

**МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН**

ТАШКЕНТСКИЙ АВТОМОБИЛЬНО – ДОРОЖНЫЙ ИНСТИТУТ

На правах рукописи

Шукуров РУСТАМ УТКУРОВИЧ

УДК 620.178.16; 621.791.92

**ПОВЫШЕНИЕ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ РЕЖУЩИХ
ОРГАНОВ ЗЕМЛЕРОЙНЫХ МАШИН**

Специальность 05.02.04 - Трение и износ в машинах

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
доктора технических наук

ТАШКЕНТ – 2005

Работа выполнена в Ташкентском автомобильно-дорожном институте

Научный консультант:

доктор технических наук, профессор

Кадыров С.М.

Официальные оппоненты:

ДОКТОР ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК, ПРОФЕССОР

ЛЕБЕДЕВ О.В.

ДОКТОР ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК, ПРОФЕССОР

КАБАШЕВ А.Р.

ДОКТОР ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК, ПРОФЕССОР

ДЖУРАЕВ А.Д.

Ведущая организация - Ташкентский государственный технический университет.

Защита состоится "23" марта 2005 г. в 10⁰⁰ часов в зале заседаний ректората ТАДИ на заседании разового специализированного совета, созданного приказом ВАК РУз от 10 ноября 2004 года № 245-с по специальности 05.02.04 – «Трение и износ в машинах» на базе объединенного специализированного совета КО67.33.01 при Ташкентском автомобильно-дорожном институте по адресу: 700060, г. Ташкент ул. Мовароуннахр 20.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ТАДИ.

Просим Вас принять участие в защите, Ваши отзывы на автореферат в двух экземплярах с подписью, заверенной печатью, просим направить в специализированный Совет института.

Автореферат разослан «21» февраля 2005 г.

Тел.: (10-99871) 133-08-27

Факс: (10-99871) 132-14-39, 132-14-80

e-mail: tayi_admin @ mail. ru, sertifat @ indox ru.

Ученый секретарь

специализированного совета

Файзуллаев Э.З.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Одной из важнейших концепций глубокой перестройки хозяйственного механизма Республики Узбекистан является создание целостной, эффективной и гибкой системы экономического управления и реализация на этой основе программы повышения технического уровня и качества машин с увеличением экономичности и производительности техники, ее долговечности, усилением необходимости применения научной методологии проектирования землеройной техники.

Выступая на четырнадцатой сессии Олий Мажлиса Республики Узбекистан первого созыва республики И. А. Каримов по сути структурных преобразований в экономике выделил шесть пунктов, в которых указывается на необходимость ускоренного развития высокотехнологичных и наукоемких производств, таких как автомобилестроение, самолетостроение и др., создание новых производств по выпуску современной, высокоэффективной сельскохозяйственной, землеройной техники, широкое развитие системы локализации производства.

Большим резервом для увеличения эффективности использования землеройных машин является повышение их долговечности, так как даже небольшое возрастание ресурса огромного парка землеройных машин дает народному хозяйству значительный технико-экономический эффект. При этом немаловажное значение имеет проблема сохранения в течение всего периода эксплуатации оптимальных рабочих характеристик землеройных машин и, в первую очередь, их производительности.

Известно, что производительность землеройной машины определяется конструктивным совершенством своего рабочего органа и напрямую связана с величиной износа его режущих элементов. Многочисленными исследованиями было установлено, что при затуплении режущих элементов энергоемкость отделения грунта от массива возрастает на 60...100%, а производительность машины в этом случае снижается на 10...40%.

Анализ результатов исследовательских работ по проблеме повышения эксплуатационных качеств землеройных машин показывает, что до настоящего времени не существует общепринятой теории разработки износостойких рабочих органов землеройных машин. Общим недостатком проведенных исследований является то, что проблема износостойкости рабочих органов землеройных машин рассматривается в них без учета доказанного влияния природно-климатических и грунтовых условий на износостойкость исследуемых объектов. В результате этого предложенные авторами предыдущих исследований рекомендации по упрочнению рабочих органов землеройных машин имеют частный характер и оказываются эффективными только в условиях, близких к тем, в которых проводились данные исследования.

Таким образом, проблема повышения износостойкости режущих элементов рабочих органов землеройных машин, несмотря на большое количество выполненных до настоящего времени исследований, остается актуальной.

В проведенных нами исследованиях применяется принципиально новый подход к решению задачи повышения износостойкости режущих органов землеройных машин. Указанная задача решается путем реализации принципов бионики натуральных режущих элементов по природному объекту, в качестве которого выбран представитель фауны Центральной Азии, ведущий исключительно подземный образ жизни. Совершенствование конструкции режущих элементов дополняется применением износостойкой наплавки с использованием наплавочных материалов, наиболее соответствующих грунтовым условиям центрально-азиатского региона.

Исследования выполнялись в соответствии с целевой технической программой Государственного комитета по науке и технике Республики Узбекистан (ГНТП-19) «Создание наукоемких высокопроизводительных и экспортно-ориентированных технологий, машин и оборудования для сельского хозяйства и промышленности» и национальной программе по развитию и усовершенствованию сети автомобильных дорог Республики Узбекистан на 1996-2010 гг., а также по направлению научных исследований Ташкентского автомобильно-дорожного института (Проблема № 6 "Повышение долговечности и износостойкости машин").

Цель работы: развитие научных основ теории изнашивания режущих элементов и разработка на их базе конструкторско-технологических решений, повышающих износостойкость рабочих органов землеройных машин.

Объектами исследований являлись режущие элементы рабочих органов землеройных машин и карьерных экскаваторов.

Научная новизна работы заключается в разработке:

- дискретной фазовой динамической модели резания грунта режущими органами землеройных машин, позволяющей формализовать процессы стружкообразования, развития опережающей трещины и изнашивания;
- научных основ изнашивания в абразивной среде режущих элементов рабочих органов землеройных машин;
- методики расчета износа и ресурса режущих элементов землеройных машин;
- рациональной конструкции режущих элементов рабочих органов землеройных машин на основе метода биомеханического моделирования.

Практическая ценность работы. Использование разработанных методов алгоритмов, программ и моделей позволяют: прогнозировать износостойкость на стадии проектирования, оценить влияния конструкторско-технологических решений на износостойкость режущих элементов землеройных машин с учетом условий эксплуатации. На основании биомеханических исследований разработаны рациональные конструкции режущих элементов с повышенной износостойкостью и производительностью и пониженной энергоемкостью резания. Предложена методика определения абразивности грунтов, даны рекомендации по выбору износостойких наплавочных материалов.

Личный вклад автора в решении проблемы заключается в формировании общей идеи, цели и задачи исследования, формировании методологического подхода; выполнении теоретических и экспериментальных исследований и

обобщении результатов, участии в изготовлении опытных образцов и их исследованиях; разработке и внедрение практических рекомендаций.

Достоверность результатов исследований и обоснованность положений диссертации обеспечивается: сравнением аналитических результатов, полученных на основе используемых теорий, с экспериментальными данными; удовлетворительной сходимостью результатов теоретических и экспериментальных исследований, где среднее отклонение данных не превышает 18%; достаточным объемом измерений обеспечивающим с вероятностью 0,95 относительную погрешность не более 15-20%.

Реализация результатов работы. Теоретические и практические результаты диссертации внедрены в практику проектирования, производства и испытаний рабочих органов землеройных машин в концерне "Автойул", ПО "Ташэкс", Навоийском горнометаллургическом комбинате (НГМК), тресте Ташгортростройремонт, АО "Курилиш-механизация", УзНИИПролетмет", АО "Спецсплав", а также в научно-исследовательских работах и др.

Основные научные и практические результаты диссертации используются в лекционных курсах, курсовом и дипломном проектировании, лабораторной практике и научно-исследовательской работе кафедры "Строительные, дорожные машины и оборудование" ТАДИ и "Тракторы и автомобили" ТГТУ для направлений наземные транспортные системы, технологические машины и оборудование.

Апробация работы. Основное содержание работы докладывалось и обсуждалось на:

- Всесоюзной научно-технической конференции "Повышение эффективности использования автомобильного транспорта и автомобильных дорог в условиях жаркого климата и высокогорья", Ташкент, 1982г.;

- Второй Всесоюзной конференции "Закономерности формирования структуры сплавов эвтектического типа", Днепропетровск, 1982 г.;

- XXLI научно-технической конференции по итогам НИР, МИСИ. Москва, 1983 г.;

- Зональной конференции "Повышение эффективности проектирования, испытаний, эксплуатации автомобилей и строительно-дорожных машин", Горький, 1988 г.;

- Зональной конференции "Эксплуатация машин в суровых условиях", Тюмень, 1989 г.;

- Республиканской научно-технической конференции "Разработка ресурсосберегающих технологий, эффективных технологий производства строительных материалов и конструкции и ведения строительно-монтажных работ", Днепропетровск, 1988 г.;

- I-ой региональной научно-технической конференции "Проблемы механизации в региональном строительстве", Бишкек, 1991 г.;

- Международной конференции "Проблемы развития автотранспорта и транзитных коммуникаций в Центрально - Азиатском регионе", Ташкент, 1996 г.;

- Республиканской научно-технической конференции "Развитие автомо-

бильно-дорожного комплекса Республики Узбекистан в условиях рыночной экономики", Ташкент, 1997 г.;

-II Республика илмий коллоквиуми "Ўзбекистон мустақиллиги унинг фани ва технологияларини ривожлантириш кафолати" ЎзР ФТДК ва ОАК, Тошкент, 1998 й.;

-Научной конференции "Суюкликлар куп фазали аралашмалар ва туташ мухитларда тулкинларни таркалишининг долзарб муаммолари" УзФА, УзР ФТДК, М.Т.Уразбоев номидаги механика ва иншоотлар сейсмик мустахкамлиги институти, Ташкент, 1999 й.;

-Международной научно-технической конференции "Современные проблемы технических наук" ТГТУ, Ташкент, 1999 й.;

-Международной научно-технической конференции "Развитие и эффективность автомобильно-дорожного комплекса в Центрально - Азиатском регионе", Ташкент, 2000 г.;

-Международной научно-технической конференции "Автотранспортный комплекс. Проблемы и перспективы развития" (МАДИ), Москва, 2000 г.;

-Научно-практических конференциях профессорско-преподавательского состава Ташкентского автомобильно-дорожного института (1982 - 2004гг.);

-Расширенном заседании кафедры «СДМ и О» на специализированном научном семинаре «Автомобили и тракторы» ТАДИ, на специализированном научном семинаре «Трение и износ в машинах» ТГТУ, а также на объединенном научном семинаре ТАСИ «Курилиш технологияси ва ташкилиёти», научно-техническом семинаре УзРНТК «Фан ва тараqqиёт».

Публикации. Основное содержание диссертации опубликовано в 52 работе, в том числе 12 журнальных статей, 2 а.с., 1 патент Республики Узбекистан.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, пяти глав с выводами в каждой из них, общих выводов и рекомендаций, списка литературы (160 наименований) и приложения. Общий объем работы составляет 310 страницы и включает 80 рисунков, 42 таблицы.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обосновывается актуальность решаемой проблемы, формулируется основная цель исследований.

Первая глава содержит анализ состояния проблемы повышения износостойкости режущих органов землеройных машин, и формулируются основные задачи исследования.

В обзоре рассмотрены особенности условий работы землеройных машин и существующие теоретические концепции процесса абразивного изнашивания, способы повышения износостойкости режущих органов конструкторско-технологическими методами.

Отмечается, что природные условия Центральной Азии, отличаются высокой контрастностью, абразивностью, загипсированностью, засоленностью и пересушенностью грунтов, которые являются технологической средой для землеройных машин, эксплуатирующихся в данном регионе.

Порядка 80% отказов машин вызывается износом, что ставит проблему защиты машин от изнашивания в число наиболее актуальных. Успешное решение этой задачи зависит от знания закономерностей трения и изнашивания, которые определяются не только свойствами материала и формой режущего органа, а также характером взаимодействия деталей с обрабатываемым объектом, обусловленным самым рабочим процессом, совершаемым землеройной машиной.

Повышение износостойкости неразрывно связано с изучением закономерности и механизма изнашивания режущих органов землеройных машин на стадии проектирования, изготовления и эксплуатации, а также разработкой основ расчета их на износостойкость и ресурс.

Установлено, что сложность процесса изнашивания режущих органов землеройных машин обусловлена непрерывно меняющимися силами и давлением по рабочей поверхности трения, неоднородностью абразивной среды, сложностью процессов контактирования и перемещения частиц абразива.

В инженерной практике расчета землеройных машин на износостойкость отсутствие учета влияния формы режущих органов не дают законченного решения задачи расчета на износ, так как не могут охватить весь комплекс действующих на изнашивание геометрических факторов и как следствие изменение действующих сил и давлений.

Для достижения цели и решения поставленной задачи предлагается новый метод биомеханического моделирования для выбора износостойких конструкций режущих органов землеройных машин.

Решение указанной проблемы и достижение поставленной цели определили основные задачи диссертационной работы, осуществление которых требует проведения широкого спектра теоретических и экспериментальных исследований, которые последовательно решаются в следующих главах.

Во второй главе “Выбор конструкции и методов упрочнения режущих элементов рабочих органов землеройных машин” обосновывается применение биологического прототипа для выбора конструкции рабочих органов земле-

ройных машин, описывается выполненная автором выбор конструкции режущих элементов биологического объекта, приводятся результаты лабораторных испытаний биологического прототипа режущих элементов, а также исследования износостойкости их моделей и выбор наплавочных износостойких материалов.

В результате длительной эволюции живая природа приобрела способность создавать высокоэффективные землероющие конструктивные системы, по уровню совершенства намного превосходящие лучшие образцы современной землеройной техники. Дальнейшие исследования показали, что, несмотря на трудности, связанные со значительными отличиями принципов построения живых объектов и землеройных механизмов имеется реальная техническая возможность использования в искусственных объектах лучших "достижений" живой природы. Для этого нами была разработана методика выбора биомеханического объекта, которая позволяет использовать в инженерной практике оптимальные решения, «внедренные» природой в живых землероющих конструктивных системах.

В соответствии с разработанной методикой на первом этапе нами было, изучено пять видов природных землероев, обитающих в регионе Центральной Азии: крот (*Talpa eucoraea*), выдра (*Lutra lutra*), цокор (*Moyspalax*), слепец (*Spalax leucodon*) и слепушонка обыкновенная (*Ellobius talpinus*). Собранные данные показали, что наиболее специализированными землероями являются три последних вида. Для выбора конкретного объекта биологического прототипа были проведены дополнительные полевые и лабораторные исследования по изучению поведения и образа жизни указанных грызунов в естественных природных условиях, а также выявлению закономерностей строения и работы их роюще-жевательного аппарата.

В результате выполненных исследований было установлено, что роющий резцовый аппарат наиболее сильно развит у слепушонки обыкновенной (*Ellobius talpinus*), что, по-видимому, и объясняет ее наивысшую "производительность" среди остальных исследованных природных землероев. Далее, нами окончательно было выбрана в качестве биомеханического объекта слепушонка обыкновенная (*Ellobius talpinus*).

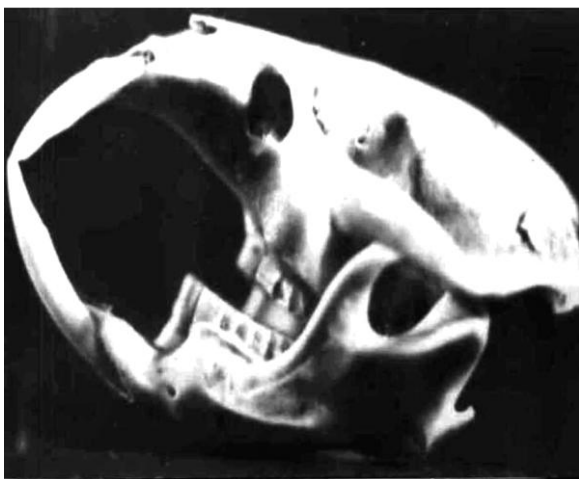


Рис. 1. Резцовый аппарат слепушонка (*Ellobius talpinus*).

Следующий этап заключался в проведении лабораторных экспериментальных исследований, в которых испытывалась пара моделей зубьев (рис.1), представляющая собой увеличенную копию пары верхних резцов слепушонки обыкновенной.

При разработке лабораторных моделей резцов выдерживалось их геометрическое подобие биологическому прототипу. Для этого использовался масштабный коэффициент $k_l=5$, по которому определялись основные параметры опытных резцов:

$$R_{1.M} = k_l R_{1.H}; \quad R_{2.M} = k_l R_{2.H}; \quad B_M = k_l B_H; \quad h_M = k_l h_H; \quad b_M = k_l b_H;$$

где $R_{1.M}$ и $R_{1.H}$, $R_{2.M}$ и $R_{2.H}$, B_M и B_H , h_M и h_H , b_M и b_H - радиусы продольной оси резца и его передней поверхности, ширина и высота поперечного сечения резца и меж-резцовое расстояние (см. рис.3) соответственно для лабораторной модели (индекс "м") и биологического прототипа (индекс "н").

Лабораторные испытания проводились в два этапа. На первом этапе испытаний использовался стенд, собранный на базе поперечно-строгального станка (рис.3,а). Усилия резания измерялись методом тензометрирования с помощью датчиков ПКП-15-200, тензоусилителя 8АН4-7ЧМ и осциллографа Н-700. Тарировка тензодатчиков осуществлялась образцовым динамометром 3-0,05 (рис.3, б).

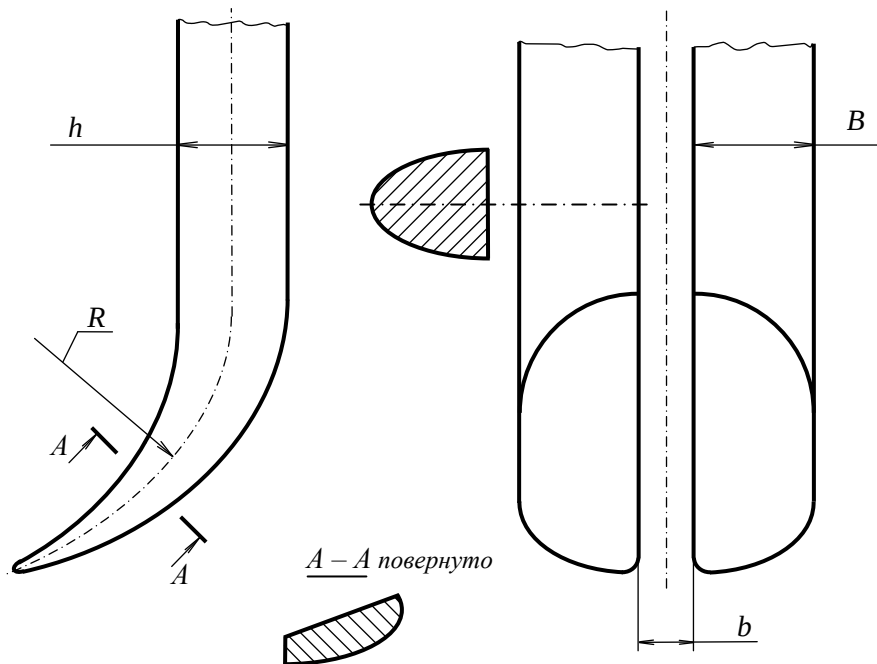
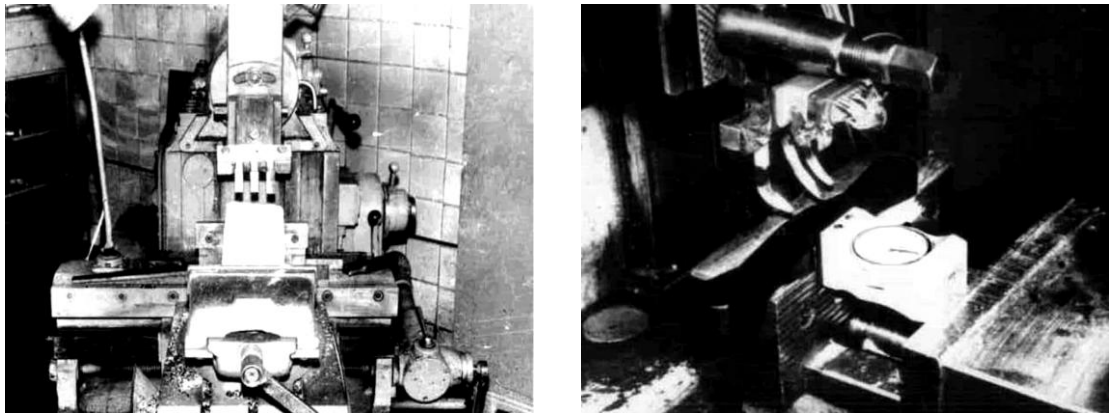


Рис. 2. Конструктивная схема лабораторных образцов биологического прототипа криволинейных моделей

Для стендовых испытаний были изготовлены также модели верхних резцов выдры (для сравнения) при их 50-кратном увеличении, а в качестве эталонных использовались зубья с клиновидным профилем. Все модели зубьев изготавливались из нормализованной Стали 40Х.



а)

б)

Рис. 3. Общий вид лабораторного испытательного стенда (а)
и тарировка тензометрических звеньев (б).

Одновременно испытывались 4 зуба (два эталонных и два биологического прототипа). В качестве модельного грунта применялся шамотный кирпич марки ШБ-4/23. Испытания проводились при движении оправки со скоростью 6,5 м/мин и глубине блокированного резания $0,4 \div 0,7$ см. угол резания у всех резцов составлял $38...40^\circ$.

В результате тензометрирования усилий при резании модельного грунта было установлено, что сила сопротивления резанию для клиновидного резца составляет 62...65Н, для резца типа “выдра” - 25...29Н, для резца типа “слепоушонка” - 16...18Н.

Сопоставление полученных данных показало, что по сравнению с эталонным резцом у резцов типа “выдра” и “слепоушонок” сопротивление резанию снизилось соответственно в 2...2,6 и 3,4...4 раза.

Проведенный нами анализ механизма взаимодействия биологического прототипа (криволинейный) с грунтом позволил установить причины наблюдаемого снижения сопротивления резанию. Так, при резании грунта криволинейным режущим элементом, ее режущая кромка, с выступом в передней части, активно внедряясь в грунт, как бы вкалывается в него с большим удельным давлением, а, следовательно, и с наименьшим сопротивлением, и по мере дальнейшего перемещения, разрушает грунт путем непрерывного вкалывания и косого резания режущей кромкой. В процессе дальнейшего внедрения зуба в грунт, последний раскалывается под его воздействием и перемещается вдоль передней, задней и боковой граней. Передняя и задняя грани, за счет своей криволинейности, смещают частицы грунта над и под зубом в сторону уменьшения поперечной толщины и одновременно при контакте с более крупными абразивными частицами грунта (камни, примеси и т.д.) либо вытесняют их из зоны действия (траектории движения) зубьев, либо вдавливают их в менее плотные слои разрабатываемого грунта. Вертикально расположенная боковая грань в процессе разрушения грунта выполняет роль рассекателя грунта, а также “накопителя” утолщенности зуба и способствует устойчивости хода.

Уменьшение величины сопротивления резанию у биомеханических моделей также предопределено и выбором в качестве эллипсоидного поперечного сечения режущей кромки, т.к. во-первых, такой профиль более обтекаем, чем, например, прямоугольный, который после небольшой выработки грунта тоже примет близкое к эллипсоидному очертание, во-вторых, принять для режущей кромки профиль в виде тонкого лезвия нельзя, ввиду возможности быстрого его затупления, крошения и низкой прочности.

На втором этапе исследований, с целью определения силы сопротивления резанию в грунтовых условиях, близких к эксплуатационным, эталонные (клиновидные) зубья и биологические объекты (типа “слепушонка”) испытывались в грунтовом канале.

Испытания проводились на грунтах II категории, влажностью 18% и плотностью $S=8$ ударов плотномера ДОРНИИ, с каменистыми включениями до 80мм.

Скорость резания задавалась равной $V=0,77$ м/с, угол резания составлял $37...43^\circ$, глубина копания изменялась в пределах $2...24$ см. Горизонтальная составляющая силы сопротивления копанию измерялась динамометром ДПУ-0,5-2.

Сопоставление значений горизонтальной составляющей при резании грунта испытанными зубьями показывает, что в случае резания (копания) криволинейными зубьями (биологический прототип) сопротивление копанию снижается в $1,6...2,8$ раза в зависимости от глубины копания.

На следующем этапе изучалось влияние криволинейной формы зубьев на их производительность.

Были получены при проведении опытов в грунтовом канале в условиях блокированного резания лессового грунта влажностью 16% и плотностью $S=20...24$ удара плотномера ДОРНИИ. Испытуемые зубья устанавливались на тензометрической тележке с углом резания 38° . Скорость резания поддерживалась постоянной для всех опытов.

Результаты измерения геометрических параметров прорезей и вычисленные отношения Π_2/Π_1 показали, что резание (копание) грунта криволинейным зубом приводит к повышению производительности на $16...21\%$. Рост производительности объясняется большими значениями отношения критической глубины резания к ширине зуба. Для биологического прототипа это отношение составляет $5...6$ и $6,5...7$ при углах резания $38...47$ и $65...75^\circ$ соответственно, для клиновидного зуба при тех же углах резания $2,5...4,0$ и $3...5$.

Одновременно с осциллографированием силы сопротивления резанию при стендовых испытаниях (см. рис.3) изучалась износостойкость исследуемых моделей зубьев. Износ биомodelей и эталонных зубьев определялся взвешиванием с точностью до 0,1мг и микрометрированием с погрешностью $\pm 0,05$ мм.

В результате исследования твердости и износостойкости внешней и внутренней сторон резцов животного-прототипа было установлено, что внутренняя сторона резцов менее твердая и поэтому изнашивается быстрее, чем более твердый наружный слой, в результате чего сохраняется острая режущая часть с найденным природой оптимальным углом заострения. Другими словами в

роющих и когтевых аппаратах природных землероев реализуется эффект самозатачивания, обеспечивающий постоянную готовность животных к жизненно важным для них действиям.

Раскрытие механизма сохранения заострения резцов, действующего в живой природе, позволило нам решить аналогичную задачу и для исследуемых биологических прототипов. Для этого во второй серии опытов были изготовлены двухслойные модели резцов с наплавкой их наружных поверхностей износостойкими сплавами.

Окончательно влияние формы зубьев и способа упрочнения на их износостойкость оценивалось с помощью коэффициента формы зуба, представляющего собой отношение износостойкостей биомоделей и эталонного зуба. Полученные в результате износных испытаний данные приведены в табл. 1.

Результаты опытов позволили сделать следующий вывод: придание зубьям формы, а материалу их передних и задних поверхностей свойств, характерных для резцов природных землероев, приводит к повышению износостойкости зубьев на 18...21% и сохранению первоначального угла заострения их режущей части.

Механические испытания наплавочных материалов проводились для оценки их способности сопротивляться деформации при приложении внешней нагрузки.

Химический анализ наплавочных материалов выполнялся методом спектрального анализа на стилоскопе СЛ-11. Отбор проб производился сверлением наплавленного слоя испытанных режущих элементов.

Результаты испытаний износостойкости режущих элементов

Таблица 1

Марка Электро- да	Твер- дость наплав- ки HRC	Относительная зносо- стойкость зуба		Коэффици- ент формы
		Клиновид- ный	Биомо- дель	
	55...57	1,0	1,0	1,13
Т – 590	60...63	1,78	2,07	1,16
Х – 5	57...59	1,61	1,90	1,18
КБХ – 45	56...58	1,15	1,29	1,12
ХР – 19	56...59	1,12	1,27	1,13
ЭНУ- 2	50...52	0,59	0,68	1,15
ЦС – 2				

Металлографические исследования структурного состояния износостойких сплавов, были направлены на изучение характера зон сплавления, особенностей распределения упрочняющей и матричной фаз, а также структурных изменений в поверхностном слое в результате изнашивания деталей.

Наиболее износостойким оказался боросодержащий сплав, наплавленный электродами Х-5. В связи с этим далее исследовалось влияние бора на

структуру, фазовый состав и физико-механические свойства наплавленного металла с базовым содержанием углерода 3, хрома 25 и бора до 3,6%.

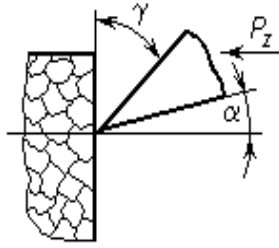
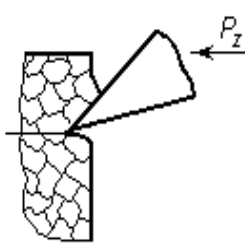
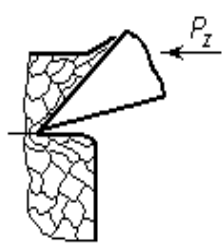
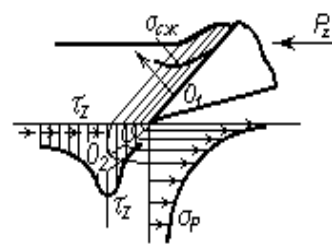
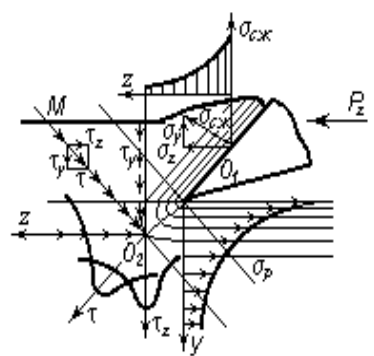
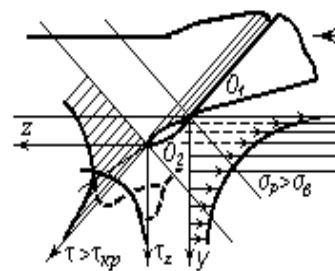
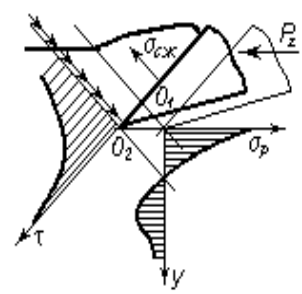
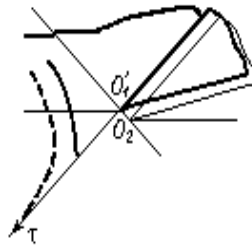
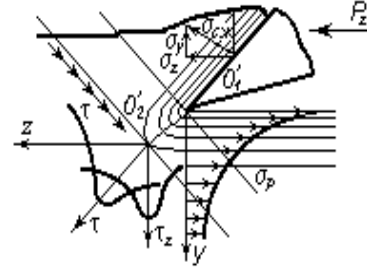
1 фаза. <i>Подвод зуба</i> 	2 фаза. <i>Начало внедрения</i> 	3 фаза. <i>Полное внедрение</i> 
4 фаза. <i>Образование псевдовершины θ_2</i> 	5 фаза. <i>Образование наклонной плоскости максимальных τ</i> 	
6 фаза. <i>Образование опережающей трещины</i> 	7 фаза. <i>Скачок вершины зуба из θ_1 в θ_2</i> 	
8 фаза. <i>Сдвиг (или скол) грунта по плоскости скольжения</i> 	9 фаза. <i>Образование новой псевдовершины θ'_2</i> 	

Рис. 4. Элементы дискретной фазовой модели
резания грунта зубом экскаватора

Установлено, что максимальная износостойкость наплавленного металла достигается при содержании бора 2,0...2,2%. Дальнейшее его увеличение (до 3,6%) приводит к снижению содержания хрома в эвтектике, упрочняющей фазе и зоне сплавления.

В третьей главе “Теоретическое исследование процесса абразивного изнашивания режущих элементов рабочих органов землеройных машин” разрабатывается дискретная фазовая динамическая модель процесса резания грунта режущими органами землеройных машин, и излагаются методики математического моделирования процесса абразивного изнашивания режущих элементов и прогнозирования их ресурса.

Процесс резания грунта представляется в виде последовательности девяти дискретных фаз (рис. 4.): *первой фазы* – подвода зуба до точки O_1 касания с фронтальной поверхностью грунта, *второй фазы* – смятие (уплотнение) наружных слоев грунта, которая, развиваясь, переходит в *третью*.

В *четвертой фазе* движения зуба вдоль оси z перед ним образуется фронт смятых агрегатов, ориентированных вдоль передней грани, которые продолжают двигаться вперед вместе с зубом экскаватора, растягивая грунт, находящийся ниже линии врезания, относительно задней грани.

По мере внедрения зуба в тело грунта (*пятая фаза*) сопротивление сдвигу вдоль плоскости врезания и растяжению деформированного слоя растет, вследствие чего также возрастают контактные напряжения на передней грани зуба. В результате появляется новая плоскость сдвига O_2M , вдоль которой начинают действовать максимальные касательные напряжения.

Механизм образования микротрещины разрушения (*шестая фаза*) в слое деформированного грунта перед вершиной зуба O_1 объясняется с позиций современной теории дислокаций.

Пусть линейная последовательность дислокаций под действием касательных напряжений скопился у любого препятствия, скажем, у границы зерна в точке псевдовершины O_2 (рис. 5). Скопление n дислокаций составит линию длиной

$$L = \frac{Gbn}{\pi(1-\mu)\tau},$$

где G – модуль сдвига, МПа;

b – толщина вязкой прослойки, связывающей между собой отдельные агрегаты или абразивные частицы, мм;

μ – коэффициент Пуассона; τ – касательные напряжения, МПа.

Тогда на любой площадке $\overline{O_2P}$ будут действовать напряжения

$$\sigma = \sigma\tau \sqrt{\frac{L}{r}} \cdot f_1(\theta), \quad \tau' = \beta\tau \sqrt{\frac{L}{r}} \cdot f_2(\theta).$$

Здесь α и β – коэффициенты;

$f_1(\theta)$ и $f_2(\theta)$ – коэффициенты, зависящие от ориентации $\overline{O_2P}$;

L – длина линии скопления дислокаций;

r – расстояние рассматриваемой точки от точки O_2 .

Допустим, что пластическая деформация под действием τ почему-либо затруднена, например, вектор этих напряжений меняет направление вследствие эффекта экранирования встречающимся на его пути монолитом ограниченных размеров. В этом случае напряжения σ приведут к разрыву сплошности грунта вдоль оси $\overline{O_2P}$. Чтобы оценить вероятность разрыва, заметим, что средние напряжения на участке O_2P длиной l равны

$$\sigma = \alpha_1 \tau \sqrt{\frac{L}{l}} \text{ МПа,}$$

где α_1 – константа.

Полная энергия образования трещины определяется уменьшением упругой энергии и увеличением поверхностной энергии.

После соответствующих расчетов получим

$$W = -\frac{\pi(1-\mu)\sigma^2 l^2}{8G} + 2Sl \text{ Дж,}$$

где S – удельная поверхностная энергия, Дж/мм².

Подставляя значение σ , получим критическое напряжение τ , когда образование трещины начинает уменьшать W

$$\tau^2 = \frac{16SG}{\pi(1-\mu)\alpha_1^2 L} \text{ МПа.}$$

После вычисления α_1 находим

$$\tau^2 = \frac{3\pi SG}{8(1-\mu)L} \text{ МПа.}$$

Подставив значение L , окончательно получим

$$\tau = \frac{3}{8} \cdot \frac{\pi^2 S}{nb} \text{ МПа.}$$

Если принять длину линии скольжения L равной условному диаметру d агрегата (конгломерата), а также учесть, что при одноосном напряженном состоянии $\tau = 0,5\sigma$, то из последнего выражения нетрудно получить зависимость между размерами твердых включений грунта и напряжением хрупкого разрушения.

Здесь, кроме того, необходимо учесть сопротивление σ_0 движению дислокаций различными препятствиями типа дисперсных включений других пород и пр. Это можно решить подстановкой в левую часть уравнения (3.7) разность $(\tau - \tau_0)$ вместо τ , где $\tau_0 = 0,5\sigma_0$. После преобразования можно записать

$$\sigma = kd^{-\frac{1}{2}} + \sigma_0,$$

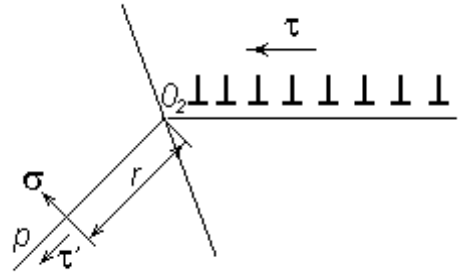


Рис. 5. Дислокационный механизм возникновения опережающей трещины в прочном грунте

где

$$k = \sqrt{\frac{6\pi SG}{(1-\mu)}}.$$

Поскольку напряжения τ' определяются зависимостью того же вида, что и σ , то аналогичные преобразования дают напряжения начала скольжения (если скольжение начинается раньше, чем образование трещины)

$$\sigma = k_1 d^{-\frac{1}{2}} + \sigma_0.$$

Вершина зуба O_1 устремляется в точку O_2 , скользя по отрезаемому грунту передней гранью (*седьмая фаза*). С разрывом нормально напряженных слоев пик касательных напряжений в точке O_2 мгновенно возрастает до величины, превышающей предельные, в результате происходит сдвиг или скол (в зависимости от состава и состояния грунта, а также толщины отрезаемого слоя) захватываемой ковшом части грунта по плоскости максимальных касательных напряжений. Если грунт достаточно хрупкий, то образуется трещина скола и получается типичная дорожка скалывания (*восьмая фаза*). Тогда процесс резания будет представлять собой цепной характер повторяющихся циклов скалывания по предложенному механизму (*девятая фаза*).

Одним из показателей механических свойств поверхностного слоя принято считать величину удельной силы сопротивления царапанию или условных напряжений сдвига σ_u .

Величина разрушения поверхности образца оценивается по двум линейным размерам - ширине царапины: S_u на уровне поверхности и S_u по вершинам пластических образований (рис. 6).

Установлено, что соотношение $S_u / S_u = 0,5$ практически остается постоянным и для материалов в наклепанном состоянии.

Удельная сила сопротивления царапанию определяется по уравнению

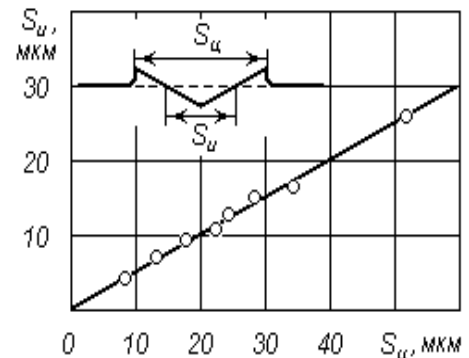


Рис. 6. Соотношение размеров царапины в разных местах ее сечения

$$\sigma_u = \frac{146,5 F}{S_u^2} = \frac{49,4(833,6 - H_\mu)}{S_u^2} \text{ ГПа},$$

где F – сила царапания, Н;

S_u – ширина царапины по вершинам пластических образований численно равная $7,47h$ глубины царапины, см;

H_μ – микротвердость испытуемого материала, ГПа.

Полученные данные убедительно показывают, что по среднему значению сходимости ре-

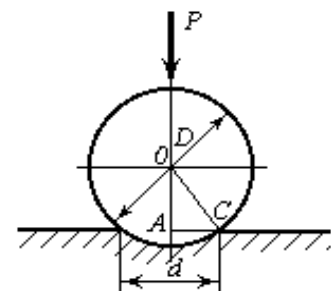


Рис. 7. Расчетная схема для определения глубины смятия материала зуба

результатов экспериментальных исследований с расчетными, достаточно высокая (относительное рассеивание не превышает 9%). Причем, погрешность уменьшается по мере повышения микротвердости металла (для стали У12 с микротвердостью 78,9 ГПа погрешность составила 0,6%). Особо следует отметить поведение стали 110Г13Л, у которой, при практически равной с отожженной сталью У12 микротвердостью, значение σ_u почти в 2 раза выше. Очевидно в данном случае имеет место эффект самоупрочнения стали Гадфильда, присущий всем сталям аустенитного класса.

Необходимо заметить, что природные абразивные материалы, за исключением алмаза, имеют низкие царапающие свойства, вследствие чего можно полагать этот вид изнашивания режущих органов не является преобладающим. Фактически напряжения распределяются по ширине контактной площадки неравномерно (рис. 7). Максимальные контактные напряжения в материале зуба выражается формулой

$$q_{max} = 0,918 \sqrt[3]{\frac{P}{D^2(\theta_1 + \theta_2)^2}},$$

где θ_1 и θ_2 – коэффициенты; $\theta_1 = \frac{1 - \mu_1^2}{E_1}$ и $\theta_2 = \frac{1 - \mu_2^2}{E_2}$;

Для решения составленной математической модели процесса изнашивания используется математический аппарат численных методов, основанный на анализе ряда дискретных состояний, через которые проходит изнашивающаяся поверхность трения.

Предварительно известными считаются: начальная форма и размеры режущего элемента $Z_{ij} = c \rho_{ij}^n$, описываемая функцией $\Psi_i = O(p)$, закономерности изнашивания материала элемента и зависимость изменения коэффициента трения от энергетического состояния материала, а также от удельной нагрузки.

Для решения поставленной задачи кривая, ограничивающая переднюю и заднюю поверхности режущего элемента, разбивается на ряд отрезков через произвольно выбранный интервал с координатами узловых точек (рис.8):

$$\rho_j = j \Delta \rho; \quad z_{ij} = \Psi_{i=0}(\rho_j);$$

или $z_{ij} = c \rho_{ij}^n$,

где c и n – коэффициент и показатель степени; (для клиновидных зубьев $c=3,5$ и $n=1$; для биопрототипа $c=0,5$ и $n=1,5$).

Учитывая, что вектор износа направлен по нормали к поверхности зуба, находим значение удельной нагрузки

$$p_{ij} = p_i(\rho_j) = p_{zi}(\rho_i) \cos^2 \left(\arctg \frac{z_{ij} - z_{ij-1}}{\Delta \rho} \right)$$

и износ зуба в j -ой точке за шаг δt :

$$\delta h_{ij} = J(p_{ij}) V \rho_j \delta t,$$

Зная координаты профиля i -го состояния величину и направление вектора износа за один шаг в j -ой точке, нетрудно определить координаты профиля $i+1$ -го состояния.

Тогда уравнение δh_{ij} примет вид:

$$\delta h_{ij} = J_{ij} L_j H_j \delta t,$$

где δh_{ij} –квант износа;

J_{ij} - интенсивность изнашивания;

L_j - путь трения (путь резания или копания);

H_j - число взаимодействий сопряженных абразивных частиц с режущим элементом в единицу времени (в зависимости от типа грунта);

δt - конечный малый промежуток времени;

j - номер узловой точки.

Решение задачи по определению давления на поверхности трения от нагрузки и формы режущего элемента для каждого состояния осуществляется на основании закономерностей изнашивания и имеет вид (Рис. 8):

$$q_{ij} = \frac{P}{4} a_{ij} b_{ij} \sum_{j=1}^{M_1} \cos \left(\arctg \frac{z_{ij}}{\rho_{ij}} \right),$$

где q_{ij} – давление на поверхности трения;

P - усилие на режущей кромке зуба;

a_{ij} , b_{ij} – геометрические параметры (ширина и толщина) зуба;

i - порядковый номер состояния;

j - номер узловой точки.

Форма режущего органа землеройных машин при каждом состоянии описывается дискретными точками на поверхности (см. рис. 3.5).

Шаг износа принимается равным малой величине износа режущего элемента за малый промежуток времени Δt_k цикла, тогда

$$\delta h_{ij} = J_{ij} V_k \Delta t_k,$$

где δh_{ij} – квант износа;

J_{ij} - интенсивность изнашивания;

V_k -скорость (резания) копания;

Δt_k - время резания (копания).

Интенсивность абразивного изнашивания, полученная на основе усталостной природы разрушения поверхности трения, может

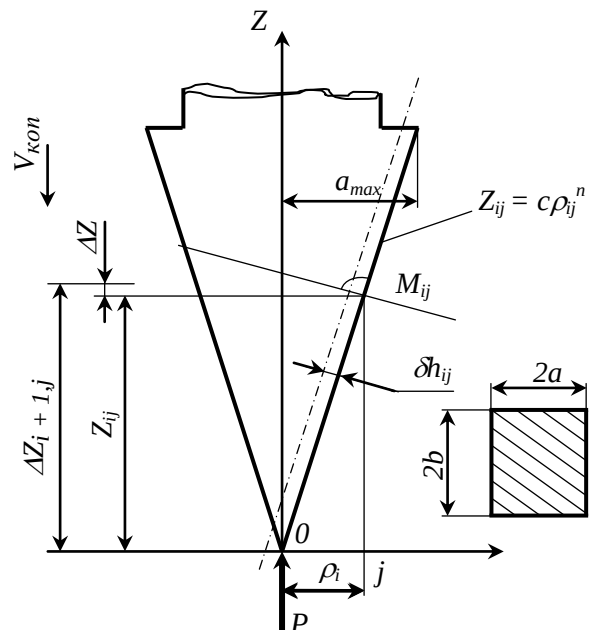


Рис.8. Расчетная схема изменения формы зуба при изнашивании

быть рассчитана по формуле:

$$J_{ij} = \frac{2h_{ij}^2 n_a \left(\frac{d}{2} - \frac{1}{3} h_{ij} \right) (E_o + E_{TP} - Q)}{A_{ai} K_T E^* V_\kappa \Delta t_\kappa} ,$$

где E_o – исходная плотность внутренней энергии материала зуба;

E_{TP} - энергия трения;

Q - количество тепла, выделяемого на режущей кромке;

A_{ai} - номинальная площадь контакта;

K_T - коэффициент соотношения твердости материала и абразива;

E^* - критическая плотность внутренней энергии.

Исходная плотность внутренней энергии материала E_o по существу является механической энергией аккумулированной в металле в форме остаточных напряжений:

$$E_o = (1 - 2\mu) \frac{(3\sigma)^2}{6EV_D} ,$$

где μ - коэффициент Пуассона;

E - модуль упругости (Юнга);

σ - остаточное напряжение;

V_D - объем деформируемого материала.

Эти показатели и их величины связаны между собой двумя соотношениями:

$$G = \frac{E}{(1 + \mu)} \quad \text{и} \quad D = \frac{E}{3(1 - 2\mu)}$$

где D - модуль всестороннего сжатия (или объемной упругости).

Модули упругости E и G связаны между собой соотношением:

$$G = \frac{3}{8} E,$$

где G - модуль сдвига.

Энергия трения при абразивном изнашивании состоит из энергии вдавливания абразивных частиц в поверхность трения и энергии скольжения частиц:

$$E_{TP} = E_{\text{вд}} + E_{\text{ск}} .$$

Энергия вдавливания частицы в поверхность

$$E_{\text{вд}} = \frac{Nh - N^2}{2\pi RHB} ,$$

где N - нагрузка на единичный абразив;

h - глубина вдавливания частицы в поверхность;

R - радиус абразивной частицы.

HB - твердость поверхности.

Энергия скольжения частицы по поверхности трения при пластической деформации:

$$E_{ск} = SL\sigma_T,$$

где S - площадь поперечного сечения канавки скольжения;

L - путь скольжения частицы;

σ_T - предел текучести материала режущего органа землеройных машин.

Величина износа в единице объема в соответствии с рис. 8 будет:

$$V = \frac{1}{2} \Delta h b = \frac{1}{2} h^2 b \left(\frac{1}{\operatorname{tg} \alpha} \pm \operatorname{tg} \gamma \right),$$

где α - задний угол;

γ - передний угол.

Предложенный алгоритм функционирования узла трения "зуб-грунт" включает описание формоизменения зуба от свойств материала, нестационарных нагрузок и условий контактирования, механики взаимодействия "материал зуба - среда".

Предлагаемая математическая модель позволяет рассчитать износостойкость режущих элементов землеройных машин различных типов в зависимости от геометрии, конструктивных особенностей, вида упрочняющих материалов и абразивных сред, параметров нагружения.

На рис. 9 иллюстрируется расчетное распределение нормального давления по задней поверхности наплавленного клиновидного зуба. Установлено, что максимальное давление возникает вблизи режущей кромки; по мере удаления от нее давление гиперболически уменьшается (рис.9).

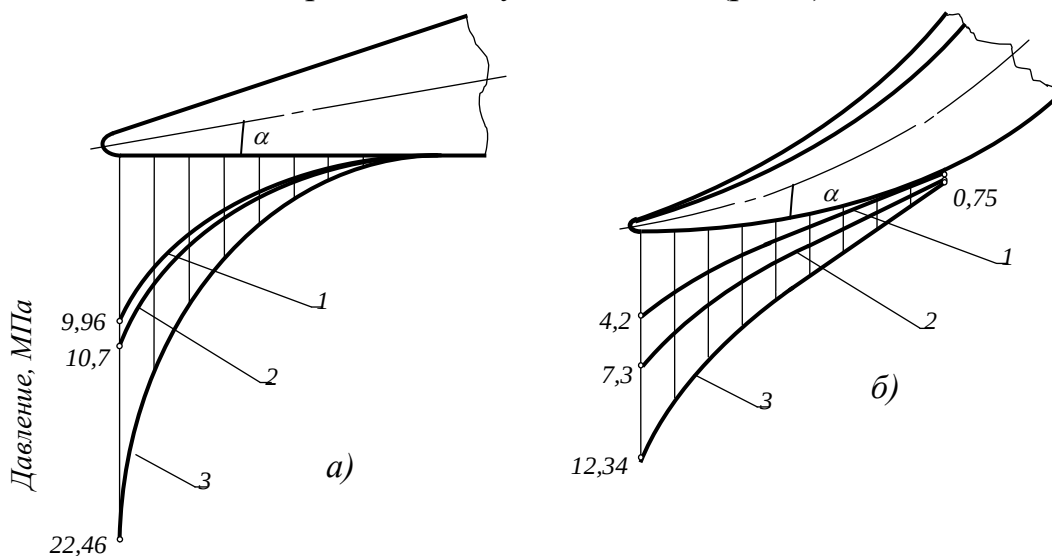


Рис. 9. Изменение давления на задней поверхности клиновидного (а) зуба и биомеханической модели (б) зуба для состояний: 1- для $i = 61$; 2 - для $i = 601$; 3 - для $i = 1141$.

Полученное распределение давления характеризует острое состояние клиновидного зуба. По мере опережающего изнашивания в зонах наибольшего давления происходит выравнивание эпюры и износ стабилизируется. В отличие от них зубья с оптимизированной геометрией имеют (рис. 9) более плавное распределение давления, способствующее поддержанию зуба в заостренном состоянии. Как следствие, сопротивление резанию в этом случае уменьшается.

Расчеты показали, что давление вблизи режущей кромки зуба типа “слепушонка” в 1,7...2,0 раза ниже, чем у клиновидного.

Характеру распределения нормального давления (см. рис. 9) соответствуют эпюры износа задней поверхности зубьев (рис. 10). Максимальный износ наблюдается вблизи режущей кромки.

Формоизменение зуба с оптимальной геометрией в процессе изнашивания (рис. 10) характеризуется более равномерным распределением износа по поверхности трения, чем в случае с клиновидным зубом (рис. 10). Показательно, что режущая часть биомеханической модели сохраняется практически неизменной при положительном заднем угле резания благодаря выбранной кривизне зуба, т.е. реализуется его самозатачивание.

Характерно, что в пределах наработки до 480 часов зависимость износа клиновидных и оптимизированных зубьев от усилия на кромке, носит линейный характер во всем рассмотренном диапазоне значений от 10^4 до $5 \cdot 10^4$ кН (рис. 10). При большей наработке линейная зависимость может быть также принята в диапазоне усилий от $2 \cdot 10^4$ до $5 \cdot 10^4$ кН. Для усилий до $2 \cdot 10^4$ кН линейную связь можно принять для всего диапазона наработок.

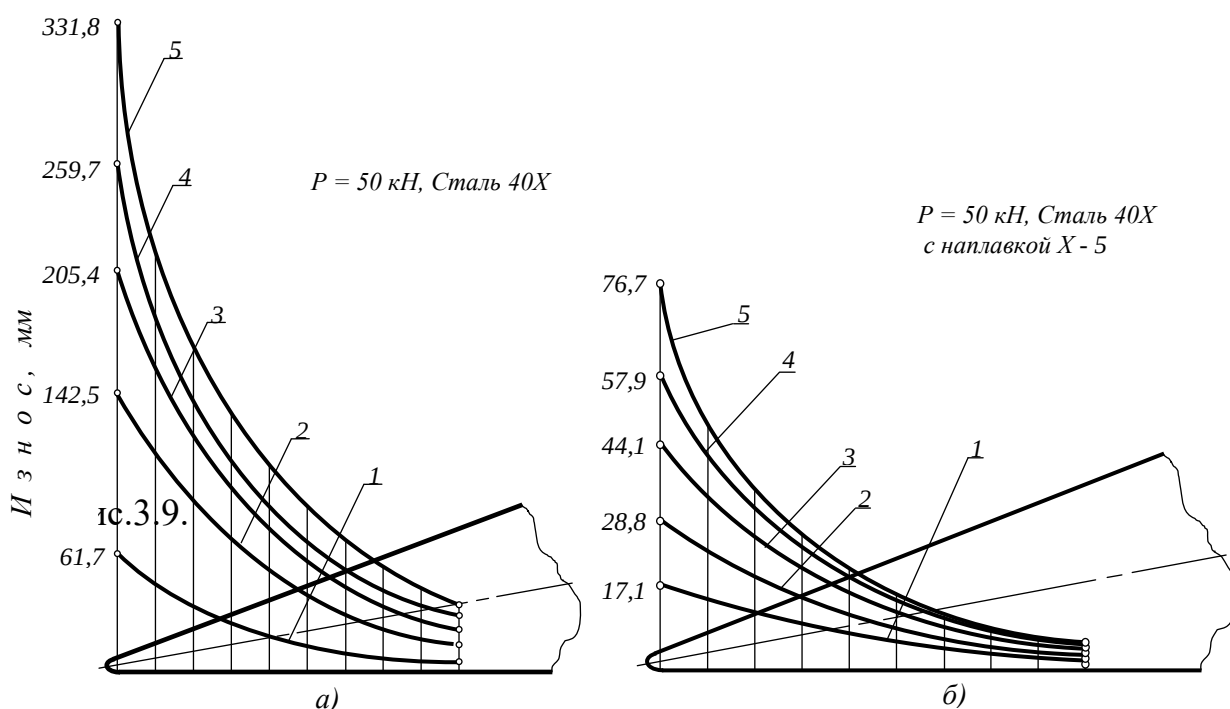


Рис. 10. Изменение формы клиновидного зуба в процессе изнашивания при наработке:
1 - 120ч.; 2 - 360ч.; 3 - 600ч.; 4 - 840ч.; 5 - 1200ч

Отношения коэффициентов износа для клиновидного зуба и биомеханической модели зуба, характеризующие влияние формы режущего элемента, даны в табл. 2.

Отношения коэффициентов износа отражают влияние на износ формы зуба и должны соответствовать значениям коэффициента формы зуба.

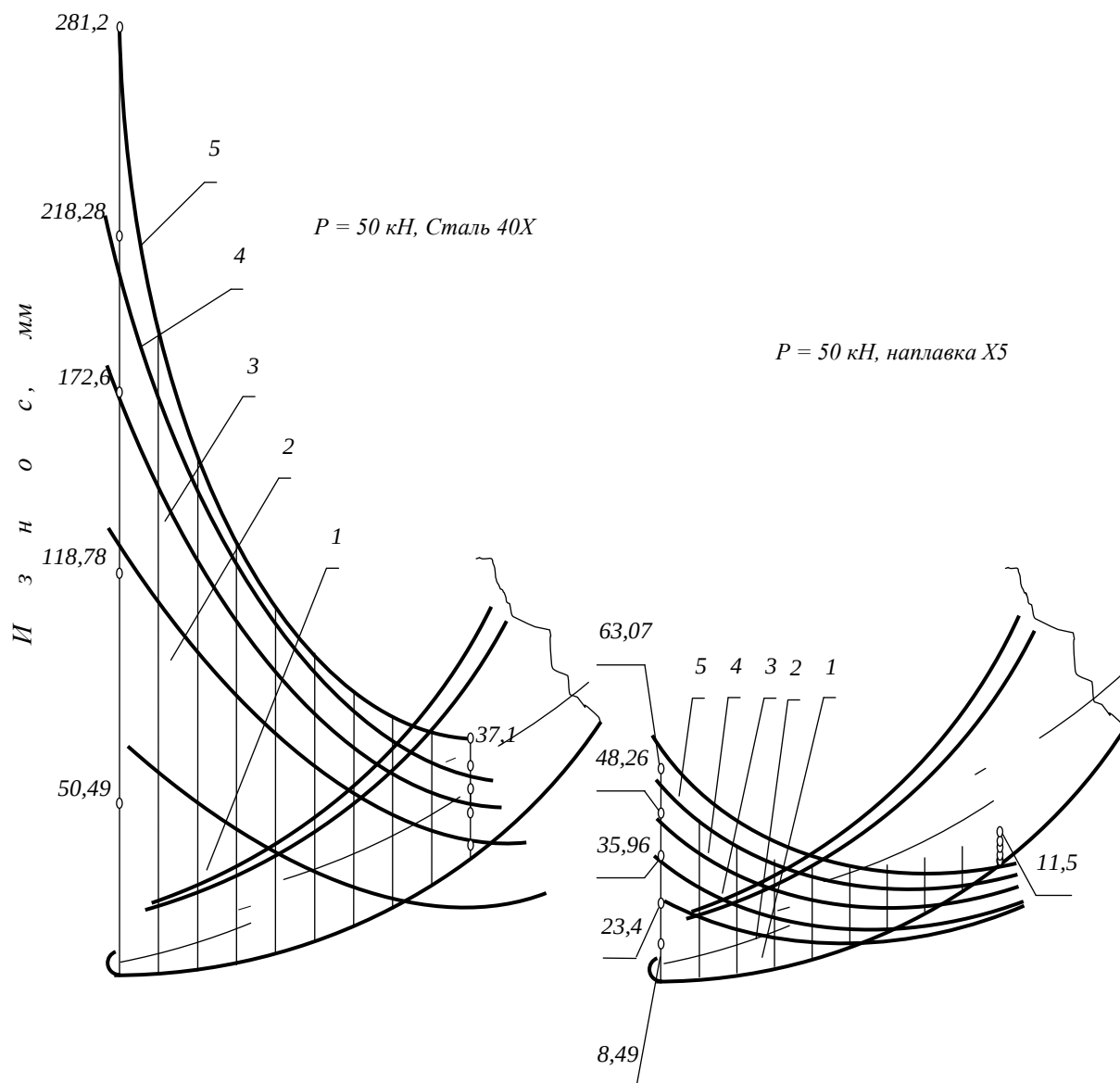


Рис. 11. Изменение формы режущей части биомеханической модели в процессе изнашивания при наработке: 1- 120 час.; 2- 360 час.; 3- 600 час.; 4- 840 час.; 5- 1200 час.

Сопоставление данных показало, что расчетные и экспериментальные показатели формы зуба вполне удовлетворительно соответствуют друг другу: расчетные показатели находятся в интервале 18...34, а экспериментальные – в интервале 12...18%. Видно, что предельные нижние и верхние значения совпадают. Это обстоятельство подтверждает корректность заложенных в расчет предпосылок о степени влияния на износ биомеханической оптимизации формы режущих элементов.

По зависимостям износа от усилия на режущей кромке клиновидного и оптимизированного зубьев, представленным на рис.10 и рис. 3.11, видно, что при износе до 80 мм связь между износом и усилием можно считать линейной. Коэффициенты пропорциональности (коэффициенты износа) имеют следующие значения (табл.2):

**Коэффициенты износа клиновидных и оптимизированных
зубьев с наплавкой Э-300Х25Г2Р2СТ**

Таблица 2

Форма зуба	Н а р а б о т к а з у б а , час.					
	120	240	480	720	960	1200
Клиновидная	$2,01 \cdot 10^{-3}$	$3,79 \cdot 10^{-3}$	$6,86 \cdot 10^{-3}$	$9,51 \cdot 10^{-3}$	$1,19 \cdot 10^{-3}$	$1,41 \cdot 10^{-2}$
Биомодель	$1,68 \cdot 10^{-3}$	$3,18 \cdot 10^{-3}$	$5,71 \cdot 10^{-3}$	$8,06 \cdot 10^{-3}$	$9,9 \cdot 10^{-3}$	$1,17 \cdot 10^{-2}$
Коэффициент формы зуба	1,196	1,192	1,201	1,180	1,202	1,205

В четвертой главе “Разработка методов упрочнения зубьев ковшей карьерных экскаваторов” – приведены результаты исследований по разработке методов упрочнения зубьев ковшей карьерных экскаваторов.

Объектами исследований являлись карьерные экскаваторы ЭКГ – 8И и ЭКГ – 10, эксплуатирующиеся на карьере “Мурунтау” Навоийского Горно-металлургического комбината (НГМК).

Проведенные наблюдения позволили установить, что в зависимости от режима эксплуатации зубьев, характер их изнашивания разделяется на два основных типа. В первом случае (основной режим), вновь установленные на ковш зубья эксплуатируются до предельного износа без переустановки. При этом, через 8 – 10 маш. – час. работы на режущей части зуба образуется площадка износа, угловое положение которой относительно продольной оси зуба в течение всего процесса изнашивания остается постоянным. По мере укорочения режущей части длина площадки износа постепенно увеличивается, достигая максимального значения при предельно допустимом износе острия зуба.

Площадка износа представляет собой выпуклую поверхность со скруглением на режущей кромке зуба. Касательная к середине площадки износа, по видимому, совпадает с касательной к траектории движения зуба, т.е. передняя поверхность зуба и касательная к площадке износа образуют действительный угол резания.

Измерения партии изношенных зубьев экскаваторов ЭКГ – 8И и ЭКГ – 10 показали, что при максимально допустимом линейном износе режущей части $L_{ДР}=170-180$ мм, длина площадки износа составляет $L_{\Delta}=160-180$ мм, а угол α между касательной к середине площадки износа и продольной осью зуба составляет $30-35^{\circ}$.

На изношенных рабочих поверхностях зубьев наблюдались многочисленные риски в виде макро- и микроцарапин средней глубиной от 25 до 5000 мкм с относительно небольшим количеством макро- и микровырывов средней площадью от 100 мк^2 до 10 мм^2 при глубине от 10 до 500 мк. Вместе с тем отмечен ряд царапин глубиной до 4-5мм и длиной до 40-50мм, а также вырывов глубиной до 3-5мм и площадью до $8-12 \text{ мм}^2$. Остальные поверхности зубьев покрыты редкими макро- и микроцарапинами и вырывами глубиной от 5 до 400 мк.

С целью более глубокого изучения картины изнашивания было проведено лабораторное исследование фрагмента площадки износа зуба. При этом определялись: химический состав материала образца, его микроструктура, твердость металла на поверхности площадки износа и наличие на ней наклепа.

Микроструктура металла образца представляла собой аустенит с величиной зерна, соответствующей 4-5 баллу, отдельные зерна оценивались в 3 балла. По величине зерна исследованный металл был отнесен к группе крупнозернистых.

Твердость металла на поверхности площадки износа определялась по всей ее длине. На рис. 12 приведена схема расположения точек, в которых проводились измерения твердости.

Получены следующие данные:

точка 1 – *HB* 286; точка 3 – *HB* 201;
точка 5 – *HB* 206. точка 2 – *HB* 232;
точка 4 – *HB* 208;

Для установления наличия наклепа на площадке износа из фрагмента зуба был вырезан образец с участком площадки износа, расположенным вблизи точки 1 (см. рис. 12). Соответствующие измерения на поверхности, перпендикулярной площадке износа, показали, что в поверхностном слое толщиной 0,45 мм микротвердость составляет $H_m = 645 \text{ кг/мм}^2$, а в сердцевине $H_m = 412 \text{ кг/мм}^2$, что указывает на существование незначительного упрочнения (наклепа) тонкого слоя изношенной поверхности.

С целью проверки эффективности наплавки как метода упрочнения зубьев ковшей карьерных экскаваторов нами была произведена опытная наплавка режущих частей зубьев электродами Т-590 и Х-5.

Общий анализ закономерностей изнашивания исследуемых зубьев позволил установить основные причины малоэффективности как наплавки, так и других методов поверхностного упрочнения зубьев карьерных экскаваторов: во-первых, толщина упрочненного поверхностного слоя (4–6 мм и т.п.) по мере износа режущей части очень быстро становится несоизмеримо малой по сравнению с геометрическими размерами поперечных сечений режущей части зуба и в конце процесса износа уменьшается настолько, что практически не влияет на ее износостойкость, во-вторых, наплавленный слой располагается крайне невыгодно по отношению к площадке износа, т.е. к главной поверхности износа, образующей с наплавленной поверхностью угол $60 - 65^\circ$. В результате этого основные изнашивающие нагрузки воспринимаются неупрочненным металлом режущей части зуба, что и вызывает его интенсивный износ. Отсюда следует, что существенное повышение долговечности зубьев карьерных экскаваторов можно получить только с помощью методов объемного упрочнения металла режущей части зубьев.

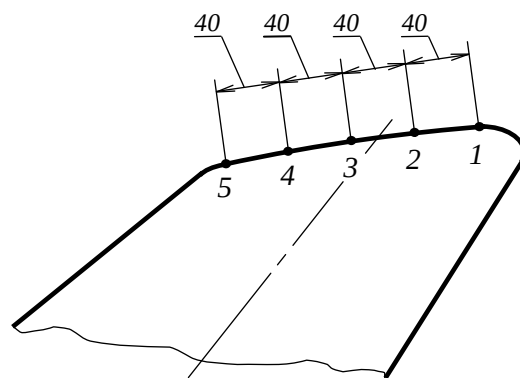


Рис. 12. Схема измерения твердости на площадке износа

В данной работе нами предложена одна из таких технологий. Она осуществляется на установке для электрошлаковой наплавки (ЭШН) зубьев и заключается в приварке к телу зуба наконечника, получившего объемное упрочнение.

Результаты проведенных исследований показали, что, во-первых, сталь 110Г13Л обладает технологической совместимостью (т.е. хорошим сплавлением) со сталями, имеющими отличную от аустенита структуру и, следовательно, имеется возможность практической реализации предлагаемой технологии на установке ЭШН, во-вторых, достигнуто увеличение износостойкости режущей части зуба на 90 - 100% по сравнению с эталонными зубьями, т.е. долговечность зуба, восстановленного по предлагаемой технологии возросла не менее чем в 1,9 раза по сравнению с зубом, отлитым из стали 110Г13Л.

В пятой главе “Производственные испытания экспериментальных рабочих органов и наплавочных материалов” приводятся результаты производственных испытаний экспериментального рабочего органа рыхлителя, выполненного в виде пары биологического объекта резцов животного - прототипа (*Ellobius talpinus*) и режущих элементов землеройных машин, наплавленных опытными наплавочными материалами.

Испытания биологического прототипа. В испытаниях устанавливалась эффективность оптимизации формы зубьев рыхлителя ДЗ - 42 биологического прототипа с точки зрения их износостойкости и долговечности.

Для проведения испытаний были изготовлены два комплекта биологического прототипа нижних резцов – слепушонки обыкновенной (*Ellobius talpinus*). Определение основных размеров биологического прототипа выполнялось при условии равенства ширины $b_{\text{бм}}$ режущей части биомодели и ширины $b_{\text{нр}}$ наконечника зуба базового рыхлителя: $b_{\text{бм}} = b_{\text{нр}}$. В соответствии с этим условием коэффициент увеличения размеров резцов определялся по выражению:

$$K_y = \frac{b_{\text{нр}}}{b_{\text{р.бн}}},$$

где $b_{\text{р.бн}}$ - ширина резца биологического прототипа.

Комплект биологического прототипа состоял из двух резцов (далее - опытных зубьев), представляющих собой зеркальное отражение друг друга. На стойке рыхлителя опытные зубья устанавливались попарно с шагом t , который определялся умножением на коэффициент K_y величины межрезцового расстояния роющего аппарата биологического прототипа, благодаря чему выдерживалось максимально возможное конструктивное соответствие опытного рабочего органа биоло-

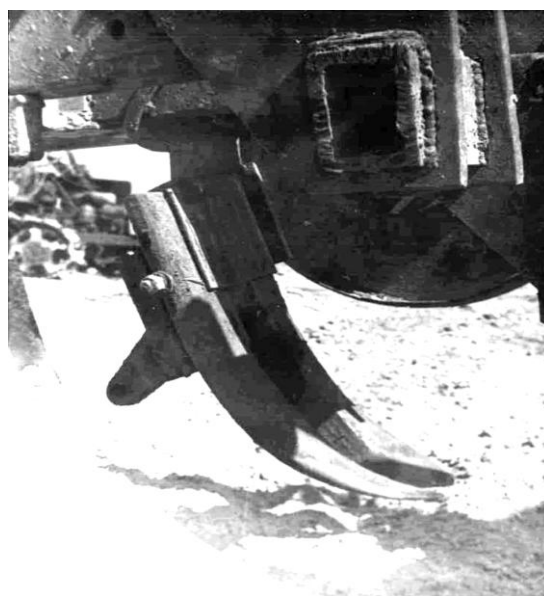


Рис. 13. Общий вид рабочего органа рыхлителя на базе бульдозера ДЗ-42

гическому прототипу. Общий вид опытного рабочего органа рыхлителя ДЗ - 42 приведен на рис. 13. Опытные зубья изготавливались методом литья из стали 35ГЛ с последующей упрочняющей обработкой их режущих частей. Выбор технологии упрочнения зубьев основывался на результатах испытаний износостойкости лабораторных образцов упрочненных биомоделей. В качестве основного упрочняющего наплавочного материала были выбраны электроды Х-5, обеспечивающие наиболее высокую износостойкость изнашивающимся поверхностям.

Эффективность применения исследуемых наплавочных материалов (электродов Т-590 и Х-5) устанавливалась путем экспериментальных наплавов на зубья ковшей экскаваторов ЭО - 3322 и ЭО - 4121. Во время экспериментов экскаваторы разрабатывали грунты II категории, влажностью $\omega = 16 - 18\%$ и с числом ударов плетномера ДорНИИ $C = 8...15$.

Передние и задние поверхности режущих частей опытных зубьев наплавлялись исследуемыми электродами. Толщина наплавленного слоя составляла 4 - 6 мм.

Испытания проводились методом сравнения скорости и интенсивности изнашивания неупрочненных (эталонных) зубьев и зубьев с опытной наплавкой. Для этого на один ковш устанавливались два эталонных зуба и два опытных. Износ зубьев определялся как величина абсолютного укорочения Δl режущей части зуба относительно измерительной базы, нанесенной на боковую поверхность зуба. Измерения износа проводились через 50 мото-ч работы подконтрольных машин.

При испытаниях наплавленных режущих органов регистрировался износ зубьев и объем грунта, разработанного машиной с начала проведения эксперимента.

На рис. 14 показаны образцы зубьев экскаваторов ЭО - 4121 и ЭО - 3322, упрочненные опытной наплавкой.



Рис. 14. Общий вид клиновидных зубьев ковшей экскаваторов ЭО - 4121 (а) и ЭО - 3322 (б)

В отличие от выполненных ранее исследований, в данной работе, для оценки контактного взаимодействия пары металл - абразивная среда и определения интенсивности изнашивания зубьев нами впервые был применен метод построения кривой опорной поверхности.

Кривая опорной поверхности строилась с помощью параметров b и v степенной аппроксимации начального участка опорной кривой. Вычисление параметров b и v производилось по среднему арифметическому отклонению профиля R_a и значениям R_{max} и R_p рассчитанным по 5 участкам профилограмм изношенных поверхностей режущих частей зубьев, упрочненных опытными наплавочными материалами.

Профилограммы исследованных поверхностей снимались при помощи электронного быстродействующего самопишущего прибора PERTH-O-METER типа DWR-LP (Германия). Профилограммы записывались на электросенситивную диаграммную ленту шириной 44 мм на контрольных базах длиной 10 мм в поперечном и продольном направлениях передней грани зуба.

Продольные профилограммы снимали по оси симметрии зуба, поперечные - через середины продольных баз. Вертикальное и горизонтальное увеличения составляли соответственно 200 и 40 раз.

Все характеристики, относящиеся к микрогеометрии поверхности, объединений индексом:

$$\Delta = \frac{R_{max}}{b^{1/v} R}$$

По полученным данным оценивалась конструкционная износостойкость рабочих органов рыхлителя и опытных зубьев ковшей экскаваторов.

Биологический прототип. Конструкционная износостойкость опытных и эталонных зубьев рыхлителя оценивалась по двум безразмерным показателям ε_{nn} и ε_{zn} представляющим собой отношения абсолютных линейных износов, измеренных по нормали к соответственно передней и задней поверхностям (индексы “ПП” и “ЗП”) клиновидного наконечника $i_{кл}$ и режущей части опытного зуба $i_{он}$:

$$\varepsilon_{пп} = \frac{(i_{кл})_{пп}}{(i_{он})_{пп}} \quad \text{и} \quad \varepsilon_{зп} = \frac{(i_{кл})_{зп}}{(i_{он})_{зп}}$$

Результаты обработки данных, полученных в ходе испытаний опытных зубьев приведены в табл. 3:

Износ опытных зубьев и наконечников рыхлителя ДЗ-42

Таблица 3

Расстояние от передней кромки, мм	Клиновидный зуб, мм		Опытный зуб, мм		Относительная Износостойкость	
	Передняя Грань	Задняя грань	Передняя грань	Задняя грань	Передняя Грань	Задняя Грань
7	11,40	2,05	9,20	1,35	1,24	1,52
15	8,20	1,40	6,25	0,90	1,31	1,56
35	7,95	1,25	6,20	0,85	1,28	1,47
55	7,35	1,20	5,65	0,80	1,30	1,50

Данные табл.4 показывают, что проведенная оптимизация формы зуба и его упрочнение по комбинированной схеме электродами Х-5 и Т – 590 привела к повышению износостойкости передней поверхности режущей части зуба на

24... 31% по сравнению с клиновидным наконечника зуба; износостойкость задней поверхности при этом повысилась в 1,5 раза.

По данным, полученным при испытаниях упрочненных зубьев на экскаваторах, вычислялась скорость изнашивания зубьев:

$$v_{изн} = \frac{\Delta l}{\tau}, \text{ мм/мото-ч}$$

По результатам испытаний упрочненных зубьев на экскаваторах ЭО – 4121, по объему разработанного грунта (W_c) и величине износа Δl , вычислялся темп изнашивания зубьев:

$$\tau_T = \frac{\Delta l}{W_c}, \text{ мм/м}^3$$

Относительная конструкционная износостойкость зубьев определялась как отношение скоростей или темпов изнашивания серийных и опытных зубьев:

$$\varepsilon_v = \frac{v_c}{v_{он}} \quad \text{и} \quad \varepsilon_\tau = \frac{\tau_c}{\tau_{он}}.$$

При вычислениях величин ε_v и ε_τ за эталон сравнения принимались зубья из стали 110Г13Л, наплавленные электродами Т – 590. В табл. 4 приведены результаты выполненных вычислений.

Износ опытных зубьев ковшей экскаваторов

Таблица 4

Материал	Твердость $HRC(HB)$	ЭО – 3322			ЭО – 4121		
		Δl , мм	V , Мм/ч ¹	ε_v	Δl , мм	$\tau \times 10^3$ мм/м ³	ε_τ
Сталь 40Х	36...38	24,9	0,25	0,66	25,2	2,5	0,75
Сталь 110Г13Л	205...209	36,8	0,37	0,45	35,2	3,5	0,54
Наплавка Х – 5 на сталь 40Х	60...63	6,6	0,07	2,50	8,3	0,8	2,28
Наплавка Х – 5 на 110Г13Л	60...63	9,7	0,10	1,70	11,9	1,2	1,59
Наплавка Т– 590 на 110Г13Л	57...59	16,5	0,17	1,0	18,9	1,9	1,0

П р и м е ч а н и е: Δl – линейный износ за время эксперимента; v – скорость изнашивания; τ – темп изнашивания; ε – относительная износостойкость.

Анализ данных табл.4 показал, что оптимальным вариантом для ковшей экскаваторов ЭО – 3322 и ЭО - 4121 будет применение зубьев из стали 40Х, наплавленных электродами Х-5. При этом их износостойкость возрастет в 1,6....2,5 раза по сравнению с эталонными зубьями из стали 110Г13Л, наплавленными электродами Т -590 .

Полученные результаты достаточно точно подтвердили данные лабораторных испытаний износостойкости наплавов Х – 5 и Т – 590 (см. табл. 1.).

Результаты определения характеристик микрогеометрии фрагментов изношенных зубьев экскаватора ЭО – 4121 приведены в табл.5 и табл.6. Пример построения кривых опорной поверхности для изношенного зуба, наплавленного электродами Т – 590, представлен на рис.15.

Представляет интерес оценка направленности следов трения, которую, по нашему мнению, можно оценить отношением $m = \Delta_{non} / \Delta_{np}$.

Значение данного показателя приведено в табл.5. При $m > 1$ изнашивание зубьев происходит при трении продольного скольжения абразивных частиц по поверхности, при $m < 1$ имеет место поперечное скольжение абразивных частиц, при $m = 1$ направленного скольжения абразивных частиц нет.

Это возможно либо при ударно-абразивном изнашивании, либо при равновероятном скольжении частиц в обоих направлениях.

Анализ значений интенсивности изнашивания, полученных по параметрам продольной шероховатости (табл.7) показывает их заметные колебания на 5 порядков. Значения интенсивности, определенные по параметрам поперечной шероховатости (табл.7) отличаются меньшей чувствительностью к исходным аргументам и характеризуются практически неизменным порядком 10^{-3} .

Характеристики микрогеометрии поверхности трения по параметрам поперечной профилограммы

Таблица 5

Марка Элек- трода	R_{non}	R_{max}	b	v	$b^{1/v}$	Δ	m
T ₁ – 590	60	15	3,82	1,57	2,35	0,1064	6,73
T ₂ – 590	40,5	16	0,739	2,12	0,867	0,456	8,3
ВСН – 6	161	18	1,227	2,62	1,08	0,104	0,83
110Г13Л	56,2	18	4,067	1,72	2,26	0,142	0,10
X – 5	78,12	13	1,23	1,45	1,15	0,145	1,13

Характеристики микрогеометрии поверхности трения по параметрам продольной профилограммы

Таблица 6

Марка Элек- трода	R_{np}	R_{max}	B	v	$b^{1/v}$	Δ_{np}
T ₁ – 590	124	7	0,32	1,394	0,44	0,1282
T ₂ – 590	40	20	0,43	0,85	0,37	1,351
ВСН – 6	1545	22	1,234	1,01	1,23	0,0158
110Г13Л	192,5	14	0,565	0,85	0,37	1,1351
X – 5	117	14	1,23	3,26	1,065	0,1124

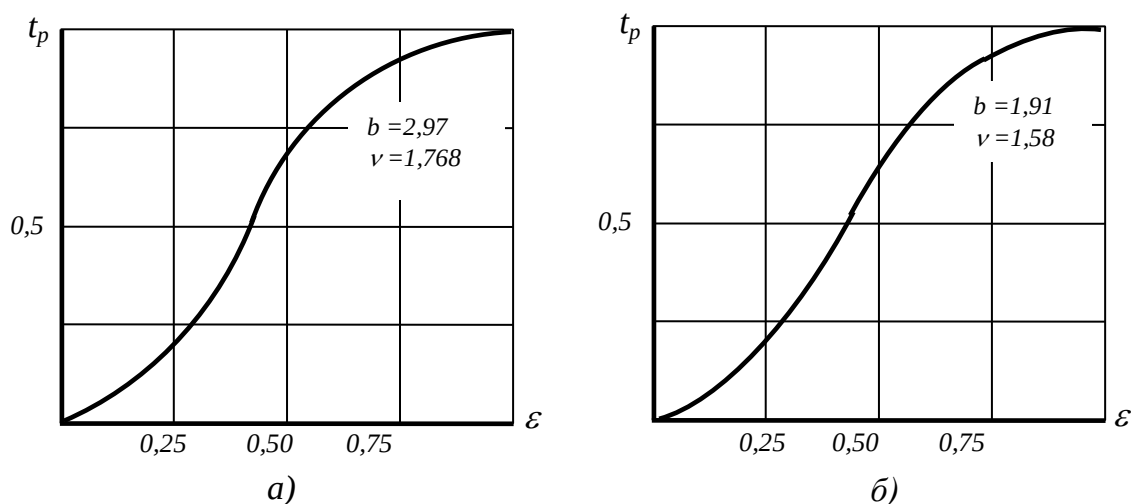


Рис. 15. Кривые опорной поверхности, построенные по продольной (а) и поперечной (б) профилограммам (зуб с наплавкой Т – 590).

Значения интенсивности изнашивания по параметрам продольных профилограмм

Таблица 7

Марка Электро-да	ξ	b	ε_{np}	R_{max}	$\bar{l}_{np}$	J_{np}
ВСН – 6	1,0	1,234	0,0041	22	33,125	$6,192 \cdot 10^{-4}$
Т – 620	1,0	4,44	0,00156	24	5,52	$1,164 \cdot 10^0$
Х – 5	1,0	1,23	0,169	14	28,63	$4,902 \cdot 10^{-3}$
110Г13Л	1,0	0,565	0,00929	14	13,64	$1,645 \cdot 10^{-2}$
Т ₁ – 590	1,0	0,43	0,0038	20	5,34	$4,110 \cdot 10^{-4}$
Т ₂ – 590	1,0	0,32	0,717	7	59,7	$5,200 \cdot 10^{-1}$

Значения интенсивности изнашивания по параметрам поперечных профилограмм

Таблица 8

Марка Электро-да	ξ	b	ε_{non}	R_{max}	$\bar{l}_{non}$	J_{non}
ВСН – 6	1,0	1,227	0,109	18	30,96	$4,365 \cdot 10^{-3}$
Т – 620	1,0	17,5	0,0278	11	9,579	$2,448 \cdot 10^{-3}$
Х – 5	1,0	1,23	0,0184	13	36,34	$6,804 \cdot 10^{-3}$
110Г13Л	1,0	4,067	0,0172	18	8,969	$7,560 \cdot 10^{-3}$
Т ₁ – 590	1,0	3,82	0,012	15	7,396	$2,360 \cdot 10^{-3}$
Т ₂ – 590	1,0	0,739	0,0827	16	14,180	$1,663 \cdot 10^{-3}$

Таким образом, можно заключить что интенсивность изнашивания, рассчитанная на основе экспериментальных данных о микротопографии поверхностей трения, изменяется от 10^0 до 10^{-4} .

Сравнение значений безразмерной интенсивности изнашивания, полученных на основе экспериментально-аналитического расчета и при математическом моделировании энергетическим подходом, численным методом изнашивания, свидетельствует об одинаковом их порядке и виде контактного взаимодействия. Следовательно, корректность выбранной математической модели изнашивания подтверждается экспериментально-аналитическим расчетом на основе эксплуатационных данных.

Рассмотрение связи безразмерных интенсивности изнашивания J и комплексного показателя микрошероховатости Δ указывает на сложную, в первом приближении, линейную зависимость. Можно полагать, что увеличение показателя приводит к увеличению интенсивности изнашивания, при этом резкое снижение последней достигается при значениях Δ от 0,05 до 0,2. В области больших Δ значений интенсивность изнашивания асимптотически устремляется к минимальному для данного механизма изнашивания значению.

Сопоставление интенсивностей изнашивания различных наплавочных материалов показало, что относительная износостойкость при вычислении через параметры поперечной шероховатости имеет следующий ряд:

**Значения относительной износостойкости
опытных наплавочных материалов**

Таблица 9

Х – 5	Т – 590	Т – 620	ВСН – 6	110 Г 13 Л
11,1	3,8	3,08	1,73	1,0

Износостойкость наплавки Х-5 в 2,9 раза превышает износостойкость наплавки Т-590, что также удовлетворительно согласуется с результатами лабораторных и натурных испытаний.

На следующем этапе исследований была установлена зависимость производительности экскаватора Q от величины линейного износа Δh зубьев ковша, т.е. вида функции $Q = f(\Delta h)$.

Опытные замеры производительности Q_i подконтрольных экскаваторов и линейного износа Δh_i зубьев их ковшей проводились через каждые 50 мото – ч работы этих машин.

По результатам испытаний была рассчитана часовая эксплуатационная производительность экскаваторов для всех проведенных опытов и после соответствующей обработки полученных данных, установлена зависимость:

$$Q = Q_0 - 0,575\Delta h,$$

где Q_0 – производительность экскаватора при работе с неизношенными зубьями.

Из выражения Q следует, что по мере возрастания износа Δh зубьев производительность экскаватора снижается практически линейно.

Уместно отметить, что предлагаемое упрочнение режущих органов наплавкой электродами Х – 5 повышает конструкционную износостойкость ре-

жущих органов в 2,0...2,5 раза, а это равносильно возрастанию производительности землеройных машин на 18...21%.

На заключительном этапе исследований рассчитывалась экономическая эффективность от увеличения срока службы режущих органов землеройных машин и карьерных экскаваторов путем их наплавки износостойкими электродами по сравнению с существующей технологией изготовления и упрочнения. Ожидаемый экономический эффект от внедрения результатов в народное хозяйство Республики Узбекистан составляет 5,28 млрд. сум, по состоянию на 2003 год полученный экономический эффект 82,43 млн.сум.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ

Проведенные теоретические, биомеханические и экспериментальные исследования позволили сформулировать следующие выводы и рекомендации.

1. Условия эксплуатации землеройных машин в регионе Центральной Азии характеризуются комплексом неблагоприятных факторов тяжелыми природно-климатическими условиями, трудностью разработки Центральнo-азиатских грунтов, отличающихся высокой загипсованностью, пересушенностью, засоленностью и абразивностью, значительным содержанием (от 35 до 85%) твердых пород (кварц, диорит и т.п.), приводящим к 1,5 ...2 кратному снижению ресурса режущих элементов и повышению энергоемкости разработки на 60-100%, а также снижение производительности на 10-40%. Установлено ведущим видом поверхностного разрушения (изнашивания) режущих элементов рабочих органов землеройных машин, разрабатывающих грунты является абразивный износ сопровождающийся микрорезанием рабочих поверхностей твердыми частицами грунта, причем интенсивность изнашивания колеблется в пределах от 10^0 до 10^{-4} .

2. Разработана дискретная фазовая динамическая модель резания грунта режущими органами машин, которая при формализации процесса обладает главным достоинством – общностью принципа при всем многообразии свойств грунтов и горных пород при стружкообразовании, опережающей трещины позволяющий развитие научных основ теории изнашивания режущих органов машин.

3. Одним из путей существенного улучшения конструктивных и эксплуатационных качеств рабочих органов землеройных машин является биомеханический метод, в основе которого лежит принцип воссоздания в рабочих органах реальных землеройных машин “конструктивных” решений, найденных живой природой в процессе эволюции животных-землероев.

4. Для обеспечения износостойкости исходя из требований к режущим органам выявленных из биомеханических исследований в натурных режущих элементах удастся также воспроизвести очень важное свойство их природных аналогов – способность самозатачиваться в процессе изнашивания, что обеспечивает наиболее благоприятные условия работы всего рабочего органа.

5. Установлено, что при этом, в зависимости от глубины резания, в несколько раз (в 1,6...2,8 раза) снижается сила сопротивления резанию, значи-

тельно увеличивается износостойкость режущих частей элементов и на 16...21% повышается производительность всего рабочего органа.

6. Упрочнение режущих элементов рабочих органов землеройных машин, эксплуатирующихся в абразивных грунтах, следует проводить высокоуглеродистыми борсодержащими наплавочными материалами. Причем оптимальное содержание бора в наплавленном слое должно составлять 2,0...2,2%. При указанном содержании бора микротвердость основы повышается до 10200 МПа, упрочняющей фазы – до 19500 МПа, а агрегатная твердость наплавленного слоя, при его достаточной вязкости, увеличивается до значения *HRC* 60...64.

7. Разработана многофакторная математическая модель процесса абразивного изнашивания режущих элементов рабочих органов землеройных машин. Разработанная модель дает возможность установить характер распределения давления и основные закономерности протекания процесса износа на задней поверхности режущей части рабочих органов. Предлагаемая математическая модель с максимальной полнотой учитывает как геометрическую форму режущих органов, так и влияние всех основных факторов влияющих на протекание исследуемого процесса.

8. Адекватность разработанной математической модели доказана сравнением расчетных данных и результатов лабораторных, а также эксплуатационных испытаний моделей режущих органов и их опытных образцов. Выполненное сравнение показало их хорошую сходимость, что подтвердило обоснованность введения в математическую модель энергетических факторов, характеризующих состояние материала зубьев в поверхностных слоях, непосредственно контактирующих с изнашивающей абразивной массой.

9. На основе созданной математической модели разработана методика инженерного расчета износостойкости натуральных режущих элементов землеройных машин. Предлагаемая методика прогнозирования износа режущих органов позволяет учитывать различные формы на стадии проектирования оценивать изменение эксплуатационных характеристик рабочего органа.

10. Доказано, что высокая интенсивность изнашивания зубьев из литой стали 110Г13Л обусловлена отсутствием глубокого наклепа металла на их рабочих поверхностях, а скорость изнашивания опережает темп наклепывания металла рабочих поверхностей, твердость которых становится на 16-30% ниже исходной.

11. Проблема повышения износостойкости зубьев карьерных экскаваторов не может быть решена с помощью традиционных (поверхностных) методов упрочнения. Для достижения практически значимой величины увеличения долговечности указанных зубьев необходимо применять методы, обеспечивающие упрочнение всего объема металла режущей части зубьев. Доказана эффективность предложенной технологии упрочнения зубьев: ее применение приводит к увеличению износостойкости зубьев карьерных экскаваторов в 1,2...1,9 раза.

Основное содержание диссертации опубликовано в следующих работах:

В научных журналах:

1. Шукуров Р.У. Методика расчета на долговечность режущих элементов ковшей экскаваторов и рыхлителей. //«Механизация хлопководства». Ташкент 1986. № 6, с. 10-11.
2. Шукуров Р.У. Методы повышения долговечности режущих органов землеройных машин. //«Механизация хлопководства». 1986. № 11. Ташкент. с. 5-6.
3. Волков Д.П., Густов Ю.И. Шукуров Р.У. Износостойкие зубья землеройных машин для Средней Азии. /«Строительные и дорожные машины». 1987, №10. Москва. с. 8-10.
4. Густов Ю.И., Абдуллаев А., Шукуров Р.У. Расчет ресурса криволинейных зубьев ковшей экскаваторов. //«Механизация хлопководства». 1986. № 2. Ташкент. с. 14-16.
5. Волков Д.П., Густов Ю.И., Шукуров Р.У., Абдуллаев А. Формоизменение режущих элементов - резерв для повышения долговечности и производительности экскаваторов. //«Механизация хлопководства». 1989. №2. Ташкент. с. 17-18.
6. Шукуров Р.У., Брыков В.П., Каримходжаев М.М. «Сменный рабочий орган к экскаватору». //«Механизация хлопководства». 1991. № 1. Ташкент. с. 4-5
7. Шукуров Р.У. Биомеханика ва ишкालаниш. //“Автотранспорт Узбекистана”. Ташкент 1997. № 5-6. с. 2.
8. Шукуров Р.У. У природы нет плохих механизмов. //«Автотранспорт Узбекистана». Ташкент 1997. № 3 С.46-47
9. Шукуров Р.У. Эффективность методов упрочнения зубьев экскаваторов. //Вестник ТГТУ «Современные проблемы технических наук». - Ташкент, ТГТУ, 1999. с. 121-125.
10. Шукуров Р.У. Упрочнение зубьев экскаваторов. //«Транспорт» наука, техника, управление. 2000. №7, Москва.с. 28-30.
11. Кадыров С.М., Шукуров Р.У. Расчет интенсивности изнашивания режущих органов землеройных машин. //«Транспорт» наука, техника, управление. 2000. №7, Москва, с. 33-35.
12. Шукуров Р.У. Бионика ва техника. //«Фан ва турмуш». 2000. №4. Тошкент. с. 3.
13. Шукуров Р.У., Абдуллаев А.М. «Повышение износостойкости зубьев карьерных экскаваторов». //«Архитектура и строительство Узбекистана». Ташкент . 2002, № 1., с. 12-14
14. Шукуров Р.У. Выбор способа повышения износостойкости рабочих органов дорожно-строительных машин. //«Транспорт», наука, техника, управление. 2000. №9 Москва. с.32-34.
15. Шукуров Р.У. Выбор рациональной формы рабочих органов землеройных машин. //«Сельское хозяйство Узбекистана». Ташкент 2000. №5, с. 49-50.

16. Кадыров С.М., Шукуров Р.У., Ишунин А.К. Численный метод расчета долговечности режущих органов землеройных машин. //Узбекский журнал АН РУз "Проблемы механики".Ташкент 2000. № 3. с. 43-48.

17. Шукуров Р.У. Чидамлилики, ейилиш, ички энергия. //«Узбекистон кишлок хужалиги». Ташкент 2000. № 6. с. 37-38

18. Кадыров С.М., Шукуров Р.У. Энергетический подход к расчету износа режущих органов землеройных машин. //Горный вестник Узбекистана. Ташкент 2000. № 2 . с. 14-18.

19. Шукуров Р.У., Карлыбаев М.М. Выбор рациональной формы рабочих органов мелиоративных машин. //Вестник Каракалпакского отделения Академии наук РУз. 2000. № 4. ККО АН РУз. с. 29-30.

20. Шукуров Р.У. Влияние формы режущих органов землеройных машин на их ресурс. //«Транспорт» наука, техника, управление.Москва 2001. № 3. с. 24-25.

21. Шукуров Р.У. Биомеханическое моделирование в создании режущих органов землеройных машин. //«Строительные и дорожные машины».Москва 2001. № 3. с. 37-39.

22. Шукуров Р.У., Абдуллаев А.М. Ер казиш машиналарини кесувчи кисмларини ейилшида ички энергия. //"Архитектура и строительство Узбекистана". Ташкент 2002. № 1. с. 12-14.

В сборниках научных трудов

1.Волков. Д.П., Шукуров Р.У. Математическое моделирование износа рабочих органов землеройных машин на ЕС ЭВМ. В кн. «Пути повышения эффективности использования автомобильного транспорта и дорожных машин: Сб. тр. – Ташкент, 1983. выпуск № 153. -11-17 с.

2. Шукуров Р.У. Программа расчета на долговечность зубьев ковшей экскаваторов: Сб. науч. тр. НПО Кибернетика АН РУз. – Ташкент, 1986. Алгоритм. Вып. 53. 72-78 с.

3. Шукуров Р.У. Густов Ю.И. Зуб к ковшу экскаватора для разработки высокоабразивных грунтов. //Сб. тр. регион. науч. тех. конф. «Эксплуатация машин в суровых условиях». – Тюмень, 1989. с. 6-9.

4. Шукуров Р.У Густов Ю.И., Абдуллаев А. Усовершенствование конструкции режущих элементов рабочих органов землеройных машин. //Сб. тр. XIX научно-технической конф. профессорско-преподавательского состава ТАДИ. – Тошкент, 1991. с. 46-48.

5. Шукуров Р.У. Повышение эффективности использования одноковшовых экскаваторов. //Сб. науч. тр. XX научно-технической конф. профессорско-преподавательского состава ТАДИ. Часть II. Ташкент, 1994. с. 118-119.

6. Шукуров Р.У., Азизов А. Ресурсы повышения долговечности и производительности экскаваторов. //Сб. науч. тр. межд.науч.-тех.конф. «Проблемы развития автотранспортных транзитных коммуникаций в Центрально-азиатском регионе».- Ташкент, Том 1, 1996. с. 51-53.

7. Шукуров Р.У. Усовершенствование конструкции режущих элементов рабочих органов одноковшовых экскаваторов. //Сб. науч. тр. Респ. науч. тех.

конф. «Развитие автомобильно–дорожного комплекса Республики Узбекистан в условиях рыночной экономики». - Ташкент, 1997. с. 241-242.

8. Шукуров Р.У. Повышение долговечности зубьев землеройных машин на основе биомеханического моделирования. //«Узбекистон мустақиллиги унинг фани ва технологиялари ривожлантириш кафолати». II Республика илмий коллоквиуми. УРФТДК ОАК. - Ташкент, 1997. с. 102-105.

9. Шукуров Р.У. Комплексный подход повышения долговечности режущих органов землеройных машин. //Сб. науч. тр. Респ. науч. конф. «Развитие и эффективность автомобильно-дорожного комплекса республики Узбекистан в условиях рыночных отношений». - Ташкент, 1998. с. 231-236.

10. Кадыров С.М., Шукуров Р.У. Расчет режущих органов землеройных машин на износ. //Сб. науч. трудов научной Республиканской конференции «Института механики и сейсмостойкости сооружений». АНУзР. Ташкент, Фан, 1999. с. 565-568.

11. Шукуров Р.У. Эффективность функционирования рабочих органов землеройных машин. //Сб. науч. тр. межд. науч. тех. конф. ТАДИ. “Развитие и эффективность автомобильно-дорожного комплекса в Центрально-азиатском регионе”. - Ташкент, 2000, с. 161-166.

12. Кадыров С.М., Шукуров Р.У. Прогнозирование изнашивания режущих органов землеройных машин. //Сб. науч. тр. международной науч. тех. конф. «Автотранспортный комплекс проблемы и перспективы развития». МАДИ. Москва, 2000. с. 142-145.

13. Шукуров Р.У. Энергетический подход к решению задач в области абразивного изнашивания рабочих органов землеройных машин. //Сб. науч. тр. Респ. Научно-практической конференции "Пути развития транспортных коммуникаций Республики Узбекистан". Ташкент 2002. с. 27 - 29.

14. Шукуров Р.У., Абдуллаев А.М. Формализация процесса изнашивания режущих элементов землеройных машин. //Сб.науч.трудов Респуб.науч.практ.конференции ТАДИ. II часть, Ташкент 2004 г. с. 64-66

15. Шукуров Р.У. Энергетика процесса изнашивания рабочих органов землеройных машин. //Сб.науч.трудов Респуб.науч.практ.конференции. ТАДИ. II часть. Ташкент. 2004 г. с. 66-69

В тезисах научных докладов

1. Густов Ю.И., Тылкин М.А., Шукуров Р.У. Повышение долговечности рабочих органов землеройных машин в условиях жаркого климата. //Тез. Всесоюзной конф. по повышению эффективности использования автомобильного транспорта и автомобильных дорог в условиях жаркого климата и высокогорных районов. Вып. 1. - Ташкент, 1982. с. 200-201.

2.Тылкин М.А., Густов Ю.И., Шукуров Р.У. Износостойкость наплавленных эвтектических сплавов. //Тез. II Всесоюзной конф. “Закономерности формирования структуры сплавов эвтектического типа“. ТМЕТИ. - Днепропетровск, 1982. с. 240-241.

3. Абдуллаев А., Кочев В.П., Шукуров Р.У. Повышение долговечности режущих элементов в землеройных машинах. //Тезисы докл. науч. тех. конф.

«Повышение эффективности проектирования, испытаний эксплуатации автомобилей и СДМ». – Горький, 1986. с.95.

4.Шукуров Р.У., Холдаров А. Автоматизированное проектирование рабочих органов одноковшовых экскаваторов. //Тез. Докл. науч. тех. конф. «Повышение эффективности проектирования, испытаний эксплуатации автомобилей и СДМ». - Горький, 1989. с. 96.

В авторских свидетельствах, патентах, информационных сообщениях, отчетах НИР:

1.Волков Д.П., Густов Ю.И., Шукуров Р.У. Стенд для определения конструктивной износостойкости рабочих органов землеройных машин. – Ташкент, 1983. Информационный листок № 308, УзНИИНТИ, с.3.

2.Волков Д.П., Густов Ю.И., Шукуров Р.У. Стенд для определения абразивных свойств грунтов. – Ташкент, 1983. Информационный листок № 455. УзНИИНТИ. с.3.

3. Шукуров Р.У. Расчет на износ зубьев ковша экскаватора. – Москва, 1983. ВИНТИ, с. 7. - Деп. № 3680-83.

4. Густов Ю.И., Марченко И.П., Шукуров Р.У. Конструктивная прочность наплавленных рабочих органов машин и оборудования. – Москва. 1983. Экспресс–информация № 4, с. 30-34. «Строительство предприятий нефтяной и газовой промышленности»

5. Шукуров Р.У. Повышение долговечности зубьев одноковшовых экскаваторов и рыхлителей в условиях Средней Азии: Автореф. канд. дис. Москва. 1984. – с. 18

6. Шукуров Р.У., Тылкин М.А., Аскарходжаев Т.И., Валеев Р.Х., Густов Ю.И. Зуб к ковшу землеройной машины .Москва. А.С. 1134681. 1984. - 2 с.

7. Аскарходжаев Т.И., Шукуров Р.У., Брыков В.П., Баландин Л.С. Повышение долговечности пары "каток-звено" гусеничной ленты и рабочих органов экскаватора ЭО-3221 за счет нанесения наплавленных материалов. Технический отчет ТАДИ по теме 661/86 инв. № 018600723227. 1988. – с. 58

8. Аскарходжаев Т.И., Абдуразаков А.А., Шукуров Р.У., Валеев Р.Х., Брыков В.П. Ковш экскаватора. Москва . А.С. № 1198163. 1985. – с. 2

9. Шукуров Р.У., Ишунин А.К. Расчетный метод оценки долговечности режущих органов землеройных машин. Ташкент. Патент № ДГС60 №00300 2000. – с. 2.

10. Аскарходжаев Т.И., Шукуров Р.У., Брыков В.П. Методы повышения долговечности зубьев экскаваторов в НГМК. Технический отчет по теме 943/97. – Ташкент, 1998. с. 46

Техника фанлари доктори номзоди илмий даражасига талабгор

Шукуров Рустам Уткурович

05.02.04 – Машиналарда ейилиш ва иш=аланиш ихтисослиги быйича

«Ер =азиш машиналарининг кесувчи асбоб ишчи =исмларини ейилишга бардошини ошириш» мавзусидаги диссертациясининг

+ис=ача мазмуни

Калитли сызлар: «абразив», «биомеханика», «хизмат муддат», «кесувчи асбоб», «пухталаш», «ейилиш», «ейилишга бардошлик» «унумдорлик», «ер =азиш машиналари», «ишчи кисмлар».

Тад=и=от объектлари: Ер =азиш машиналари ва кон экскаваторларини ишчи кесувчи асбобларининг ишчи кисмлари.

Ишнинг ма=сади: Ер =азиш машиналарини ишчи =исмларини ейилиш назариясини илмий асосларини ривожлантириш ва уларга таянган холда уларни хизмат муддатини конструкторлик-технологик усуллар билан ошириш.

Тад=и=от усули: Тупрок кесувчи ишчи кисмларни ейилиш жараенини ва уларнинг тупрок мухитига ызаро таъсирини биомеханик ва математик андаза – намуналаридан фойдаланиб, щисобий анализ усули, ейилиш назариясини илмий холати, олинган натижаларни олдиндан айтиб бериш ва ми=дорий ызгаришларнинг статистик щисоби =ылланилди.

Олинган натижалар ва уларнинг янгилиги. Тупро=ларни =ир=ишнинг дискрет фазали динамик модели тупро= =ириндиси щосил былиш жараёнини ейилиш ва олдиндан дарз кетиш жараёнларини ривожланишини формаллаштирилди. Сонли та=рибий усуллар ва тупро= абразивлигини ани=лаш услубларидан фойдаланган щолда кесувчи асбоб ишчи кисмларини ресурси ва ейилиш бардошлигини щисоблаш услуби яратилди.

Амалий ащамияти: Яратилган алгоритмлар, программалар ва моделлар кесувчи авбоб ишчи =исмларини лойищалаш жараенида конструкторлик-технологик параметрлар хизмат муддатига =андай таъсир =илишини олдиндан айтиш имкониятини беради.

Биомеханик тад=и=отлар асосида ейилишга бардошли, иш унумдорлиги ю=ори ва зарурий энергия сарфи кам былган кесувчи ишчи асбоб яратилди.

Ейилишга бардошли былган эритиб ёпиштурувчи материалларни танлаш быйича тавсиялар берилди.

Тадби= этиш даражаси ва и=тисодий самарадорлиги: Тупрок кесувчи асбобларни ишчи кисмларини хизмат муддатини ошириш быйича ишлаб чи=илган тавсиялар «Автойыл» концернида, Навоий то\-металлургия комбинатида, АЖ «+ырилишмеханизацияда», «Тошшащарйыл=урилиштаъмирлаш» трестида, «УЗНИИПрощветмет», АЖ «Махсус =отишма»да, олий юртларнинг ы=ув жараенига тадби= этилган.

Узбекистон Республикаси щал= хыжалигига тадби= этиш туфайли кызда тутилган и=тисодий самарадорлик 5,28 млрд сымни таш=ил этади (2003 йил щолатига кыра).

Кылланилиш сощалари: йыл, =урилиш, =ишло= хыжалик, то\-кон техникаси машинасозлигида ва илмий тадқиқот ишларида куллаш тавсия қилинади.

Resume Summary

Thesis of Shukurov Rustam Utkurovich of the academic degree competition of the doctor of the technical science, speciality 05.02.04 - Friction and wear-out in machine subject:

"Increasing longevity of excavating parts of earth-moving machines"

The Keywords: "abrasion", "biomechanics", "longevity", "cutting element", "wear", "wear resistance", "hardening", "productivity", "earth-moving machines".

Research objects: cutting elements of excavating parts of earth-moving machines and open cut excavators;

The the work purpose: creating scientific principles of the wear theory of cutting elements and design constructor-technological determines on their base, which increase longevity of excavating parts of earth-moving machines.

Research methods: Were used biomechanical and mathematical modeling of wear-out process of cutting elements, their interactions with earth, were applied methods of the numerical analysis, scientific points of theories of friction and wear-out, prediction and statistical обработка got results. The experimental studies were conducted on stand and in natural condition with using the modern metrological equipment on standard methods and with using method of the planning the experiment.

The got results and their novelty: there were designed discrete phase dynamic model of earth cutting, which formalizes the process of chip forming, developments overtaking rifts and wear. Also there were offered method of determining optimal construction of cutting elements based on realization of biomechanical principles.

Practical value: Using the offered methods, algorithms and models can allow design and prediction of influence constructor-technological decisions to wear resistance of cutting elements during the project process. Based on biomechanical research it was designed optimal engineering of cutting elements with increased wear resistance and productivity. Were given recommendations on choosing wear resistant fillers.

The Degree of the introduction and cost-performance: Designed recommendations on increasing of longevity cutting organ землеройных of the machines are introduced in концерне "Avtoyl", Navoiyskom is blazed-metallurgical combine (NGMK), trust "Tashgordorstroyremont", AOOT "Kurilish mechanization", "UZNIIPROCVETMET", JC "Specsplay", as well as in scholastic process. Expected economic effect from introduction result work in public facilities of the Republic Uzbekistan will form over 5,28 млрд bags (on condition on 2003).

The Application: road construction, agricultural, mining, machine building and scientific-research works.

Р Е З Ю М Е

диссертации Шукурова Рустама Уткуровича на тему: «Повышение износостойкости режущих органов землеройных машин» на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.02.04 – Трение и износ в машинах

Ключевые слова: «абразивность», «биомеханика», «долговечность», «режущий элемент», «износ», «износостойкость», «упрочнение», «производительность», «землеройные машины».

Объекты исследования: режущие элементы рабочих органов землеройных машин и карьерных экскаваторов.

Цель работы: развитие научных основ теории изнашивания режущих элементов и разработка на их базе конструкторско-технологических решений, повышающих долговечность рабочих органов землеройных машин.

Метод исследования: Использованы биомеханическое и математическое моделирование процесса изнашивания режущих органов, их взаимодействия с грунтовой средой, применены методы численного анализа, научные положения теории трения и износа, прогнозирования и статистической обработки полученных результатов. Экспериментальные исследования проводились на стендах и в натурных условиях с применением современного метрологического оборудования по стандартным методикам и с применением метода планирования эксперимента.

Полученные результаты и их новизна: Разработана дискретная фазовая динамическая модель резания грунтов, которая формализует процессы стружкообразования, развития опережающей трещины и изнашивания. Создана методика расчета износа и ресурса режущих органов и численным методом, а также методика определения абразивности грунтов. Предложен метод определения рациональной конструкции режущих органов на основании реализации принципов биомеханики.

Практическая значимость: Использование предложенных методов алгоритмов, программ и моделей позволяют разрабатывать, а также прогнозировать на стадии проектирования влияния конструкторско-технологических решений на износостойкость режущих органов. На основании биомеханических исследований разработаны рациональные конструкции режущих органов с повышенной износостойкостью и производительностью. Даны рекомендации по выбору износостойких наплавочных материалов.

Степень внедрения и экономическая эффективность: Разработанные рекомендации по повышению долговечности режущих органов землеройных машин внедрены в концерне «Автойул», Навоийском горно-металлургическом комбинате (НГМК), тресте «Ташгордорстройремонт», АО «Курилиш механизация», «УЗНИИПрцветмет», АО «Спецсплав», а также в учебный процесс. Ожидаемый экономический эффект от внедрения результатов работы в народ-

ное хозяйство Республики Узбекистан составит свыше 5,28 млрд сум (по состоянию на 2003 год).

Область применения: строительно-дорожном, сельскохозяйственном, горнодобывающей, машиностроении и научно-исследовательских работах.