воздействию с целью придания требуемой формы. При восстановлении изношенных деталей формирование обеспечивает получение заданных параметров.

Отверждение ремонтных композиций при комнатной температуре обычно не заканчивается, и малейшее повышение температуры окружающей среды по сравнению с комнатной температурой приводит к изменению физико-механических свойств композиции. Тепловая обработка композиции может осуществляться по различным схемам в зависимости от времени подвода тепла: а) подвод тепла осуществляется сразу после соединения деталей (горячее отверждение), б) подвод тепла производится после момента схватывания, но до момента технологического отверждения, в) нагрев осуществляется после технологического отверждения (смешанное отверждение). При восстановлении деталей наиболее приемлемым являются две последние схемы нагрева, так как при использовании первой схемы композиция становится маловязкой, что на наклонной поверхности детали приводит к стеканию композиции. Механическая обработка отвержденной композиции необходима для удаления заусенцев, снятия острых кромок. Поскольку при механической обработке наблюдается прямая корреляция между скоростью деформирования и скоростью резания, то все прочностные характеристики и модуль упругости материала возрастает при увеличении скорости резания. Обработка композиционных материалов режущим инструментом может быть рассмотрена как разновидность процесса управляемого разрушения. Определяющими факторами технологического процесса механической обработки деталей из металлополимерных материалов являются физико-механические свойства, которые могут регулироваться соответствующими режимами резания. Эффективное использование физико-механических и химических свойств полимерных композиционных материалов позволяет значительно снизить трудоемкость ремонта различных изделий и систем.

Рациональное использование физико-химических свойств ремонтных композиционных материалов позволяет снизить трудоемкость ремонта на 20-60%, себестоимость работ – на 45-60%, сократить расход металлов на 40-50%. Это



обусловлено тем, что такая технология не требует сложного оборудования и высокой квалификации работающих, появляется возможность производить ремонт без разборки узлов и агрегатов, а также соединений, которые с точки зрения безопасности, трудно и опасно ремонтировать известными способами. Основные преимущества технологий ремонта с использованием композиционных материалов заключаются в сокращении сроков ремонта в 5-10 раз по сравнению с традиционными методами. Опыт эксплуатации отремонтированных объектов показывает, что срок их службы может увеличиться в 2-10 раз [1]. Широкое применение прогрессивной технологии ремонта с использованием композиционных материалов на горно-металлургических комплексах позволит обеспечить более высокую надежность и долговечность горного оборудования, а также наладить их оперативный ремонт.

#### **Список литературы**

1. Храменков С.В. и др. Бестраншейные методы восстановления водопроводных и водоотводящих сетей: М., ТИМР, 2000г., 179 с.
2. Тулинов А.Б., Гончаров А.Б. Новые композиционные материалы в ремонтном производстве. «Ремонт, восстановление, модернизация». №11, 2003, с. 46-47



## СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ РЕЖИМНЫМИ ПАРАМЕТРАМИ ПОРОДОРАЗРУШАЮЩИХ МАШИН

Панов А.А., Шигина А.А.

научный руководитель д-р техн. наук, проф. Гилев А.В.

*Сибирский федеральный университет*

Современные автоматизированные системы управления (АСУ) породоразрушающих машин не позволяют своевременно реагировать на изменение свойств объекта воздействия (горной породы), подстраивать режимы работы и компенсировать возмущения при функционировании системы «Вращательно-подающий орган - рабочий орган - горная порода» (ВПО-РО-ГП), что приводит к снижению ее эффективности. Кроме того, в современных АСУ отсутствует возможность принимать решения об изменении параметров при изменяющихся свойствах объекта, а также баз знаний в виде специальных математических моделей, отражающих протекающие в системе информационные процессы, что не позволяет учесть все многообразие и сложность задач, возникающих в процессе функционирования АСУ. Обеспечение заданных требований по оперативности (своевременности) и точности передачи информации является основополагающим условием повышения качества управления объектом и процессом.

Данная проблема может быть решена путем использования в ПМ автоматизированной интеллектуальной системы (АИС) с адаптивным вращательно-подающим механизмом [1] для увеличения ресурса дорогостоящего бурового инструмента до двух раз, повышения эффективности и удешевления процесса бурения.

Разработанная АИС позволяет своевременно отследить изменение свойств объекта воздействия в процессе функционирования объекта управления (осуществление мониторинга), определить его прогнозируемый ресурс, осуществить корректировки режимных параметров в постоянном режиме, а также обеспечивает успешное решение задач при априорной неполноте и нечеткости исходных данных, вариабельности и неточности характеристик исследуемого объекта воздействия.

Применение разработанных методик расчета ресурса, оптимальной производительности [2] и удельных затрат на осуществление технологического процесса, контроль и учет данных рекомендаций позволят повысить эффективность функционирования технической системы С-Д-П и снизить эксплуатационные затраты в условиях непрогнозируемых изменяющихся свойств объекта воздействия и ударных нагрузок. Применение указанных методик необходимо в целях реализации конкретного алгоритма и получения определенного прогнозируемого результата функционирования технической системы.

*Управление структурной динамикой сложных технических систем.* Перспективным направлением развития искусственного интеллекта стали работы по основам теории управления структурной динамикой сложных технических систем. Направление предлагает использовать комплексы с различными моделями, комбинированные методы и алгоритмы, а также разработку интеллектуальной технологии автоматизированного проектирования систем мониторинга и управления сложных технических объектов в различных условиях изменения обстановки.

Процесс мониторинга позволяет анализировать переход структуры системы из одного состояния в другое под действием различного рода причин (воздействий

внешней среды, конфликтующих систем и т.д.).

Место теории управления структурной динамикой сложных технических систем определяется как интеграция искусственного интеллекта с системным анализом, исследованием операций, теорией управления и теорией систем, т.е. требует междисциплинарных исследований. Концепция проблемы управления структурной динамикой сложных технических объектов сводится к решению следующих основных задач:

- анализ структурной динамики сложной технической системы;
- оценивание структурного состояния системы;
- выбор оптимальных программ управления и регулирования структурной динамики системы.

Для обобщенной интеллектуальной системы обычно используют структуру, которая взаимодействует с внешней средой и в процессе получения от нее необходимой информации формирует цель действия и анализирует воздействия на систему (физические и информационные). Определяющими элементами системы управления в этом случае являются интеллектуальный преобразователь и базовая система управления.

В случае использования в системе управления искусственного интеллекта в качестве интеллектуального преобразователя реализуются экспертные системы, ситуационное управление, управление структурной динамикой сложных технологических и других интеллектуальных систем и их элементов.

Математическая модель интеллектуальной системы управления состоит из трех частей:

- интеллектуального преобразователя;
- объекта управления;
- управляющего устройства системы (вычислительных и преобразующих и исполнительных устройств).

Интеллектуальный преобразователь изменяет информацию о внешней среде и объекте управления и трансформирует в сигналы воздействия на управляющие устройства системы. Для формирования воздействий на систему управления объектом в этом преобразователе используется блок принятия решения.

Важнейшим качеством элементов и среды в целом является способность к адаптивным изменениям своего состояния. В достижении адаптивного состояния необходимо иметь ввиду, что в случае движения системы под прямым воздействием движущих внешних сил (сигнального воздействия) направление адаптивного движения системы предопределено, а при движении системы под опосредованным влиянием внешних сил требуется периодическое прерывание адаптивного движения для определения направления корректирующего действия.

*Функционирование типовой АСУ и АИС с адаптивным элементом.* Классическая схема автоматизированной системы управления включает управляемый объект и управляющую систему, находящиеся в некоторой окружающей среде и взаимодействующие друг с другом за счет управляющих и обратных связей.

В отличие от приведенной АСУ, которая нашла широкое применение в различных областях промышленности, для автономной работы бурового станка необходимо применение интеллектуальной системы, которая наряду с основными функциями позволяет отслеживать информационный поток об изменяющихся случайным образом свойствах горной породы. Для осуществления на базе бурового станка интеллектуального автоматизированного управления в аппаратном комплексе системы должен содержаться адаптивный элемент электромагнитного типа, который одновременно сглаживает случайные ударные нагрузки и позволяет получить быстрый



обратный сигнал о времени и величине удара.

Принципиальная схема функционирования предлагаемой АИС функционирует по следующему алгоритму. Внешняя среда (массив горной породы: свойства буримых пород и их непрогнозируемые изменения) воздействует на процесс функционирования объекта (бурового инструмента). Данная система предполагает включение адаптивного вращательно-подающего механизма (вспомогательного адаптивного элемента) бурового станка, блока датчиков, компьютера и блока контроллеров. На объект также воздействуют возмущения, не зависящие от системы управления: ударная нагрузка (причина изменения режима работы бурового станка), помехи (вибрации, уровень запыленности, температура, ошибки приборов, сбой в системе управления). Данный адаптивный элемент позволяет сглаживать эти непрогнозируемые возмущения.

Для анализа входной информации об изменении физико-механических характеристик горной породы датчики (задающее устройство) посылают в компьютер информационные сигналы об изменениях скорости бурения и тока в статоре адаптивного механизма (задающее воздействие). В компьютере эти информационные сигналы преобразуются в управляющие сигналы (информацию о действительных характеристиках горной породы и режимных параметрах) при помощи блока контроллеров (регуляторов, управляющих устройств), предназначенных для сглаживания кратковременных отклонений и реализации процесса управления и программного блока, который содержит разработанные расчетные методики (реализация алгоритма управления). Затем управляющие сигналы направляются к исполнительному устройству, реализующему принятое решение и способствующему изменению соответствующих режимных параметров (автоматическое регулирование). По этим методикам определяется прогнозируемый ресурс бурового инструмента и удельные затраты на бурение, соответствующие действительным значениям режимных параметров и свойств породы. Из этой же информации определяются оптимальная скорость бурения и режимные параметры (выходные данные). Для улучшения качественных характеристик системы действительные значения сравниваются с оптимальными и автоматически изменяются с помощью корректирующих устройств.

По обратной связи осуществляется быстрая передача информации о текущих режимных параметрах объекта управления от объекта управления к управляющей части. После корректирующих воздействий адаптивный вращательно-подающий механизм работает во вновь заданных режимах и осуществляет подачу и вращение бурового инструмента с необходимым усилием и скоростью. Буровой инструмент проходит сквозь массив горной породы с заданной скоростью до очередного изменения характеристик горной породы. Расчетные значения выводятся на приборную панель с помощью модуля визуализации, предназначенного для демонстрации результатов моделирования и последующего контроля оператора.

### Список литературы

1. Шигин А.О. Адаптивный вращательно-подающий механизм бурового станка для снижения непрогнозируемых нагрузок при бурении сложноструктурных пород / А.О. Шигин // Горный журнал. – Москва: изд. ИД "Руда и Металлы". – №7, 2013. – С. 79 – 83.
2. Шигин А.О. Повышение ресурса шарошечного бурового инструмента за счет оптимизации режимных параметров при бурении сложноструктурных массивов горных пород / А.О. Шигин // Вестник ИрГТУ. – № 10, 2014. – С. 59 – 67.



## **ОБЕСПЕЧЕНИЕ ТОЧНОСТИ И НАДЕЖНОСТИ МЕТАЛЛООБРАБАТЫВАЮЩЕГО ОБОРУДОВАНИЯ**

**Панов А.А.**

**научный руководитель канд.техн.наук, доц. Шигин А.О.**

*Сибирский федеральный университет*

Одной из важнейших проблем современного машиностроения является проблема обеспечения точности и надежности металлообрабатывающего оборудования.

В настоящее время остро стоит вопрос дальнейшего совершенствования машин, увеличения их производительности, мощности, быстроходности, точности и длительности сохранения первоначальных Функциональных параметров в процессе эксплуатации.

К металлорежущим станкам, предъявляются требования технологической надежности - обеспечить выпуск продукции заданного качества в течение всего периода эксплуатации.

В металлорежущих станках проблема точности и надежности сводится к обеспечению точностной или параметрической надежности как станка в целом, как и его основных узлов.

Одним из наиболее ответственных узлов любого станка является его суппортный узел, так как он всегда участвует в движениях формообразования. На его долю приходится от 30% до 50% погрешностей в общем балансе точности станка. Суппортный узел, воспринимая весь спектр эксплуатационных нагрузок, должен обеспечить заданную точность и ее сохранение во времени.

Значительное влияние на точность перемещения суппортного узла оказывает процесс изнашивания его базовых деталей - направляющих. Неравномерность изнашивания направляющих по длине, приводит к изменению траектории движения суппортного узла и, поднадстройками или коррекции управляющих программ полностью устранить влияния этого искажения на точность обрабатываемых деталей невозможно. Кроме того, процесс изнашивания изменяет динамические свойства станка и этим косвенно влияет на точность обработки. Поэтому на всех этапах, особенно при проектировании и изготовлении опытных образцов новых станков, необходимо иметь методы прогнозирования потери точности станка в результате износа его направляющих. Для решения этой задачи очень важной представляется проблема исследования с учетом начального периода эксплуатации станка, когда происходит наиболее интенсивное, как правило, нелинейное ухудшение его функциональных параметров. Исследования начального периода эксплуатации (периода приработки) дадут возможность на основе физических процессов протекающих в станках, повысить точность прогноза сохранения их технологической надежности.

В настоящее время практически отсутствуют работы, посвященные прогнозированию параметрической надежности станка с учетом периода приработки, с реализацией вероятностного подхода к прогнозированию.

Целью работы является создание инженерной методики прогнозирования, потери точности токарных станков с учетом процесса приработки направляющих скольжения, предусматривающей возможность оценки параметрической надежности станка, находящегося в реальных условиях заводской эксплуатации, а также вероятностной оценки периода приработки.

Данные прогнозирования могут быть использованы на стадии проектирования для выбора оптимального конструктивного исполнения станка, а на стадии эксплуатации - для разработки оптимальной (с точки зрения долговечности станка) технологии обработки и последовательности партий обрабатываемых деталей в зависимости от требуемой точности, планирования эксплуатации его на прецизионных работах, а также для организации системы ремонта и ТО. Поэтому, проблема исследования периода приработки направляющих скольжения для прогнозирования потери точности станка в целом, является актуальной и направлена на практическую реализацию общей теории надежности машин в плане повышения качества и надежности суппортной группы.

### Список литературы

1. Проников А.С. Надежность машин. М.: Машиностроение. 1978. - 592 с.
2. Проников А.С. Оценка качества и надежности металлорежущих станков по выходным параметрам точности. Станки и инструмент. 1980. №6. с. 5-7.
3. Нури К. А. Некоторые Факторы, влияющие на поведение поверхностей в условиях контакта. В сб.: Груды американского общества инженеров-механиков: Проблемы трения и смазки. - М.: мир. щ. 19 в в,1. С.15-19.
4. Детали и механизмы металлорежущих станков / Под ред. Д.Н. Решетова. М.: Машиностроение, 1972<sup>^</sup> т.1. - 664 с.
5. Решетов Д.Н. Работоспособность и надежность деталей машин. М.: ВИСШая ШКОЛа, 1974. - 204 с.
6. Базров Б.М. Технологические основы проектирования самоподнастраивающихся станков. М.: Машиностроение, 1978. - 216с.
7. Дальский А.М. Технологическое обеспечение надежности высокоточных деталей машин. М.: Машиностроение, 1975. - 224с.
8. Рыжов Э.В. Технологическое управление геометрическими параметрами контактирующих поверхностей. В кн. Расчетные методы оценки трения и износа. Брянск, 1975 с. 98-138.- 202
9. Корсаков В.С. Точность механической обработки. М.: Машгиз, 1961. - 379 с.
10. Проников А.С. Методы расчета машин на износ. Сборник: //начные методы оценки трения и износа. Приокское кн. изд. Брянскоеотделение. Брянск. L975.



## **РАЗРАБОТКА МЕРОПРИЯТИЙ ПОВЫШЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ГРУЗОПОДЪЕМНЫХ КРАНОВ**

**Строкин Г.А., Яковлев В.В.**

**научные руководители канд. техн. наук, доц. Шахрай С.Г.**

**канд. техн. наук, доц. Шигин А.О.**

*Сибирский федеральный университет*

Эксплуатация грузоподъемных кранов в металлургической и строительной отраслях сопряжена с постоянным риском возникновения аварийных ситуаций, влекущих за собой опасность травматизма обслуживающего персонала.

Основные причины аварий мостовых кранов, эксплуатируемых на предприятиях горно-металлургического комплекса: обрывы стальных грузовых канатов, разрушение крюков, неисправность приборов безопасности, неисправность грузозахватных приспособлений, разрушение металлоконструкций вследствие низкого качества стали, применяемой при их изготовлении, эксплуатация крана значительно дольше нормативного срока службы, некачественное обследование кранов, отработавших нормативный срок. Кроме этого, зачастую крановщики металлургических кранов работают в условиях воздействия вредных факторов: электромагнитных полей, резких перепадов температур, высокой загазованности и запыленности, пр. [1].

Причины большого числа аварий башенных кранов связаны с их частой перебазировкой с объекта на объект, сопровождающейся частичной или полной разборкой крана на узлы, а также удаленностью этих объектов от баз обслуживания, что усложняет контроль за качеством монтажа, состоянием, своевременным обслуживанием и качеством ремонта крана [1]. Наиболее характерные аварии и несчастные случаи, связанные с использованием кранов в строительстве: отрыв башни от поворотного круга ходовой тележки, поломка предохранительного устройства, предупреждающего сход каната с блока стрелы, перегрузка крана из-за неисправности ограничителя грузоподъемности, обрыв каната вследствие его недопустимого износа, потеря устойчивости крана при его неправильной установке, использование бракованных строп, установка крана вблизи стен здания или ЛЭП на расстояниях ниже допустимых, нарушение проектов производства кранами, некачественное изготовление кранов, неудовлетворительный ремонт кранового оборудования, угон крана ветром, допуск к обслуживанию кранов необученных рабочих, эксплуатация кранов, отработавших нормативный срок службы, отсутствие технического надзора за безопасной эксплуатацией кранов в организациях [1].

Основной опасный фактор при эксплуатации башенных кранов – риск падения крана. Типовые последствия аварий кранов, приводящих, как правило, к гибели машиниста, показаны на рис. 1; 2.

В общей сложности в России эксплуатируется более 700 тыс. подъемных сооружений, на которых ежегодно происходит от 30 до 50 аварий и смертельно травмируется от 60 до 120 человек [2].

Наибольшее число смертельных несчастных случаев - 85,7%, происходит при эксплуатации грузоподъемных кранов, 3,9% - подъемников и вышек, и 10,4% - при пользовании лифтами. Данные, представленные в табл. показывают, что в России наибольшее количество грузоподъемных машин эксплуатируются в Центральном, Приволжском и Сибирском федеральном округах, и именно в этих регионах происходит наибольшее количество несчастных случаев со смертельным исходом, связанных с эксплуатацией кранов [1].



**Рис.1 - Авария башенного крана из-за просадки его опорных элементов**



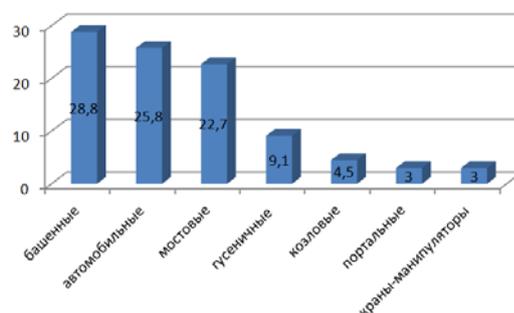
**Рис.2 - Аварии башенных кранов, связанных с нарушением правил безопасности работ при их демонтаже**

Таблица 1 – Данные о травматизме при эксплуатации грузоподъемных кранов

Регион	Количество кранов, ед.	Несчастных случаев со смертельным исходом	
		всего	на кранах
Центральный федеральный округ	52986	12	10
Центральное управление	11713	3	3
Верхне-Донское управление	14322	3	3
Верхнее-Волжское управление	6320	1	1
Приокское управление	10000	3	3
Северо-Западный федеральный округ	23750	6	4
Северо-Западное управление	11450	5	3
Северное управление	6287	1	1
Южный федеральный округ	23882	3	2
Северо-Кавказское управление	5955	1	1
Средне-Кавказское управление	5211	1	1
Приволжский федеральный округ	48295	15	10
Западно-Уральское управление	10258	3	2
Приуральское управление	10646	4	3
Приволжское управление	7470	4	2
Волжско-Окское управление	7473	4	3
Уральский федеральный округ	41471	9	7
Северо-Уральское управление	17054	2	2
Уральское управление	24417	7	5
Сибирский федеральный округ	34717	13	13
Южно-Сибирское управление	8924	4	4
Забайкальское управление	2262	1	1
Енисейское управление	8236	3	3
Западно-Сибирское управление	10316	1	1
Прибайкальское управление	4979	4	4
Дальневосточный федеральный округ	12822	6	6
Сахалинское управление	2230	1	1

Согласно данным, представленным на рис. 3, самый высокий уровень травматизма наблюдается при эксплуатации башенных, автомобильных и мостовых кранов, что делает актуальным поиск технических решений, направленных на повышение безопасности их эксплуатации.

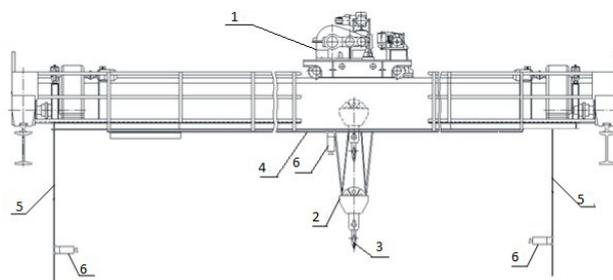
В настоящей работе представлены разработанные технические мероприятия, направленные на повышение безопасности эксплуатации мостовых и башенных кранов.



**Рис.3 - Число несчастных случаев, произошедших при эксплуатации грузоподъемных кранов (% от общего количества)**

Повысить безопасность и обеспечить нормальные санитарно-гигиенические условия крановщику, сократить его непроизводительные затраты рабочего времени, связанные с подъемом на находящееся на высоте рабочее место, предлагается за счет дистанционного управления грузоподъемными кранами. Для этого рабочее место крановщика и пульт управления мостового металлургического крана оборудуется в зоне «нулевой» отметки, где влияние вредных и опасных факторов практически исключено, а рабочее место крановщика и пульт управления башенного крана организуется на поворотной платформе крана или на некотором удалении от нее. Перенос кабин с верхних отметок исключит влияние вредных факторов на крановщика металлургического крана и риск травмирования крановщика башенного крана в случае его падения с лестницы или в аварийной ситуации, сопровождающейся падением крана.

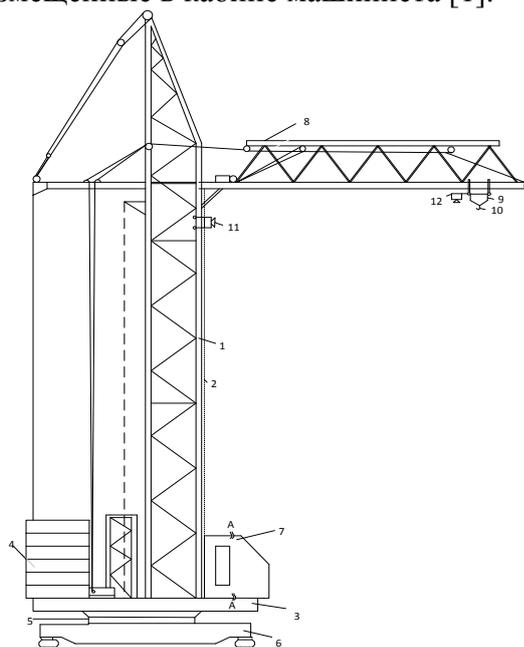
На металлургическом мостовом кране контроль точности перемещения груза осуществляется минимум тремя видеокамерами, размещенными с возможностью их свободного перемещения по направляющим, расположенным на мосту и на специально устраиваемых в районе концевых балок крана выносных вертикальных несущих (рис. 4). Перемещение груза в горизонтальной плоскости контролируется видеокамерой, размещенной на мосту. Перемещение груза в вертикальной плоскости контролируется видеокамерами, перемещающимися по вертикальным несущим. Точность выполнения операций отслеживается на мониторе, установленном на рабочем месте крановщика, на которое передаются изображения от видеокамер.



**Рис.4 - Мостовой кран: 1 – тележка; 2 – крюковая подвеска ; 3 - крюк ; 4;5 – соответственно, горизонтальная и вертикальная направляющая перемещения телекамеры; 6 – телекамеры**

На башенном кране (рис. 5) точность перемещения груза контролируется минимум двумя телекамерами, одна из которых установлена на башне на стороне, обращенной к стреле, с возможностью перемещения по вертикали, вторая – на грузовой

кадетке, перемещающейся по стреле в горизонтальной плоскости. Изображение с камер передается на мониторы, размещенные в кабине машиниста [1].



**Рис.5 - Башенный кран: 1-башня; 2-направляющие; 3-поворотная платформа; 4-противовес; 5-опорно-поворотное устройство; 6-опорная тележка; 7-кабина крановщика; 8-стрела; 9-кадетка; 10-крюк; 11;12- телекамеры**

Наличие видеокамер также позволяет оценить точность подводки груза к точке его разгрузки (установки), в т.ч. и с помощью сигналов, подаваемых стропальщиком.

Преимущества представленных технических решений заключаются в обеспечении безопасных условий труда крановщика, отвечающих требованиям санитарных норм, сокращении непроизводительных затрат рабочего времени, затрачиваемых крановщиком при подъеме в кабину, увеличении коэффициента полезного использования грузоподъемных кранов.

1. Выполнен анализ травматизма, связанный с эксплуатацией грузоподъемных кранов. В результате анализа выявлено, что наибольшая часть травм происходит при эксплуатации мостовых, башенных и автомобильных кранов.

2. По результатам анализа разработано и предложено техническое решение, существенно снижающее травматизм при эксплуатации мостовых и башенных кранов, а также повышающее эффективность эксплуатации грузоподъемных машин.

3. На представленное техническое решение оформлена заявка на полезную модель.

### **Список литературы**

1. Крылова Е.А., Извеков Ю.А. О подходе к оценке техногенной безопасности металлургического производства// Успехи современного естествознания.– 2012.– № 6– С. 32-33.

2. Эл. ресурс: <http://www.deltacar.ru/avariinost-i-travmatizm/avarii-bashennykh-kranov/avariinost-i-travmatizm-avarii>.

3. Примеры характерных аварий и несчастных случаев, связанных с использованием кранов и подъемников. Эл. Ресурс [http://allformgsu.ru/publ/bezopasnost\\_zhiznedejatelnosti/primery\\_kharakternykh\\_aviarij\\_i\\_neschastnykh\\_sluchaev\\_svjazannykh\\_s\\_ispolzovaniem\\_kranov\\_i\\_podemnikov/17-1-0-66](http://allformgsu.ru/publ/bezopasnost_zhiznedejatelnosti/primery_kharakternykh_aviarij_i_neschastnykh_sluchaev_svjazannykh_s_ispolzovaniem_kranov_i_podemnikov/17-1-0-66).

4. Шахрай С.Г., Шигин А.О., Строкин Г.А., Яковлев В.В. Башенный кран. Заявка на полезную модель №2016109498 от 16.03.2016.

## УВЕЛИЧЕНИЕ ДОЛГОВЕЧНОСТИ И ИЗНОСТОЙКОСТИ ДЕТАЛЕЙ ПЛАСТИЧЕСКИМ ДЕФОРМИРОВАНИЕМ

**Филидов А. Н.**

**научный руководитель канд.техн.наук, доц. Шигин А.О.**

*Сибирский федеральный университет*

В технологических процессах изготовления деталей и их восстановления все большее внимание уделяется операциям поверхностного упрочнения, обеспечивающие необходимые параметры качества поверхностного слоя. В ряде случаев для повышения эксплуатационных свойств деталей машин необходимо создание поверхностного слоя с упрочненной структурой. Имеющие способы упрочняющей обработки не всегда позволяют осуществлять перечисленным требованиям. Поэтому необходимо проведение исследований расширяющих технологические возможности способов упрочнения.

Потеря работоспособности деталей машин в процессе их эксплуатации связана, как правило, с разрушением их поверхностного слоя. В этой связи остро стоит проблема обеспечения долговечности деталей и надежности машин, повышения их износостойкости за счет применения упрочняющих обработок, как при изготовлении, так и восстановлении.

К способам упрочняющей обработки относятся способы поверхностного пластического деформирования (ППД), позволяющие формировать упрочненный поверхностный слой с показателями качества, изменяющимися в широком диапазоне: глубина упрочнения 0,1...15 мм, повышение твердости упрочненного слоя до 20...150 %, величина сжимающих напряжений на уровне 200...1400 МПа. Однако, создание поверхностного слоя с требуемым равномерным упрочнением, а также формирование способами ППД остаточных напряжений до сих пор остается не до конца реализованным. Это, в свою очередь, зачастую является препятствием для их эффективного применения для целого ряда деталей машин. Создание такого поверхностного слоя связано с определенным количеством используемых параметров обработки, обеспечивающих необходимые показатели качества поверхностного слоя. Одними из основных параметров при ППД являются параметры, которые характеризуют статическую и динамическую силу деформирования. Энергетически более выгодно применение для обработки поверхности деталей динамической нагрузки, чем статической, поскольку аналогичное по эффективности динамическое силовое воздействие может быть получено с меньшими энергетическими затратами. При обработке ППД наиболее перспективным является возможность создания остаточных напряжений и упрочненной структуры в поверхностном слое с большей глубиной за счет применения метода вибрационного деформирования, использующего для нагружения энергию удара определенной амплитуды и частоты обрабатываемого рабочего органа. Одной из проблем эффективного применения динамических способов ППД является довольно низкая точность при регулировании показателей качества поверхностного слоя, поскольку при одинаковой кинетической энергии удара, энергия, расходуемая на пластическую деформацию, может иметь разное значение. Это происходит из-за того, что с увеличением скорости нагружения уменьшается время протекания пластической деформации. Поэтому ее величина будет зависеть как от силы удара, связанной с амплитудой, так и от его длительности. Ввиду этого удар следует рассматривать в виде волн, которые характеризуются законом изменения деформаций или сил по времени, амплитудой колебаний, временем действия сил и

энергией волны. Пятно контакта обрабатывающего инструмента с обрабатываемой поверхностью будет определять эффективность динамического нагружения. Управление волнами деформации энергией ударного импульса, используемого для обработки ППД, позволит значительно повысить КПД технологического процесса и увеличить точность регулирования показателями качества на значительной глубине упрочненного поверхностного слоя. Возможность регулирования равномерности упрочненного поверхностного слоя, позволит получать упрочненную структуру с заданным характером чередования твердых и мягких ее составляющих. При обеспечении качества поверхностного слоя важную роль играют способы упрочнения поверхностным пластическим деформированием. Обработка ППД является одним из наиболее эффективным способом повышения эксплуатационных свойств для тяжело нагруженных деталей (поршневые пальцы, втулки верхних головок шатунов, диски копачей свеклоуборочных машин, диски сошников зерновых сеялок, плужные лемехи и др.). Технология ППД с использованием механических колебаний характеризуется меньшей энергоемкостью, позволяет экономить дорогостоящие металлы, отличается достаточно высокой точностью, стабильностью размеров и свойств. В последнее время развивается ряд перспективных направлений по созданию упрочненного поверхностного слоя обеспечивающего более высокие требования условий эксплуатации. Применение более мелкой и равномерной структуры, получаемой при вибрационной обработке, способствует торможению более пластичным металлом хрупкой трещины, зародившейся в твердой структурной составляющей. При абразивном изнашивании выступающие единичные элементы повышенной твердости затрудняют контакт абразивных частиц с материалом основы и позволяют до 15 раз увеличить износостойкость.

Глубина и степень упрочнения поверхностным пластическим деформированием обычно характеризуется изменением твердости и остаточных напряжений по глубине поверхностного слоя. При этом создаются остаточные напряжения, которые являются результатом пластической деформации. Определяющим показателем качества поверхностного слоя при обработке ППД является твердость, которая может изменяться по глубине и на некотором расстоянии от поверхности плавно переходить к исходной твердости ненаклепанного металла. Следует отметить, что характер изменения твердости поверхностного слоя после ППД зависит от режимов обработки и свойств обрабатываемого металла, которые характеризуются химическим составом и структурным состоянием. Наибольшая степень упрочнения достигается при обработке углеродистых сталей; легированные стали менее склонны к упрочнению. При реализации динамических способов ППД осуществляется ударное деформированное воздействие на обрабатываемую поверхность в условиях прерывистого контакта. Для выяснения степени влияния высоты калибрующей части рабочего инструмента на качество обрабатываемой поверхности образцов деталей последний изготавливались из закаленной стали 45 с припуском на обработку  $P = 0,7$  мм и углом уклона обрабатывающего инструмента равным  $10^\circ$ .

Для каждого материала существует рациональная длительность импульса, при которой достигается максимальная степень и глубина упрочнения. Материалы низкой твердости целесообразно упрочнять с небольшой длительностью импульса и большей амплитудой. С увеличением исходной твердости обрабатываемого материала растут требования к длительности ударного импульса.

### Список литературы

1. Бабичев А. П. Основы вибрационной технологии / А. П. Бабичев, И. А. Бабичев. — Ростов н/Д : Издательский центр ДГТУ, 2008. — 694 с.



2. Бабей Ю. И. Физические основы импульсного упрочнения стали и чугуна / Ю. И. Бабей. — К. : Наукова думка, 1987. — 238 с.
3. Смелянский В. М. Механика упрочнения деталей поверхностным деформированием / В. М. Смелянский. — М. : Машиностроение, 2002. — 300 с.
4. Еремьянц В. Э. Влияние формы ударного импульса на процесс взаимодействия инструмента с обрабатываемой средой / В. Э. Еремьянц, 1981. — 70 с.
5. Иванов Г. П. Повышение износостойкости деталей созданием регулярной гетерогенной макроструктуры / Г. П. Иванов / Строительные и дорожные машины. — 1997. — № 1. — С. 33—34.
6. Смелянский В. М. Повышение эксплуатационных свойств деталей методом электроэрозионного синтеза покрытий / В. М. Смелянский, В. А. Земсков, В. В. Филиппов / Инженерный журнал. — 2004. — № 10. — С. 24—31.



## ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ И ПРОИЗВОДСТВЕ

Фотиади А. А.

научный руководитель канд.техн.наук, доц. Шигин А.О.

*Сибирский федеральный университет*

Среди методов повышения надежности оборудования можно выделить основные:

1. Уменьшение интенсивности отказов элементов системы;
2. Резервирование;
3. Сокращение времени непрерывной работы;
4. Уменьшение времени восстановления;
5. Выбор рациональной периодичности и объема контроля систем.

Указанные методы используются при проектировании, изготовлении и в процессе эксплуатации оборудования.

Как уже было сказано, надежность систем закладывается при проектировании, конструировании и изготовлении. Именно от работы проектировщика и конструктора зависит, как будет работать оборудование в тех или иных условиях эксплуатации.

Организация процесса эксплуатации также влияет на надежность объекта. При эксплуатации обслуживающий персонал может существенным образом изменить надежность систем как в сторону понижения, так и в сторону повышения.

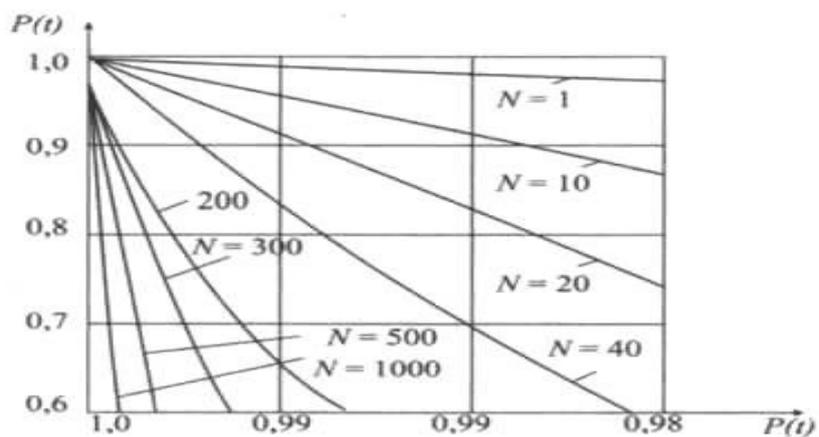
При проектировании повышение надежности РЭО и СА достигается схемными методами. К ним относятся:

1. выбор более простых схем с меньшим количеством элементов и значительными допусками на параметры и внешние воздействия;
2. резервирование;
3. разработка схем, не допускающих опасных последствий отказов их элементов;
4. разработка и внедрение способов прогнозирования неисправностей.

Уменьшение количества элементов при прочих равных условиях приводит к увеличению вероятности безотказной работы системы (Рисунок 1), а также благоприятно сказывается на ее массе, габаритах и стоимости. Однако сокращение количества элементов не должно увеличивать коэффициент нагрузки оставшихся элементов.

Резервирование - один из наиболее эффективных методов повышения надежности объектов. При резервировании в конструкции заранее предусматривается замена неисправного элемента.

При создании схем с ограниченным последствием отказов предусматривается включение в схемы специальных защитных и предохранительных устройств, которые предотвращают аварийные последствия отказов.



**Рис.1 - Зависимость вероятности безотказной работы системы от надежности и количества элементов**

К конструктивным способам повышения надежности относятся:

1. Высоконадежных элементов и оптимизация режимов их работы;
2. Применение высоконадежных элементов и оптимизация режимов их работы;
3. Обеспечение ремонтпригодности;
4. Создание оптимальных условий для работы обслуживающего персонала и т.п.;
5. Рациональный выбор совокупности контролируемых параметров;
6. Рациональный выбор допусков на изменение основных параметров элементов и систем;
7. Защита элементов от вибраций и ударов;
8. Унификация элементов и систем;
9. Разработка эксплуатационной документации с учетом опыта применения подобного оборудования;
10. Обеспечение эксплуатационной технологичности конструкции;
11. Применение встроенных контрольных устройств, автоматизация контроля и индикация неисправностей;
12. Удобство подходов для обслуживания и ремонта.

При производстве оборудования используют такие способы повышения надежности, как:

1. Совершенствование технологии и организации производства, его автоматизация;
2. Применение инструментальных методов контроля качества продукции при статистически обоснованных выборках;
3. Тренировка элементов и систем.
4. Совершенствование технологии и организации производства, его автоматизация;
5. Применение инструментальных методов контроля качества продукции при статистически обоснованных выборках;
6. Тренировка элементов и систем.

Названные способы повышения надежности должны применяться с учетом влияния каждого из них на работоспособность системы.

Для повышения надежности систем в процессе их эксплуатации используются методы, основанные на изучении опыта эксплуатации. Большое значение для повышения надежности также имеет квалификация обслуживающего персонала.

Так, инженер, эксплуатирующий оборудование, имеет возможность разработать ряд рекомендаций для проектировщиков и конструкторов, направленных на улучшение качества систем (изменение схемы, замена элементов, изменение конструкции, материалов и т. п.).

С целью повышения надежности систем необходимо проводить следующие мероприятия:

1. Контроль технического состояния объекта;
2. Обоснование объема и сроков проведения профилактических мероприятий, основанных на применении методов теории надежности;
3. Обоснование сроков службы элементов и состава ЗИП.

При проектировании существует некоторая неопределенность относительно реальных внешних условий и режимов, вследствие чего спроектированные РЭО и СА могут иметь недостатки, снижающие надежность.

Поэтому до внедрения их в серийное производство производится доработка спроектированного и изготовленного объекта с целью достижения требуемого уровня надежности.

Процесс производства связывает этапы проектирования и эксплуатации РЭО и СА и обеспечивает изготовление поступающего в эксплуатацию оборудования с уровнем надежности, заложенным при проектировании и достигнутым при доработке.

Повышение надежности оборудования в процессе производства осуществляется за счет совершенствования технологии и внедрения автоматизации, предварительной тренировки элементов и систем, улучшения качества контроля выпускаемого оборудования.

В процессе серийного производства и монтажа на судне возможно снижение надежности оборудования под действием ряда факторов, которые можно разделить на две группы.

К первой группе относятся грубые нарушения норм технологического процесса в виде ошибок монтажа, скрытых дефектов в комплектующих элементах, ко второй группе - возможные непредусмотренные изменения заданных свойств, снижающие показатели надежности элементов и материалов.

Дефекты, обусловленные действием факторов первой группы, обнаруживаются относительно легко при проверке оборудования на соответствие их параметров требованиям технических условий.

Для обнаружения дефектов, обусловленных действием факторов второй группы, применяется сплошной контроль (проверяются все объекты), если контрольные операции не разрушительны, стоимость и трудоемкость их невелика, и выборочный контроль (проверяется только часть специальным образом отбираемых объектов), если контрольные операции носят разрушающий характер или затраты на их реализацию достаточно велики.

### **Список литературы**

1. Калитёнков Н.В. Надежность и диагностика транспортного радиооборудования и средств автоматики .2012. —521с.

2. Солодов В.С. Надежность и диагностика транспортного радиооборудования и средств автоматики. 2014. —298с.



## РАЗРАБОТКА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПОРОДОРАЗРУШАЮЩИХ МАШИН

Шигина А.А., Древин С.Е.

научный руководитель д-р техн. наук, проф. Ступина А.А.

*Сибирский федеральный университет*

Важную роль в автоматизации и управлении технологическими процессами в объектах горнодобывающей промышленности играют системы управления. Проблема построения таких систем в настоящее время достаточно актуальна, так как повышение эффективности управления невозможно без использования автоматизированных систем управления (АСУ), основанных на применении информационных технологий и прогрессивных математических моделей управления [1-2].

Однако современные АСУ породоразрушающих машин не позволяют своевременно реагировать на изменение свойств объекта воздействия (горной породы), подстраивать режимы работы и компенсировать возмущения при функционировании технической системы «Породоразрушающая машина – горная порода» (далее – объект управления или ПМ-П) в условиях вариабельности и неточности характеристик исследуемого объекта воздействия, что приводит к снижению ее эффективности. Кроме того, в современных АСУ отсутствует возможность принимать решения об изменении параметров при изменяющихся свойствах объекта, а также баз знаний в виде специальных математических моделей, отражающих протекающие в системе информационные процессы. Обеспечение заданных требований по оперативности и точности передачи информации является основополагающим условием повышения качества управления объектом и процессом.

*Управление структурной динамикой сложных технических систем.*

Перспективным направлением развития искусственного интеллекта стали работы по основам теории управления структурной динамикой сложных технических систем [3-4]. Направление предлагает использовать комплексы с различными моделями, комбинированные методы и алгоритмы, а также разработку интеллектуальной технологии автоматизированного проектирования систем мониторинга и управления сложных технических объектов в различных условиях изменения обстановки. Процесс мониторинга позволяет анализировать переход структуры системы из одного состояния в другое под действием различного рода причин (воздействий внешней среды, конфликтующих систем и т.д.).

Место теории управления структурной динамикой сложных технических систем определяется как интеграция искусственного интеллекта с системным анализом, исследованием операций, теорией управления и теорией систем, т.е. требует междисциплинарных исследований [3]. Концепция проблемы управления структурной динамикой сложных технических объектов сводится к решению следующих основных задач:

- анализ структурной динамики сложной технической системы;
- оценивание структурного состояния системы;
- выбор оптимальных программ управления и регулирования структурной динамики системы.

Для обобщенной интеллектуальной системы обычно используют структуру, которая взаимодействует с внешней средой и в процессе получения от нее необходимой информации формирует цель действия и анализирует воздействия на систему (физические и информационные). Определяющими элементами системы

управления в этом случае являются интеллектуальный преобразователь и базовая система управления [4].

Математическая модель интеллектуальной системы управления состоит из трех частей:

- интеллектуального преобразователя;
- объекта управления;
- управляющего устройства системы (вычислительных и преобразующих и исполнительных устройств).

Интеллектуальный преобразователь изменяет информацию о внешней среде и объекте управления и трансформирует в сигналы воздействия на управляющие устройства системы. Для формирования воздействий на систему управления объектом в этом преобразователе используется блок принятия решения.

Важнейшим качеством элементов и среды в целом является способность к адаптивным изменениям своего состояния. В достижении адаптивного состояния необходимо иметь в виду, что в случае движения системы под прямым воздействием движущих внешних сил (сигнального воздействия) направление адаптивного движения системы predetermined, а при движении системы под опосредованным влиянием внешних сил требуется периодическое прерывание адаптивного движения для определения направления корректирующего действия.

*Функционирование типовой АСУ и АИС с адаптивным элементом.*

Классическая схема автоматизированной системы управления включает управляемый объект и управляющую систему, находящиеся в некоторой окружающей среде и взаимодействующие друг с другом за счет управляющих и обратных связей. В отличие от АСУ, получивших широкое применение в различных областях промышленности, для автономной работы бурового станка необходимо применение автоматизированной интеллектуальной системы (АИС) с адаптивным вращательно-подающим механизмом, которая наряду с основными функциями позволяет отслеживать информационный поток об изменяющихся случайным образом свойствах горной породы. Для осуществления на базе бурового станка интеллектуального автоматизированного управления в аппаратном комплексе системы должен содержаться адаптивный элемент электромагнитного типа, который одновременно сглаживает случайные ударные нагрузки и позволяет получить быстрый обратный сигнал о времени и величине удара.

Принципиальная схема функционирования предлагаемой АИС функционирует по следующему алгоритму. Внешняя среда (массив горной породы: свойства буримых пород и их непрогнозируемые изменения) воздействует на процесс функционирования объекта (бурового инструмента). Данная система предполагает включение адаптивного вращательно-подающего механизма (вспомогательного адаптивного элемента) бурового станка [5], блока датчиков, компьютера и блока контроллеров. На объект также воздействуют возмущения, не зависящие от системы управления: ударная нагрузка (причина изменения режима работы бурового станка), помехи (вибрации, уровень запыленности, температура, ошибки приборов, сбой в системе управления). Данный адаптивный элемент позволяет сглаживать эти непрогнозируемые возмущения.

Для анализа входной информации об изменении физико-механических характеристик горной породы датчики (задающее устройство) посылают в компьютер информационные сигналы об изменениях скорости бурения и тока в статоре адаптивного механизма (задающее воздействие). В компьютере эти информационные сигналы преобразуются в управляющие сигналы (информацию о действительных характеристиках горной породы и режимных параметрах) при помощи блока контроллеров (регуляторов, управляющих устройств), предназначенных для

сглаживания кратковременных отклонений и реализации процесса управления и программного блока, который содержит разработанные расчетные методики (реализация алгоритма управления). Затем управляющие сигналы направляются к исполнительному устройству, реализующему принятое решение и способствующему изменению соответствующих режимных параметров (автоматическое регулирование). По этим методикам определяется прогнозируемый ресурс бурового инструмента и удельные затраты на бурение, соответствующие действительным значениям режимных параметров и свойств породы. Из этой же информации определяются оптимальная скорость бурения и режимные параметры (выходные данные). Для улучшения качественных характеристик системы действительные значения сравниваются с оптимальными и автоматически изменяются с помощью корректирующих устройств.

По обратной связи осуществляется быстрая передача информации (время получения информации 0,01 с) о текущих режимных параметрах объекта управления от объекта управления к управляющей части. После корректирующих воздействий адаптивный вращательно-подающий механизм работает во вновь заданных режимах и осуществляет подачу и вращение бурового инструмента с необходимым усилием и скоростью. Буровой инструмент проходит сквозь массив горной породы с заданной скоростью до очередного изменения характеристик горной породы. Расчетные значения выводятся на приборную панель с помощью модуля визуализации, предназначенного для демонстрации результатов моделирования и последующего контроля оператора. Основная структура автоматизации процесса бурения содержит модули сбора и отображения информации, регулирования усилия подачи, частоты вращения и давления сжатого воздуха. Кроме того, система автоматизации бурения должна иметь модуль безопасности, отвечающий за контроль нахождения режимных параметров в допустимом диапазоне.

Применение разработанных методик расчета ресурса, оптимальной производительности и удельных затрат на осуществление технологического процесса, контроль и учет данных рекомендаций позволят повысить эффективность функционирования технической системы ПМ-П и снизить эксплуатационные затраты в условиях непрогнозируемых изменяющихся свойств объекта воздействия и ударных нагрузок. Применение указанных методик необходимо для повышения эффективности процесса бурения и получения определенного прогнозируемого результата функционирования технической системы.

### Список литературы

1. Сащенко Н.Н. Интеллектуальная адаптивная система передачи информации в распределенных автоматизированных системах управления: автореф... дис. канд. техн. наук. Владимир: Институт инженерной физики РФ, 2006. 19 с.
2. Zaitsev K.S. Using Group Technology to Plan Data Processing in Computer-aided Control System. *Automatic and Remote Control*. 2003. Vol. 64, Issue 9. P. 1507-1512.
3. Охтилев М.Ю., Соколов Б.В. Юсупов Р.М. Интеллектуальные технологии мониторинга и управления структурной динамикой сложных технологических. Москва: Наука, 2006. 410 с.
4. Макаров И.М., Лохин В.М., Манько С.В., Романов М.П.. Искусственный интеллект и интеллектуальные системы управления. Москва: Наука, 2006. 333 с.
5. Шигина А.А., Ступина А.А., Шигин А.О. Анализ функционирования автоматизированной интеллектуальной системы с адаптивным элементом // *Современные проблемы науки и образования [Электронный ресурс]*. 2014. № 2 (52); url: <http://www.science-education.ru/116-12783> (дата обращения: 17.04.2014).

