

Кыргызский государственный технический университет им. И. Раззакова

Кыргызско-Российский Славянский университет им. Б.Н. Ельцина

Диссертационный совет Д 05.23.664

На правах рукописи
УДК: 699.879.322

Тургунбаев Мелисбек Сыргабаевич

**Научные основы теории резания грунтов с каменистыми включениями
рабочими органами землеройных машин**

05.05.04 – дорожные, строительные и подъемно-транспортные машины

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
доктора технических наук

Бишкек – 2024

Диссертационная работа выполнена на кафедре механики и промышленной инженерии Кыргызского государственного технического университета им. И. Раззакова.

Научный консультант:

Тургумбаев Женишбек Жумадылович
доктор технических наук, профессор,
профессор кафедры механики и
промышленной инженерии Кыргызского
государственного технического
университета им. И. Раззакова

Официальные оппоненты:

Ведущая организация:

Защита диссертации состоится « » 2024 г. в 14-00 часов на заседании диссертационного совета Д 05.23.664 по защите диссертаций на соискание ученой степени доктора (кандидата) технических наук при Кыргызском государственном техническом университете им. И. Раззакова и Кыргызско-Российском Славянском университете им. Б.Н. Ельцина по адресу: 720020, Кыргызская Республика, г. Бишкек, ул. Малдыбаева 34, б, Большой актовъй зал, www.kstu.kg, тел: 0(312) 543561, факс: 0(312) 545162. Ссылка для доступа к видеоконференции защиты диссертации: <https://vc.vak.kg/b/052-cxc-nsq-nbk>.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеках Кыргызского государственного технического университета им. И. Раззакова по адресу: 720044, г. Бишкек, пр. Ч. Айтматова, 66 и Кыргызско-Российского Славянского университета им. Б.Н. Ельцина по адресу: 720000, г. Бишкек, ул. Киевская, 44 и на сайте Национальной аттестационной комиссии при Президенте Кыргызской Республики: https://vak.kg/diss_sovety/d-05-23-664.

Автореферат разослан « » 202 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
к.т.н., доцент



Маданбеков Н. Ж.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы диссертации. В КР строительство является одной из интенсивно развивающихся, ведущих отраслей экономики. При строительстве различных зданий и сооружений в промышленности, в городах и в сельской местности выполняется большой объем земляных работ по переработке грунта, по отрывке траншей и котлованов ЗМ. ЗМ применяются также при горной добыче, строительстве земляного полотна дороги, ирригационных каналов, прокладке трубопроводов и линий электропередач, телефонной сети. Выполнение большого объема земляных работ связано с разработкой как однородных грунтов, так и грунтов, содержащих КВ ЗМ.

Удельный вес грунтов, содержащих КВ по данным наших исследований составляет более 20 % по территории КР. При разработке грунтов ЗМ, КВ становится концентратором напряжений, при этом повышается НДС вокруг КВ, изменяется характер разрушения грунта в связи со стохастичностью размера, формы, содержания КВ грунта, расположения КВ относительно режущей кромки РИ РО ЗМ. Под влиянием всех этих факторов повышаются удельные силовые и энергетические затраты разрушения грунтов с КВ, появляются случайные, динамические нагрузки для МК рабочего оборудования, РО ЗМ, вызывающие преждевременные усталостные повреждения МК, повышенные зазоры в сопрягаемых деталях ЗМ, происходит абразивный износ РИ РО ЗМ.

В связи с этими положениями исследование процесса резания грунтов, с целью установления основных закономерностей разрушения грунтов, содержащих КВ РО ЗМ приобретает обоснованную **актуальность темы настоящей диссертационной работы.**

По определению силы сопротивления однородного грунта, и грунта с КВ резанию, а также адаптации РО ЗМ к грунтовым условиям занимались ученые В. Ю. А. Ветров (1951-1971 гг), А. Н. Зеленин (1959-1975 гг), Н. Г. Домбровский (1961-1985 гг.), В. И. Баловнев (1963-1981 гг), А. R. Reese (1964-1985 гг.), M. S. Osman (1964-1974 гг.), X. H. Диметов (1971-1985 гг), P. A. Кабашев (1975-2000 гг.), E. McKees (1975-1985 гг.), K. A. Артемьев (1978-1989 гг), Э. А. Кравцов (1985-1990 гг), Н. Т. Сурашов (1980-2010 гг), Ж. К. Мауленов (1980-2010 гг), Ж. Ж. Тургумбаев (1982-2022 гг.), С. Мырзашев (1985-2015 гг.), О. Ж. Рабат (1990-2020 гг.) и другие. Существующие теории, разработанные на основе теории механики сплошной среды, теории пластичности и ПНС сыпучей среды не рассматривают вопросы разрушения грунтов, содержащих различные КВ РО ЗМ.

Связь темы диссертации с крупными научными программами (проектами) и основными научно-исследовательскими работами:

- государственные бюджетные научно-исследовательские работы «Исследование грунтовых условий эксплуатации землеройных машин в Таласском регионе КР», № государственной регистрации 0005335 и «Разработка рабочих органов землеройных машин для освоения подземного пространства в стесненных городских условиях способом «стена в грунте»», № государственной регистрации 0007833.

Целью диссертационной работы является разработка научных основ теории резания грунтов с КВ РО ЗМ, путем проведения теоретических и экспериментальных исследований, установления закономерностей процесса разрушения грунтов с КВ.

Для достижения цели необходимо решить **следующие задачи:**

- анализ основных положений существующих теорий процесса резания грунтов ЗМ;
- установление стохастических характеристик грунтов, содержащих КВ;
- разработка метода расчета силы сопротивления грунта, содержащего различные КВ резанию РО ЗМ;
- разработка стенда для физического моделирования резания грунтов, экспериментальные исследования, сравнительный анализ результатов теоретических и экспериментальных исследований, оценка достоверности теоретических положений;
- разработка методик расчета ЛЭР грунтов, содержащих различные КВ, УД МК и производительности ЗМ, выработка рекомендаций, направленных на повышение эффективности ЗМ при разработке грунтов с КВ.

Научная новизна полученных результатов заключается:

- определены вероятности появления, вероятностный диапазон изменения физико-механических свойств грунтов и классификация их КВ, позволяющие прогнозировать грунтовые условия эксплуатации ЗМ по территории КР;
- разработаны критерии подобия, позволяющие формировать структуру, гранулометрический состав, физико-механические свойства модельного грунта в соответствии с установленным ЗР минералов и минеральных частиц грунта;
- разработаны математические модели, позволяющие определить силы и энергии разрушения однородного (заполнителя) грунта, грунта, содержащего шаровидное/эллипсоидное КВ, а также объемы прорези разрушения грунта с КВ;
- установлены виды разрушения грунтов в зависимости от глубины залегания КВ относительно режущей кромки РИ, позволяющие систематизировать множества разрушения грунтов РО ЗМ;
- установлены геометрические параметры прорези разрушения, позволяющие определить объемы прорези разрушения грунта с КВ;
- с применением впервые используемого параметра «длины резания» разработаны МРМ, позволяющие рассчитать ЛЭР грунтов с КВ РО ЗМ.

Практическая значимость полученных результатов. Стенд оригинальной конструкции позволяет моделировать процесс резания грунта с КВ РИ РО ЗМ, эксплуатация ковша со специальными зубьями повышает техническую производительность экскаватора ЭО-2621А на 8...10 %, экскаватора SHANTUI150 на 8...12 %, а ковша с адаптируемыми зубьями увеличивает УД МК РО экскаватора на 5...15 % при разработке грунтов с КВ. Ковши экскаватора внедрены в Таласский филиал ГП «Автожол» при МТ и К КР, в ДЭП № 47 при МТ и К КР, в МП по оказанию коммунальных услуг г. Талас и в учебный процесс КГТУ им. И. Раззакова по направлению подготовки 670100 – Наземные транспортно-технологические комплексы и машины.

Экономическая значимость полученных результатов. Разработанные конструкции зубьев ковша экскаватора снижает продолжительность копания грунтов с КВ на 15...20 %, повышает техническую производительность экскаватора на 7,4...12,4 %, усталостную долговечность локальных участков ковша экскаватора на 5...15 %.

Основные положения диссертации, выносимые на защиту:

- удельный вес грунтов с КВ в грунтовом фоне КР, классификация КВ грунтов;
- моделирование структуры, физико-механических свойств грунтов в соответствии с установленными ЗР и критериями подобия;
- метод расчета силы сопротивления грунта с КВ резанию с применением предельной нагрузки пассивного давления грунта;
- разновидности разрушения грунтов в зависимости от глубины залегания КВ относительно режущей кромки РО ЗМ;
- МРМ ЛЭР грунтов, содержащих различные КВ РО ЗМ;
- методика расчета УД локальных участков МК РО ЗМ;
- методика расчета технической производительности одноковшовых экскаваторов, разрабатывающих грунты с КВ.

Личный вклад соискателя. Теоретические исследования выполнены автором совместно с научным консультантом. Стенд для физического моделирования, конструкции зубьев ковша разработаны, экспериментальные исследования по резанию грунтов с КВ в лабораторных и полевых условиях проведены лично автором.

Апробация результатов диссертации. Основные положения и отдельные разделы работы докладывались: на МНПК «Автомобильные дороги и транспортная техника: проблемы и перспективы развития» (Алматы, 2014 г.); на МНПК «Развитие транспортной системы как катализатор роста экономики государства», (Красноярск, 2016 г.); на МНПК «Научное обеспечение как фактор устойчивого развития водного хозяйства», (Тараз, 2016 г.), на МНПК «Высокие технологии. Экология», (Воронеж, 2020 г.), на МНПК «Строительная наука и образование: интеграция вузовской науки в устойчивое инновационное развитие страны», (Бишкек, 2022 г.).

Полнота отражения результатов диссертации в публикациях. По теме диссертационной работы опубликованы 34 научных статей, в том числе 2 статьи в журналах, входящих в БД «Scopus», получены 8 патентов КР на изобретение и полезную модель.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, шести глав, заключения и приложений, содержит 249 страниц машинописного текста, 90 рисунков, 30 таблицы. Список использованной литературы состоит из 228 наименований.

Автор считает своим долгом выразить большую благодарность д.т.н., профессору Р. А. Мендекееву за ценные консультации, а также сотрудникам Таласского государственного университета и вышеуказанных предприятий, оказавших помощь при проведении исследований и подготовке данной работы.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении обосновывается актуальность темы, направление исследований и общая характеристика диссертационной работы. Обозначены цели, задачи исследования, научная новизна и оценка практической значимости полученных результатов.

В первой главе «Проблемы повышения эффективности землеройных машин, предназначенных для разработки грунтов, содержащих каменные включения» проведен обзор и анализ текущего состояния исследуемой проблемы. При проведении строительных работ выполняется большой объем земляных работ, которые непосредственно связано с разработкой как однородных грунтов, так и грунтов с КВ ЗМ. Анализ результатов обследований МК в производственных условиях показывает, что основная доля поломок МК рабочего оборудования, РО ЗМ вызвана недостаточной усталостной прочностью. При разработке грунта с КВ, МК рабочего оборудования, РО ЗМ испытывают случайные процессы нагружения. Структура этих случайных процессов зависит от физико-механических свойств и гранулометрического состава грунтов. Наличие в грунтах крупных горных обломков, в виде КВ, наличие концентраторов напряжений, перегрузки конструкций из-за неправильной эксплуатации и затупленность РИ оказывают непосредственное влияние на появление случайных, быстро изменяющихся во времени режимов нагрузки. Важным и необходимым условием формирования оптимального состава парка ЗМ является наличие полной информации о грунтовых условиях эксплуатации, в том числе о стохастических характеристиках грунтов, содержащих каменные включения. Грунтовые данные также необходимы при автоматизации землеройных процессов.

Системный анализ взаимодействия РО ЗМ с разрабатываемой средой показывает, что выходными параметрами этой системы являются, удельные силовые и энергетические затраты разрушения грунта, и исследование влияние на них КВ грунта является актуальной задачей.

Проведен обзор и анализ ранее известных двух и трехмерных моделей прогнозирования силы сопротивления грунта резанию РО ЗМ, основанных на различных теориях. Известные теории, описывающие процесс взаимодействия разрабатываемой среды с РО ЗМ можно разделить на 3 группы: теории, основанные преимущественно на результатах экспериментальных исследований, которые фиксируют лишь частные сочетания факторов, теории, основанные на положениях теории ПНС сыпучей среды, которые отличаются математической строгостью, позволяют учитывать влияние основных физико-механических свойств и параметров резания на силу сопротивления грунта резанию, и теории резания грунтов ЗМ, основанные на фундаментальном уравнении землеройных работ, используемые в основном зарубежными исследователями.

Модели Н. Г. Домбровского, А. Н. Зеленина, Ю. А. Ветрова и др., относятся к моделям, основанных на теориях, основанных на результатах экспериментальных исследований, модели Ю. А. Ветрова, В. И. Баловнева, К. А.

Артемьева основаны на теории ПНС сыпучей среды, а модели A. R. Reese, M.S. Osman, E. McKeyes, J. O'Callaghan и K. Farrelly, R. Godwin и G. Spoor, Perumpral - Grisso - Desai разработаны на базе FEE.

Физико-механические свойства и гранулометрический состав грунтов подчиняются стохастическим закономерностям, они изменяются от одной точки к другой. В связи с этими, установление удельных силовых и энергетических затрат разрушения всего многообразия грунтов, в том числе грунтов содержащих КВ экспериментальными исследованиями становится невозможным. Известны работы, посвященные грунтовому, почвенному фону: А. М. Мамытов составил карта земельного кадастра КР, Р. А. Кабашевым установлен грунтовой фон Казахстана, С. Мырзашевем созданы РО, адаптирующихся к грунтовым условиям, повышающие эффективность ЗМ, О. Ж. Рабатов исследовал влияние износа РИ на нагруженность МК рабочего оборудования ЗМ, Ж. Ж. Тургумбаевым установлен закономерности разрушения грунтов под гидростатическим давлением. Прогнозирование силы сопротивления разрушению грунта с КВ рассмотрены в работах Э. А. Кравцова, Z. Korzen.

Существующие теории, разработанные на основе теории механики сплошной среды, теории пластичности и ПНС сыпучей среды рассматривают резание однородного грунта с учетом удельной силовой затраты и не рассматривают вопросы разрушения грунтов, содержащих различные КВ РО ЗМ.

В связи с этими положениями исследование процесса резания грунтов, с целью установления основных закономерностей разрушения грунтов, содержащих КВ РО ЗМ приобретает обоснованную **актуальность темы настоящей диссертационной работы**. Настоящая диссертационная работа посвящена к разработке методов расчета сил сопротивления резанию и ЛЭР грунтов, содержащих различные КВ РО ЗМ.

Для разработки корректной аналитической модели и уточнения ее структуры, состава применяются физико-математическое, физическое моделирование процессов взаимодействия РО с разрабатываемой средой. Вопросы моделирования взаимодействия РО ЗМ с грунтом нашли отражение в работах В. И. Баловнева, Ж. Ж. Тургумбаева, С. Мырзашева и других.

В общем случае сопротивление грунта внешнему механическому воздействию обусловлено действием сил сопротивления, действующих на систему (1):

$$P_r = P_1 + P_2 + P_3 + P_4, \quad (1)$$

где P_1 – сила сопротивления, обусловленная объемным весом грунта; P_2 – сила сопротивления, обусловленная силами сцепления, сдвига, смятия и отрыва и др.; P_3 – сила сопротивления, обусловленная силами, пропорциональных размеру РИ; P_4 – сопротивление, обусловленное силами от наличия КВ грунта.

По результатам теоретических и экспериментальных исследований будет уточняться структура, вид зависимостей силы сопротивления грунта с КВ

резанию (1), и локальной энергоемкости разрушения грунта с КВ РО ЗМ.

Во второй главе «Стохастическая модель грунтов, содержащих каменные включения» рассмотрены вероятности появления грунтов с КВ, их вероятностный диапазон изменения физико-механических свойств с использованием свыше 1000 паспортов грунтов на основе данных изысканий «Кыргызгипропроводхоза», «Кыргызавтодортранспроект» и управления геологии КР. Стохастические параметры грунтов рассчитаны в современной программной системе «Statistica».

Грунт, содержащий КВ – это осадочный связный дисперсный грунт, структура которого представляет собой механическую смесь мелкозернистых (мельче 2 мм) и крупнозернистых (крупнее 2 мм) минералов и минеральных частиц, между которыми существуют физические, физико-химические и механические связи, состоит из каркаса, создаваемого КВ, заполнителя, влаги и воздуха, заземленного в пустотах (порах) структуры (рисунок 1).

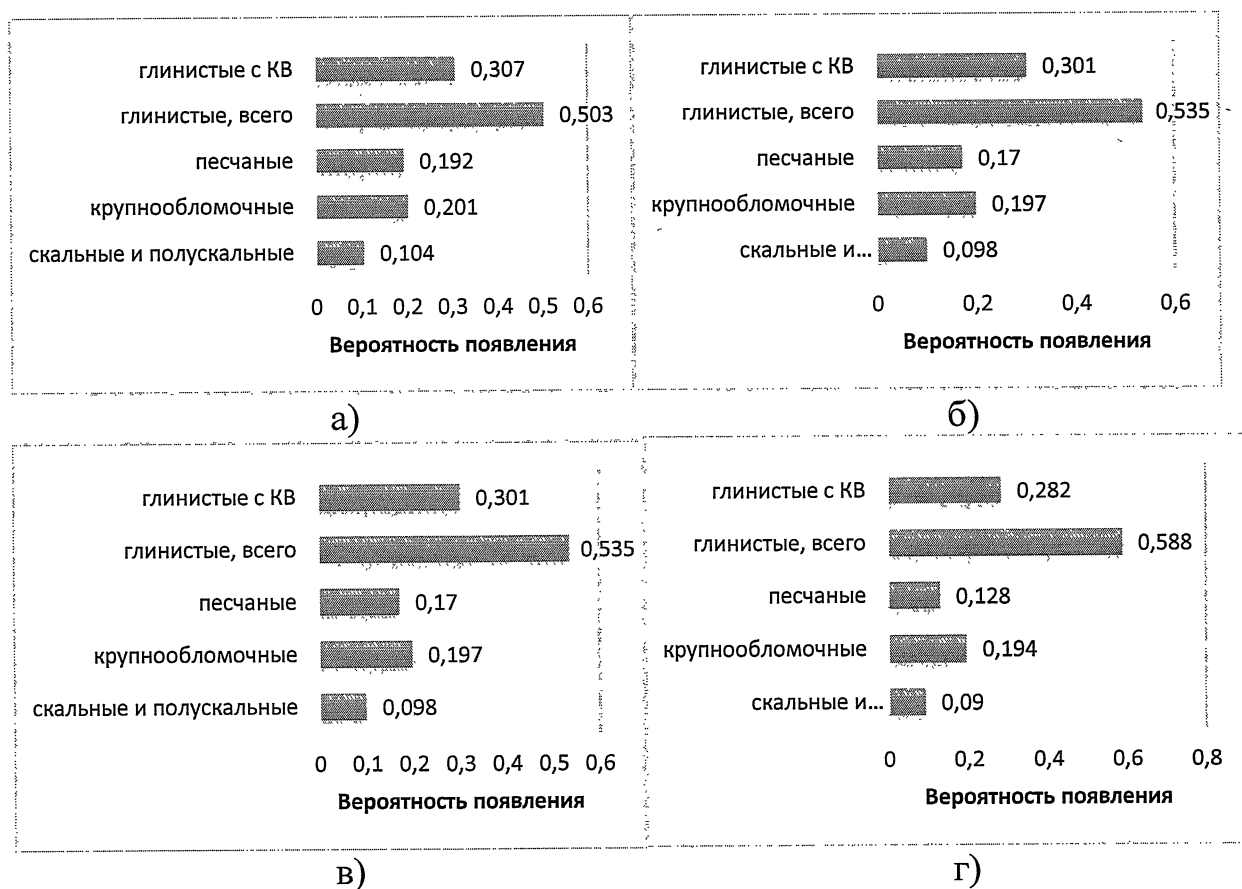


Рисунок 1 – Гистограмма распределения различных видов грунтов в 6 м поверхностной толщии пород по территории КР: а) – I строительно-климатический район; б) – II строительно-климатический район; в) – III строительно-климатический район; г) – IV строительно-климатический район

На основе принятых допущений установлен ЗР вероятностей минералов и минеральных частиц грунтов КВ, подчиняющийся ЗР Пуассона (2):

$$P(f) = \frac{m^f}{f!} e^{-m} \quad (f = 0, 1, 2 \dots n) \quad (2)$$

где m - математическое ожидание, f - минеральная частица i -того размера.

С увеличением содержания частиц крупнее 2 мм снижается содержание пылевато-глинистых частиц с возрастанием вероятности появления гравийных, галечниковых и валунных частиц, а количество песчаных частиц сначала возрастает, далее снижается.

На основе статистической обработки свойств грунтов, приведенных в их паспортах определены вероятностные диапазоны изменения физическо-механических свойств грунтов, содержащих КВ.

С учетом признаков: механическая прочность (очень прочные, прочные, средней прочности, мало прочные и пониженной прочности); размер (мелкообломочные, крупнообломочные); форма (шаровидное, эллипсоидное, яйцеобразное, плоское, неправильной формы); степень окатанности (округлообломочные, угловатообломочные); шероховатость поверхности (гладкие, шероховатые) составлена классификация, позволяющая систематизировать КВ грунта. Для практических расчетов силы сопротивления грунта резанию предлагаются формы КВ, полученные на основе коэффициента сжатия шаровидной геометрической формы (3,4,5):

$$k_x = \frac{a_e - a_e}{a_e} \quad (3)$$

$$k_y = \frac{a_e - b_e}{a_e} \quad (4)$$

$$k_z = \frac{a_e - c_e}{a_e} \quad (5)$$

где a_e - большая полуось эллипсоида, b_e, c_e - маленькие полуоси эллипсоида.

Установленный ЗР минералов и минеральных частиц грунтов с КВ, позволяет моделировать структуру и физико-механические свойства грунтов для проведения экспериментальных исследований в лабораторных условиях. Модельные грунты в зависимости от числа пластичности I_p подразделяются на виды (супесь, суглинок, глина), содержание минеральных частиц крупнее 2 мм составляет 30 %, 73 %, консистенция заполнителя изменяется $I_L = 0 \dots 0,25$ (полутвердое); $I_L = 0,5 \dots 0,75$ (мягко и текуче пластичное), а форма КВ изменяется от близко шаровидной до близко эллипсоидносуженной.

Для обеспечения подобности процессов резания в производственных и лабораторных условиях разработаны соответствующие критерии подобия. Сила

сопротивление резанию грунта с КВ представляется функцией, зависящей от факторов (6):

$$P_{md} = f(C, v_c, a_e, b, I_p, I_L, \varphi, \varphi_0, d_1, d_2), \quad (6)$$

где C – удельное сцепление, v_c – скорость резания, a_e – размер КВ, b – ширина резания, I_p – числа пластичности, I_L – консистенция, φ – угол внутреннего трения, φ_0 – угол внешнего трения, d_1 – содержание минеральных частиц менее 2 мм, %; d_2 – содержание минеральных частиц крупнее 2 мм, %.

Параметры $I_p, I_L, \varphi, \varphi_0, d_1, d_2$ выступают в качестве отдельного критерия подобия, как безразмерные величины. Опытная скорость резания соответствует диапазону скорости резания грунта с КВ в производственных условиях.

На основе анализа размерностей установлен общий вид зависимости между влияющими факторами и силой сопротивления грунта резанию (7):

$$P_{md} = C a_e^{2-d} b^d \quad (7)$$

Для уточнения указанной зависимости требуются проведения теоретических и экспериментальных исследований по резанию грунта, содержащего КВ РИ РО ЗМ. У грунтов преобладающими, основными характеристиками выступают объемный вес и силы тяжести грунта. Критерий подобия прочности установлен на основе соотношения удельного сцепления грунта к его удельному весу (8):

$$П_2 = \frac{C}{\gamma l}, \quad (8)$$

где l – характерный масштаб.

Подобие физико-механических свойств заполнителя и режима резания обеспечивается 6-ю критериями подобия, а содержание минералов и минеральных частиц грунта – 9-ю критериями подобия. Нормативные угол внутреннего трения и удельного сцепления определены по известным зависимостям.

Третья глава «Теоретические исследования процесса резания грунтов с каменистыми включениями рабочим органом землеройной машины» посвящена разработке основы теории резания грунтов с КВ РО ЗМ.

Установлены закономерности расположения ЦТ КВ относительно симметрии прорези разрушения (рисунок 2), обоснована применимость предельных нагрузок пассивного давления грунта, определенного теорией ПНС сыпучей среды к теории резания грунта, содержащего КВ РИ ЗМ.

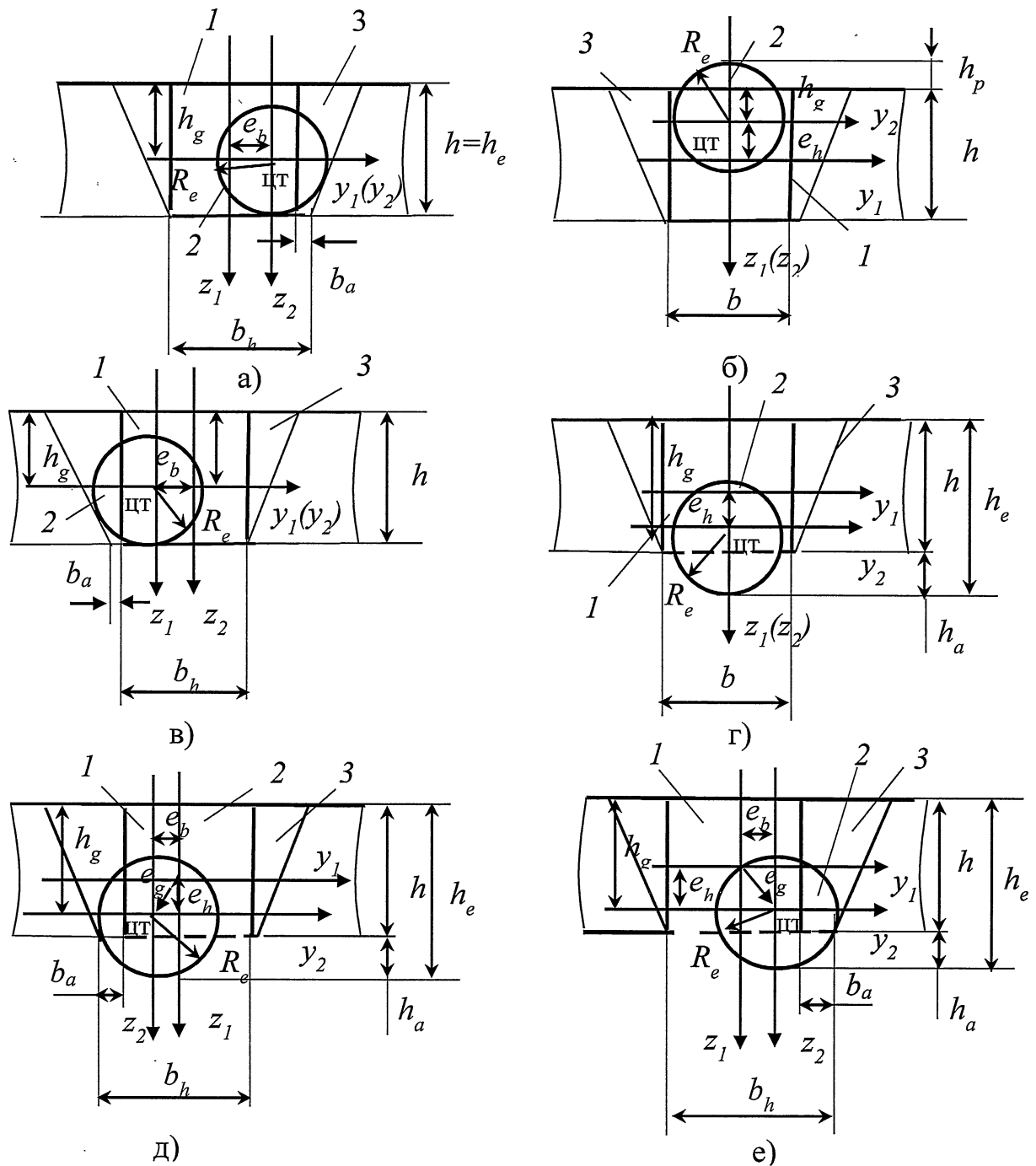


Рисунок 2 – Эксцентричное расположение ЦТ шаровидного КВ: 1- РИ, 2 – КВ, 3 – прорезь разрушения, R_e – радиус КВ, h – глубина резания, h_e – глубина залегания КВ, h_p – «пассивная высота» КВ, h_a – дополнительная глубина залегания КВ, h_g – координаты ЦТ КВ, b – ширина резания, b_h – ширина резания каменистой зоны, b_a – влияние КВ на ширину резания, e_b – эксцентриситет по ширине резания, e_h – эксцентриситет по глубине резания, а) - $e_b > 0, e_h = 0$; б) - $e_b = 0, e_h < 0$; в) - $e_b < 0, e_h = 0$; г) - $e_b = 0, e_h > 0$; д) - $e_b < 0, e_h > 0$; е) - $e_b > 0, e_h > 0$

В общем случае, разрушение грунта под воздействием геометрически подобных подпорной стены, РИ и элементарной подпорной стены на

поверхности КВ имеет одинаковую физическую природу, описывается одинаковыми дифференциальными уравнениями равновесия, условиями неразрывности, уравнениями состояния, грунт разрушается по достижении ПНС по поверхностям скольжения подпорной стены, РИ и КВ, что свидетельствует о схожести начальных и граничных условий. Рабочие поверхности подпорной стены, РИ и элементарной подпорной стены на поверхности КВ также обладают схожими свойствами (рисунок 3).

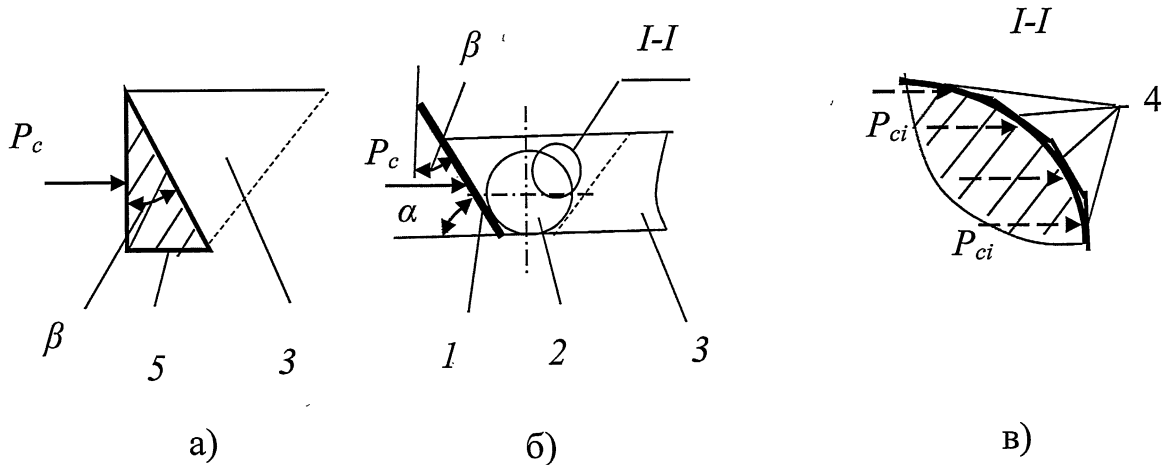


Рисунок 3 - Схема взаимодействия грунта: а) - с подпорной стеной; б) - с РИ; в) – элементарными подпорными стенами на поверхности КВ, α – угол резания, β – угол наклона рабочей поверхности, 1 – РИ, 2 - КВ, 3 – грунт, 4 – элементарные подпорные стены на поверхности КВ, 5 - подпорная стена

Резание грунта представляет собой отделение слоя грунта с КВ определенной толщины от основного массива РИ ЗМ, с затратой энергии на образование элементной прорези разрушения.

Объект исследования: Резание грунтов с каменными включениями рабочими органами землеройных машин.

Предмет исследования: Теория резания и закономерности разрушения грунтов с каменными включениями рабочими органами землеройных машин.

Методы исследования: Использованы методы системного подхода, системного анализа, математической статистики и теории вероятностей, математического моделирования, систематизация, классификация, одно и многофакторный эксперименты, статистическое моделирование.

Геометрические размер, форма и глубины залегания КВ в массиве грунта характеризуются стохастичностью, расположение ЦТ КВ относительно прорези разрушения также имеет случайный характер (рисунок 2). С появлением КВ вносится изменение в однородность заполнителя грунта, без нарушения структурных связей между мелкими минеральными частицами грунта и с поверхностью КВ, последнее становится концентратором напряжения, очагом повышения НДС грунта. В связи с этим условно можно выделить НДС однородной части (заполнителя) грунта и НДС вокруг КВ, при действии внешней

разрушающей силы, тогда суммарная сила сопротивления грунта с КВ резанию определяется зависимостью (9):

$$P_{dm} = P_{rh} + P_{re} + P_{rg}, \quad (9)$$

где P_{rh} – сила сопротивления резанию однородного (заполнителя) грунта, P_{re} – сила сопротивления резанию каменной зоны, P_{rg} – сила сопротивления КВ выталкиванию из зоны разрушения.

Сначала определяем силу сопротивления однородного (заполнителя) грунта резанию РИ РО ЗМ (рисунок 4). Под действием силы РИ грунт испытывает такие виды деформации, как уплотнение, сжатие, смятие, сдвиг, и доводится до ПНС. Оно характеризуется наступлением в грунте такого состояния, что малейшее увеличение силы резания вызывает разрушение грунта по плоскостям скольжения, разрушение имеет пространственный характер, имеются боковые стороны прорези разрушения грунта. В таком случае суммарный объем разрушенного грунта состоит из объема разрушенного грунта центральной части прорези – V_c и боковой части прорези разрушения – V_s (10):

$$V_{dm} = V_c + n_s V_s, \quad (10)$$

где n_s – количество боковых сторон разрушения.

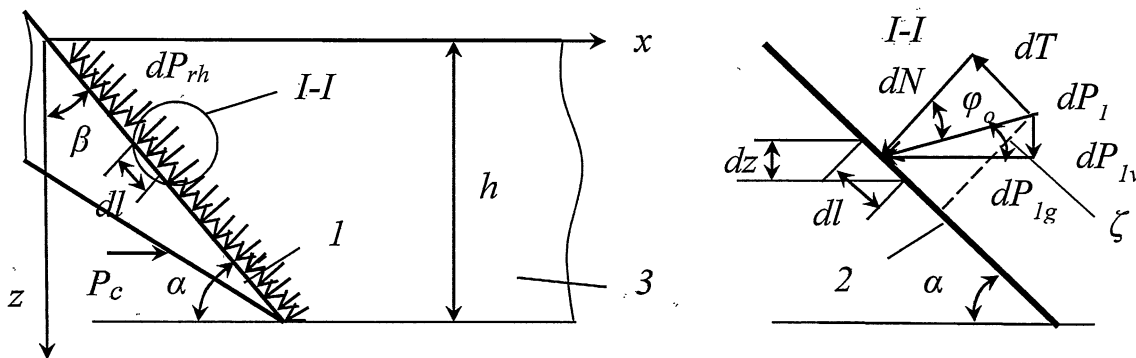


Рисунок 4 - Расчетная схема резания однородного грунта 1 – РИ, 2 – элементарная длина РИ, 3 – грунт, P_c – сила резания грунта, dP_{rh} – элементарные силы сопротивления грунта резанию, dl – элементарная длина РИ, dN – нормальная компонента, dT – касательная компонента, dP_{1g} – касательная компонента к траектории резания (горизонтальная), dP_{1v} – нормальная компонента к траектории резания (вертикальная), φ_o – угол отклонения равнодействующей силы от нормальной компоненты dN

При свободном резании $n_s = 0$, при полублокированном резании $n_s = 1$, при блокированном резании $n_s = 2$. Коэффициент пространственности равен (11):

$$\eta_{sp} = \frac{n_s V_s}{V_c}, \quad (11)$$

Сила сопротивления грунта в боковых расширениях прорези разрушения P_{rs} определяется в предположении (упрощении), что сила сопротивления резанию и объем разрушенного грунта, находятся в функциональной зависимости. В таком случае боковая сила сопротивления грунта резанию определяется зависимостью (12):

$$P_{rs} = P_{rc} \eta_{sp}, \quad (12)$$

где P_{rc} - сила сопротивления резанию центральной части прорези разрушения, η_{sp} - коэффициент пространственности.

Сила сопротивления резанию центральной части прорези разрушения определяется на основе предельной нагрузки пассивного давления. Пассивное давление грунта на подпорные стены на базе теории ПНС сыпучей среды определено В.В. Соколовским в условиях плоской задачи.

Суммарная сила сопротивления грунта определяется формулой (13):

$$P_{rc} (1 + \eta_{sp}) = \begin{cases} P_{dm} = P_{rh}, & \text{при отсутствии КВ} \\ P_{dm} = P_{rh} + P_{re} + P_{rg}, & \text{при наличии КВ} \end{cases} \quad (13)$$

Сила сопротивления однородного (заполнителя) грунта с учетом пространственности процесса разрушения грунта определяется зависимостью (14):

$$P_{rh} = \left[b \sqrt{\left(A - \frac{Hh}{\sin \alpha} \right)^2 + (A \tan \varphi_0)^2} \sin(\alpha + \varphi_0) \right] (1 + \eta_{sp}) \quad (14)$$

где $A = \frac{a_{\beta} (0,5 \gamma h^2 + ph + Hh)}{\sin \alpha}$, $H = C \operatorname{ctg} \varphi$

Сила сопротивления резанию грунта, содержащего шаровидное КВ определяется зависимостью (рисунок 5) (15):

$$P_{dm} = \left[b \sqrt{\left(A - \frac{Hh}{\sin \alpha} \right)^2 + (A \tan \varphi_0)^2} \sin(\alpha + \varphi_0) \right] (1 + \eta_{sp}) + \sum_{j=1}^{j=4} \left[2\pi R_e^2 k_c \sin\left(\frac{\mu}{2}\right) \sum_{i=1}^{i=n} dE_i (\cos \theta_i + \cos \theta_{i+1}) \cos \xi_i \right] + \frac{4\pi a_e b_e c_e \gamma_e f_e}{3} \quad (15)$$

где
$$A = \frac{\alpha_{\beta i} (0,5\gamma h^2 + ph + Hh)}{\sin \alpha}, H = C \operatorname{ctg} \varphi$$

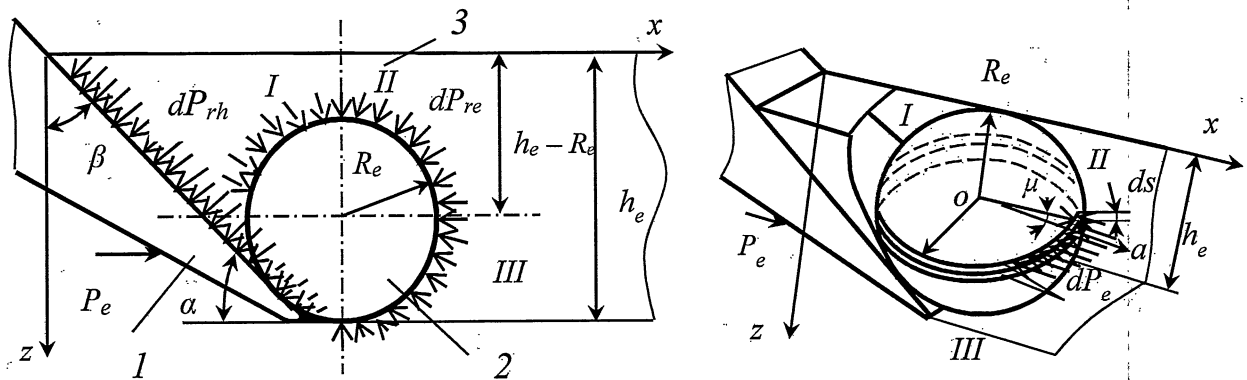


Рисунок 5 - Расчетная схема для определения силы сопротивления резанию грунта, содержащего шаровидное КВ; I – зона заполнителя грунта, II, III – каменная зона действия пассивного давления грунта

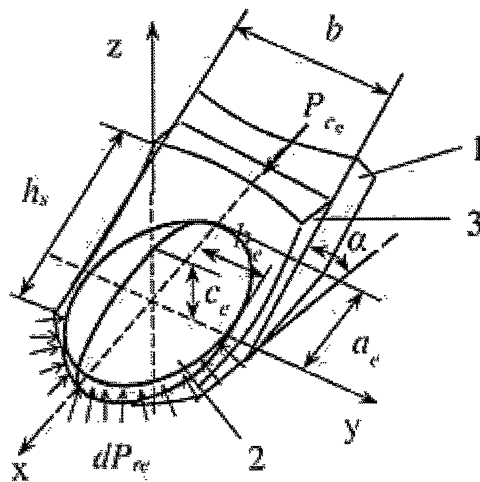


Рисунок 6 - Схема резания грунта, содержащего эллипсоидное КВ 1 – РИ, 2 – КВ, 3 – грунт, b – ширина резания, h_s – глубина залегания КВ, P_{ce} – сила резания грунта, dP_{re} – элементарные силы сопротивления грунта резанию, a_e – большая полуось, b_e, c_e – маленькие полуоси эллипсоидного КВ

Сила сопротивления резанию грунта, содержащего эллипсоидное КВ определяется зависимостью (рисунок 6) (16):

$$P_{dm} = \left[b \sqrt{\left(A - \frac{Hh}{\sin \alpha} \right)^2 + (A \tan \varphi_0)^2 \sin(\alpha + \varphi_0)} \right] (1 + \eta_{sp}) + \pi k_c \sum_{i=1}^{i=n} \sum_{j=4}^j \sqrt{d\sigma_{pe_i}^2 + d\tau_{pe_i}^2} \cos \xi_{e_i} \left[3(x_{ic} + y_{ic}) - \sqrt{(3x_{ic} + y_{ic})(x_{ic} + 3y_{ic})} \right] \sqrt{(x_i - x_{i+1})^2 + \mu^2} + \frac{4\pi a_e b_e c_e \gamma_e f_e}{3} \quad (16)$$

где $A = \frac{a_{\beta i} (0,5\gamma h^2 + ph + Hh)}{\sin \alpha}$, $H = C \operatorname{ctg} \varphi$

Анализ зависимостей (15), (16) показывает, что на силу сопротивления резанию влияют параметры прочности и резания грунта, размеры и форма КВ.

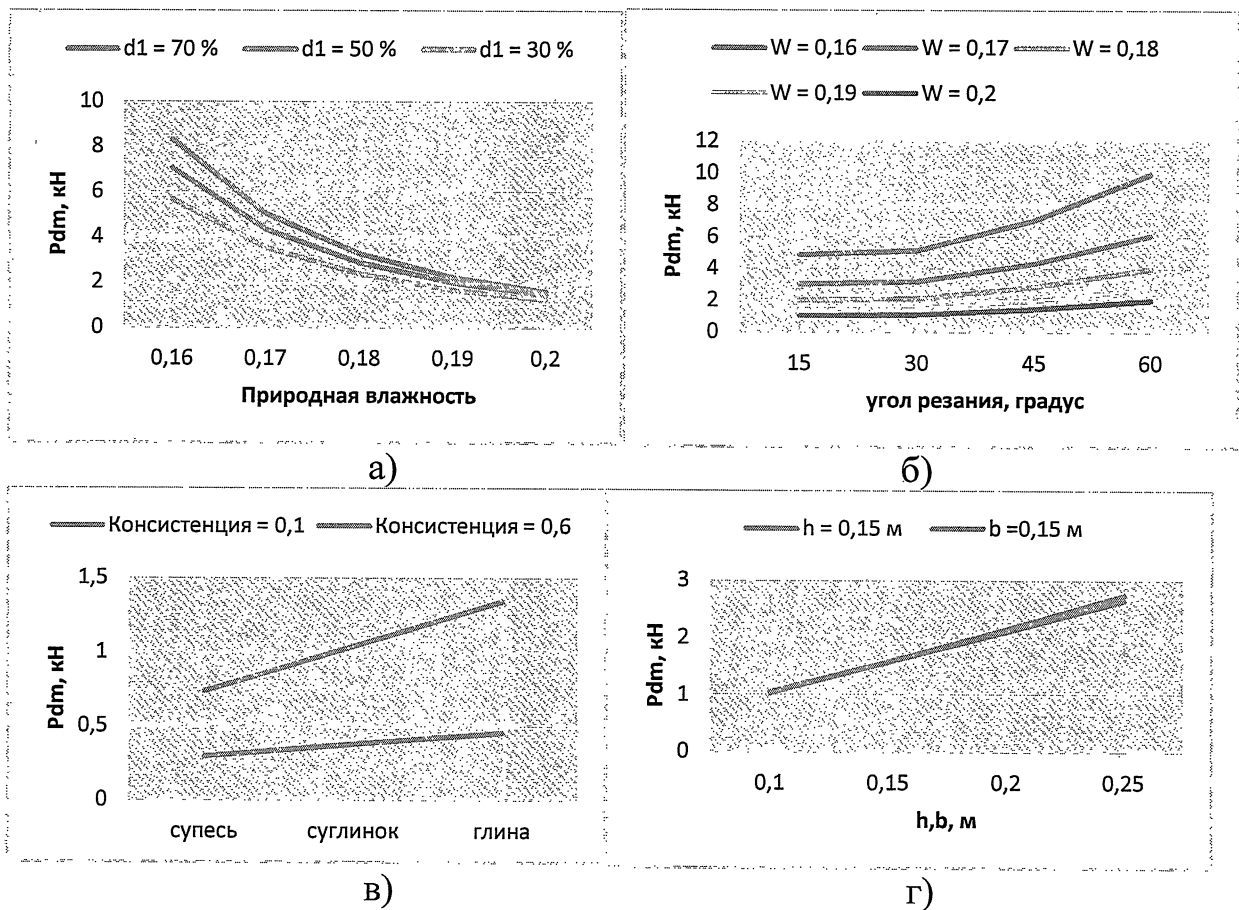


Рисунок 7 – Зависимость силы сопротивления резанию грунта: а) – от природной влажности, б) – от угла резания, в) – от вида грунта, г) – глубины и ширины резания

Анализ рисунка 7 показывает, что на значение силы сопротивления резанию природная влажность грунта оказывает нелинейное отрицательное влияние (рисунок 7, а), угол резания – нелинейное положительное влияние,

оптимальным углом резания можно принять $25...30^{\circ}$ (рисунок 7, б), с увеличением пластичности грунта, глубины и ширины резания сила сопротивления резанию повышается, причем влияние глубины резания на силу сопротивления происходит нелинейно (рисунок 7, г).

На базе моделей McKeyes - Ali разработана трехмерная модель прорези разрушения однородного грунта и грунта, содержащего КВ.

Для подтверждения результатов теоретических исследований, установления физической сущности и закономерностей разрушения грунтов, содержащих КВ и выработки рекомендаций по повышению эффективности ЗМ проведены экспериментальные исследования, результаты которых приведены в четвертой главе **«Экспериментальные исследования процесса резания грунтов с каменистыми включениями рабочим органом землеройной машины»**.

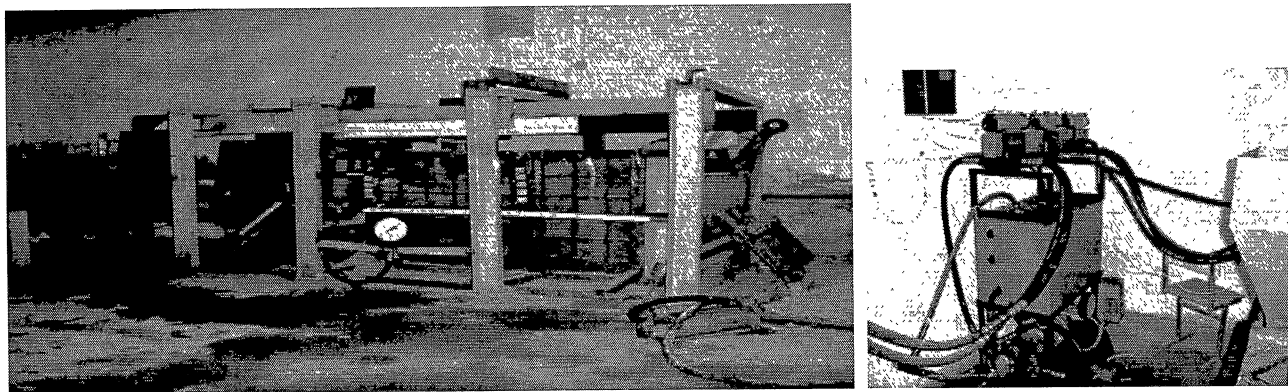
Задачами экспериментальных исследований являются: проектирование и изготовление стенда для физического исследования процесса резания грунта, содержащего КВ РИ РО ЗМ, формирование условий для проведения экспериментальных исследований по резанию грунта с КВ РИ ЗМ, разработка плана проведения экспериментальных исследований и непосредственная реализация его, анализ и статистический анализ результатов экспериментальных исследований, выработка рекомендаций по повышению эффективности ЗМ разрабатываемых грунтов, содержащих различные грунты, разработка грунтов с КВ на натуральных машинах в полевых условиях.

Основным инструментом реализации программы и достижения целей экспериментальных исследований является физическое моделирование процесса резания грунта, содержащего КВ. Физическое моделирование грунта с КВ, производится с соблюдением соответствующих критериев подобия. Соблюдение условий подобия по всем параметрам, устанавливающим прочностные свойства грунта связано с большими техническими трудностями. Поэтому целесообразно контролировать моделирование грунта по какому-либо одному показателю, определяющему его прочность. В качестве такого показателя для грунтов, разрабатываемых ЗМ используется плотность грунта. В связи с этим для исследования процесса резания грунта с КВ РИ ЗМ применяется приближенное физическое моделирование. Сформированы условия для проведения экспериментов по резанию грунтов с КВ РИ ЗМ: разработаны критерии подобия, специальная стендовая установка, совокупность оборудования, приспособлений и измерительных приборов, используемых при проведении экспериментальных исследований, моделирование грунта, содержащего КВ (рисунок 8).

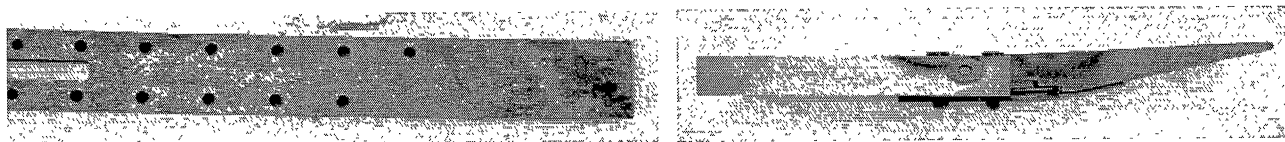
Выполняются эксперименты с РИ в виде простого клина, т.к. он является прототипом режущей части РО многих ЗМ (экскаваторов, рыхлителей и др.). Стендовая установка позволяет физически моделировать процесс разрушения грунта с различным КВ разными РИ при изменяющихся режимах резания грунта. На ней можно получить закономерности и физическую картину процесса резания однородного (заполнителя) грунта и грунта, содержащего КВ относительно в короткое время с достаточной для теории и практики точностью

и с меньшими материальными затратами.

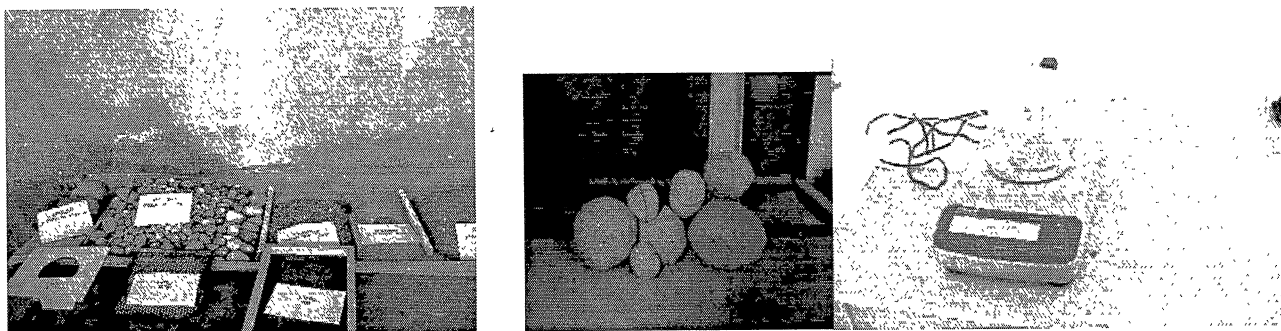
Необходимые гранулометрический состав, структура, физические и прочностные свойства моделируемого грунта обеспечиваются выполнением операций, требований соответствующих критериев подобия, ГОСТов и ЗР микроагрегатов и минеральных частиц.



а)



б)



в)

Рисунок 8 – а) - общий вид стенда для резания грунта, с КВ с насосной станцией, б) – РИ, в) – формирование модельного грунта

По результатам реализации однофакторного эксперимента установлены физическая сущность разрушения грунта, содержащего КВ РИ ЗМ (рисунок 9). В начальный момент происходит контакт РИ с грунтом, происходит его предварительное уплотнение, далее под действием РИ грунт начинает сжиматься, появляются очаги будущих поверхностей скольжения (*I* стадия), во второй стадии деформации в структуре грунта увеличивается количество очагов поверхностей сдвига, наступает ПНС в определенном объеме грунта, и в дальнейшем происходит разрушение объема грунта по многочисленным

поверхностям сдвига (*III* стадии). В *IV* стадии разрушенный объем грунта движется по поверхности РИ и надвигается на поверхность грунта.

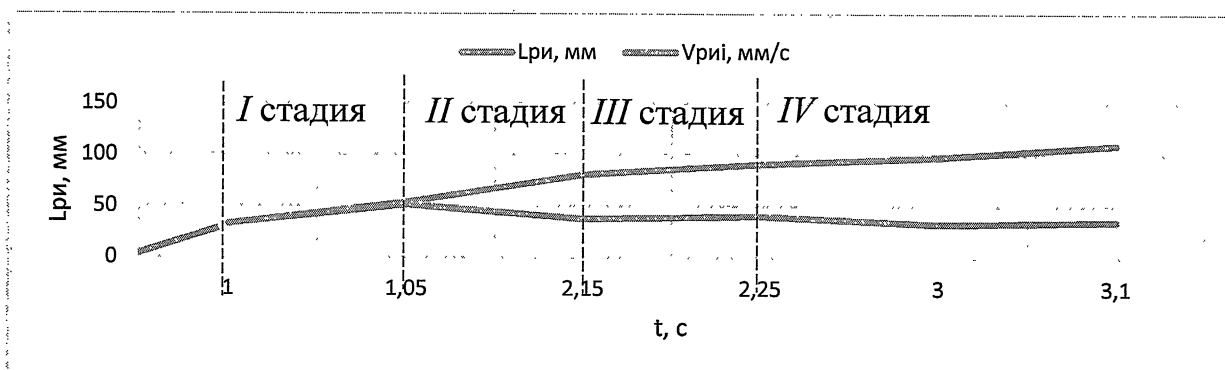
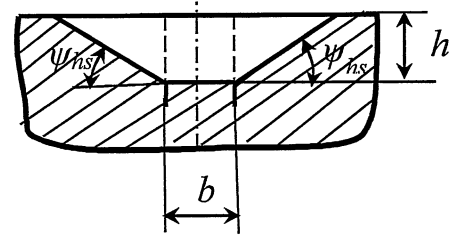
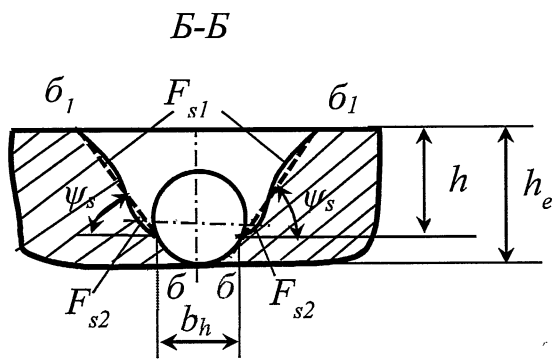
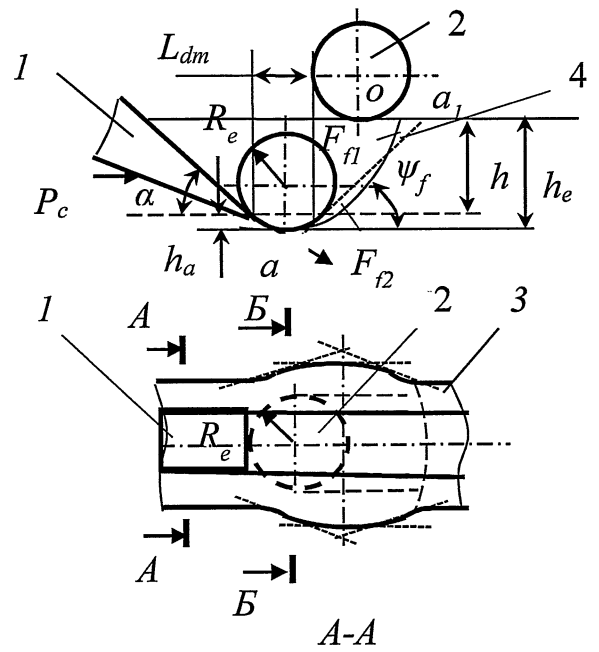
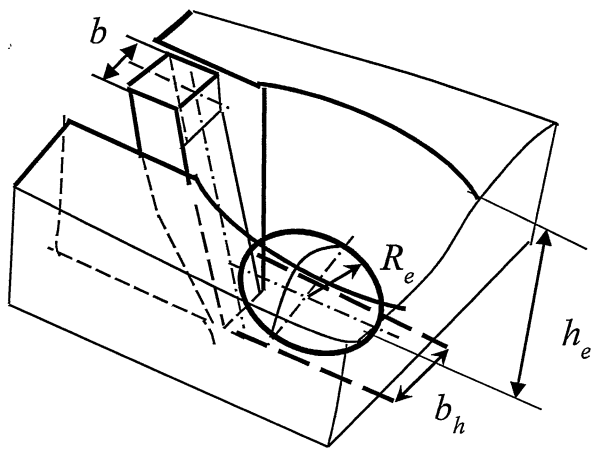


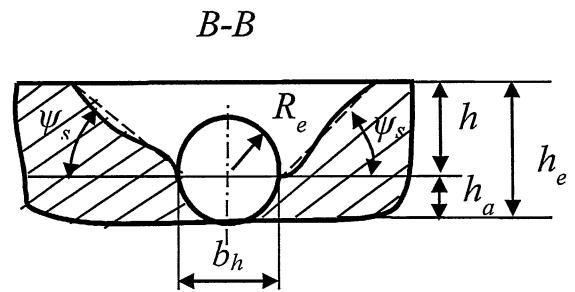
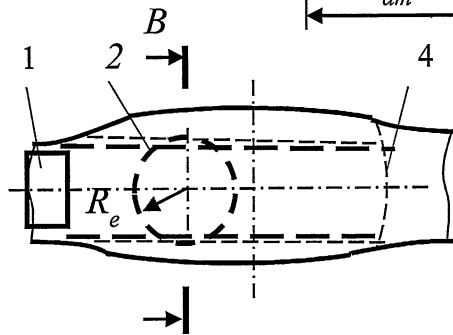
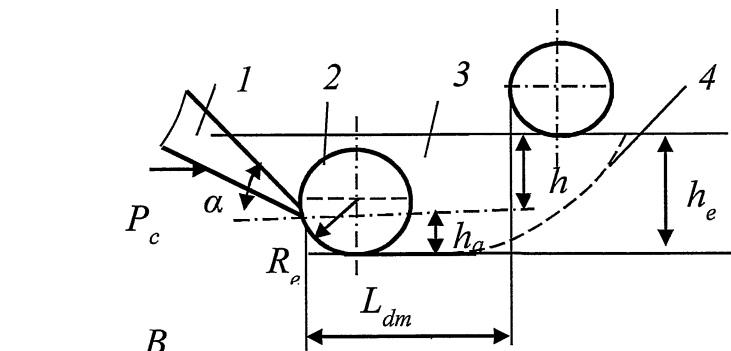
Рисунок 9 - Стадии разрушения грунта при его резании РИ: *I* стадия – сжатие грунта, начало сдвига грунта; *II* стадия - увеличение очагов сдвига грунта, наступление ПНС; *III* стадия – разрушение грунта; *IV* стадия – волочение и надвигание призмы разрушения грунта

Анализ стадии разрушения грунта показывает, что в стадиях уплотнения, сжатия грунта (*I*, *II* стадии) изменение силы резания происходит по линейной зависимости, подтверждающее корректность применения положений теории упругости в пределах пропорциональности для теоретического определения силы сопротивления грунта резанию. Следует отметить вариативность значений силы резания грунта во времени, такое связано, очевидно из-за изменчивости прочностных свойств грунта.

По результатам резания грунта, содержащего близко шаровидное КВ получена трехмерная модель прорези разрушения грунта и ее геометрические параметры, при симметричном расположении ЦТ КВ относительно ширины резания. Передние и боковые поверхности прорези имеют криволинейное очертание, если провести прямую плоскость через точки разрушения на нижней части прорези (точка a , b) и расширяющейся части (точка a_1 , b_1), то можно определить углы наклона поверхности переднего ψ_f и бокового разрушения ψ_s . (рисунок 10). Таким образом криволинейные поверхности прорези разрушения можно аппроксимировать прямыми поверхностями, имеющие близкий и более простой вид к исходным поверхностям. Прорезь разрушения условно состоит из центральной части (c) и боковой части (s), основной области (b), дополнительной области (a), представляется совокупностью правильных геометрических фигур:



a)



b)

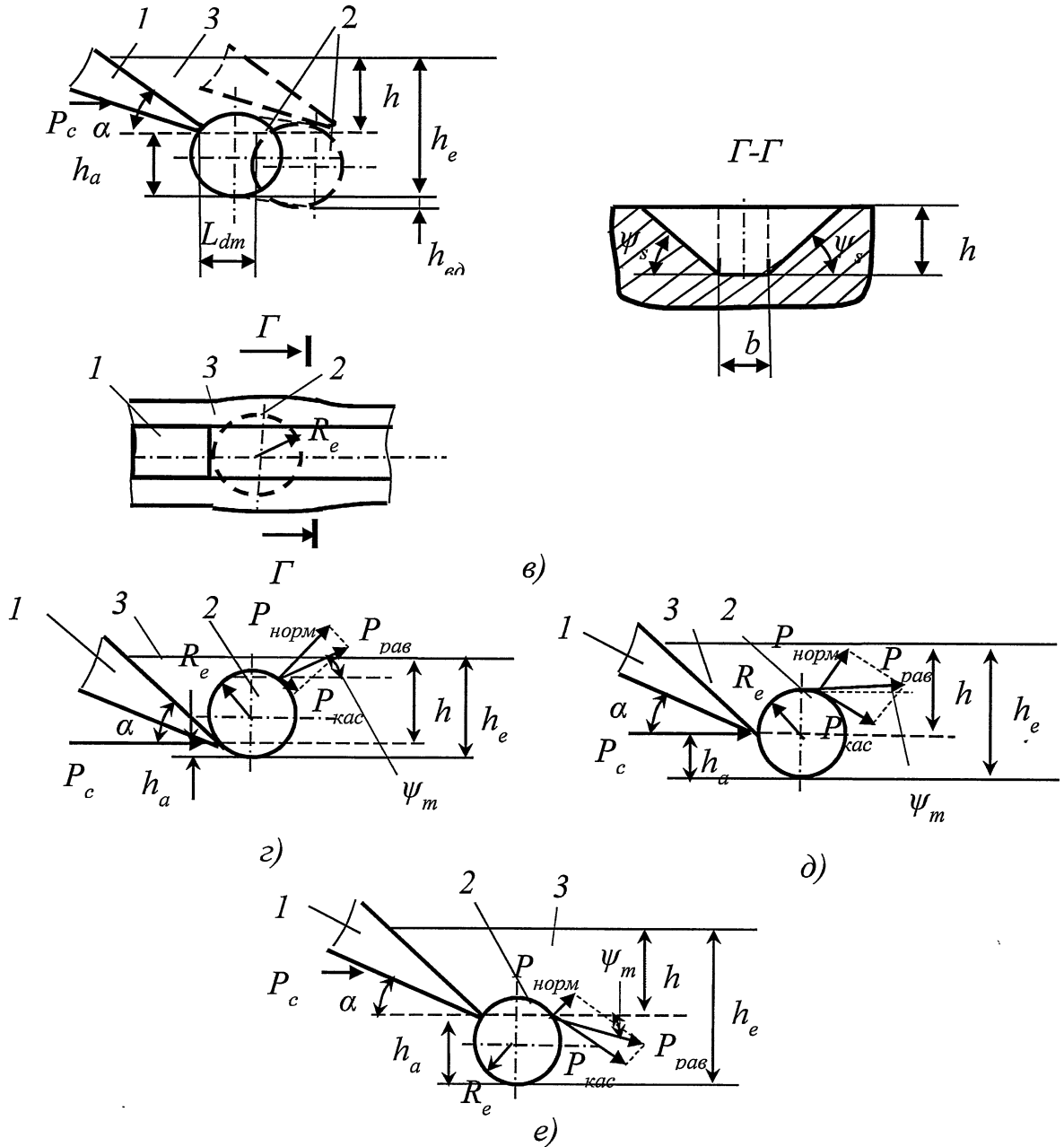


Рисунок 10 - Трехмерная модель прорези разрушения грунта и ее геометрические параметры 1 – РИ, 2 – КВ, 3- грунт, 4 - поверхность сдвига, α – угол резания, b – ширина резания, b_h – ширина резания, измененная под влиянием камня, h – глубина резания h_e – глубина залегания, h_a – дополнительная высота, L_{dm} – длина резания, ψ_f – фронтальный угол разрушения, ψ_s – боковой угол разрушения, ψ_m – угол между направлением резания и равнодействующей силой, a - a_1 , b - b_1 – аппроксимирующие плоскости, P_c – сила резания, $P_{норм}$ – нормальная сила, $P_{кас}$ – касательная сила, $P_{рав}$ – равнодействующая сила

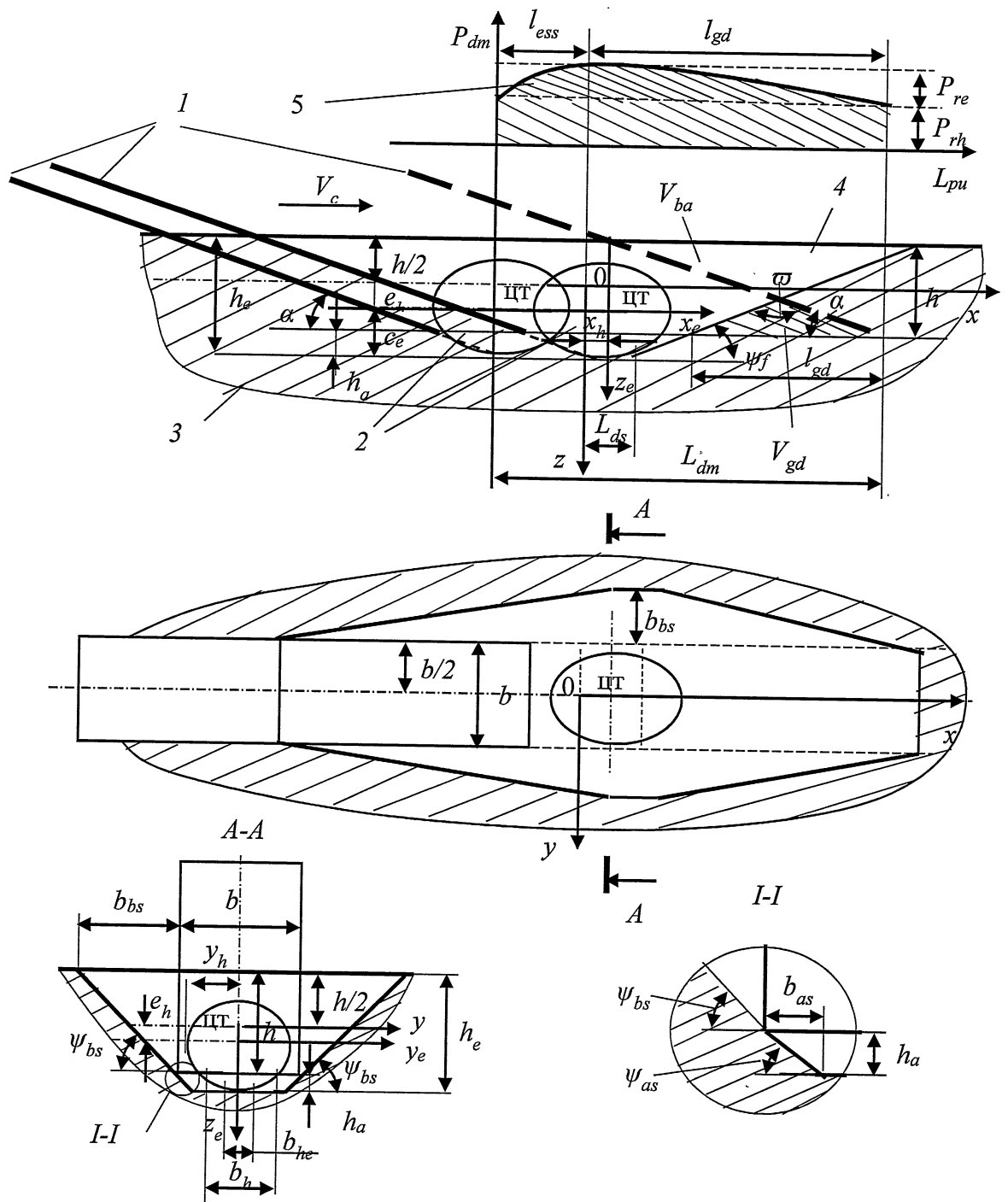


Рисунок 11 - Схема резания грунта, содержащего эллипсоидное КВ 1 – РИ, 2 – КВ, 3 – грунт, 4 – прорезь разрушения, 5 – график силы сопротивления грунта резанию, L_{dm} - длина резания, L_{ds} - длина прорези разрушения, α - угол резания, ψ_f - угол сдвига во фронтальной части, ψ_{bs} , ψ_{as} - углы сдвига в боковой части, e_h - эксцентриситет по глубине резания, h_e - глубина залегания КВ, h_a - высота дополнительной области, b_{he} - ширина резания дополнительной области

трапецидальной призмы, прямоугольной треугольной призмы, прямоугольной треугольной пирамиды.

В целях систематизации многообразия разрушения грунта, в зависимости от координаты действия режущей кромки на КВ по результатам опыта принимается что, когда $k_{ha} = 0 \dots 0,25$, грунт разрушается с интенсивным (быстрым) выкатыванием КВ на дневную поверхность грунта (рисунок 10, а), когда $k_{ha} = 0,25 \dots 1,75$ грунт разрушается с экстенсивным (медленным) выкатыванием камня на поверхность грунта (рисунок 10, б), и когда $k_{ha} = 1,75 \dots 2,0$ грунт разрушается с вдавливанием камня в массив грунта (рисунок 10, в).

Следует отметить, что в лобовой части КВ появляется ядро из уплотненного грунта, причем с увеличением глубины залегания КВ относительно режущей кромки (относительная глубина залегания КВ), размеры ядра увеличиваются. Очевидно с увеличением относительной глубины залегания камня возрастает площадь его активной поверхности, разрушающей грунт, оцениваемая коэффициентом длины элементарного пояса на поверхности КВ – k_c . С увеличением относительной глубины залегания КВ изменяется траектория движения КВ в процессе резания грунта. Траектория движения КВ представляет собой близко прямую линию в сторону дневной поверхности грунта (рисунок 10, а), кривую линию от массива грунта, в сторону дневной поверхности (рисунок 10, б), и близко прямую линию в сторону массива грунта (рисунок 10, в). Анализ рисунка 10, а, б, в показывает, что чем выше точка воздействия режущей кромки на КВ, вектор равнодействующей силы на поверхности КВ начинает поворачиваться в сторону вглубь массива грунта (рисунки 10, г, д, е), равнодействующая сила превращается от выталкивающей силы КВ из массива грунта в вдавливающую силу КВ в массив грунта. Вследствие этого значительно возрастают силовые и энергетические затраты на разрушение грунта с КВ РИ РО ЗМ. Анализ рисунка 10 показывает, что основной особенностью резания является то, что разрушение грунта происходит в пределах длины резания, соответственно затрачивается энергия (работа) на разрушение грунта, содержащего КВ.

Длиной резания называется путь РИ, соответствующий наступлению в грунте ПНС, возрастанию силы сопротивления до максимального значения, разрушению определенного объема грунта, и снижению силы сопротивления грунта до уровня резания заполнителя грунта. Она определяется выражением, составляющие которого устанавливается опытным путем (17):

$$L_{dm} = l_{ess} + l_{gd}, \quad (17)$$

где l_{ess} – путь РИ, соответствующий наступлению ПНС, l_{gd} – путь РИ, соответствующий зоне сдвиговых и предварительной деформации грунта.

В таком случае энергия (работа), затрачиваемая на разрушение грунта с КВ, в соответствии с (9), определяется зависимостью (18):

$$\mathcal{E}_{dm} = \mathcal{E}_{rh} + \mathcal{E}_{re} + \mathcal{E}_{rg}, \quad (18)$$

где \mathcal{E}_{rh} – энергия разрушения зоны заполнителя грунта, \mathcal{E}_{re} – энергия разрушения каменистой зоны, \mathcal{E}_{rg} – энергия вывода КВ из зоны действия РИ.

По результатам экспериментальных исследований посредством схематизации поверхностей разрушения определены следующие геометрические параметры прорези разрушения грунта с КВ: угол резания (α), глубина резания (h), ширина резания (b), глубина залегания КВ (h_e), относительная глубина залегания КВ (h_a), длина резания (L_{dm}), фронтальный угол сдвига (ψ_f), боковой угол сдвига основной области (ψ_{bs}), боковой угол сдвига дополнительной области (ψ_{as}), ширина резания, изменяющаяся под влиянием КВ (b_h), длина прорези (L_{ds}), ширина прорези (b_{he}), длина вдавливания КВ (L_{ed}).

Погрешность между теоретической и экспериментальной силами сопротивления грунта, содержащего КВ, разрушающегося по различным видам составляет в пределах 15 %.

Для установления МРМ ЛЭР грунтов с КВ разработан план ПФЭ по резанию грунтов с КВ РИ РО ЗМ. Зависимой переменной – результативным признаком (откликом), выступает сила сопротивления грунта резанию, длина резания и боковой угол разрушения грунта, содержащего КВ, а независимыми управляемыми факторами, влияющими на процесс резания, принимаются: плотность грунта, ρ , т/м³ – x_1 (интегральная характеристика прочности, физического состояния грунта), средние размеры радиуса шаровидного КВ, a_e , м – x_2 , и ширина резания, b , м – x_3 . Из априорной информации следует, что оптимальной глубиной резания можно принять глубину резания $h = 0,15 \dots 0,2$ м, а оптимальным углом резания грунта с КВ – $\alpha = 30^\circ$. По результатам реализации плана эксперимента сформирована эмпирическая статистическая совокупность по резанию супеси, суглинка и глины, содержащие 30 %, 73 % минеральных частиц крупнее 2 мм, имеющие полутвердую и мягко пластичную консистенцию, разрушающиеся интенсивным, экстенсивным выкатыванием и вдавливанием КВ в массив грунта. Пути снижения энергии разрушения грунтов с КВ можно назвать возможности: перехода из экстенсивного разрушения грунта в интенсивное разрушение и обход поверхности КВ при вдавливании КВ в массив грунта РИ РО ЗМ.

Пятая глава «**Прогнозирование локальной энергоемкости разрушения грунтов с каменистыми включениями рабочим органом землеройной машины**» посвящена разработке МРМ ЛЭР грунтов с КВ РО ЗМ.

Проводится сравнительный анализ двухмерных моделей прогнозирования силы сопротивления резанию суглинка по методикам Ю. А. Ветрова, McKeyes - Ali, К. А. Артемьева, В. И. Баловнева и автора, между трехмерными моделями прогнозирования силы сопротивления однородного грунта автора и McKeyes, Penumpral - Grisso - Desai, между методами расчета силы сопротивления грунта с КВ Э. Кравцова и автора. Погрешности между методами прогнозирования силы сопротивления автора, Э. Кравцова, вызвана тем, что сила сопротивления

резанию по методу Э. Кравцова определена без учета влияний угла, ширины резания, особенностей нормальной и касательной компонентов пассивного давления.

Учитывая, что разрушение происходит на определенном пути РИ РО ЗМ, при этом затрачивается энергия на образование прорези разрушения, ЛЭР грунта с интенсивным или экстенсивным выкатыванием КВ определяется зависимостью (19):

$$E_{dm_{i,э}} = \frac{\mathcal{E}_{rh} + \mathcal{E}_{re} + \mathcal{E}_{rg}}{V_{dm_{i,э}}} = \frac{\mathcal{E}_{dm_{i,э}}}{V_{dm_{i,э}}} \quad (19)$$

где $\mathcal{E}_{dm_{i,э}}$ - энергии разрушения грунта с интенсивным или экстенсивным выкатыванием КВ; V_{dm} - объем прорези разрушения грунта с КВ.

Для вида разрушения с внедрением КВ в массив грунта ЛЭР определяется зависимостью (20):

$$E_{dm_э} = \frac{\mathcal{E}_{rh}}{V_b} + \frac{\mathcal{E}_{эд}}{V_{am}} \quad (20)$$

где \mathcal{E}_{rh} - энергия разрушения зоны заполнителя грунта, $\mathcal{E}_{эд}$ - энергия вдавливания КВ, V_b - объем прорези разрушения основной области, V_{am} - объем деформированного грунта при вдавливании КВ.

Локальную энергию разрушения грунта с интенсивным или экстенсивным выкатыванием КВ можно определить зависимостью (21):

$$\mathcal{E}_{dm_{i,э}} = (P_{rh} + P_{rg})L_{dm} + \sum_{i=1}^{i=n} dp_{rei} dl_{dmi}, \quad (21)$$

где P_{rh} - сила сопротивления зоны заполнителя, P_{rg} - сила сопротивления КВ выведению из зоны резания, L_{dm} - длина резания грунта с КВ, dp_{rei} - элементарные силы сопротивления каменной зоне, dl_{dmi} - элементарные длины резания грунта с КВ.

Значение элементарной силы сопротивления dp_{rei} каменной зоны аппроксимируется уравнением вида (22):

$$dp_{re} = k_{pre} P_{re} \quad (22)$$

где k_{pre} - коэффициент элементарной силы сопротивления каменной зоны, P_{re} - сила сопротивления каменной зоны резанию.

В случае, когда грунт разрушается с внедрением КВ в глубину массива, суммарная энергия разрушения условно разделяется на энергию разрушения заполнителя грунта – \mathcal{E}_{rh} и на энергию сопротивления внедрению КВ в массив грунта – $\mathcal{E}_{e\delta}$ (23):

$$\mathcal{E}_{dm_{e\delta}} = \mathcal{E}_{rh} + \mathcal{E}_{e\delta} = P_{rh} L_{e\delta} + \sum_{i=1}^{i=n} dp_{e\delta i} dl_{e\delta i} \quad (23)$$

где P_{rh} – сила сопротивления зоны заполнителя, $L_{e\delta}$ – длина вдавливания КВ, $dp_{e\delta i}$ – элементарные силы сопротивления вдавливанию, $dl_{e\delta i}$ – элементарные длины вдавливания КВ.

Общий объем прорези разрушения грунта с КВ с учетом (10), (рисунок 11) равен (24):

$$V_{dm} = V_{ba} + V_{gd} \quad (24)$$

где V_{ba} – объем грунта основной и дополнительной областей, V_{gd} – объем опережающей деформации грунта.

Объемы грунтов основной (b) и дополнительной областей (a) состоят из центральной части (c) и боковой части (s),

$$V_{bc} = \frac{bh^2(ctg\alpha + ctg\psi_f)}{2} + A_v bh \quad (25)$$

$$A_v = h_a(ctg\alpha + ctg\psi_f) + L_{de} \approx L_{dm} \quad (26)$$

$$V_{bs} = \frac{b_{bs} h^2(ctg\alpha + ctg\psi_f)}{6} + \frac{b_{bs} h}{2} A_v \quad (27)$$

$$V_{ac} = b_{he} h_a \left(\frac{A_v + L_{ds}}{2} \right) \quad (28)$$

$$V_{as} = \frac{2b_{as} h_a^2(ctg\alpha + ctg\psi_f) + 3b_{as} h_a L_{de}}{6} \quad (29)$$

где b – ширина резания, h – глубина резания, α – угол резания, ψ_f – фронтальный угол разрушения, h_a – высота дополнительной области, L_{de} – длина прорези разрушения, L_{dm} – длина резания грунта, b_{bs} – ширина прорези боковой части основной области, b_{as} – ширина прорези боковой части дополнительной области, b_{he} – ширина резания на уровне залегания КВ в массиве грунта.

Объем опережающее деформированного грунта равен (30):

$$V_{gd} = \frac{l_{pd}^2 \sin \psi_f \sin \alpha}{2 \sin \varpi} \quad (30)$$

где α - угол резания, ψ_f - фронтальный угол разрушения.

Коэффициент пространственности определяется зависимостью (рисунок 11) (31):

$$\eta_{sp} = \frac{n_s V_{bs}}{V_{bc} + V_a + V_{gd}} \quad (31)$$

где V_{bs} – объем боковой части основной области, V_{bc} – объем центральной части основной области, V_a – суммарный объем дополнительной области, V_{gd} – объем опережающее деформированного грунта, n_s – количество боковой части прорези разрушения.

Эмпирическая совокупность, образованная по результатам реализации плана эксперимента, подвергается корреляционному, дисперсному и регрессионному анализу в современном программном комплексе «Statistica». Нормальное распределение исходных статистических данных проверяется критерием Колмогорова-Смирнова, однородность строчных дисперсий – критерием Кохрана, статистическая значимость коэффициентов регрессионной модели – критерием Стьюдента, а в целом адекватность математической регрессионной модели – критерием Фишера. Отсутствие мультиколлинеарности между коэффициентами регрессионной модели обеспечивается планом ПФЭ.

МРМ ЛЭР грунта, содержащего близко шаровидное КВ установлены с использованием линейной регрессионной модели (32):

$$E_{dm} = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_3 x_{31} + b_4 x_1 x_2 + b_5 x_1 x_3 + b_6 x_2 x_3 + b_7 x_1 x_2 x_3 \quad (32)$$

где b_0 – свободный коэффициент регрессионной модели, $b_1, b_2, b_3, b_4, b_5, b_6, b_7$ – коэффициенты регрессионной модели.

Принятие упрощения о функциональной взаимосвязи удельных силовых и энергетических затрат на разрушение грунта позволяет определить значение коэффициента ЛЭР грунта (33):

$$k_{f^{04/08}} = \frac{P_{dm04/08}}{P_{dm}} \quad (33)$$

где P_{dm} - сила сопротивления резанию грунта с шаровидным КВ; $P_{dm04/08}$ – сила сопротивления резанию грунта с эллипсоидным/эллипсоидно суженным КВ.

МРМ коэффициента ЛЭР грунта, содержащего близко эллипсоидное и близко эллипсоидно суженное КВ установлены с использованием нелинейной экспоненциальной модели по оцениваемым параметрам (34):

$$k_{f0,4/0,8} = a_0 + e^{b_0 + b_1 \rho + b_2 a_c + b_3 b} \quad (34)$$

где a_0 – свободный коэффициент регрессионной модели, b_0, b_1, b_2, b_3 – коэффициенты регрессионной модели.

Таким образом с применением теоретико-экспериментального подхода можно установить МРМ ЛЭР грунтов, содержащих различные КВ, позволяющие прогнозировать удельные энергетические затраты на разрушение грунтов с КВ (таблица 1-таблица 4).

Для определения ЛЭР супеси, суглинка и глины, имеющие различную консистенцию, содержащие различные по форме и размеру КВ, разрушающие по различной схеме разработаны соответствующие номограммы (рисунок 12-рисунок 18).

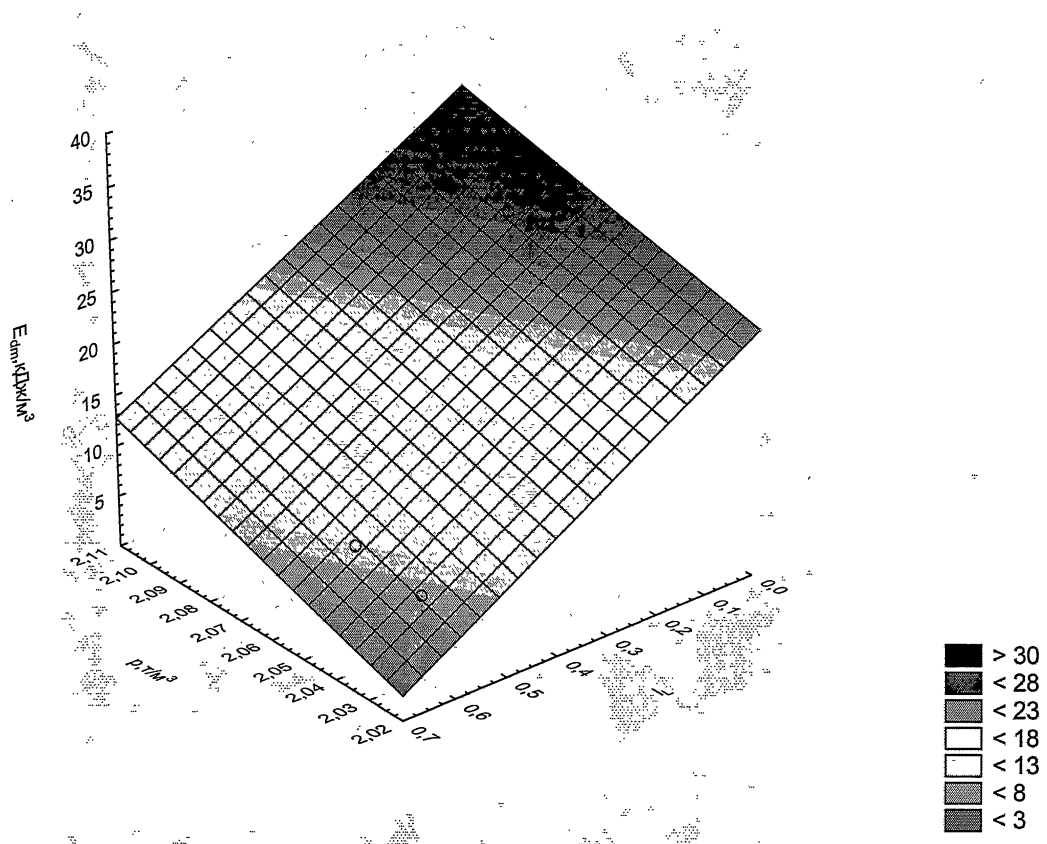


Рисунок 12 - Зависимость ЛЭР супеси от плотности и консистенции, содержание минеральных частиц крупнее 2 мм – 30 %

Таблица 1 – Параметры регрессионной модели локальной энергоёмкости разрушения супесчаных грунтов с КВ

Название					I_p	$d_2, \%$	I_L	$\rho, \text{т/м}^3$		
Супесь					0,07	30	0,1	2,06...2,1		
y	b_0	b_1	b_2	b_3	b_4	b_5	b_6	b_7	R	k_{ha}
E_{dmu}	17,399	-8,687	-2117,9	202,033	1156,834	-101,553	-25634,8	12761,85	1,0	0,25
$E_{dmэ}$	27,635	-14,242	-2745,01	399,958	1505,412	-200,835	-36922,9	18411,88	1,0	1,0
$E_{dm\sigma}$	94,161	-49,364	-10653,0	1617,694	5789,864	-776,531	-144968	72082,10	1,0	1,75
y				a_0	b_0	b_1	b_2	b_3	R	R^2
k_f04				-11,3216	2,4969	0,0051	-0,2372	0,0335	0,999	99,97
k_f08				-1,5596	1,1048	-0,091	-2,0784	0,2677	0,999	99,77

Таблица 2 – Параметры регрессионной модели локальной энергоёмкости разрушения супесчаных грунтов с КВ

Название					I_p	$d_2, \%$	I_L	$\rho, \text{т/м}^3$		
Супесь					0,07	30	0,6	2,03...2,07		
y	b_0	b_1	b_2	b_3	b_4	b_5	b_6	b_7	R	k_{ha}
E_{dmu}	7,723	-3,952	-841,587	14,924	460,382	-8,359	-4514,79	2323,976	1,0	0,25
$E_{dmэ}$	8,371	-4,382	-830,724	121,21	463,204	-61,795	-11190,9	5665,2	1,0	1,0
$E_{dm\sigma}$	30,018	-15,988	-3394,13	516,408	1875,273	-251,510	-46253,2	23346,59	1,0	1,75
y				a_0	b_0	b_1	b_2	b_3	R	R^2
k_f04				-10,9539	2,4663	0,0053	-0,2446	0,0345	0,999	99,97
k_f08				-18,5506	2,9574	0,0058	-0,2423	0,0333	0,999	99,97

Таблица 3 – Параметры регрессионной модели локальной энергоёмкости разрушения глинистых грунтов с КВ

Название					I_p	$d_2, \%$	I_L	$\rho, \text{м/м}^3$		
Глина					0,209	73	0,1	2,26...2,28		
y	b_0	b_1	b_2	b_3	b_4	b_5	b_6	b_7	R	k_{ha}
E_{dmu}	-51,586	22,992	-2581,9	802,4377	1233,911	-358,15	-49399,8	22080,43	1,0	0,25
$E_{dmэ}$	5,322	-2,639	-5086,63	404,604	2378,479	-183,505	-52468,1	23556,83	1,0	1,0
$E_{dme\delta}$	85,02162	-40,491	-22515,6	1035,377	10461,83	-438,932	-185938	83140,56	1,0	1,75
y				a_0	b_0	b_1	b_2	b_3	R	R^2
k_f04				-13,7225	2,6386	0,0214	-0,1848	0,0237	0,999	99,882
k_f08				-22,5379	3,107447	0,021604	-0,188657	0,024051	0,999	99,875

Таблица 4 – Параметры регрессионной модели локальной энергоёмкости разрушения глинистых грунтов с КВ

Название					I_p	$d_2, \%$	I_L	$\rho, \text{м/м}^3$		
Глина					0,209	73	0,6	2,24...2,26		
y	b_0	b_1	b_2	b_3	b_4	b_5	b_6	b_7	R	k_{ha}
E_{dmu}	39,714	-17,806	1965,44	-177,11	913,942	77,631	-6520,74	2993,65	1,0	0,25
$E_{dmэ}$	1,714	-0,858	-1638,66	130,381	773,4630	-59,674	-16909,0	7660,498	1,0	1,0
$E_{dme\delta}$	30,136	-14,490	-7982,66	367,383	3743,912	-157,078	-65945,6	29753,02	1,0	1,75
y				a_0	b_0	b_1	b_2	b_3	R	R^2
k_f04				-11,2757	2,4471	0,0257	-0,2221	0,0285	0,999	99,881
k_f08				-23,1564	3,1351	0,0210	-0,18378	0,0234	0,999	99,875

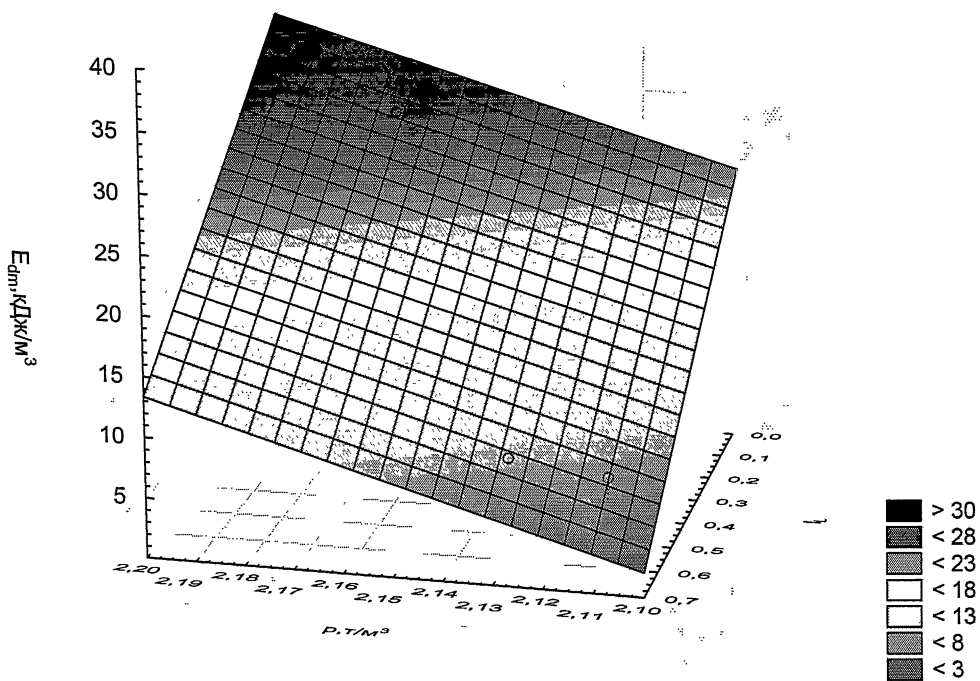


Рисунок 13 - Зависимость ЛЭР глины от плотности и консистенции, содержание минеральных частиц крупнее 2 мм – 50 %

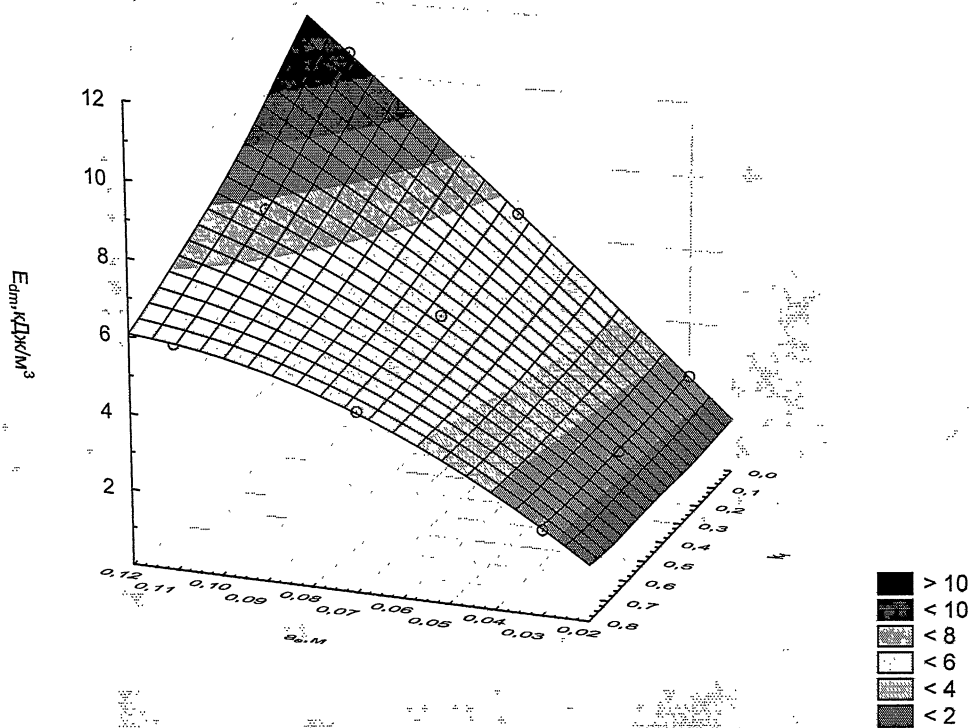


Рисунок 14 - Зависимость ЛЭР суглинка от формы и размера КВ, консистенция заполнителя – 0,6

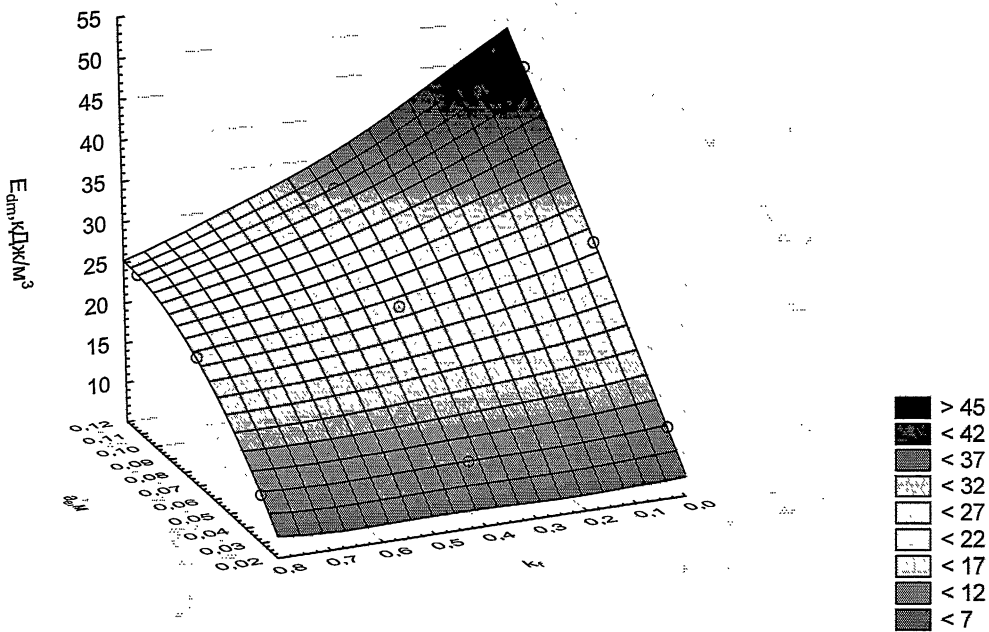


Рисунок 15 - Зависимость ЛЭР глины от формы и размера КВ, консистенция заполнителя – 0,1

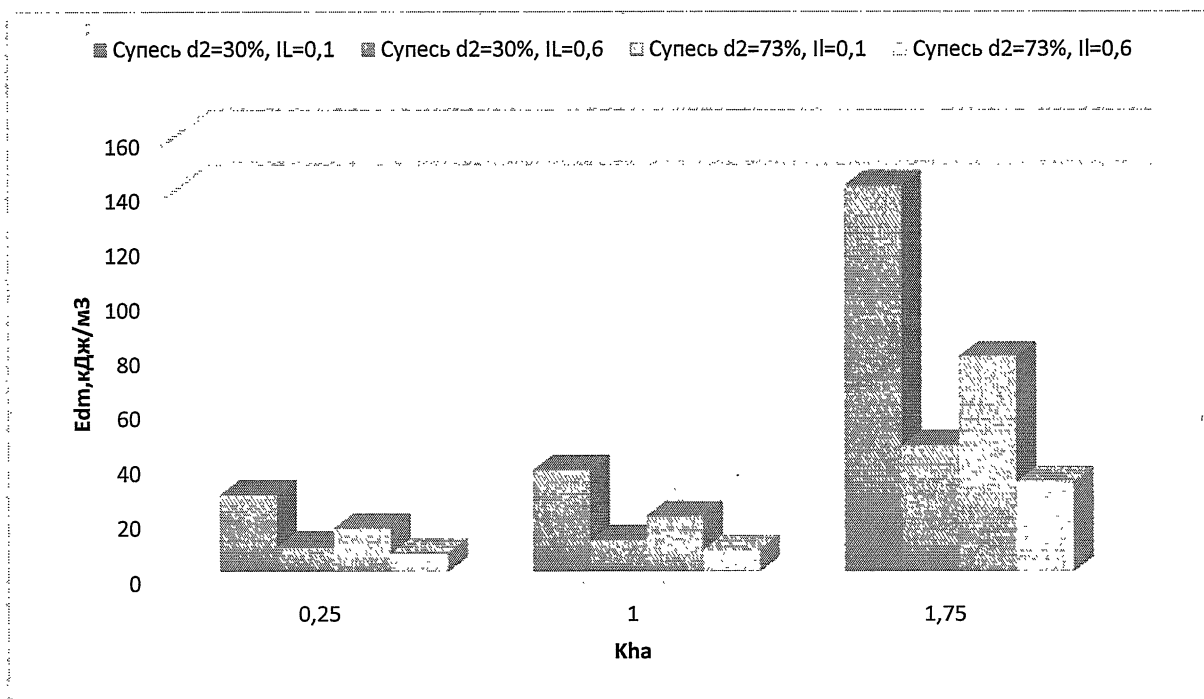


Рисунок 16 - Динамика ЛЭР супеси в зависимости от глубины залегания КВ относительно режущей кромки

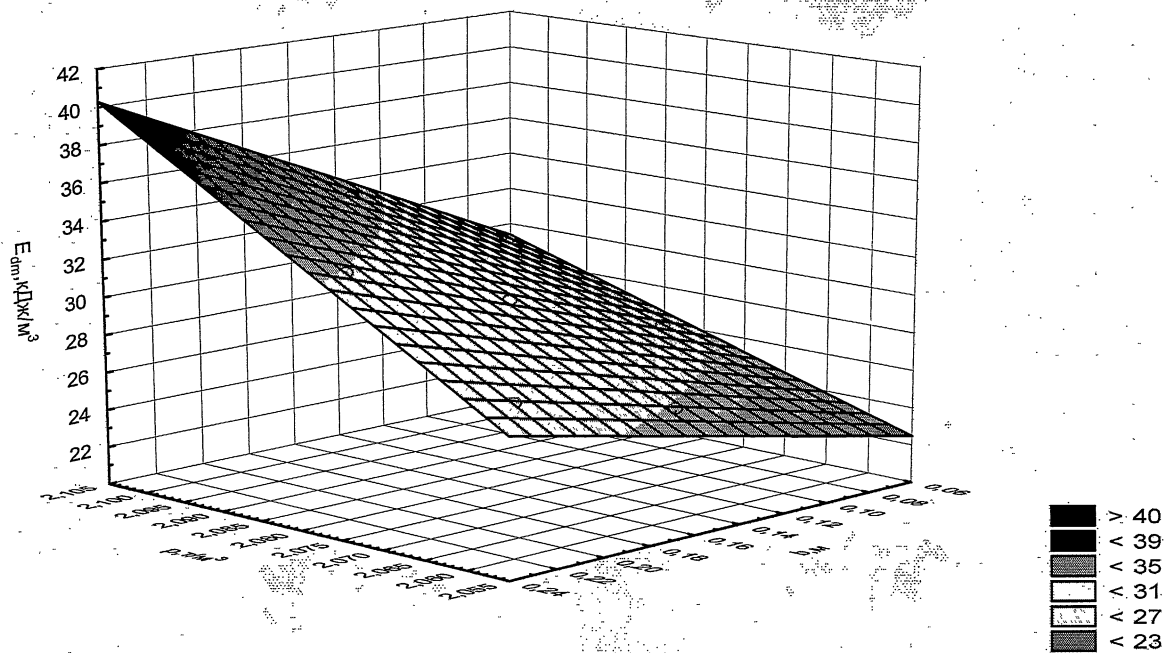


Рисунок 17 - Динамика ЛЭР супеси в зависимости от плотности и ширины резания грунта, содержание минеральных частиц крупнее 2 мм в грунте 30 %

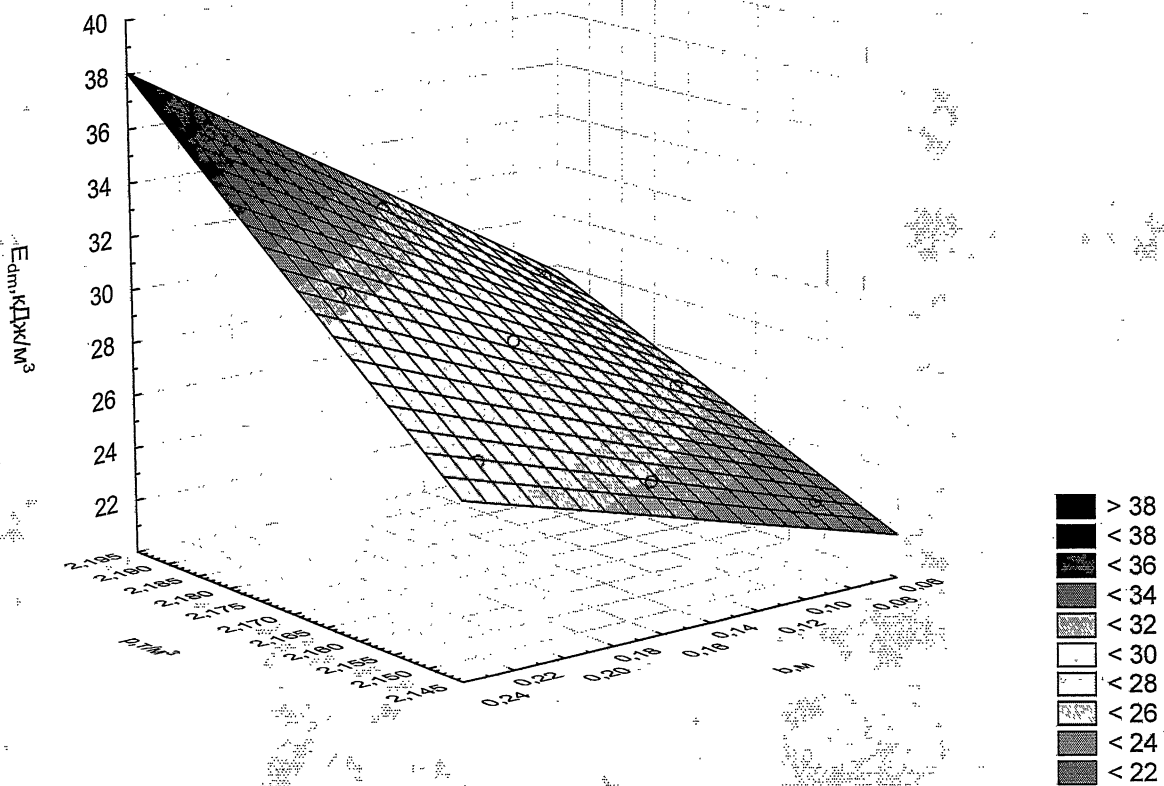


Рисунок 18 - Динамика ЛЭР глины в зависимости от плотности и ширины резания грунта, содержание минеральных частиц крупнее 2 мм в грунте 50 %

Для повышения эффективности ЗМ, для снижения локальной энергоемкости разрушения грунта с КВ необходимо усовершенствования конструкции РИ РО ЗМ с целью: снижения точки воздействия на КВ, при этом возрастает выталкивающая сила КВ, снижается длина резания; обхода поверхности КВ при внедрении его в массив грунта, при этом КВ внедряется на меньшую глубину, снижается сила внедрения КВ.

В шестой главе «**Практические рекомендации, направленные на повышение эффективности разработки грунтов с каменными включениями землеройными машинами**» разработаны технические решения, повышающие эффективность разработки грунтов с КВ ЗМ и мероприятия, направленные на практическое использование результатов теоретических и экспериментальных исследований.

С целью снижения динамических нагрузок, действующих в плоскости козырька ковша от боковой силы резания на элементы рабочего оборудования, РО разработаны проекты ковша экскаватора, которые защищены патентами КР на изобретения. При попадании межзубовое пространство КВ боковые нагрузки на соответствующие зубья возрастают и при превышении ими сил упругости пружин этих зубьев, они поворачиваются вокруг своих пальцев. После обхода ковшом экскаватора КВ зубья, претерпевшие повороты, под воздействием разжимающихся пружин, возвращаются в первоначальные положения, и разработка грунта продолжается.

С целью изменения координаты действия внешней силы, в случае попадания на зуб ковша КВ, и тем самым для снижения значения силы резания грунта разработан проект ковша экскаватора, который защищен патентом на изобретение КР. Для адаптации к условиям разрушения грунта с КВ, а также для снижения силовых затрат разрушения грунта предлагается ковш экскаватора с зубьями с упругими элементами, который также защищен патентом КР на изобретение. РИ (зубья), имеют возможность отклонения относительно плоскости козырька ковша и изменения угла режущей кромки зуба, независимо друг от друга. При наступлении зуба на КВ, его режущая кромка может отклоняться, что направляет его по криволинейной поверхности камня, совершая обводящее движение по нему, т.е. совершается адаптированное движение зуба. Такое адаптированное движение позволяет изменять направление действия зуба при попадании на КВ, отклоняясь от действия в упор, тем самым он внедряет КВ на меньшую глубину, следовательно, снижает усилия резания грунта ковшом ЗМ.

Для повышения эффективности разработки грунтов и упрощения конструкции зубьев, увеличения надежности и долговечности зубьев ковша экскаватора разработана конструкция ковша со специальными зубьями, которая защищена патентом КР на полезную модель. Зубья, рабочая поверхность которых имеет эллипсоидную форму очертания, с учетом наиболее представительной геометрической формы КВ, позволяющая изменить точки касательных силовых линий к поверхности КВ, способствующая снижению продольного размера тела из уплотненного грунта и энергоемкости разработки грунта с КВ, а увеличение длины зубьев на 20...25% с учетом наиболее

представительного размера КВ, позволяет снизить точки приложения зубьев на КВ и интенсивно выкатывать их на поверхность грунта, способствующего снижению ЛЭР грунта, содержащего различные КВ.

Для прогнозирования грунтовых условий эксплуатации дорожно-транспортных, сельскохозяйственных машин, для компьютерного моделирования взаимодействия РО машин с грунтом, содержащих КВ разработан прибор для определения содержания камней в грунте и получен патент КР на изобретение.

Для практического применения результатов исследований метод расчета силы сопротивления резанию грунта с КВ автоматизирован в программе *Microsoft Visual Basic*. Предельная нагрузка пассивного давления грунта прикладывается к элементарным поверхностям РИ и КВ. При отсутствии КВ рассчитывается сила сопротивления резанию однородного (заполнителя) грунта (P_{rh}). Рассчитываются объемы разрушенного грунта в центральной (V_c) и боковой частях (V_s) прорези разрушения, с целью установления коэффициента пространственности (η_{sp}). Проекция на траекторию резания элементарной равнодействующей силы сопротивления, приложенной на поверхности КВ (dP_{dmi}) суммируются по элементарным шаровым поясам и областям их нахождения (P_{dm}). Изменение прочностных свойств грунта оцениваются через γ , C , φ , φ_0 , параметров КВ – a_e , k_y , k_z , параметров резания грунта – α , h , b , а видов разрушения грунта – k_{has} , k_c . Таким образом определенная сила сопротивления резанию применяется в методике расчета ЛЭР грунтов с различными КВ.

Усталостная долговечность определена на основе воздействия на локальные участки МК РО ЗМ реальной истории нагружения, сформированной при резании грунта с КВ по результатам экспериментальных исследований. Конструкция адаптируемого зуба ковша изменяет историю нагружения, снижает динамичность нагрузок, действующих на локальные участки РО (рисунок 19).

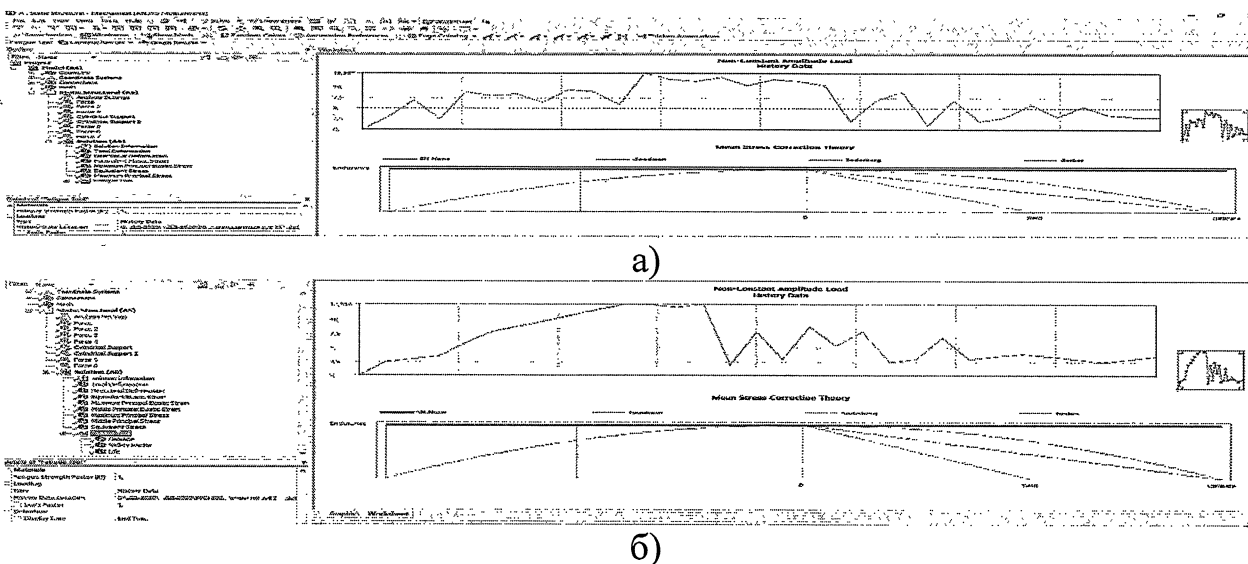


Рисунок 19 - Изменение силы сопротивления резанию при внедрении КВ в массив грунта: а) – разработка грунта со стандартным зубом; б) – разработка грунта с адаптируемым зубом

3D модель ковша экскаватора ЭО-2621А разработана в программном комплексе *SolidWorks*, обрабатывается в системе *Ansys Workbench* с целью расчета УД локальных участков ковша. Результаты расчета УД и повреждения, разрушения, наблюдаемые в ковше в производственных условиях эксплуатации, дают качественно схожие картины (рисунок 20).

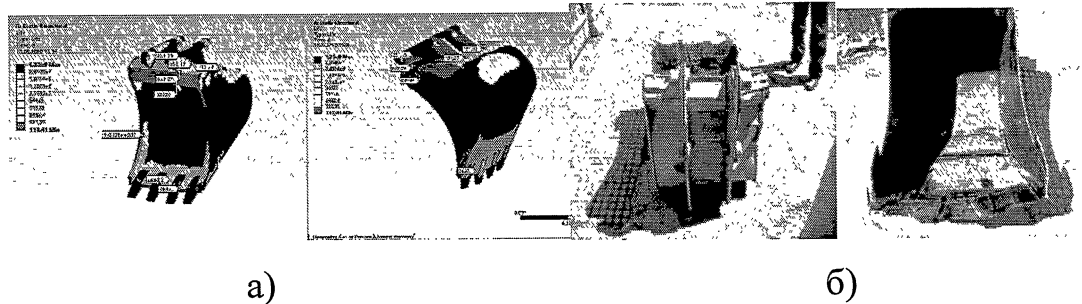


Рисунок 20 – а) - результаты расчета; б) - повреждения и разрушения, наблюдаемые в ковше в производственных условиях эксплуатации: красные линии – зоны повреждения

Разработана методика расчета технической производительности одноковшовых экскаваторов, разрабатывающие грунты с КВ. В зависимости от прочности грунта, параметров его резания и КВ, а также видов разрушения грунта изменяется локальная энергия разрушения - \mathcal{E}_{dm} и продолжительность копания грунта с КВ РО экскаватора (35):

$$T_{\kappa_i} = \frac{\sum_{i=1}^{i=3} \mathcal{E}_{dm_i} n_{dm_i}}{N \eta_{mp} \xi} \quad (35)$$

где \mathcal{E}_{dm_i} – энергия i -того вида разрушения, n_{dm_i} – количество i -того вида разрушения, N – мощность двигателя базовой машины, η_{mp} – КПД привода, ξ – коэффициент использования мощности двигателя при копании.

Техническую производительность экскаватора можно определить зависимостью (36):

$$\Pi = \frac{3600 \frac{qk_{nan}}{k_{pas}}}{\frac{\sum_{i=1}^{i=3} \mathcal{E}_{dm_i} n_{dm_i}}{N \eta_{mp} \xi} + T_{ng} + T_e + T_{nz}}, \quad (36)$$

где T_{ng} – продолжительность поворота рабочего оборудования на выгрузку, T_e – продолжительность выгрузки, T_{nz} – продолжительность поворота обратно в забой.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Грунт, содержащий каменистое включение – это осадочный связный дисперсный грунт, структура которого представляет собой механическую смесь мелкозернистых (мельче 2 мм) и крупнозернистых (крупнее 2 мм) минералов и минеральных частиц, между которыми существуют физические, физико-химические и механические связи, состоит из каркаса, создаваемого каменистыми включениями, заполнителя, влаги и воздуха, заземленного в пустотах (порах) структуры.

2. Установлены вероятности появления грунтов, содержащих каменистые включения по территории КР, а также их вероятностный диапазон изменения физико-механических свойств с составлением классификации каменистых включений, позволяющие оптимально комплектовать парк строительных и дорожных машин.

3. Разработаны критерии подобия физического моделирования процесса резания, а также формулы перехода от параметров модели грунта к параметрам натуры, обеспечивающие подобность процессов резания грунта, содержащего каменистое включение рабочим органом землеройной машины в производственных и лабораторных условиях.

4. Получены аналитические зависимости, прогнозирующие силы сопротивления резанию, энергии и составляющих пространственной модели прорези разрушения однородного грунта, и грунта, содержащего шаровидное/эллипсоидное каменистое включение. Сила сопротивления резанию определена с применением предельной нагрузки пассивного давления грунта.

5. Установлены виды разрушения грунта в зависимости от глубины залегания каменистого включения относительно режущей кромки рабочего органа. Впервые вводится и применяется в расчетах параметр – длина резания, позволяющий определить локальную энергоемкость разрушения грунта, содержащего каменистое включение рабочим органом землеройной машины.

6. Разработаны математические регрессионные модели локальной энергоемкости разрушения, прогнозирующие удельные энергетические затраты на разрушение грунтов, содержащих различные каменистые включения.

7. Разработана методика оценки усталостной долговечности, позволяющая прогнозировать сопротивление усталости локальных участков металлоконструкции рабочего органа экскаватора с применением реальной истории нагружения, появляющейся при разработке грунта с каменистыми включениями.

8. Разработана методика расчета технической производительности, одноковшового экскаватора основанная на продолжительности копания, зависящей от локальной энергии разрушения грунтов, содержащих различные каменистые включения.

9. Изготовлены опытные образцы ковшей с адаптируемыми и со специальными зубьями экскаватора, которые прошли испытания в полевых условиях и показали свои эффективность при разработке грунтов с каменистыми включениями.

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ

1. Пат. 900 С1 Кыргызская Республика, E02F 9/28 (2006.1). Ковш экскаватора [Текст] / Тургунбаев М.С., Шамуратов К.Т.; - № 20050091.1; заявл. 22.08.2005; опубл. 31.10.2006, Бюл. № 10. - 6 с.: ил.

2. **Тургунбаев, М.С.** Грунтовые условия эксплуатации землеройной техники на территории Кыргызской Республики [Текст]: монография / Ж.Ж. Тургумбаев, М.С. Тургунбаев. - Бишкек: Бишкектранзит, 2008. - 80 с.

3. **Тургунбаев, М.С.** Исследование крупнообломочных включений грунтов [Текст] / М.С.Тургунбаев // Известия КГТУ им. Раззакова. - Бишкек, 2009, №16. - С. 122-126.

4. **Тургунбаев, М.С.** Пылеватые и глинистые грунты с крупнообломочными включениями [Текст] / Ж.Ж. Тургумбаев, М.С. Тургунбаев // Известия КГТУ им. Раззакова. - Бишкек, 2009, №16. - С. 151-154.

5. Пат. 1133 С1 Кыргызская Республика, E02F 9/28 (2006.1). Ковш экскаватора [Текст] / Тургунбаев М.С., Шамуратов К.Т.; - № 20070139.1; заявл. 05.11.2007; опубл. 31.01.2009, Бюл. № 1. - 5 с.: ил.

6. **Тургунбаев, М.С.** Грунты, содержащие крупные обломки [Текст] / М.С. Тургунбаев. // МНПК «Наука и ее роль в современном мире». Том 4. Карагандинский университет «Болашак». - Караганды: Болашак-Баспа, 2010. - С. 17-21.

7. Пат. 113 Кыргызская Республика, G01N 3/00 (2010.01), G01N 3/58 (2010.01), G01M 7/00 (2010.01). Стенд для исследования процесса резания грунта [Текст] / Тургунбаев М.С., Шамуратов К.Т.; - № 20100014.2; заявл. 27.04.2009; опубл. 30.09.2010, Бюл. № 9. - 4 с.: ил.

8. **Тургунбаев, М.С.** Определение закономерностей распределения каменных включений в грунте [Текст] / Ж.Ж. Тургумбаев, М.С. Тургунбаев // Известия КГТУ им. Раззакова. - Бишкек, 2011, №22. - С. 7-10.

9. Пат. 1454 С1 Кыргызская Республика, E02F 9/28 (2011.1). Ковш экскаватора [Текст] / Тургунбаев М.С.; - № 20100108.1; заявл. 14.10.2010; опубл. 31.05.2012, Бюл. № 5. - 5 с.: ил.

10. **Тургунбаев, М.С.** Особенности разрушения пород, содержащих каменные включения / М.С. Тургунбаев // Горное оборудование и электромеханика. - 2014. - №11(108). - С. 34-40. - URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=22537429>.

11. Пат. 1662 С1 Кыргызская Республика, E02F 3/00 (2014.01) E02F 9/00 (2014.01). Ковш экскаватора с адаптируемыми зубьями [Текст] / Тургунбаев М.С., Абдрахманов И.А., Темиралиев А.К.; - № 20140004.1; заявл. 23.01.2014; опубл. 29.08.2014, Бюл. № 8. - 9 с.: ил.

12. Пат. 1679 С1 Кыргызская Республика, E02F 3/00 (2014.01) E02F 9/00 (2014.01). Ковш экскаватора с упругими зубьями [Текст] / Тургунбаев М.С., Мендекеев Р.А., Абдрахманов И.А., Темиралиев А.К.; - № 20140033.1; заявл. 17.03.2014; опубл. 30.09.2014, Бюл. № 9. - 6 с.: ил.

13. **Тургунбаев, М.С.** Снижение энергоемкости процесса разрушения породы с каменным включением упругим режущим органом ковша [Текст] /

М.С. Тургунбаев // Известия КГТУ им. И. Раззакова. – Бишкек, 2014, №32 (часть II). – С. 217-221.

14. **Тургунбаев, М.С.** К определению силы сопротивления разрушению породы, содержащей каменное включение, рабочим органом землеройной машины / Р.А. Мендекеев, М.С. Тургунбаев // Механизация строительства. - 2015. - №8. - С. 24-26; - URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=23925721>

15. Пат. 1456 С1 Кыргызская Республика, G01В 5/02 (2011.01). Прибор для определения содержания камней в грунте [Текст] / Тургунбаев М.С.; - № 20100109.1; заявл. 14.10.2010; опубл. 31.05.2015, Бюл. № 5. – 4 с.: ил.

16. **Тургунбаев, М.С.** Классификационные признаки крупных обломочных включений грунтов [Текст]: / Р.А. Мендекеев, М.С. Тургунбаев // Вестник КГУСТА. – Бишкек, 2016, № 2 (52). С. 100-104.

17. **Тургунбаев, М.С.** Критерии подобия процесса разрушения грунта, содержащего обломочно-каменное включение [Текст] / М.С. Тургунбаев // Известия ВУЗов Кыргызстана. - Бишкек, 2016, №11. С. 48-52. 18.

Тургунбаев, М.С. Методика расчета усталостной долговечности ковша экскаватора в среде Ansys 15.0. / М.С.Тургунбаев // Машиноведение. – 2016. - № 1(3). - С. 72-81. - URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=27175411>.

19. **Тургунбаев, М.С.** Техническая производительность экскаватора при разработке грунтов с обломочными включениями [Текст] / М.С. Тургунбаев // Известия ВУЗов Кыргызстана. – Бишкек, 2016, №11. С. 53-55.

20. **Тургунбаев, М.С.** К вопросу особенности разрушения грунта, содержащего обломочно-каменные включения рабочим органом землеройной машины [Текст] / М.С. Тургунбаев // Науковедение: научный электронный журнал. – 2017. - том 9, №3. - URL: <http://naukovedenie.ru/PDF/98TVN317.pdf>.

21. **Тургунбаев, М.С.** Энергоемкость разрушения однородного грунта рабочим органом землеройной машины [Текст] / Р.А. Мендекеев., М.С. Тургунбаев // Механизация строительства. – 2017. - №1. - С. 45-48; - URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=27648489>.

22. **Тургунбаев, М.С.** К вопросу закона распределения минеральных частиц грунта [Текст] / М.С.Тургунбаев // Высокие технологии в строительном комплексе. – 2020. - №1. - С.134-141. - URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=42992561>.

23. **Тургунбаев, М.С.** Оценка сопротивления усталости локальных участков конструкции ковша экскаватора ЭО-2621 с использованием конечно-элементного анализа [Текст] / М.С.Тургунбаев // Высокие технологии в строительном комплексе. - 2020, №1. - С.141-151. - URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=42992562>.

24. **Turgunbayev M.S.** Predicting the resistance force of homogeneous ground to cutting / J.J. Turgumbayev, M.S. Turgunbayev // News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of geology and technical sciences. – 2021. - Volume 4, Number 448. С. 91-98. <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?origin=resultslist&authorId=57431490600&zone=>. <https://doi.org/10.32014/2021.2518-170X.86>.

25. **Turgunbayev M.S.** Prediction of the cutting resistance force of the soil

containing stony fractions [Электронный ресурс] / J.J. Turgumbayev, M.S. Turgunbayev // News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of geology and technical sciences. 2021, Volume 5, Number 449. <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?origin=resultslist&authorId=57431490600&zone=>. <https://doi.org/10.32014/2021.2518-170X.110>.

26. **Тургунбаев, М.С.** Модель прогнозирования силу сопротивления резанию грунта, содержащего различные каменные включения [Текст] / Ж.Ж. Тургунбаев, М.С. Тургунбаев // Высокие технологии в строительном комплексе. – 2021. - №2. – С. 130-138. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=47403693>.

27. **Тургунбаев, М.С.** Геометрические параметры прорези разрушенного грунта с каменным включением по результатам резания грунта узким режущим элементом землеройной машины [Текст] / Ж.Ж. Тургунбаев, М.С. Тургунбаев // Вестник КГУСТА. – 2022. - №3 (77). - С. 1233-1242. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=49803705>.

28. **Тургунбаев, М.С.** Влияние эксцентричного расположения центра тяжести каменного включения на объем разрушенного грунта [Текст] / М.С. Тургунбаев, З.Б. Тургунбаева, М.Н. Осмонов // Известия ВУЗов Кыргызстана. - Бишкек, 2022. №5. – С.32-36. -

29. Пат. 342 Кыргызская Республика, E02F 3/40 (2022.01) E02F 9/28 (2022.01). Экскаваторный ковш [Текст] / Тургунбаев Ж.Ж., Тургунбаев М.С. Мелисбеков Т.М.; - № 20220010.2; заявл. 24.12.2021; опубл. 30.08.2022, Бюл. № 8. – 5 с.: ил.

30. **Тургунбаев, М.С.** Длина резания дисперсного грунта с каменным включением режущим инструментом землеройной машины [Текст] / М.С. Тургунбаев // Наука, новые технологии и инновации Кыргызстана. - Бишкек, 2023, №4. С. 17-23.

31. **Тургунбаев, М.С.** Моделирование структуры дисперсного грунта с каменным включением [Текст] / М.С. Тургунбаев / Наука, новые технологии и инновации Кыргызстана. - Бишкек, №4, 2023. С. 23-29.

32. **Тургунбаев, М.С.** Структурный эффект дисперсного грунта с каменными включениями [Текст] / М.С. Тургунбаев / Наука, новые технологии и инновации Кыргызстана. - Бишкек, 2023, №5. С. 32-37.

33. **Тургунбаев, М.С.** Статистический анализ результатов резания дисперсного грунта с каменным включением режущим инструментом землеройной машины [Текст] / М.С. Тургунбаев // Наука, новые технологии и инновации Кыргызстана. – Бишкек, 2023, №5. С.27-32.

34. **Тургунбаев, М.С.** Математические регрессионные модели составляющих локальной энергоёмкости разрушения суглинка, содержащего каменное включение. [Текст] / М.С. Тургунбаев. // Наука, новые технологии и инновации Кыргызстана. – Бишкек, 2023, №9.

Тургунбаев Мелисбек Сыргабаевичтин 05.05.04 – жол, курулуш жана көтөрүп-ташуучу машиналар адистиги боюнча техникалык илимдердин доктору окумуштуулук даражасын изденип алуу үчүн «Таштарды камтыган топурактарды жер казуучу машиналардын жумушчу органдары менен кесүү теориясынын илимий негиздери» темасына жазылган диссертациясынын
КЫСКАЧА МАЗМУНУ

Негизги сөздөр: байланышкан дисперстүү топурак, таштак кошулма, кесүү теориясы, жер казуучу машина, жумушчу орган, топурактын кесүүгө каршылык күчү, талкалоонун энергия сыйымдуулугу, иштетүүнүн натыйжалуулугу.

Изилдөө объектиси: жер казуучу машинанын жумушчу органы тарабынан байланышы бар дисперстүү топурактын талкаланышы.

Иштин максаты: таштарды камтыган топурактардын талкалануу процессинин теориялык жана эксперименталдык анализи, жер казуучу машиналардын жумушчу органдары тарабынан таштарды камтыган топурактардын талкалануу мыйзам ченемдүүлүктөрүн аныктоо жана аларды кесүү теориясын өнүктүрүү.

Изилдөө методдору жана аппаратура: системалуу мамиле, системалык анализ, математикалык статистика жана ыктымалдуулук теориясынын ыкмалары, математикалык моделдөө, системалаштыруу, классификация, бир жана көп факторлуу эксперименттер колдонулган. Эксперименталдык изилдөөлөр заманбап ченөөчү аппараттардын жана приборлордун комплексин колдонуу менен жүргүзүлдү.

Алынган натыйжалар жана алардын жаңылыгы: Таштак кошулманын бети элементардык шар тилкелерине бөлүнүшү, аларга топурактын каршылык көрсөтүүсү, алардын вектордук суммасы топуракты кесүү каршылыгынын жалпы күчүн табуусу менен айырмаланган формула сунушталды. Биринчи жолу киргизилген жана колдонулган параметр – топурактын кесилишинин узундугунун негизинде аныкталган математикалык регрессиялык моделдер сунушталган, алар таштак кошулмаларды камтыган топурактын талкалануусунун локалдык энергия сыйымдуулугун болжолдоосу менен айырмаланат. Ыңгайлуу жана атайын тиштери бар чөмүчтүн конструкциялары иштелип чыккан, алар топурак талкаланганда таштак кошулма жер бетине интенсивдүү түрдө чыгарышылы, топурактын массасына ныгырылганда таштын үстүн айланып өтүшү менен айырмаланат.

Пайдалануу даражасы: иштин жыйынтыгы КР ТжК министрлигине караштуу "Автожол" МИ Таластагы филиалы, №47 ЖЭИ, Талас шаарынын коммуналдык кызматтарды көрсөтүү боюнча МИ тарабынан кабыл алынды. Изилдөөнүн жыйынтыктары И. Раззаков ат. КМТУнун окуу процессинде «Жер үстүндөгү транспорттук-технологиялык машиналар жана комплекстер» багыты боюнча адистерди даярдоодо колдонулуп жатат.

Колдонуу чөйрөсү. Таштак топурактарды казуу, таштак топурактарды иштетүүдө техникалык чечимдердин жана технологиялардын өнүгүшүн комплекстүү баалоо, бир тектүү жана таштак топурактарды казуучу машиналар менен иштетүүнү автоматташтыруу.

РЕЗЮМЕ

диссертации Тургунбаева Мелисбека Сыргабаевича на тему: «Научные основы теории резания грунтов с каменистыми включениями рабочими органами землеройных машин» на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.05.04 – дорожные, строительные и подъемно-транспортные машины

Ключевые слова: связной дисперсный грунт, каменистое включение, теория резания, землеройная машина, рабочий орган, сила сопротивления грунта резанию, энергоемкость разрушения, эффективность разработки.

Объект исследования: разрушение связного дисперсного грунта рабочим органом землеройной машины.

Цель работы: теоретический и экспериментальный анализ процесса разрушения грунтов с каменистыми включениями, установление закономерностей и развитие теории резания грунтов с каменистыми включениями рабочими органами землеройных машин.

Методы исследования и аппаратура: Использованы методы системного подхода, системного анализа, математической статистики и теории вероятностей, математического моделирования, систематизация, классификация, одно и многофакторный эксперименты. Экспериментальные исследования проводились с использованием комплекса современных измерительных аппаратур и приборов.

Полученные результаты и их новизна: Предложена формула, отличающаяся тем, что поверхность каменистого включения разбивается на элементарные шаровые пояса, на которые действуют отпор грунта, векторная сумма которых, формирует общую силу сопротивления грунта резанию. Предложены математические регрессионные модели, отличающиеся тем, что прогнозируют локальную энергоемкость разрушения грунтов с каменистыми включениями, на основе впервые введенного и используемого параметра – длины резания грунта. Разработаны конструкции ковшей с адаптируемыми и специальными зубьями, отличающиеся тем, что при разрушении грунта, каменистое включение интенсивно выводится на дневную поверхность и поверхность камня обходится при вдавливании его в массив грунта, приводящие к снижению локальной энергоемкости разрушения грунтов.

Степень использования: результаты работы приняты к внедрению Таласским филиалом ГП «Автожол» и дорожно-эксплуатационным предприятием №47 при Министерстве транспорта и коммуникаций КР, муниципальным предприятием по оказанию коммунальных услуг г. Талас. Результаты исследований используются в учебном процесс КГТУ им. И. Раззакова при подготовке специалистов по направлению «Наземные транспортно-технологические машины и комплексы».

Область применения. Разработка грунтов с каменистыми включениями, комплексная оценка совершенства технических решений и технологии, автоматизация разработки грунтов с каменистыми включениями землеройными машинами.

SUMMARY

of Turgunbaev Melisbek Syrgabaevich dissertation on the topic: «Scientific foundations of the theory of cutting soils with stony inclusions by working bodies of earthmoving machines» for the degree of Doctor of Technical Sciences in the specialty 05.05.04 – road, construction and lifting and transport machines

Keywords: cohesive dispersed soil, rocky inclusion, cutting theory, earthmoving machine, working body, strength of soil resistance to cutting, energy intensity of destruction, development efficiency.

The object of the study: the destruction of a cohesive dispersed soil by the working body of an earthmoving machine.

The purpose of the work: theoretical and experimental analysis of the process of destruction of soils with rocky inclusions, the establishment of patterns and the development of the theory of cutting soils with rocky inclusions by the working bodies of earthmoving machines.

Research methods and equipment: Methods of a systematic approach, system analysis, mathematical statistics and probability theory, mathematical modeling, systematization, classification, single and multifactorial experiments were used. Experimental studies were carried out using a complex of modern measuring instruments and instruments.

The results obtained and their novelty: A formula has been proposed, characterized in that the surface of a rocky inclusion is divided into elementary spherical belts, which are subject to soil resistance, the vector sum of which forms the total force of soil cutting resistance. Mathematical regression models are proposed, which differ in that they predict the local energy intensity of destruction of soils with rocky inclusions, based on the first introduced and used parameter - the length of soil cutting. Designs of buckets with adaptable and special teeth have been developed, characterized in that when the soil is destroyed, the rocky inclusion is intensively brought to the surface and the surface of the stone is bypassed when it is pressed into the soil mass, leading to a decrease in the local energy intensity of soil destruction.

Degree of use: the results of the work were accepted for implementation by the Talas branch of the State Enterprise «АВТОЖОЛ» under the Ministry of Transport and Communications of the Kyrgyz Republic, road maintenance enterprise 47, municipal utility company Talas. The research results are used in the educational process of I. Razzakov KSTU in the training of specialists in the field of «Ground transport and technological machines and complexes».

The scope of application: Development of soils with rocky inclusions, comprehensive assessment of the perfection of technical solutions and technology, automation of the development of soils with rocky inclusions by earthmoving machines.

ПЕРЕЧЕНЬ СОКРАЩЕНИЙ И ОБОЗНАЧЕНИЙ

В настоящей диссертации приняты следующие сокращения и обозначения:

- КР – Кыргызская Республика;
- Грунт – связный дисперсный грунт;
- КВ – каменистое включение;
- РИ – режущий инструмент;
- РО – рабочий орган;
- ЗМ – землеройная машина;
- ЛЭР - локальная энергоемкость разрушения;
- УД - усталостная долговечность;
- МК – металлоконструкция;
- ЗР – закон распределения;
- ГП – государственное предприятие;
- МП - муниципальное предприятие;
- МТ и К - министерство транспорта и коммуникаций;
- ДЭП – дорожно-эксплуатационное предприятие;
- МНПК - международная научно-практическая конференция;
- ФЕЕ – фундаментальное уравнение землеройной работы;
- НДС – напряженно-деформированное состояние;
- ПНС – предельное напряженное состояние;
- ПРС – предельное равновесное состояние;
- ЦТ – центр тяжести;
- ПФЭ – полно факторный эксперимент;
- МРМ - математические регрессионные модели.