

АННОТАЦИЯ
диссертационной работы
КАУКАРОВА АЛТЫНБЕКА КУБАШЕВИЧА

«Обоснование параметров рабочего органа одноковшового экскаватора для ликвидации последствий при чрезвычайных ситуациях»,
представленной на соискание степени доктора философии (PhD) по специальности 6D071300 – Транспорт, транспортная техника и технологии

Введение

Актуальность темы исследования. В Республике Казахстан к районам образования селевых выносов относятся отроги Заилийского Алатау, Джунгарского, Таласского Алатау, Каратау, Чу-Илийское, Кетмень и Тарбагатай.

В результате селевых потоков у искусственных защитных сооружений, воздвигаемых на путях их прохождения происходит накопления селевой грунтовой среды (СГС), состоящей из воды и переносимого ею разрушенных горных пород, ила, глины, песка и камней различной крупности, движущихся с большой скоростью. Строительство и эксплуатация противоселевых сооружений, очистка селевых выносов и завалов невозможны без выбора средств механизации с эффективными рабочими органами, адаптированных к специфической селевой грунтовой среде.

Наиболее труднорабатываемыми в створах плотин, селеуловителей являются крупнообломочные грунты, которые требуют создания специальных рабочих органов (РО) с целью повышения эффективности землеройных машин (ЗМ), широко применяемых в чрезвычайных ситуациях.

Традиционные конструкции рабочих органов землеройных и землеройно-транспортных машин, используемых для разработки селевых отложений и других завалов не приспособлены для проведения работ в таких условиях, что ведет к снижению их производительности на 20-25% .

Поэтому задача по обоснованию параметров и создания нового рабочего оборудования специального назначения одноковшовых экскаваторов (ОЭ) для разработки селевых выносов с крупнообломочными включениями, позволяющим расширить функциональные возможности этих машин является **актуальной**.

Цель исследований. Обоснование основных параметров нового рабочего оборудования экскаватора, оснащенного ковшом с гидрорегулируемой челюстью, обеспечивающего расширение функциональных, технологических возможностей при разработке крупнообломочных грунтов селевых выносов.

Задачи исследований. В соответствии с идеей и целью в работе поставлены следующие задачи исследований:

- установить гранулометрический состав селевых грунтов северного склона Заилийского Алатау;

- выполнить анализ патентной информации по конструкциям рабочих органов одноковшовых экскаваторов, выявить основные тенденции их развития, разработать морфологическую классификацию патентов, получить математические зависимости динамики патентования, выявить и предложить перспективные направления совершенствования РО ОЭ;

- разработать методику определения геометрических и кинематических параметров механизма выдвижения рабочего органа гидроуправляемой челюсти ковша экскаватора, с определением положений, скоростей и ускорений точек его звеньев;

- разработать методику силового анализа механизма выдвижения рабочего органа гидроуправляемой челюсти ковша экскаватора, с определением реакций в звеньях механизма;

- установить рациональные параметры одноковшовых экскаваторов и его рабочего оборудования на основе статистического и компьютерного моделирования;

- выполнить анализ теоретических исследований по обоснованию параметров ковша экскаватора с гидроуправляемой челюстью для разработки селевых выносов.

Научная новизна работы заключается в том, что

- установлен гранулометрический состав суммарного содержания фракций селевых грунтов бассейнов рек (Большая Алматинка, Чемолган,) северного склона Заилийского Алатау, как объекта взаимодействия с РО ЗМ;

- выявлены основные тенденции развития конструкций рабочих органов ЗМ на основе разработанной морфологической классификации, получены уравнения динамики патентования и предложена новая конструкция ковша экскаватора с гидроуправляемой челюстью для разработки крупнообломочных грунтов селевых выносов, новизна которой подтверждена патентами на изобретение «Специальный рабочий орган гидравлического экскаватора» № 33997. МПК E02F 3/48 E02F 3/60. Заявка 2018/0769.1 от 22.10.2018 г. Официальный бюллетень, №45 от 08.11.2019 г. и «Рабочее оборудование гидравлического экскаватора с гидроуправляемой челюстью» № 34253. МПК E02F 3/60. Заявка 2019/0094.1 от 06.02.2019 г. Официальный бюллетень, № 13 от 03.04.2020 г.;

- разработаны алгоритмы и методы определения положений, координат точек звеньев, получены уравнения замкнутости независимых контуров механизма выдвижения гидроуправляемой челюсти ковша экскаватора в векторной форме, позволившие определить угловые скорости и ускорения звеньев;

- разработан алгоритм кинематического анализа механизма выдвижения гидроуправляемой челюсти ковша экскаватора с реализацией в виде программы для ПЭВМ, позволяющие получить численные значения кинематических параметров, выбрать структурную схему, определить размеры звеньев рабочего оборудования;

- получены корреляционные зависимости для выбора наиболее вероятных диапазонов изменения параметров одноковшовых экскаваторов и рабочего оборудования по главному параметру машины – массе;

- получены зависимости, позволяющие определить реакции связи в кинематических парах механизма гидроуправляемой челюсти ковша экскаватора, возникающих от внешних нагрузок;

- выполнен анализ результатов теоретических и экспериментальных исследований по обоснованию параметров гидроуправляемой челюсти ковша экскаватора.

Практическая ценность работы заключается в разработке конструкции, методик расчета и выбора параметров ковша экскаватора с гидроуправляемой челюстью для выполнения земляных работ при расчистке крупнообломочных грунтов селевых выносов.

На защиту выносятся следующие положения:

- результаты по определению гранулометрического состава, суммарного содержания фракций селевых грунтов бассейнов рек (Большая Алматинка, Чемолган,) северного склона Заилийского Алатау, позволившие установить наиболее распространенные типы грунтов, которые подвергаются разработке ЗМ при сооружении различных инженерных объектов (плотины, дамбы, селеуловители и др.) и очистке селевых выносов;

- морфологическая классификация патентов по РО ОЭ; уравнения динамики патентования, позволившие выявить тенденции их развития; новая конструкция ковша экскаватора с гидроуправляемой челюстью, новизна которой подтверждена патентами РК «Специальный рабочий орган гидравлического экскаватора» № 33997. МПК E02F 3/48 E02F 3/60. Заявка 2018/0769.1 от 22.10.2018 г. Официальный бюллетень, №45 от 08.11.2019 г. и «Рабочее оборудование гидравлического экскаватора с гидроуправляемой челюстью» № 34253. МПК E02F 3/60. Заявка 2019/0094.1 от 06.02.2019 г. Официальный бюллетень, № 13 от 03.04.2020 г.;

- алгоритмы и методы определения положений, координат точек звеньев; уравнения замкнутости независимых контуров механизма выдвижения гидроуправляемой челюсти ковша экскаватора в векторной форме для определения угловых скоростей и ускорений звеньев;

- алгоритм кинематического анализа механизма выдвижения гидроуправляемой челюсти ковша экскаватора, программы для ПЭВМ по определению численных значений кинематических параметров, выбора структурной схемы, расчета размеров звеньев рабочего оборудования экскаватора;

- методика кинетостатического анализа навесного оборудования ковша с раскрывающейся гидроуправляемой челюстью, позволяющая определить реакции связи в кинематических парах, возникающих от внешних нагрузок, действующих на звенья механизма;

- корреляционные зависимости для выбора наиболее вероятных диапазонов изменения параметров экскаваторов и его рабочего оборудования по главному параметру машины – массе.

Реализация результатов работы. Результаты исследования реализованы:

- при проектировании и создании нового ковша с гидроуправляемой челюстью экскаватора для разработки крупнообломочных грунтов селевых выносов на противоселевых объектах и как практическая необходимость для АОФ ТОО «Казахавтодор» и производственного кооператива «Нектар»;

- в учебном процессе при подготовке студентов по специальности 5В071300 – «Транспорт, транспортная техника и технологии» в КазАТК им. М.Тынышпаева и АРГУ им. К.Жубанова.

Апробация результатов диссертации. Основные положения работы докладывались и получили одобрение на расширенном заседании кафедры «Автотранспортные средства и безопасность жизнедеятельности» АО «Академия логистики и транспорта» (г. Алматы, 2022 г.), докладывались и получили одобрение на следующих международных и научных конференциях:

1. XLII, XLIII, XLIV международной научно-практической конференции «Инновационные технологии на транспорте: образование, наука, практика», КазАТК, Алматы, 2018, 2019, 2020 гг;

2. VIII международном научном Сибирском транспортном форуме (Транссибирь-2019), Новосибирск, Россия, 2019 г.

Результаты диссертации опубликованы в 12 работах, в том числе:

- **в изданиях, рекомендуемых ККСОН:**

1. Кинематический анализ специального рабочего органа одноковшового экскаватора для разработки крупнообломочных грунтов.- Вестник КазАТК, №4, 2018. с. 122-130;

2. Бір шөмішті экскаваторлардың жұмыс органдарының даму үрдістері.- Вестник КазАТК, №3, 2019. с. 73-79;

3. Селдік қалдықтарды өңдеуге арналған экскаватордың жұмыс жабдықтары. - Промышленный транспорт Казахстана, №1, 2020. с. 75-82;

4. Определение основных параметров рабочего органа экскаватора для разработки селевых отходов.- Вестник КазАТК, №2, 2022. с. 60-70;

5. Ірі түйіршікті топырақты өңдеуге арналған грейферлі экскаватордың жаңа жұмыс жабдығының негізгі параметрлерін негіздеу. Вестник ЕНУ им. Л.Н.Гумилева. № 4(141)/2022. с. 7-18.

- **публикации в международном рецензируемом научном журнале:**

6. Determination of Kinematic and Force Parameters of the Special Bucket Shovel for the Development of Large-Block Soils. International Journal of Mechanical Engineering and Robotics Research, Vol. 9, No. 6, pp. 813-824, June 2020. DOI: 10.18178/ijmerr.9.6.813-824

- **публикации в материалах или тезисах международных конференций, в т.ч. в материалах зарубежных конференций:**

7. Специальные рабочие органы землеройных машин для ликвидации последствий при чрезвычайных ситуациях. Материалы XLII Международной научно-практической конференции «Инновационные технологии на

транспорте: образование, наука, практика», 18 апреля 2018 г., г. Алматы, КазАТК им. М.Тынышпаева. том 4, с. 263-268

8. Тенденции развития рабочих органов одноковшовых экскаваторов для ликвидации последствий при чрезвычайных ситуациях. Материалы XLIII Международной научно-практической конференции «Инновационные технологии на транспорте: образование, наука, практика», 17 апреля 2019 г., г. Алматы, КазАТК им. М.Тынышпаева. том 3, с. 21-26

9. Capture of large objects by the earthmoving machine's implement during operation on motor and toting roads.VIII International Scientific Siberian Transport Forum. TransSiberia 2019, Volume 2. p. 285-296

10. Разработка морфологической классификации захватных устройств рабочих органов одноковшовых экскаваторов. Материалы XLIV Международной научно-практической конференции «Инновационные технологии на транспорте: образование, наука, практика», 17 апреля 2020 г., г. Алматы, КазАТК им. М.Тынышпаева. том 2, с. 92-93

- научные публикации в журналах РИНЦ:

11. Методическое и математическое описание взаимодействия захватного устройства землеройной машины и каменных объектов. Научный журнал «Вестник Евразийской науки». 2019, №11, Том 11. с. 1-13

12. Силовой анализ взаимодействия захватного устройства землеройной машины и каменных объектов. Научный журнал «Вестник Евразийской науки». 2020, №1 (январь-февраль), Том 12. с. 1-9

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, содержания, основной части из 5 разделов, заключения и выводов, приложений. Содержание работы изложено на 105 страницах машинописного текста, включает 14 таблиц, 43 рисунков, список использованных источников из 83 наименований, 7 приложений на 40 страницах.

В первой главе выполнен анализ исследований по совершенствованию землеройной техники и их РО, которое показал, что рабочее оборудование ЗМ традиционного типа применяемое для разработки селевых грунтов с крупнообломочными включениями не приспособлены к таким средам.

Анализ тенденций развития конструкций РОЗМ на основе изучения и обработки научно-технической и патентной информации показал, что наибольшее распространение имеют РО с адаптацией к разрабатываемой среде, поэтому в дальнейшем необходимо изучить грунты селевых выносов. Поэтому проблема создания нового рабочего органа специального назначения для разработки таких сред является актуальной для нашей страны, значительная часть регионов, которой находится в селеопасной и сейсмоопасной зонах.

Анализ современного состояния рабочего оборудования и рабочих органов одноковшовых экскаваторов позволил сформулировать актуальную проблему по обоснованию основных параметров нового рабочего оборудования экскаватора, оснащенного ковшом с гидроуправляемой челюстью, обеспечивающего расширение их

функциональных и технологических возможностей при разработке селевых выносов с крупнообломочными включениями. Проектирование высокопроизводительных ОЭ неразрывно связано с совершенствованием их рабочих органов на основе использования апробированных статистических и компьютерных методов моделирования, фундаментальных положений теоретической механики, теории механизмов и машин.

Во второй главе выполнен анализ гранулометрического состава крупнообломочных грунтов селевых отложений в створах плотин и селеуловителей, которое показал, что валуны диаметром $d \geq 1000$ мм составляют 2,88 %; мелкие фракции $D = 0,1 - 5$ мм – 41 %; крупные обломки $d > 500$ мм – 32,38 %. Анализ суммарного содержания фракций в селевой грунтовой среде в отложениях северного склона Заилийского Алатау показал, что валуны $d > 200$ мм составляют 21,7 %; галька (щебень) размером фракций $d = 10-20$ мм – 26,35 % ; гравий $d = 2-10$ мм – 19,53 % ; песок $d = 0,05-2$ мм – 28,28 % ; пылеватые частицы $d = 0,005 - 0,05$ мм – 2,72 %; глинистые $d = 0,005 - 1,42$ %. Наиболее труднорабатываемыми в створах плотин, селеуловителей являются крупнообломочные грунты, которые требуют создания специальных РО ЗМ с целью повышения эффективности традиционных ЗМ, широко применяемых в чрезвычайных ситуациях.

Разработана морфологическая классификация патентной информации по рабочим органам одноковшовых экскаваторов, которая позволяет систематизировать, кодировать патентную информацию, применить ПЭВМ для ее обработки и выявить варианты перспективных конструктивных решений по совершенствованию РО ОЭ.

Получены уравнения динамики патентования, которые позволяют выявить основные тенденции в совершенствовании РО ОЭ и признаки классификации, по которым идет это совершенствование и которые характеризуют перспективность развития того или иного конструктивного решения и ориентируют конструкторов, технологов при выборе путей улучшения РО ОЭ.

Анализ выявленных перспективных патентов показывает, что основными техническим направлениями в совершенствовании конструкций РО ОЭ, повышающих их эффективность являются такие, как ковши специального назначения; загрузка-выгрузка рабочих органов и работа в стесненных условиях и др.

Для дальнейшей разработки принято направление на разработку ковшей специального назначения. Выявлен весьма перспективный патент ковша с гидрофицированной передней челюстью, который принят за базовую конструкцию для дальнейшей разработки.

В третьей главе разработан алгоритм и метод определения положений гидрочелюсти нового рабочего органа одноковшового экскаватора. В каждой структурной группе механизма определены системы координат и определены положения координат звеньев структурных групп. Переход координат точек звеньев структурных групп относительно неподвижной системы,

производится с использованием формулы преобразования системы координат при одновременном переносе и повороте осей.

Разработан алгоритм определения координат точек звеньев, приводящий к формированию матрицы поворота и радиусов – векторов точек звеньев относительно начал локальных систем координат. Если известны углы, определяющие положение звеньев относительно неподвижной системы координат, то нетрудно определить координаты любой точки любого звена с использованием сформированных матриц и векторов, с помощью формул переноса и поворота координатных осей относительно неподвижных систем координат.

Получены уравнения замкнутости независимых контуров механизма выдвигания гидроуправляемой челюсти ковша ОЭ, выраженные в векторной форме, позволяющие определить угловые скорости и ускорения звеньев механизма.

Алгоритм кинематического анализа рабочего органа гидроуправляемой челюсти ковша ОЭ реализован в виде программ для ПЭВМ, составленной на языке программирования Maple 18. The Essential Tool for Mathematics and Modeling. Получены численные значения кинематических параметров исследуемого механизма, позволившие выбрать структурную схему и определить размеры звеньев механизма гидроуправляемой челюсти ковша ОЭ.

В четвертой главе предложена методика кинетостатического анализа и определения реакции связи в кинематических парах механизма раскрытия гидрочелюсти ковша экскаватора, возникающих от внешних нагрузок, действующих на звенья механизма, позволяющая определить реакции связи в кинематических парах.

Путем компьютерного моделирования, по разработанной программе для ПЭВМ, получены численные и графические значения кинетостатических параметров исследуемого механизма, позволившие рассчитать реакции в шарнирах механизма раскрытия гидрочелюсти ковша экскаватора.

Выполнен расчет гидропривода механизма выдвигания гидроуправляемой челюсти ковша экскаватора для разработки селевых выносов с крупнообломочными включениями.

В пятой главе было выявлено, что параметры ОЭ связаны между собой сложными многосторонними зависимостями, имеющими явно выраженный стохастический характер. Наиболее достоверно эти зависимости могут быть определены статистическими методами, позволяющими вывести уравнения регрессии. Для использования указанных методов был создан информационный банк данных, включающий данные 4375 технических параметров по 565 моделям ОЭ ведущих зарубежных фирм и СНГ, учитывающий мировой опыт проектирования.

В современном мире конкурентоспособность и качество вновь создаваемых и эксплуатируемых технических средств в решающей степени зависит от применения информационных технологий, соответствующих всем этапам жизненного цикла машин и механизмов. Применение этих

технологий сопряжено с использованием математического моделирования для описания процессов и явлений, сопутствующих эксплуатации технических средств.

В процессе исследований проведен обзор и критический анализ методик определения параметров конструкций дорожно-строительных машин и механизмов и способов оценки их совершенства. Вопрос определения параметров конструкции технического средства является принципиальным для процесса проектирования перспективных и конкурентоспособных образцов технических средств, правильное решение которого обуславливает в будущем эффект. Для систематизации информации о параметрах машин предложено классифицировать их по значимости на главные и основные.

Для сопоставления и классификации машин одного типа обычно используют *главный параметр*, определяющий типоразмер машины и дающий общее представление о технических возможностях сравниваемых машин. Так, например, по массе классифицируют экскаваторы.

Основными параметрами конструкции технического средства являются те параметры, которые в условиях известного принципа действия и структуры машины позволяют оценить ее эффективность и затраты при заданных условиях сферы производства и эксплуатации. Эффективность использования технического средства в строительном производстве оценивается количеством продукции заданного качества, выработанной в единицу времени, т.е. производительностью. Как правило, основными параметрами технического средства являются: один из размеров рабочего органа, масса машины и мощность ее силовой установки. Основным параметром, характеризующим размер рабочего органа, для экскаватора, скрепера, погрузчика является емкость ковша, для бульдозера, автогрейдера - длина отвала. Соответствие размеров рабочего органа массе, мощности и тяговым характеристикам машины однозначно определяет ее эффективность.

Масса определяет производственный потенциал машины и является одним из основных ценообразующих факторов.

Мощность силовой установки машины определяет скорость выполнения рабочих операций и потребление энергоресурсов. Наличие запаса мощности, необходимой для эффективной работы машины, выявляется анализом баланса мощности.

Помимо главного и основных параметров в информационных источниках о технических средствах используются дополнительные параметры или просто параметры, определяющие конструктивные особенности машин.

Опыт проектирования и исследований, направленных на обоснование параметров конструкций дорожно-строительных машин, нашел отражение в работах ученых, методология которых по способу решения поставленной задачи может быть классифицирована и представлена следующими двумя методами: вероятностно-статистический анализ взаимосвязей параметров конструкции машин и критериальный метод определения параметров конструкции машин.

В настоящее время вероятностные и статистические методы стали главными методами для формально-математического описания сложных явлений в различных областях науки и техники. Одним из этих сложных процессов является процесс создания и выпуска строительно-дорожных машин (СДМ). Перечень стран фирм и заводов, выпускающих эти машины, и в особенности число их моделей свидетельствует о массовости этого процесса.

Вероятностно-статистический метод определения взаимосвязей параметров конструкции машин выполняется по следующей схеме:

1 Сбор информации данных на основе технических характеристик машин, указанных в проспектах, каталогах, проектных документациях отечественных и зарубежных фирм, а также в других каких-либо литературных источниках.

2 Анализ статистической информации с целью установления (определения) функции аппроксимирующей корреляционные поля взаимосвязей параметров конструкции машин.

Вероятностно-статистический метод определения параметров машины позволяет создать конструкцию машины, работоспособность которой подтверждена опытом эксплуатации аналогичной машины в условиях производства материальных благ. Для инженера получение такой информации имеет огромное значение. При этом информация поступает в короткий срок и при малых затратах труда.

Независимо от номенклатуры СДМ для оценки их служат следующие основные параметры: назначение машины, мощность двигателя сила тяги, вес, габаритные размеры, производительность, характеристика (размеры) рабочего органа, усилия, скорости, давления на грунт ходового оборудования, удельный расход энергии, горючего, смазки и других эксплуатационных материалов на единицу производительности машин.

Одним из наиболее эффективных методов обработки исходной информации является корреляционно-регрессионный анализ. Его применение решает три различные, но связанные между собой задачи: оценка силы связи, определение и оценка значимости параметров уравнения регрессии, определение доверительных границ уравнения регрессии. В процессе обработки исходной информации желательно выявить линейные связи или связи, легко сводящиеся к линейным. Однако в общем случае характер связей может быть чрезвычайно разнообразным и определяться зависимостью, включающей различные параметры. Основным методом установления параметров уравнения регрессии является метод наименьших квадратов.

Наиболее целесообразным является выражение параметров машины через один главный (определяющий) параметр. Тогда исследуемые основные параметры могут быть определены по главному параметру в вероятностной форме. Установлено, что определяющим параметром следует считать для экскаваторов – емкость ковша.

С использованием разработанной программы и стандартной функции ЛИНЕЙН пакета программ для работы с электронными таблицами MICROSOFT EXCEL - 2007 осуществлен парный корреляционный анализ и получено 18 уравнение регрессии, связывающие основные параметры одноковшовых экскаваторов и их рабочего оборудования. Построены на ПЭВМ соответствующие этим уравнениям графические зависимости.

Приведена методика расчета эффективности одноковшовых экскаваторов по интегральному и обобщенному показателю при выполнении земляных работ с различными видами рабочих органов. Использование модернизированной рукояти на экскаваторе окупается за 4,11 года. Несмотря на большую стоимость машино-смены стоимость разработки 1000 м³ грунта у модернизированного экскаватора ниже, а годовой экономический эффект от внедрения машины составит 668774,82 тенге.

Заключение

В диссертационной работе обоснованы основные технические параметры нового рабочего органа гидравлического экскаватора с гидроуправляемой челюстью для разработки крупнообломочных грунтов селевых выносов. Эта конструкция навесного рабочего органа, как показали теоретические исследования, позволяет расширить функциональные и технологические возможности экскаваторов и повысить эффективность их эксплуатации.

Получены акты внедрения результатов диссертационной работы как практически значимыми для АФ ТОО «Казахавтодор», письмо поддержка от производственного кооператива «Нектар» и для применения в лекционных и практических занятиях специальных дисциплин при подготовке студентов по специальности 5В071300 – «Транспорт, транспортная техника и технологии» в КазАТК им. М.Тынышпаева и АРГУ им. К.Жубанова.