

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
КЫРГЫЗСКОЙ РЕСПУБЛИКИ**

**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 625.08+621.87(043.3)

ТУРГУМБАЕВ САНЖАРБЕК ДЖЕНИШБЕКОВИЧ

**ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ РАБОЧИХ
ОРГАНОВ ЗЕМЛЕРОЙНЫХ МАШИН С ГРУНТОМ В ПОДВОДНЫХ
УСЛОВИЯХ**

05.05.04 - дорожные, строительные и подъемно-транспортные машины

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

БИШКЕК – 2023

Диссертационная работа выполнена на кафедре эксплуатации транспортных и технологических машин Кыргызского государственного технического университета им. И. Раззакова.

Научный руководитель: **Раджапова Нааркуль Абдрахмановна**
кандидат технических наук, доцент,
доцент кафедры эксплуатации транспортных и
технологических машин Кыргызского
государственного технического университета
им. И. Раззакова

Официальные оппоненты: **Мырзашев Сагатбек**
доктор технических наук, профессор,
профессор Таразского регионального
университета им. М.Х. Дулати
Республики Казахстан
Мауленов Жумадил Карбышевич
доктор технических наук, профессор,
профессор кафедры транспортной техники и
организации перевозок Казахского автомобильно-
дорожного института им. Л.Б. Гончарова
Республики Казахстан

Ведущая организация: **Институт машиноведения Национальной
академии наук Кыргызской Республики**
Адрес: 720055, Кыргызская Республика,
г. Бишкек, ул. Скрыбина, 23.

Защита диссертации состоится 30 июня 2023 г. в 16:00 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, ауд. 1/101, www.kstu.kg, тел: 0(312) 543561, факс: 0(312) 545162. Идентификационный код онлайн трансляции 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 www.kstu.kg.

Автореферат разослан «_____» _____ 2023 г.

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



Маданбеков Н.Ж.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы диссертации. В Кыргызстане построено большое количество водохранилищ, в том числе водохранилище Токтогульской ГЭС, и плотин для выработки электрической энергии, накопления влаги и полива сельскохозяйственных угодий. В республике имеются также десятки естественных водоемов. Наличие таких водоемов и их содержание требует создания эффективных рабочих органов землеройных машин (РОЗМ) для работы в подводных условиях с точки зрения защиты окружающей среды в очистке дна водоемов.

В последние годы в Центральной Азии и в других регионах постсоветского пространства широкое распространение получает при строительстве подземных сооружений прогрессивный способ "стена в грунте", сущность которого заключается в разработке глубоких траншей под слоем глинистого раствора. Практическая глубина разработки грунтов в настоящее время составляет 10-50 м, наблюдается тенденция к ее увеличению до 80...100 м и более.

Наиболее сложным и трудоемким процессом в технологической цепи строительства указанных сооружений является копание грунта под гидростатическим давлением. Копание грунтов посредством пассивных рабочих органов (РО) требует огромного тягового усилия, вызывающего использование тяжелых базовых машин. Процесс копания грунта роторно-дисковыми рабочими органами (РДРО) экскаваторов характеризуется механическим снятием стружки грунта путем вращения ротора и одновременным продольным перемещением базовой землеройной техники. Основным преимуществом таких рабочих органов, наряду с обеспечением высокой производительности, является обеспечение низкого тягового усилия базовых машин за счет передачи энергии РО, минуя движитель. Такое преимущество особенно актуально для работы землеройных машин (ЗМ) при наличии водной среды вследствие существенного снижения тягово-сцепных свойств ходового оборудования. По данной проблеме занимались такие ученые как И.А. Недорезов (1987-2010 гг.), Р.А. Кабашев (1997-2016 гг.), Ж.Ж. Тургумбаев (1984-2017 гг.), В.Г. Моисеенко (1987-1992 гг.), А.С. Кадыров (2008-2012 гг.), А.А. Шаталов (1980-1985 гг.), Рабат О.Ж. (2008-2012 гг.), Y. Natamura (1977-1982 гг.), D. Howard (1966-1972 гг.), S.A. Miedema (1985-1994 гг.) и др.

Вместе с тем, процесс взаимодействия роторно-дискового рабочего органа (РДРО) экскаваторов с грунтом при наличии водной среды изучен недостаточно. Гидростатическое давление жидкой среды увеличивает энергоемкость копания грунтов, и с ростом глубины разработки грунта вредное влияние его на процесс копания возрастает. В связи с этим разработка предложений по созданию эффективных РДРО ЗМ, работающих под слоем жидкой среды, является актуальной задачей.

Связь темы диссертации с крупными научными программами (проектами) и основными научно-исследовательскими работами. Работа выполнялась по государственным научно-исследовательским планам Кыргызской Республики «Определение параметров рабочих органов средств механизации для очистки дна водохранилища Токтогульской ГЭС», государственная регистрация №0007638.

Цель и задачи исследования. Цель работы – снижение сопротивления копанию грунтов рабочими органами землеройных машин, работающих в подводных условиях за счет совершенствования рабочего процесса.

Задачи исследования:

- выполнить аналитический обзор теоретических и экспериментальных исследований процессов копания подводной среды «грунт-жидкость» применительно к строительству и эксплуатации инженерных сооружений (плотины, дамбы, причалы портов, очистка и углубление водоемов, и другие подводные инженерные сооружения);

- разработать математическую модель процесса копания грунта РДРО ЗМ и определить силу копания с учетом геометрических параметров рабочего органа (РО), физико-механических характеристик грунта подводной среды, параметров резания грунта и гидростатического давления водной среды;

- экспериментально исследовать влияние параметров резания, геометрических параметров РО, физико-механических свойств грунта и гидростатического давления водной среды на усилия, возникающие на рабочих органах при копании связных грунтов. Определить при копании грунтов под гидростатическим давлением степень изменения усилия копания грунта модернизированным ножом ЗМ в сравнении с традиционным РО;

- получить регрессионную зависимость коэффициента влияния гидростатического давления от соотношения сторон штампа и гидростатического давления;

- разработать методику расчета усилий копания грунта режущими ножами РДРО ЗМ под гидростатическим давлением и рекомендацию по проектированию рабочих органов, снижающих энергоемкость копания.

Научная новизна работы:

- получены математические модели процесса копания грунта для определения силы копания, вращающего момента и мощности копания грунта режущими ножами РДРО ЗМ с учетом свойств разрабатываемого грунта и гидростатического давления жидкой среды;

- получены зависимости определения кинематических параметров РДРО, установленных на стенде физического моделирования, и учитывающие соотношения диаметров ротора и тягового барабана;

- получена регрессионная модель изменения коэффициента влияния гидростатического давления на процесс разрушения грунта от факторов соотношения сторон штампа и гидростатического давления.

Практическая значимость полученных результатов. Определены закономерности процесса взаимодействия рабочих органов землеройных машин с грунтом под гидростатическим давлением жидкой среды.

Установлены влияния гидростатического давления жидкой среды на сопротивление копанью грунтов РДРО ЗМ.

Создан стенд для проведения экспериментальных исследований копания грунтов РДРО под гидростатическим давлением без применения специального двигателя внутри герметичного корпуса (пат. КР №153).

Разработаны рекомендации по снижению энергоемкости копания грунта путем проникания жидкой среды в рабочую поверхность ножей при производстве работ способом «стена в грунте».

Экономическая значимость полученных результатов.

Реализация модернизированного рабочего органа землеройных машин для подводных работ позволит снизить энергоемкость процесса копания грунтов под гидростатическим давлением. Ожидаемый экономический эффект от использования предложенной рекомендации составляет 110 тыс. сомов на одну машину в год.

Основные положения диссертации, выносимые на защиту:

- результаты теоретического анализа процессов взаимодействия РДРО с грунтом под гидростатическим давлением;
- конструкции стендов для исследования процессов взаимодействия РДРО с грунтом под гидростатическим давлением;
- результаты экспериментальных исследований процессов копания грунтов РДРО под гидростатическим давлением;
- рекомендации по проектированию РДРО и методика расчета усилий копания и мощности копания грунта в подводных условиях.

Личный вклад соискателя. Личный вклад соискателя заключается в разработке и теоретико-экспериментальном обосновании параметров взаимодействия рабочих органов землеройных машин с грунтом в подводных условиях для достижения поставленной цели. Изложенные в работе результаты и выводы получены автором самостоятельно.

Апробация результатов диссертации. Основные положения и результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на научно-исследовательских конференциях КГУСТА (2000-2004, 2009), КГТУ (2004-2017), ОшТУ (2001-2003); на международной научно-технической конференции «Совершенствование конструкций и системы эксплуатации транспортной техники» КазАТК, (Алматы, 2009); на 52-й научно-технической конференции молодых ученых и студентов «Студенческая наука: взгляд молодых», КГТУ (2010); международной научно-технической конференции «Строительная наука и образование: интеграция вузовской науки в устойчивое инновационное развитие страны» (Бишкек, КГУСТА, 2022 г.).

Полнота отражения результатов диссертации в публикациях. По результатам диссертационной работы опубликовано 18 научных публикаций, в том числе 6 из списка НАК КР, 2 РИНЦ РФ, патент на изобретение и патент на полезную модель Кыргызской Республики.

Структура и содержание работы. Диссертация состоит из введения, 5 глав, заключения, списка литературы из 120 наименований и приложений. Диссертация изложена на 160 страницах и включает 51 рисунок и 5 таблиц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении раскрывается актуальность темы, направления исследований, а также сформулированы цели и задачи, научная новизна и оценка практической значимости полученных результатов.

В первой главе «Обзор и анализ исследований и конструкций рабочих органов землеройных машин, работающих в подводных условиях» дан обзор и анализ конструкций и исследований РО ЗМ, работающих в подводной среде.

На практике подводное взаимодействие РДРО ЗМ с грунтом имеет место при сооружении морских портов, прокладывании на дне морей и океанов трубопроводов и линий связи, очистке и планировке дна водохранилищ, плотин, а также при строительстве подземных сооружений способом “стена в грунте”. Глубина погружения рабочих органов в водную среду соизмерима с глубиной разработки траншей при строительстве способом “стена в грунте” (до 100 м и более) и процесс копания грунтов происходит под воздействием гидростатического давления.

Наиболее значимыми результатами представлены в работах И.А. Недорезова, Ж.Ж. Тургумбаева, В.Г. Моисеенко, А.С. Кадырова, А.А. Шаталова, В.А. Лобанова, А.Т. Карошкина, А.И. Коптелова, Ж. Жумаева, О.Ж. Рабат и др. За рубежом в этой области работают Y. Hatamura, D. Howard, T. Muro, S.A. Miedema, R. Beindorff и др.

Наличие жидкой среды (воды или глинистого раствора), обладающей вязкостью, вызывает увеличение энергоемкости процесса копания грунтов и сопротивления движению РО ЗМ. Сопротивление среды грунт-жидкость, кроме того, увеличивает потери грунта, накопленного рабочими органами, вследствие чего снижается производительность ЗМ.

Исследователи отмечают в своих работах влияние водной среды на процесс копания грунтов по-разному, что характеризует отсутствие единого понимания этого явления.

Несмотря на то, что РДРО являются наиболее распространенными, еще недостаточно изучены процессы копания грунтов этими типами режущих элементов под гидростатическим давлением. Отсутствует методика расчета параметров ротационных рабочих органов, работающих на больших глубинах погружения, учитывающая влияние гидростатического давления. Данное обстоятельство обуславливает необходимость проведения широких теоретических и экспериментальных исследований процессов копания грунтов РДРО под гидростатическим давлением водной среды.

Во второй главе «Теоретические исследования процесса копания грунтов под гидростатическим давлением» приведены теоретические

исследования процесса копания грунта РДРО экскаваторов под гидростатическим давлением водной среды.

Объект исследования: процесс копания грунтов роторно-дисковыми рабочими органами землеройных машин в подводных условиях.

Предмет исследования: зависимости параметров рабочих органов землеройных машин и сопротивления копанию грунтов при воздействии гидростатического давления жидкой среды.

Процессы подводного взаимодействия РО ЗМ с грунтом чрезвычайно сложны, они приводят к деформациям всех видов и трению грунта о рабочую поверхность рабочего органа и о грунт. В РДРО ЗМ из-за одновременного совершения двух операций: вращения ротора вокруг собственной оси и поступательного перемещения ЗМ совместно с РО – возникает постоянное вдавливание кромок режущего ножа в грунтовый массив, что вызывает трение между площадкой затупления режущего ножа и грунтом. Данное обстоятельство, связанное с вдавливанием со стороны затупленных кромок рабочего органа в массив грунта, требует учета упругой деформации грунтов при копании РДРО.

На рисунке 1 представлена схема взаимодействия с грунтом РДРО. Копание грунтов происходит на стенде физического моделирования под гидростатическим давлением водной среды. РДРО расположен внутри герметичной камеры, где вращение режущих ножей дискового ротора вокруг точки O_1 происходит одновременно с началом поступательного движения рабочего органа в целом вместе с точкой вращения O_1 . Вращение режущих ножей происходит за счет натяжения каната, который одним концом закреплен в намотанном виде на барабан, а другим концом - стенке герметичной камеры стенда.

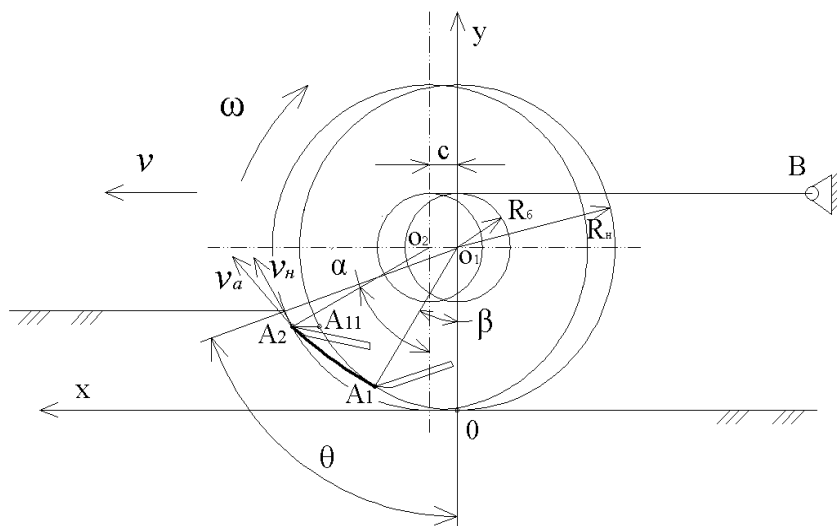


Рисунок 1 - Расчетная схема РДРО для определения кинематических параметров

Пусть в начальном положении кромка ножа находится в точке A_1 , и имеет угол поворота от начала координат (точки O_1), равным β . При

поступательном движении землеройной машины совместно с рабочим оборудованием со скоростью v за некоторое время t перемещается на расстояние $s = vt$, ось ротора-диска занимает точку θ_2 .

Для рабочих органов ротационного типа расчет кинематических параметров удобно выразить математические уравнения с использованием кинематического коэффициента λ , равного

$$\lambda = \frac{v_n}{v}, \quad (1)$$

здесь v_n - окружная скорость конца режущего ножа

$$v_n = R_n \cdot \omega; \quad (2)$$

v – скорость поступательного движения землеройной машины.

Абсолютная скорость конца режущего ножа равна

$$v_{abs} = \sqrt{v^2 + 2v \cdot v_n \cdot \cos \omega t + v_n^2}. \quad (3)$$

Выразив это уравнение через кинематический коэффициент λ , а также с учетом $\alpha = \omega t$, имеем

$$v_{abs} = v \cdot \sqrt{\lambda^2 + 2\lambda \cdot \cos \alpha + 1}. \quad (4)$$

Окружная скорость барабана, приводящего в действие режущих ножей, равна

$$v_{\bar{o}} = v = \omega \cdot R_{\bar{o}}. \quad (5)$$

Тогда с учетом (1) можем написать:

$$\lambda = \frac{v_n}{v} = \frac{\omega \cdot R_n}{\omega \cdot R_{\bar{o}}} = \frac{R_n}{R_{\bar{o}}}. \quad (6)$$

Подставив последнюю формулу в уравнение (4) окончательно получим зависимость определения основного кинематического параметра – абсолютной скорости конца режущего ножа роторно-дискового рабочего органа через радиус барабана

$$v_{abs} = v \cdot \sqrt{\left(\frac{R_n}{R_{\bar{o}}}\right)^2 + 2\frac{R_n}{R_{\bar{o}}} \cdot \cos \alpha + 1}. \quad (7)$$

Окружная скорость конца режущего ножа имеет зависимость от радиуса барабана в следующем виде:

$$v_n = \lambda \cdot v = \frac{R_n}{R_{\bar{o}}} \cdot v. \quad (8)$$

Полученная математическая зависимость (7) показывает, что абсолютная скорость конца режущего ножа РДРО является функцией от угла поворота режущего ножа и от радиуса барабана, на котором намотан приводной канат.

При подводном резании грунта следует различать два условия резания: а) резание грунтов под водой, когда глубина погружения РО в водную среду (гидростатическое давление воды) незначительна; б) резание грунтов под

водой, когда глубина погружения РО в водную среду (гидростатическое давление воды) значительна. Эта разница условий резания грунтов определяется термином «критическое значение гидростатического давления». С увеличением глубины погружения РО в водную среду условия процесса резания меняются.

Максимальная величина сопротивления копанию соответствует моменту развития пластической деформации, которая протекает от нижней кромки ножа до дневной поверхности грунта под углом ψ к горизонту. Упругая деформация массива грунта в этом случае достигает такого состояния, при котором вдоль плоскости развития пластических деформаций перед ножом возникает сила для вдавливания грунта в массив кромкой затупления ножа.

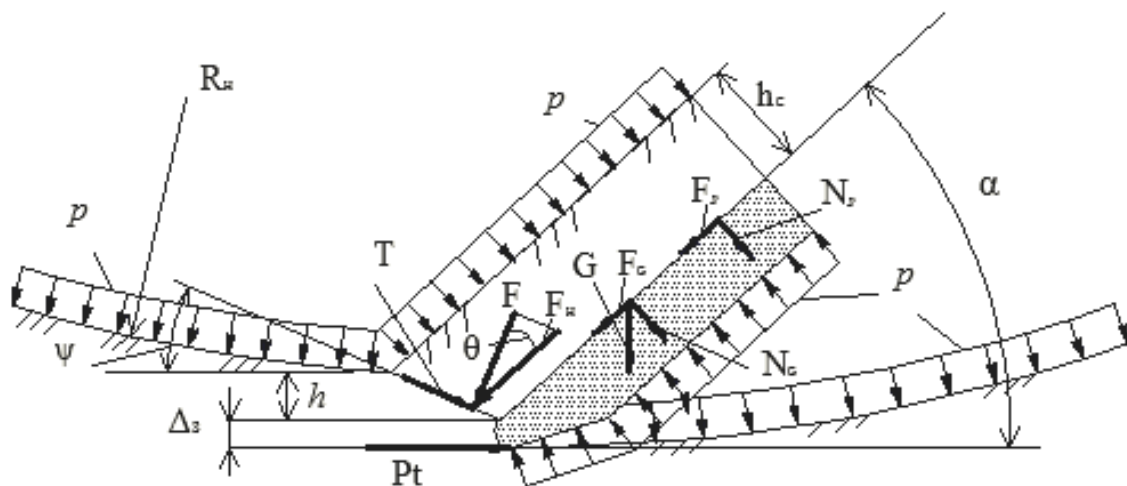


Рисунок 2 - Расчетная схема копания грунта ножом РДРО под водой при гидростатическом давлении больше критического

В соответствии с рисунком 2 на поверхность ножа действует сила тяжести грунтовой стружки G , величина которой определяется выражением

$$G = L \cdot b \cdot h_c \cdot \gamma, \quad (9)$$

где L – длина рабочей поверхности ножа; b – ширина ножа; h_c – толщина стружки; γ – плотность грунта.

Нормальная сила, действующая на рабочую поверхность ножа от силы тяжести грунтовой стружки, равна

$$N_G = L \cdot b \cdot h_c \cdot \gamma \cdot \cos \alpha . \quad (10)$$

Сила трения от этой силы, действующей по рабочей поверхности ножа равно

$$F_G = L \cdot b \cdot h_c \cdot \gamma \cdot \cos \alpha \cdot \operatorname{tg} \delta , \quad (11)$$

где α – угол резания грунта; δ – угол внешнего трения грунта.

На грунтовую поверхность действует гидростатическое давление p , которое прижимает грунтовую стружку к рабочей поверхности ножа.

Нормальная сила, действующая на рабочую поверхность ножа, равна:

$$N_p = L \cdot b \cdot p \cdot K_s , \quad (12)$$

где K_s – коэффициент смачивания рабочей поверхности ножа водой, равный

$$K_s = S_e / S_{об} , \quad (13)$$

где S_e – площадь рабочей поверхности ножа проникнутой водной средой в контактную поверхность между грунтовой средой и рабочей поверхности ножа; $S_{об}$ – общая площадь рабочей поверхности ножа.

Тогда сопротивление перемещению грунтового пласта по рабочей грани ножа, определяемое трением грунтовой стружки о поверхность ножа, определяется как

$$F_p = L \cdot b \cdot p \cdot K_s \cdot \operatorname{tg} \delta , \quad (14)$$

где δ – угол внешнего трения грунта.

Суммарная сила трения, обусловленная действием силы тяжести грунтовой стружки и гидростатического давления на рабочую поверхность ножа равна:

$$F_H = F_G + F_p = L \cdot b \cdot h_c \cdot \gamma \cdot \cos \alpha \cdot \operatorname{tg} \delta + \\ + L \cdot b \cdot p \cdot K_s \cdot \operatorname{tg} \delta = L \cdot b \cdot \operatorname{tg} \delta (h_c \cdot \gamma \cdot \cos \alpha + p \cdot K_s) . \quad (15)$$

Эта же сила, направленная по нормали к поверхности скольжения грунта, равна (здесь угол θ между силами F_H и F равен $\theta = [(90^\circ - \alpha) - \psi]$)

$$F = F_H \cdot \cos[(90^\circ - \alpha) - \psi] = \\ = L \cdot b \cdot \operatorname{tg} \delta (h_c \cdot \gamma \cdot \cos \alpha + p \cdot K_s) \cdot \cos[(90^\circ - \alpha) - \psi] . \quad (16)$$

Сила, обусловленная сцеплением грунта по поверхности скольжения, равна

$$T_1 = C_o \cdot b \cdot h / \sin \psi , \quad (17)$$

где C_o – удельное сцепление грунта; ψ – угол скольжения грунта.

Сила трения по поверхности скольжения грунта перед режущим ножом, обусловленная силой (8) определяется по формуле (ввиду малости пренебрегаем силой тяжести грунтовой стружки):

$$T_2 = F \cdot \operatorname{tg} \varphi = L \cdot b \cdot \operatorname{tg} \delta \cdot p \cdot K_s \cdot \cos[(90^\circ - \alpha) - \psi] \cdot \operatorname{tg} \varphi , \quad (18)$$

где φ – угол внутреннего трения грунта.

К этому усилию прибавляется сила гидростатического давления, действующая через толщину грунтовой стружки на поверхность скольжения

$$T_3 = b \cdot (h / \sin \psi) \cdot p \cdot \operatorname{tg} \varphi . \quad (19)$$

Тогда сила, возникающая по поверхности скольжения перед режущим ножом с учетом (17, 18 и 19) будет равна:

$$T = T_1 + T_2 + T_3 = C_o \cdot b \cdot (h / \sin \psi) + L \cdot b \cdot \operatorname{tg} \delta \cdot p \cdot K_s \cdot \cos[(90^\circ - \alpha) - \psi] \cdot \operatorname{tg} \varphi +$$

$$+b \cdot (h/\sin \psi) \cdot p \cdot \operatorname{tg} \varphi. \quad (20)$$

В процессе копания грунта ножами РДРО под гидростатическим давлением происходит также сдвиг грунта по боковым поверхностям. Предполагая, что сдвиг грунта происходит по вертикальной поверхности по глубине копания, находим сопротивление грунта сдвигу по боковым поверхностям в тангенциальном направлении:

$$P_{сдв} = 2 \cdot l_{сдв} \cdot h \cdot \tau \cdot \cos \alpha, \quad (21)$$

где $l_{сдв}$ – длина площадки сдвига ($l_{сдв} = 2h$); τ – сопротивление грунта сдвигу.

Применительно к схеме взаимодействия ножа РДРО с грунтом под гидростатическим давлением сопротивление грунта сдвигу по боковым поверхностям равно

$$\tau = p \cdot \operatorname{tg} \varphi + C_0, \quad (22)$$

где C_0 – удельное сцепление грунта.

Тогда зависимость тангенциальной составляющей силы копания грунта, обусловленную влиянием гидростатического давления для одного режущего ножа РДРО представляет в виде

$$P_{сст} = T \cdot \cos \psi + P_{сдв} = \{ C_0 \cdot b \cdot (h/\sin \psi) + L \cdot b \cdot \operatorname{tg} \delta \cdot p \cdot K_s \cdot \cos[(90^\circ - \alpha) - \psi] \cdot \operatorname{tg} \varphi + b \cdot (h/\sin \psi) \cdot p \cdot \operatorname{tg} \varphi \} \cdot \cos \psi + 4 \cdot h^2 \cdot (p \cdot \operatorname{tg} \varphi + C_0) \cdot \cos \alpha. \quad (23)$$

Для режущего ножа с затупленной кромкой тангенциальную составляющую сопротивления грунта копанию можно определить зависимостью:

$$P_{ст} = P_{сж} + P_{тр}, \quad (24)$$

где $P_{сж}$ – усилие, затрачиваемое на сжатие грунта в зоне затупления режущей кромки; $P_{тр}$ – усилие на преодоление трения, возникающего в зоне затупления режущей кромки ножа РДРО.

Сопротивление грунта сжатию $\sigma_{сж}$ зависит от схемы взаимодействия рабочего органа с грунтом

$$\sigma_{сж} = k_n \cdot \sigma_0, \quad (25)$$

где k_n – коэффициент приведения, учитывающий схему взаимодействия рабочего органа с грунтом; n – номер схемы взаимодействия (для РДРО $n = 5$, тогда $k_5 = 2,8$); σ_0 – сопротивление грунта одноосному сжатию.

Предельное значение сопротивления грунта одноосному сжатию можно определить по зависимости:

$$\sigma_0 = 2 \cdot C_0 \cdot \operatorname{tg}(\pi/4 + \varphi/2), \quad (26)$$

где C_0 – удельное сцепление грунта; φ – угол внутреннего трения грунта.

Тогда тангенциальное усилие сжатия в грунт в зоне затупления режущей кромки ножа РДРО (рис. 3) определяется как

$$P_{сж} = \sigma_{сж} \cdot F_{сж} = k_5 \cdot \sigma_0 \cdot F_{сж} = k_5 \cdot 2 \cdot C_0 \cdot \operatorname{tg}(\pi/4 + \varphi/2) \cdot \Delta_{зс} \cdot b, \quad (27)$$

где $\Delta_{зс}$ – величина затупления режущей кромки (в радиальном направлении), где происходит сжатие грунта; b – ширина затупленной режущей кромки, сжимающей грунт.

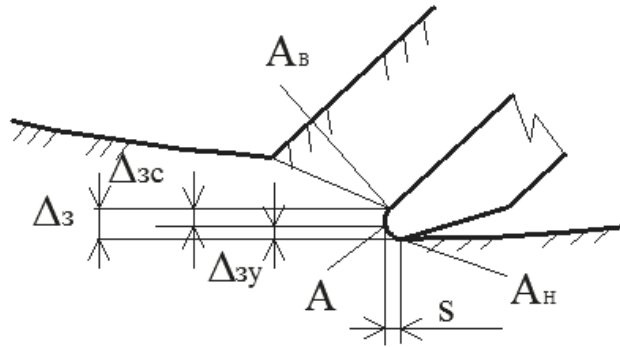


Рисунок 3 - Схема зоны упругих и упруго-пластических деформаций грунта в месте контакта с кромкой затупления ножа

Сопротивление грунта сжатию, где происходит упругая деформация в зоне уплотнения грунта (в радиальном направлении) кромкой затупления ножа, определяется как:

$$\sigma = E \cdot \varepsilon = E \cdot \Delta_{зу} / l, \quad (28)$$

где E – модуль упругости грунта; ε – относительная деформация грунта при сжатии; $\Delta_{зу}$ – величина затупления режущей кромки (в радиальном направлении), где происходит упругая деформация грунта; l – зона действия упругой деформации грунта в радиальном направлении.

Усилие сжатия в грунт в зоне упругой деформации режущей кромки ножа РДРО определяется как

$$N = \sigma \cdot F_{уд} = E \cdot (\Delta_{зу} / l) \cdot (s \cdot b), \quad (29)$$

где $F_{уд}$ – площадка удельной деформации грунта в зоне затупления в проекции, перпендикулярной к радиусу ротора; s – величина деформируемой части грунта в зоне затупления режущей кромки в проекции перпендикулярной к радиусу ротора.

Тангенциальное усилие на преодоление трения, возникающего в зоне затупления режущей кромки ножа РДРО равно:

$$P_{тр} = E \cdot (\Delta_{зу} / l) \cdot (s \cdot b) \cdot \operatorname{tg} \delta, \quad (30)$$

где δ – угол трения грунта о сталь.

Для режущего ножа с затупленной кромкой тангенциальную составляющую силы копания грунта можно определить с учетом (16, 19 и 22):

$$P_{зм} = 2 \cdot k_5 \cdot C_0 \cdot \operatorname{tg}(\pi / 4 + \varphi / 2) \cdot \Delta_{зс} \cdot b + E \cdot (\Delta_{зу} / l) \cdot (s \cdot b) \cdot \operatorname{tg} \delta, \quad (31)$$

где δ – угол трения грунта о сталь.

Суммарную тангенциальную составляющую усилия копания грунта затупленным режущим ножом РДРО с учетом влияния гидростатического давления и упругой деформации грунта для одного режущего ножа можно представить в виде

$$\begin{aligned} P_t = P_{счм} + P_{зм} = \{ C_0 \cdot b \cdot (h / \sin \psi) + L \cdot b \cdot \operatorname{tg} \delta \cdot p \cdot K_s \cdot \cos[(90^\circ - \alpha) - \psi] \} \cdot \operatorname{tg} \varphi + \\ + b \cdot (h / \sin \psi) \cdot p \cdot \operatorname{tg} \varphi \} \cdot \cos \psi + 4 \cdot h^2 \cdot (p \cdot \operatorname{tg} \varphi + C_0) \cdot \cos \alpha + \\ + 2 \cdot k_5 \cdot C_0 \cdot \operatorname{tg}(\pi / 4 + \varphi / 2) \cdot \Delta_{зс} \cdot b + E \cdot (\Delta_{зу} / l) \cdot (s \cdot b) \cdot \operatorname{tg} \delta. \end{aligned} \quad (32)$$

Момент от тангенциальной составляющей силы копания грунта P_t для режущих ножей РДРО относительно его центра вращения определяется как

$$M = P_t \cdot R_n \cdot z = \left\{ \left\{ C_o \cdot b \cdot (h / \sin \psi) + L \cdot b \cdot \operatorname{tg} \delta \cdot p \cdot K_s \cdot \cos[(90^\circ - \alpha) - \psi] \cdot \operatorname{tg} \varphi + \right. \right. \\ \left. \left. + b \cdot (h / \sin \psi) \cdot p \cdot \operatorname{tg} \varphi \right\} \cdot \cos \psi + 4 \cdot h^2 \cdot (p \cdot \operatorname{tg} \varphi + C_o) \cdot \cos \alpha + \right. \\ \left. + 2 \cdot k_s \cdot C_o \cdot \operatorname{tg}(\pi / 4 + \varphi / 2) \cdot \Delta_{zc} \cdot b + E \cdot (\Delta_{zy} / l) \cdot (s \cdot b) \cdot \operatorname{tg} \delta \right\} \cdot R_n \cdot z, \quad (33)$$

где z – количество режущих ножей, одновременно взаимодействующих с грунтом в процесс копания.

Мощность копания грунта режущими ножами роторно-дискового рабочего органа определяем с учетом (33), как

$$N_k = M \cdot \omega = \left\{ \left\{ C_o \cdot b \cdot \left(\frac{h}{\sin \psi} \right) + L \cdot b \cdot \operatorname{tg} \delta \cdot p \cdot K_s \cdot \cos[(90^\circ - \alpha) - \psi] \cdot \operatorname{tg} \varphi + \right. \right. \\ \left. \left. + b \cdot \left(\frac{h}{\sin \psi} \right) \cdot p \cdot \operatorname{tg} \varphi \right\} \cdot \cos \psi + 4 \cdot h^2 \cdot (p \cdot \operatorname{tg} \varphi + C_o) \cdot \cos \alpha + \right. \\ \left. + 2 \cdot k_s \cdot C_o \cdot \operatorname{tg} \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi}{2} \right) \cdot \Delta_{zc} \cdot b + E \cdot \left(\frac{\Delta_{zy}}{l} \right) \cdot (s \cdot b) \cdot \operatorname{tg} \delta \right\} \cdot R_n \cdot z \cdot \omega. \quad (34)$$

В третьей главе «Методика экспериментальных исследований процесса копания грунтов рабочими органами под гидростатическим давлением» отражена методика экспериментальных исследований. Экспериментальные исследования проводились на связном суглинистом грунте, не обладающем фильтрационными свойствами, и на песке, обеспечивающем фильтрацию.

Для этого был создан моделирующий стенд оригинальной конструкции (рис. 4), защищенный патентом (№ 153, КР). Рабочая камера состоит из герметичного корпуса, внутри которого находится исследуемый РО, закрепляемый на продольные направляющие посредством тензозвена.

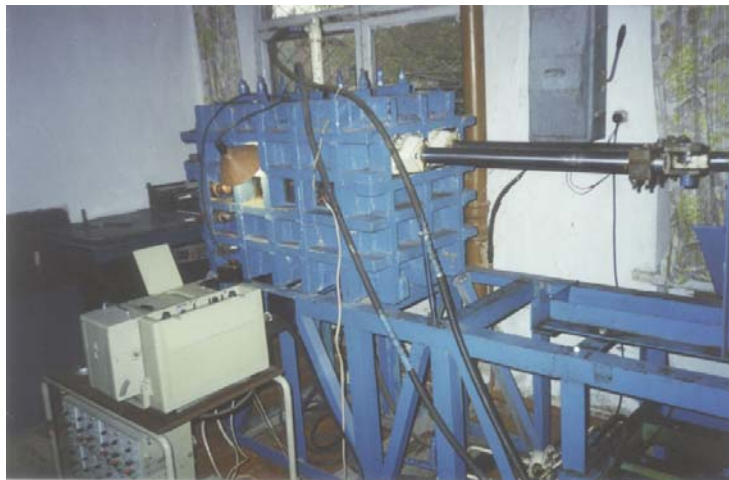


Рисунок 4 - Стенд для исследования процесса взаимодействия РДРО с грунтом под гидростатическим давлением

Продольные направляющие вместе с РО перемещаются с помощью гидроцилиндра. Рабочий орган вращается с помощью гибкого механического канатно-блочного механизма. При поступательном движении механизма в сторону передней стенки рабочей камеры происходит разматывание каната, за счет натяжения которого вращается РДРО, и происходит процесс копания грунтов.

В корпусе имеется боковой иллюминатор для наблюдения, фото- и киносъемки процесса резания грунта, верхние иллюминаторы для установки, регулировки РО и освещения рабочей камеры, а также пробка для слива жидкости из камеры. В камере установлены манометр и датчик давления. В качестве источника давления жидкости в рабочей камере применяется баллон со сжатым воздухом. Для разделения газа от водной среды используются разделительные диафрагмы. Давление в рабочей камере можно определить с помощью манометра и через датчик давления.

Для проведения экспериментальных исследований грунт подготавливается в грунтовом контейнере. Глубина разработки грунта регулировалась высотой слоя грунта в контейнере. Грунт уплотнялся ударной трамбовкой и накатом до требуемой степени плотности, оцениваемой числом ударов динамического плотномера ДорНИИ.

Запись усилий копания грунтов РДРО производилась от датчиков, установленных на кольцевом тензозвене, а запись тяговых усилий копания – от датчиков, установленных на тензостойке. Были изготовлены физические модели рабочих органов в масштабе 1:10 по отношению к натурному образцу. Режущая часть ножей выполнена с затупленной передней кромкой. Для защиты тензодатчиков от водной среды использовались специальные герметики.

Экспериментальные исследования проводились с применением методов многофакторного анализа при различных значениях действующих факторов: прочности грунта; угла резания; скорости копания; глубины копания; гидростатического давления. При этом на первоначальном этапе прочность грунта, угол резания, скорость копания и глубина копания поддерживались на постоянных уровнях. Варьировалось гидростатическое давление в пределах от 0 до 1,0 МПа.

Четвертая глава «Результаты экспериментальных исследований по взаимодействию с грунтом рабочих органов под гидростатическим давлением» посвящена экспериментальным исследованиям процесса копания грунтов РДРО под гидростатическим давлением.

Экспериментальными исследованиями установлено, что с увеличением значения гидростатического давления сопротивление копанию грунта ножами РДРО увеличивается. Так, при прочности грунта $C = 3$ удара ударником ДорНИИ, угле резания $\alpha = 40$ градусов, глубине разработки траншеи $H = 15$ мм и гидростатическом давлении $p = 0,5$ МПа усилие копания на один нож РДРО достигло 134 Н. Для сравнения: усилие копания грунта при этих же условиях, но при отсутствии гидростатического давления (p

= 0) составляло 92 Н (линия 1 рис. 5). А при «сухом» резании (при обычных условиях копания, т.е. при копании грунтов без водной среды) усилие копания составляло 108 Н.

Как видно из этого рисунка, при возрастании гидростатического давления до 1 МПа (глубина погружения в водную среду примерно на 100 м) усилие копания увеличивалось до 150 Н. Это означает, что при указанных условиях копания усилие копания при гидростатическом давлении 1 МПа возросло в 1,6 раза по сравнению с отсутствием гидростатического давления (вблизи поверхности водной среды). Такое увеличение усилия копания связано с увеличением силы трения между движущейся стружкой, отделяемой от массива, и передней гранью ножа РДРО.

Интенсивность роста усилия копания грунтов ножами РДРО от гидростатического давления сохраняется и для грунтов различной несущей способности, оцениваемой числом ударника ДорНИИ (линии 2 и 3 рис. 5). Касательная составляющая усилия копания P_t для грунтов с числом ударника $C = 1$ составляла 35 Н, при гидростатическом давлении 0 МПа (вблизи поверхности водной среды), 78 Н – при гидростатическом давлении 0,5 МПа, а при гидростатическом давлении 1,0 МПа усилие копания возросло до 94 Н (линия 2 рис. 5). При числе ударов $C = 4$ касательная составляющая усилия копания грунта P_t также возросла с ростом гидростатического давления. Как видно на рисунке 3 (линия 3), при гидростатическом давлении 0,25 МПа усилие копания составляло 156 Н, при гидростатическом давлении 0,5 МПа – 178 Н, а при гидростатическом давлении 0,75 МПа – 195 Н.

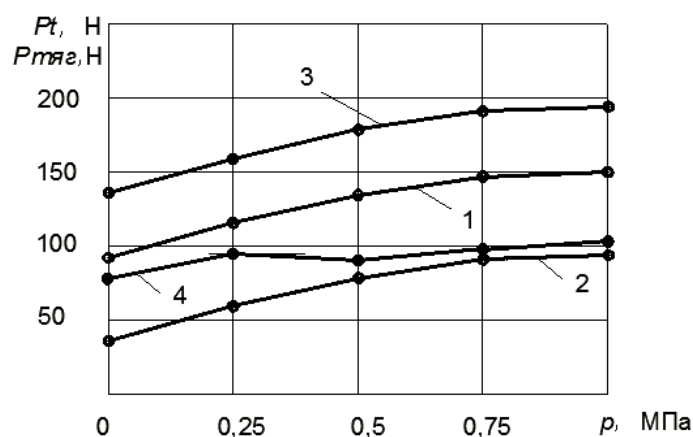


Рисунок 5 - Экспериментальные зависимости тангенциальной составляющей усилия копания P_t (линии 1, 2 и 3) и тягового усилия копания $P_{тяг}$ (линия 4) от гидростатического давления (угол резания $\alpha = 40$ градусов, ширина копания траншеи $b = 100$ мм): 1 – для прочности грунта $C = 3$; 2 – для прочности грунта $C = 1$; 3 – для прочности грунта $C = 4$; 4 – экспериментальная зависимость тягового сопротивления при копании грунтов от гидростатического давления

При копании грунтов в подводной среде, когда гидростатическое давление (глубина погружения) минимально, происходило некоторое

снижение сопротивления копанию (в среднем на 15 %), что можно объяснить эффектом жидкой смазки и взвешивающим воздействием водной среды на стружку, отделяемую от массива. При копании грунта вода попадает в контактирующую поверхность и нейтрализует возможную пригрузку от гидростатического давления. Опыты, проведенные с несвязными (песчаными) грунтами, показали, что влияние гидростатического давления на усилие копания грунтов отсутствует.

Проведены экспериментальные исследования по оценке тягового усилия РДРО при копании грунтов под гидростатическим давлением. Как видно из рисунка 5, гидростатическое давление водной среды мало влияет на тяговое усилие рабочего органа. Для одинаковых условий копания (ширина копания траншеи $b = 100$ мм, угол резания $\alpha = 40$ градусов, прочность грунта, оцениваемая числом ударов ударником ДорНИИ $C = 3$, глубина копания траншеи $H = 15$ мм) тяговое сопротивление копанию грунтов РДРО составляло $P_{\text{тяг}} = 78$ Н, 90 Н и 103 Н для значений гидростатического давления соответственно $p = 0$ МПа, 0,5 МПа и 1,0 МПа. Рост тягового сопротивления при копании траншей составлял всего 32 % при увеличении глубины копания под водой от поверхности до 100 м.

Эти экспериментальные данные подтверждают полученные ранее (глава 2) математические зависимости (32-34) определения тангенциальных составляющих усилия копания грунтов, где основными факторами, влияющими на этот процесс, являются степень затупления кромки ножа РДРО и упругие свойства разрабатываемого грунта.

В процессе взаимодействия РДРО ЗМ с грунтом под гидростатическим давлением имеет место вдавливание затупленных кромок ножей в массив грунта в горизонтальном направлении. Это происходит из-за одновременного поступательного перемещения ЗМ совместно с рабочим органом и вращения роторного рабочего органа вокруг собственной оси. В связи с этим, проведены экспериментальные исследования процесса вдавливания штампа (затупленной кромки ножа РДРО) в массив грунта под гидростатическим давлением по оценке влияния длины периметра штампа при различных соотношениях l/b и гидростатического давления на процесс вдавливания. Варьировались следующие факторы: X_1 – соотношение сторон штампа при $l/b = 1...10$, где l – длина и b – ширина затупленной кромки ножа (штампа); X_2 – гидростатическое давление при $p = 0...1$ МПа.

Обработка результатов экспериментов позволила получить регрессионную зависимость коэффициента влияния гидростатического давления $K_{\text{зд}}$, равного отношению усилия вдавливания под гидростатическим давлением к усилию «сухого» вдавливания, от факторов соотношения сторон штампа (X_1) и гидростатического давления (X_2):

$$K_{\text{зд}} = 1,52 - 0,16X_1 + 0,1X_2 - 0,08X_1X_2 - 0,06X_1^2 - 0,15X_2^2.$$

Анализ полученной регрессионной зависимости показывает, что увеличение гидростатического давления приводит к возрастанию усилия вдавливания (увеличению коэффициента влияния гидростатического

давления $K_{гд}$). С увеличением l/b происходит уменьшение усилия вдавливания, значения коэффициента влияния гидростатического давления падают независимо от состояния несущей способности грунта, оцениваемой числом ударов плотномером ДорНИИ.

Результаты экспериментальных исследований процессов копания грунтов под гидростатическим давлением РО ЗМ позволили выявить пути снижения энергоемкости копания грунтов путем модернизации рабочего органа.

В качестве рабочих органов для сравнительных экспериментов приняты плоские отвалы: традиционный (рис. 6) и модернизированный (рис. 7).

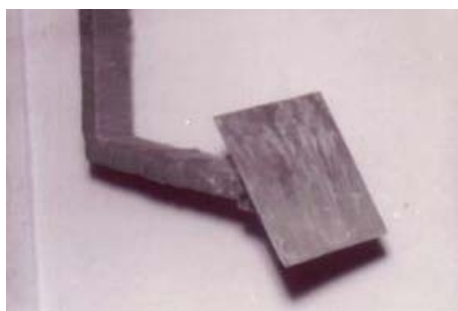


Рисунок 6 - Традиционный плоский отвал



Рисунок 7 - Модернизированный плоский отвал

Отвалы обеих рабочих органов имели одинаковые размеры по ширине (по 100 мм) и длине (тоже по 100 мм). Отличием модернизированного рабочего органа от традиционного является наличие продольного зазора вблизи режущей кромки. Для этого в модернизированном рабочем органе режущая кромка отвала прикреплена к передней части отвала с продольным зазором (около 1 мм) между ними. Такие конструкции модернизированных рабочих органов обеспечивают передачу гидростатического давления непосредственно на контактную поверхность между грунтовой стружкой и передней гранью отвала путем поступления водной среды через продольный зазор на переднюю грань отвала. Водная среда, кроме того, перемещаясь с движущимся грунтовым пластом вверх по отвалу образует водяную прослойку между передней гранью отвала и грунтовым пластом, существенно уменьшая, тем самым, коэффициент трения между ними.

В результате проведенных экспериментов с плоскими отвалами традиционного типа установлено качественное отличие физической картины процесса копания связного грунта под гидростатическим давлением от обычного «сухого» резания. Гидростатическое давление, воздействуя на грунт, создает дополнительную пригрузку в зоне его разрушения плоским отвалом и на его передней грани образовывалась в основном сливная стружка, которая плотно прижималась к передней грани отвала и скользила по нему.

Результаты экспериментальных исследований с модернизированными плоскими отвалами показали (рис. 8), что касательная составляющая сопротивления копанию грунта под гидростатическим давлением существенно

снижается по сравнению с копанием грунтов традиционными плоскими отвалами.

При гидростатическом давлении 1,0 МПа, глубине копания $h = 2$ см, прочности грунта по числу ударов плотномера ДорНИИ $C = 4$, скорости копания 2,0 см/с и угла резания 45° , сопротивление копанию грунта для модернизированного отвала составляло $F=1,43$ кН (линия 4), для традиционного отвала - $F=3,12$ кН (линия 1). Уменьшение касательной составляющей сопротивления копанию грунта составляло в 2,1 раза. Уменьшение сопротивления копанию грунтов с модернизированными плоскими отвалами по сравнению традиционными плоскими отвалами происходит за счет поступления водной среды через продольный зазор на переднюю грань отвала, где между грунтовым пластом и передней гранью плоского отвала образуется водяная прослойка, которая существенно уменьшает коэффициент трения между ними.

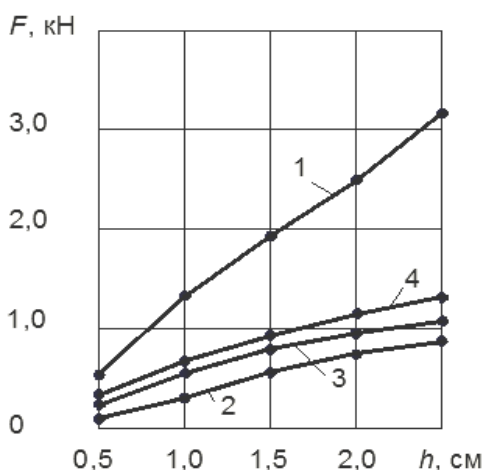


Рисунок 8 - Зависимости изменения касательной составляющей F сопротивления копанию грунта от глубины копания h : линии 1 и 2-копание отвалом традиционного типа соответственно при гидростатическом давлении $p=1,0$ МПа и «сухом» резании; линии 3 и 4-копание с модернизированным отвалом соответственно при гидростатическом давлении $p=0,25$ МПа и $p=1,0$ МПа (прочность грунта $C=4$, угол резания 45° , скорость копания 2,0 см/с)

Из графиков (рис. 8) видно, что при копании грунтов под гидростатическим давлением модернизированными плоскими отвалами сопротивление копанию грунтов больше чем при «сухом» резании. При глубине копания $h = 1,0$ см и $h = 2,0$ см сопротивления копанию грунтов модернизированными плоскими отвалами под гидростатическим давлением 1,0 МПа составляли соответственно 0,48 кН и 1,21 кН (линия 4). В аналогичных условиях копания, но при «сухом» резании (линия 2), сопротивления копанию грунтов составляли 0,32 кН и 0,83 кН соответственно для глубин копания $h = 1,0$ см и $h = 2,0$ см. Это объясняется влиянием дополнительной пригрузки от гидростатического давления, действующей в зоне разрушения грунта и увеличивающей силу трения грунта по отвалу и по поверхности скольжения грунта.

В пятой главе «Рекомендации по проектированию и расчету параметров взаимодействия с грунтом рабочих органов в подводных условиях» представлены рекомендации по проектированию и расчету параметров копания РДРО.

Разработаны рекомендации по проектированию РДРО траншеекопателя, позволяющие снизить энергоемкость копания путем проникания жидкой среды в рабочую поверхность ножей при производстве работ способом «стена в грунте».

Разработана методика расчета, позволяющая определить тангенциальные составляющие усилий копания и мощности копания грунта режущими ножами РДРО ЗМ в подводных условиях.

За базовую технику принят траншеекопатель с роторно-дисковым рабочим органом к экскаватору для разработки траншей способом «стена в грунте», оснащенный ножами обычной конструкции. В качестве новой техники рассматривается аналогичный траншеекопатель, но оснащенный модернизированными ножами. Экономический эффект на одну машину в год составляет 110 тыс. сомов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Подтверждена работоспособность механизма привода рабочего органа, обеспечивающего вращательное движение роторно-дискового рабочего органа без применения специального двигателя внутри герметичного корпуса под гидростатическим давлением.

2. Получены теоретические зависимости, позволяющие определить кинематические параметры РДРО, который установлен внутри герметичного корпуса под гидростатическим давлением на стенде физического моделирования.

3. Разработаны новые расчетные схемы взаимодействия грунта с режущими ножами РДРО ЗМ с учетом влияния гидростатического давления и затупленности режущих зубьев, и на их основе получены математические модели, определяющие тангенциальную составляющую силы копания, вращающего момента и мощности копания грунта режущими ножами РДРО ЗМ.

4. Получена регрессионная модель, позволяющая определить изменения коэффициента влияния гидростатического давления от соотношения сторон площадки затупления режущего ножа и гидростатического давления. Установлено, что увеличение гидростатического давления приводит к росту коэффициента влияния гидростатического давления.

5. Экспериментальными исследованиями подтвержден факт снижения энергоемкости копания связных грунтов под гидростатическим давлением путем обеспечения возможности проникания водной среды в контактирующую поверхность между передней гранью ножа и грунтовым пластом. Экспериментально установлена возможность использования вредного влияния гидростатического давления на положительный эффект - увеличение силы

трения между грунтовой поверхностью и опорой ходового оборудования подводной машины. На устройство получено новое техническое решение (патент КР № 1380).

6. Разработаны рекомендации по проектированию РДРО землеройных машин, позволяющие снизить энергоемкость копания путем проникания жидкой среды в рабочую поверхность ножей при производстве работ способом «стена в грунте» и методика расчета, позволяющая определить тангенциальные составляющие усилий копания и мощности копания грунта режущими ножами РДРО ЗМ в подводных условиях.

Ожидаемый экономический эффект от использования предложенной рекомендации составляет 110 тыс. сомов на одну машину в год.

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ

1. Кабашев, М.Р. Анализ исследований по разрушению грунтов под гидростатическим давлением [Текст] / М.Р. Кабашев, **С.Дж. Тургумбаев**, К.М. Исманов // Известия ОшТУ. - Ош: 2001. - № 1. – С. 57-60.

2. Раджапова, Н.А. Землеройно-транспортное оборудование для подводных строительных работ [Текст] / Н.А. Раджапова, **С.Дж. Тургумбаев** // Сборник материалов междунар. научно-практ. конф. «Повышение эксплуатационной эффективности транспортных, строительно-дорожных машин и коммуникаций в условиях высокогорья и жаркого климата». – Бишкек, 2002. – С. 16-23.

3. Нурманбетов, Н.Р. Экспериментальные исследования рабочих органов с перфорированной поверхностью под гидростатическим давлением [Текст] / Н.Р. Нурманбетов, **С.Дж. Тургумбаев** // Известия ОшТУ. – Ош, 2002. – № 1. - С. 49-53.

4. Раджапова, Н.А. Определение и анализ внутренних потерь энергии резиногусеничного движителя [Текст] / Н.А. Раджапова, **С.Дж. Тургумбаев** // Междунар. научно-практ. конф. - Бишкек, 2003. – С. 88-93.

5. Нурманбетов, Н.Р. Взаимодействие штампа с грунтом под гидростатическим давлением [Текст] / Н.Р. Нурманбетов, С.Т. Кожобаева, **С.Дж. Тургумбаев** // Сборник материалов междунар. научно-практ. конф. «Повышение эксплуатационной эффективности транспортных, строительно-дорожных машин и коммуникаций в горных условиях Кыргызстана». - Бишкек, 2004. - С. 139-141.

6. Тургумбаев, Ж.Ж. Методика экспериментальных исследований процесса подводного копания грунтов [Текст] / Ж.Ж. Тургумбаев, Ж. Жумаев, **С.Дж. Тургумбаев** // Известия КГТУ. – Бишкек, 2006. - № 9. - Т.1. – С. 116-120.

7. **Тургумбаев, С.Дж.** Тенденция развития конструкции рабочих органов подводных машин для работы на дне морей и океанов [Текст] / С.Дж. Тургумбаев // Сб. научн. тр. КГУСТА. – Бишкек, 2009. – С. 32-35.

<http://arch.kyrlibnet.kg/uploads/Turgumbaev%20S.J.1.pdf>

8. **Тургумбаев, С.Дж.** Статистический анализ процесса копания грунтов рабочими органами землеройных машин в подводных условиях [Текст] / С.Дж. Тургумбаев // Сб. научн. тр. КГУСТА. – Бишкек, 2009. – С. 27-31.

<http://arch.kyrlibnet.kg/uploads/Turgumbaev%20S.J..pdf>

9. **Тургумбаев, С.Дж.** Определение кинематических параметров рабочего оборудования для подводного копания узких траншей [Текст] / С.Дж. Тургумбаев // Известия КГТУ. – Бишкек, 2009. - № 16. – С. 142-144.

<https://elibrary.ru/item.asp?id=26298762>

10. **Тургумбаев, С.Дж.** Системный анализ процессов подводного копания грунтов ротационными рабочими органами землеройных машин [Текст] / С.Дж. Тургумбаев // Совершенствование конструкций и системы эксплуатации транспортной техники: (Материалы междунар. науч-техн. конф., г. Алматы). – Алматы, 2010. – С. 135-138.

11. **Тургумбаев, С.Дж.** Стенд для исследования фрезерно-роторного рабочего органа под гидростатическим давлением [Текст] / С.Дж. Тургумбаев // Материалы 52-й научн. техн. конф. молодых ученых и студентов «Студенческая наука: взгляд молодых», Кырг. гос. техн. ун-та им. И. Раззакова. - Бишкек, 2010. – С. 40-43.

12. **Тургумбаев, С.Дж.** Особенности отрывки траншей линии связи при наличии водной среды [Текст] / С.Дж. Тургумбаев // Известия Кырг. гос. техн. ун-та им. И. Раззакова. - Бишкек, 2010. - № 21. – С. 46-49.

13. **Тургумбаев, С.Дж.** Методика расчета сопротивления копанию грунтов ротационными рабочими органами землеройных машин в подводных условиях [Текст] / С.Дж. Тургумбаев, Р.А. Кабашев // Труды междунар. научн. конф. «Современные проблемы механики сплошной среды» - Бишкек, 2012. – С. 404-408.

14. **Тургумбаев, С.Дж.** Математические модели для определения силы копания грунтов с учетом упругих деформаций грунтов и гидростатического давления водной среды [Текст] / С.Дж. Тургумбаев, Р.А. Кабашев // Наука и новые технологии. – Бишкек, 2014. № 2. – С. 19-21. <https://elibrary.ru/item.asp?id=24110439>

15. Кабашев, Р.А. Экспериментальные исследования процесса копания грунтов роторно-дисковыми рабочими органами под гидростатическим давлением [Текст] / Р.А. Кабашев, С.Дж. Тургумбаев // Вестник Сибирской государственной автомобильно-дорожной академии. – Омск, 2016. - Вып. 4 (50). – С. 23-28. <https://elibrary.ru/item.asp?id=27310669>

16. **Тургумбаев, С.Дж.** Результаты экспериментальных исследований процесса копания грунтов модернизированным рабочим органом под гидростатическим давлением [Текст] / С.Дж. Тургумбаев, Р.А. Кабашев // Вестник Сибирской государственной автомобильно-дорожной академии. – Омск, 2017. - Вып. 2 (54). – С. 36-42. <https://elibrary.ru/item.asp?id=29303631>

17. Пат. 1380 Кыргызская Республика, МКИ E21C 45/00. Опора подводной машины для глубоководных работ [Текст] / Ж.Ж. Тургумбаев, А.Р. Бекбоев, С.Дж. Тургумбаев. Оpubл. 30.08.2011. Бюл. № 8. https://drive.google.com/file/d/1xh6W7s1XuPs1_XdedmbzxwIoz1Iq_vVt/view

18. Пат. 153 Кыргызская Республика, МКИ E02F 3/92. Стенд для исследования подводного разрушения грунтов [Текст] / Ж.Ж. Тургумбаев, Н.Р. Нурманбетов, К. Исаков, С.Дж. Тургумбаев. Оpubл. 30.03.2013. Бюл. № 3. https://drive.google.com/file/d/1voBjs_8U2WAoiDcWrkH7MGqOmxdaGltO/view

05.05.04 – жол, курулуш жана көтөрүп-ташуучу машиналар адистиги боюнча техника илимдеринин кандидаты илимий даражасын алуу үчүн «Жер казуучу машинанын жумушчу бөлүгүнүн суу шарттарындагы топурак менен болгон аракеттеринин параметрлерин негиздөө» темасындагы Тургумбаев Санжарбек Дженишбековичтин диссертациялык эмгегине

КОРУТУНДУ

Түйүндүү сөздөр: топурак, ротор-дисктүү жумушчу бөлүк, жер казуучу машина, гидростатикалык басым, казуу күчү, топурактын серпилгич майышуусу, орнотмо түзүлүш, жакшыртылган бычак, басым жасоо.

Изилдөөнүн объектиси: суу чөйрөсүндө жер казуучу машинанын ротор-дисктүү жумушчу аспаптары менен топуракты казуу процесси.

Изилдөөнүн предмети: жер казуучу машинанын жумушчу бөлүктөрүнүн параметрлеринин жана суу чөйрөсүндө гидростатикалык басымдын таасири астында топуракты казуудагы каршылык көз карандылыктары.

Изилдөөнүн максаты: суу алдында иштетүү жер казуучу машиналардын жумушчу бөлүгүн иштетүүдө жумушчу процессти жакшыртуу менен казуунун каршылыгын азайтуу.

Изилдөөнүн методдору. Коюлган милдеттерди аткарууда системдик анализдин негизги жоболору, физикалык жана математикалык моделдөө, колдонмо механика, экспериментти пландоо ыкмалары колдонулду.

Алынган натыйжалар жана алардын жаңычылдыгы:

Эсептөө схемалары жана казуу күчүн аныктоо үчүн топуракты казуунун математикалык моделдери, топуракты ЖКМ РДЖБ бычагы менен казуунун кубаттуулугу жана айлануу моменти изилденип жаткан топурактын касиеттерин жана суу чөйрөсүнүн гидростатикалык басымын эске алуу менен аткарылды.

Гидростатикалык басымдын жана штамптын жактарынын катышынын таасиринен гидростатикалык басымдын өзгөрүү коэффициентиинин регрессивдүү модели алынды.

Колодонуу даражасы. Аткарылган теоретикалык жана эксперименталдык изилдөөлөр жана алардын жыйынтыктары айлана-чөйрөнүн экологиясын жакшыртууда жана гидроэлектростанциялардын жумушчу жөндөмдүүлүгүн колдоодо суу сактагычтарды жана көлмөлөрдүн түбүн тазалоодогу инженерлер жана долбоорчулар үчүн пайдалуу.

Колдонуу тармагы: Кыргыз Республикасынын энергетика министрлигинин ишканаларында.

РЕЗЮМЕ

диссертации Тургумбаева Санжарбека Дженишбековича на тему «Обоснование параметров взаимодействия рабочих органов землеройных машин с грунтом в подводных условиях» на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.05.04 – дорожные, строительные и подъемно-транспортные машины

Ключевые слова: грунт, роторно-дисковый рабочий орган, землеройная машина, гидростатическое давление, усилие копания, упругая деформация грунтов, стендовое оборудование, модернизированный нож, вдавливание.

Объект исследования: процесс копания грунтов роторно-дисковыми рабочими органами землеройных машин в подводных условиях.

Предмет исследования: зависимости параметров рабочих органов землеройных машин и сопротивления копанию грунтов при воздействии гидростатического давления жидкой среды.

Цель работы: снижение сопротивления копанию грунтов рабочими органами землеройных машин, работающих в подводных условиях за счет совершенствования рабочего процесса.

Методы исследования: для решения поставленных задач были использованы основные положения системного анализа, физического и математического моделирования, прикладной механики, методы планирования эксперимента.

Полученные результаты и их новизна: выполнены расчетные схемы и получены математические модели копания грунта для определения силы копания, вращающего момента и мощности копания грунта режущими ножами РДРО ЗМ с учетом свойств разрабатываемого грунта и гидростатического давления жидкой среды.

Получена регрессионная модель изменения коэффициента влияния гидростатического давления от факторов соотношения сторон штампа и гидростатического давления.

Степень использования: проведенные теоретические и экспериментальные исследования и их результаты, полученные в ходе исследований, являются весьма полезными для инженеров и проектировщиков при эксплуатации водохранилищ и других водоемов путем очистки их дна с точки зрения поддержки работоспособности гидроэлектростанций и улучшения экологии окружающей среды.

Область применения: на предприятиях Министерства энергетики Кыргызской Республики.

SUMMARY

of the dissertation of Sanzharbek Dzhenishbekovich Turgumbaev on the topic: “Substantiation of the parameters of interaction of the working parts of the earth-moving machines with the soil in underwater conditions” for the degree of candidate of technical sciences with a major in 05.05.04 - road, construction and hoisting-and-transport machines

Key words: soil, rotary-disk working part, earth-moving machine, hydrostatic pressure, digging force, mathematical model, soils elastic deformation, experimental research, bench equipment, modernized blade, indentation.

Object of the study: the process of soil digging by the rotary disk working parts of earth-moving machines in underwater conditions.

The subject of the study: dependence of the parameters of the working parts of the earth-moving machines and resistance to soil digging under the influence of hydrostatic pressure of the liquid medium.

Objective of research: development of a methodology for theoretical and experimental determination of the resistance to soil digging by the rotary-disk working parts of the earth-moving machines in the conditions of underwater construction of structures using the “wall in the soil” method.

Methods of research: The main provisions of system analysis, physical and mathematical modeling and applied mechanics, as well as methods of experiment planning were used to solve the set tasks.

The results obtained and their novelty: computational schemes were performed and mathematical models of soil digging were obtained to determine the digging force, torque and soil digging power with the cutting blades of the rotary-disk working parts of the earth-moving machine, taking into account the properties of the soil being developed and the hydrostatic pressure of the liquid medium.

A regression model of change in the coefficient of influence of hydrostatic pressure from the factors of the ratio of the sides of the stamp and hydrostatic pressure was obtained.

Degree of use: the conducted theoretical and experimental studies and their results obtained in the course of research are very useful for engineers and designers in operation of water reservoirs and other water ponds by cleaning their bottom from the perspective of maintaining the operability of hydropower plants and improving the ecology of the environment.

Application area: enterprises of the Ministry of Energy of the Kyrgyz Republic.

Тургумбаев Санжарбек Дженишбекович

**ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ РАБОЧИХ
ОРГАНОВ ЗЕМЛЕРОЙНЫХ МАШИН С ГРУНТОМ
В ПОДВОДНЫХ УСЛОВИЯХ**

Специальность: 05.05.04 - дорожные, строительные
и подъемно-транспортные машины

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Редактор: А.Б. Аманкулова

Подписано в печать 23.05. 2023 г.
Формат 60x84 1/16. Объем 1,25 уч.-изд.л.
Печать офсетная. Бумага офсетная.
Тираж 100 экз. Заказ 57

720020, г. Бишкек, ул. Малдыбаева, 34, б
Кыргызский государственный технический университет
им. И. Раззакова