



МРНТИ 70.17.55

<https://doi.org/10.32523/2616-7263-2024-149-4-188-201>

Научная статья

Методика экспериментальных исследований рабочего инструмента экскаватора, направленных на повышение эффективности земляных работ в гидротехническом строительстве

Ж.А. Дуйсебаев¹, Б.А. Алимбаев², У.Ш. Кокаев³, С.О. Торбекова^{*3}

^{1,2}Таразский региональный университет имени М.Х. Дулати, Тараз, Казахстан

³Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, Астана

(E-mail: *torebekova-s@mail.ru)

Аннотация. В статье приводится методика экспериментальных исследований рабочего инструмента экскаватора, направленных на повышение эффективности земляных работ в гидротехническом строительстве. На базе априорной информации и поисковых экспериментов выполнены программа и методика исследований, определены сами факторы, их уровни и интервалы варьирования факторов, созданы матрицы планирования и обработки результатов экспериментов физического моделирования и натурных исследований.

Для лабораторных исследований использован существующий грунтовый канал. Для будущих обширных исследований созданы новый кольцевой грунтовый канал с расширенным диапазоном кинематических и технологических параметров и стенды для физического моделирования новых РО и их элементов. Изготовлены и испытаны модели новых РО с обоснованием масштабов, специальная тензометрическая тележка, тензометрические звенья для измерения параметров процессов физического моделирования, тензопальцы – для исследования натуральных образцов РО, оборудования и машин в полевых условиях.

Результаты экспериментов с ковшем на стенде физического моделирования позволили получить графические зависимости энергоемкости E процесса копания грунта с самоизменяемой формой кромки в функции подачи грунта S , силы предварительного сжатия пружины $F_{пр}$, глубины копания h и скорости резания v_p . Оптимизация по минимуму, проводимая для этого ковша, показала, что наибольшая эффективность по энергоемкости копания грунта может быть достигнута при следующих значениях переменных факторов: подача грунта $S=5$ мм; глубина копания $h=0,3...0,5$ м; скорости резания $v_p=0,13...0,17$ м/с и силы предварительного сжатия пружины $F=30...50$ Н.

Ключевые слова: обработка грунта, образцы экскаваторов, исследовательские зоны, рабочий процесс, режущая кромка, ковш, землеройные машины, гидротехническое строительство.

Поступила 05.11.2024. Доработана 18.11.2024. Одобрена 09.12.2024. Доступна онлайн 31.12.2024

¹*автор корреспонденции

Введение

В соответствии с поставленными целями и вытекающими из них задачами экспериментальные исследования в работе планировались в следующих направлениях:

- создание стендов физического моделирования, обеспечивающих изучение процессов обработки грунтов образцами экскаваторов адаптивных видов;
- исследование рабочего процесса физической модели ковша с изменением формы экскаватора режущей кромки при рытье грунтов;
- тензометрические испытания натуральных образцов ковша с изменением формы экскаватора режущего лезвия.

Метод экспериментальных исследований для исследовательских зон предусматривает использование электрического метода измерения сил и других механических величин, для которых установлены условия работы по общеизвестному методу исследования землеройных машин [1,2].

Для всех областей исследования были проведены следующие измерения:

- время процесса исследования с помощью измерителей времени, установленных на осциллографе Н-144.1;
- объем выкапываемой поверхности, определение ее качества с помощью измерительного прибора;
- прочность грунта по количеству ударов динамометра ДорНИИ по поверхности копаемой земли и соответствующей ее глубине.

Определение необходимого количества повторных опытов неизменных ситуаций [3,4] выполнялось на основе методических приемов, вытекающих из условий обеспечения заданной достоверности результатов 0,9-0,95 и возможности погрешности до 12%, изложенных в работах.

В ходе статистической обработки результатов измерений были рассчитаны среднеарифметические значения величин, дисперсий, вариационных коэффициентов [3].

Общая структура экспериментальных исследований представлена на рис. 1 в виде блок-схемы.

Принимая во внимание действие процесса суперпозиции для рабочих процессов землеройных машин, тип рабочего инструмента ковша экскаватора, поставленная задача решается в условиях лабораторий.

Методология

Программа экспериментального исследования выемки грунта рабочими, приспособленными к почвенным условиям средствами включает лабораторные исследования с моделями на стенде физического моделирования и испытания натурального опытного образца в условиях производства.

Для правильной организации экспериментальных исследований необходимо решить несколько методических задач, обеспечивающих единый подход к проведению экспериментов на всех этапах. Эти проблемы:

- подготовить общую схему проведения эксперимента;
- выбор типа почвы для проведения исследования;
- размеры исследуемых образцов и установление и обоснование линейных измерений образцов рабочего инструмента стенда физического моделирования;
- установление критериев, подвергающихся изменению и контролю в ходе исследования;
- выбор необходимых контрольно-измерительных приборов;
- подготовка условий проведения натурального эксперимента.

По показанию теоретических и экспериментальных исследований, выполненных в последние годы с физическими моделями рабочих средств землеройных машин, главными факторами при разработке грунтов являются силы структурного сцепления, вязкость и масса грунта, которые характеризуются теоретическими критериями, вытекающими из условий унификации систем [5,6].

Геометрическое сходство предельного объема среды $dV \geq 200d_\phi$

$$V_3^M = V_3^H K_\ell^{-0,5} \quad (1)$$

где: k_ℓ – коэффициент масштаба.

Линейный объем модели имеет ограниченность по пределу возможности погрешности измерений, определяемую точностью измерительной аппаратуры. В приведенной работе [6,7] пояснительная записка о том, что коэффициент масштаба для рассматриваемого варианта $k_\ell \leq 10$, минимальное значение определялось при использовании электрического способа измерения действующих величин и при записи их на осциллографной бумаге шлейфовым осциллографом Н-044.1 с усилителем «8 АНЧ-7М» на 120 мм.



Рисунок 1. Блок-схема экспериментальных исследований рабочего инструмента, приспособленного к почвенным условиям.

Результаты и обсуждения

Для доказательства гипотез причин снижения сопротивления рытья грунта, энергоемкости процесса и динамического коэффициента были проведены специальные экспериментальные исследования.

Для решения поставленной цели подготовлены специальные ножи периметра ковша, отражающие процесс разреза грунта под разным углом установки (рис.2). Ножи были сконструированы в виде режущей кромки периметра ковша и установлены на стенде физического моделирования (рис.3).

Определение сил сопротивления резанию грунта проводилось с помощью комплекса тензометрической аппаратуры, для чего режущая кромка устанавливалась на тензометрическую пластину стенда. Лезвие устанавливалось на сваю с помощью болтов, а его ширина составляла угол установки φ в плане φ . В ходе экспериментов изменялась длина пыжи в зависимости от угла φ . С помощью ножа, который должен был быть разрезан грунтом, и ножа, установленного под углом φ , были сопоставлены результаты.

Как было установлено на этапе теоретического анализа, снижение сил сопротивления резания почвы в результате математического моделирования эффективным способом в большинстве случаев является применение косо́й резки почвы [8,9].

Проведенные исследования по определению эффективности косо́й резки в отношении ковша экскаватора определили задачи и цели исследований. Более того, главной целью стало определение реальных возможностей применения косо́го разреза и физической сущности процесса. В задачу исследований входило определение количественной эффективности по снижению силовых параметров процесса рытья почвы в условиях косо́го разреза.

В соответствии с этим решение данного задания проводилось в следующем порядке. В качестве объекта исследования (рис.4) принят образец режущей кромки ковша экскаватора ЭО – 2621 А вместимостью 0,25 м³, выполненный в масштабе 1:10.

Модель также предусматривает замену режущей кромки ковша на традиционную конструкцию. Для подготовки эффективных углов установки режущей кромки подготовлены сменные ножи процесса резки грунта по периметру ковша с общей размерной схемой.

Исследования испытаний по изменению сопротивления резания грунта по периметру ковша экскаватора с изменением формы режущей кромки выставлялись по рототабельному плану второго порядка [10].

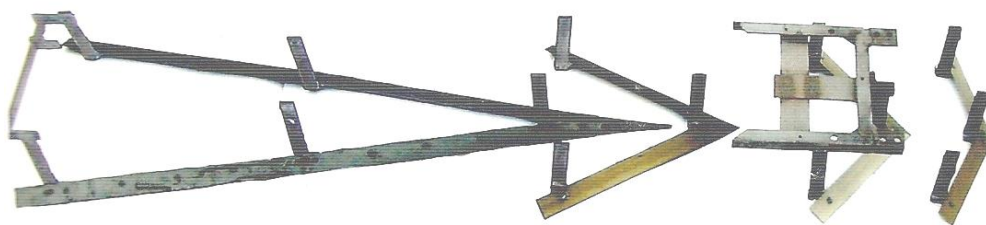


Рисунок 2. Физические модели режущей кромки периметра ковша.

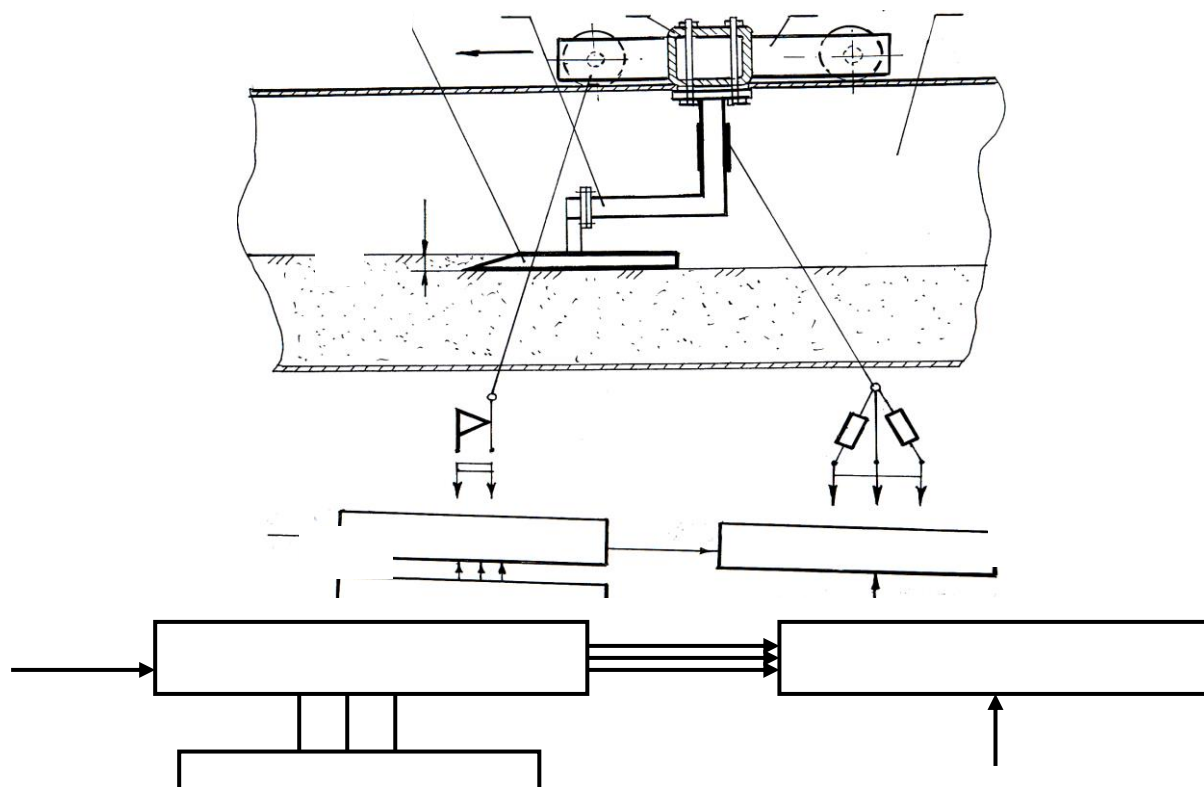


Рисунок 3. Схема стенда физического моделирования для исследования процесса разреза грунта по периметру ковша с общей измерительной схемой
1 - периметр; 2 - тензоэлемент; 3 - горизонтальная балка; 4 - тележка; 5 - грунтовый канал.

Оценивалось влияние четырех факторов, определяющих ход процесса: X_1 (φ) - угол размещения режущей кромки; X_2 (h) - толщина резки грунта; X_3 (C) - прочность грунта, оцениваемая ударом ДорНИИ; X_4 (V_p) - скорость резки грунта моделью ковшовой перметра. Факторы чередуются в достаточно широком диапазоне (табл. 1).

Таблица 1. Уровни факторов и интервалы вариаций

Факторы	Уровни факторов					межвариации
	-1	-2	0	+2	+1	
X_1 (S) - подача почвы, мм	5	10	15	20	25	5
X_2 (F_{np}) - сила предварительного сжатия пружины, Н	10	30	50	70	90	20
X_3 (H) - глубина копания, м.	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,1
X_4 (V_p) - скорость резки, м/с	0,11	0,15	0,19	0,23	0,27	0,04

В качестве оценочного признака принята горизонтальная составляющая сопротивления разреза грунта. В ходе планирования экспериментов были поставлены

следующие задачи: получение математической модели по изменению горизонтальной составляющей сопротивления резанию грунта; получение согласованных значений факторов; подготовка рекомендаций по выбору оптимальных размеров периметра, при которых изменяется форма режущей кромки ковша [10].

Матрица экспериментальных исследований для кодированных значений уровней факторов и результатов их выполнения в 2 таблице.

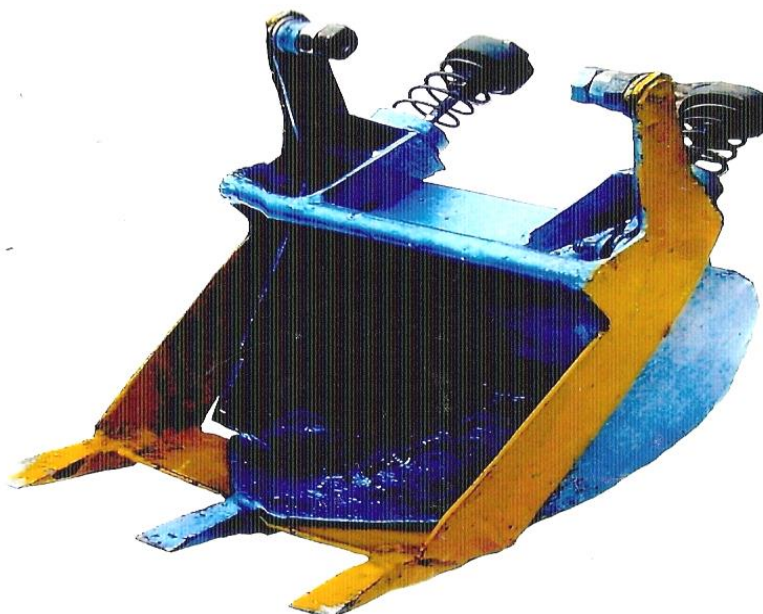
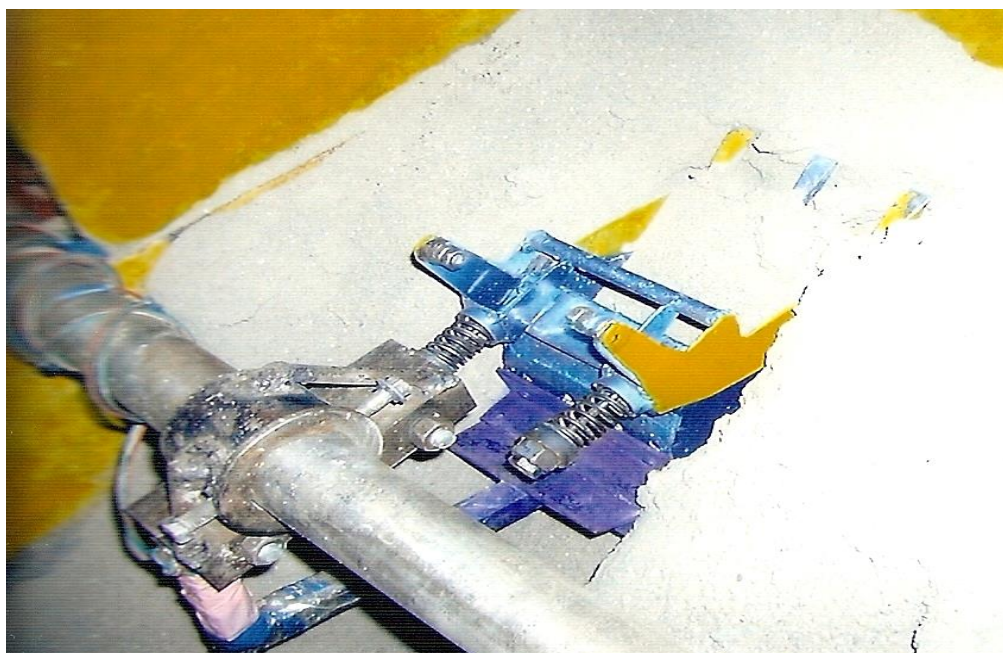


Рисунок 4. Физическая модель ковша экскаватора с изменяемой формой режущей кромки.

Таблица 2. Матрица экспериментальных исследований для кодированных значений уровней факторов и результатов их выполнения

Испытания №	Факторы				Ответы функции		
	X_1 S	X_2 $F_{пр}$	X_3 H	X_4 \varnothing_p	P_1 H	$E_{уд}$ кН/м ²	K_d
1	-	-	-	-	40	3,48	1,49
2	+	-	-	-	63	2,42	1,5
3	-	+	-	-	43	3,62	1,52
4	+	+	-	-	69	2,65	1,15
5	-	-	+	-	45	4,56	1,36
6	+	-	+	-	80	3,08	1,25
7	-	+	+	-	51	4,9	1,23
8	+	+	+	-	83	3,19	1,25
9	-	-	-	+	42	4,21	1,2
10	+	-	-	+	70	2,69	1,6
11	-	+	-	+	56	5,36	1,89
12	+	+	-	+	86	3,69	1,24
13	-	-	+	+	49	4,88	1,6
14	+	-	+	+	87	3,35	1,8
15	-	+	+	+	85	6,54	1,6
16	+	+	+	+	107	4,67	1,34
17	-2	0	0	0	62	7,95	1,8
18	+2	0	0	0	129	4,8	1,1
19	0	-2	0	0	83	4,26	1,75
20	0	+2	0	0	105	5,38	1,23
21	0	0	-2	0	35	1,97	1,35
22	0	0	+2	0	93	4,77	1,15
23	0	0	0	-2	43	2,21	1,26
24	0	0	0	+2	105	5,38	1,86
25	0	0	0	0	91	4,67	1,4
26	0	0	0	0	84	4,31	1,15
27	0	0	0	0	86	4,41	1,39
28	0	0	0	0	82	4,21	1,14
29	0	0	0	0	102	5,23	1,13
30	0	0	0	0	84	4,31	1,25
31	0	0	0	0	91	4,67	1,42

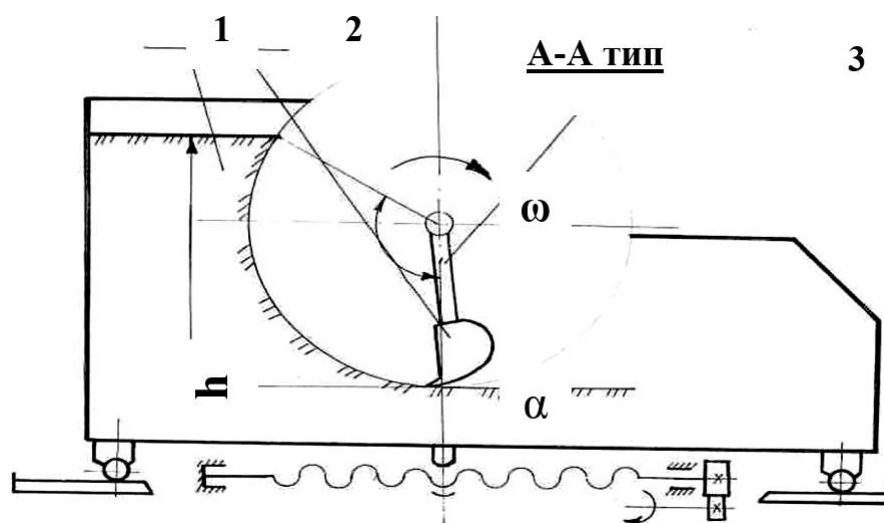


Рисунок 5. Схема физического модельного стенда для процесса разработки грунта ковшем экскаватора.

1 – контейнер с грунтом; 2 – экспериментальный ковш; 3 – тензодатчик.

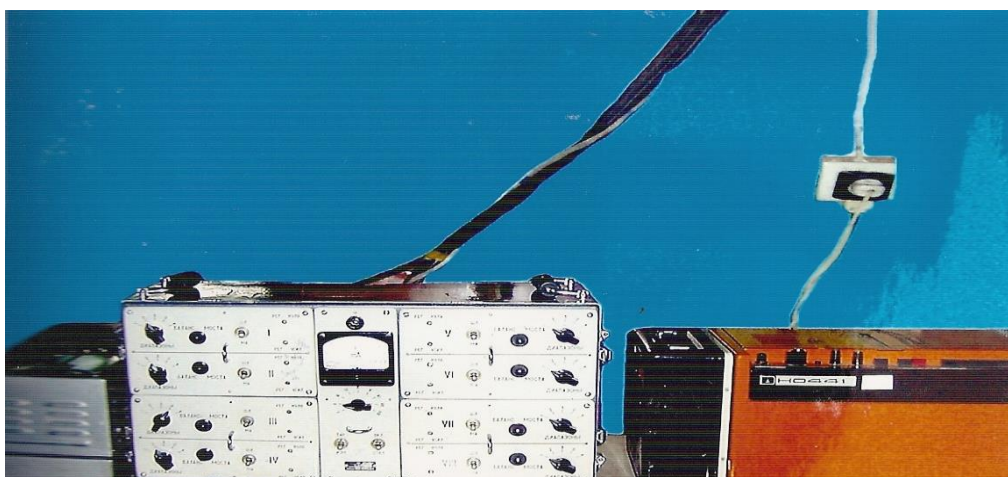


Рисунок 6. Комплект измерительной аппаратуры.

Заключение

Процесс резки грунта по периметру ковша с изменяемой режущей кромкой показан на фото (Рисунок 7).

В результате обработки экспериментальных данных обобщено и выведено регрессионное уравнение определения сопротивления резанию грунта:

$$P_n = 83,6 + 5X_1 + 22,7X_2 + 5,34X_3 + 6,83X_1^2, \quad (2)$$

Связь исследуемых факторов с R_p представлена на рис. 7 и 8. R_p 2,8 за счет увеличения толщины срезаемого грунта от 2 до 6 см... увеличивается до 4,3 раза. По показанию графика, в связи с ростом прочности грунта темпы роста R_p снижаются с 50 до 20%. Изменение угла режущей кромки от 0 до 45° обеспечивает снижение горизонтальной составляющей сопротивления резанию грунта до 20%, а затем увеличивается за счет параболической зависимости. Угол режущего лезвия считается совместимым с 45°. В исследуемых пределах скорость резания не способствует изменению сопротивления резания грунта.



Рисунок 7. Физическая модель режущей кромки периметра ковша.

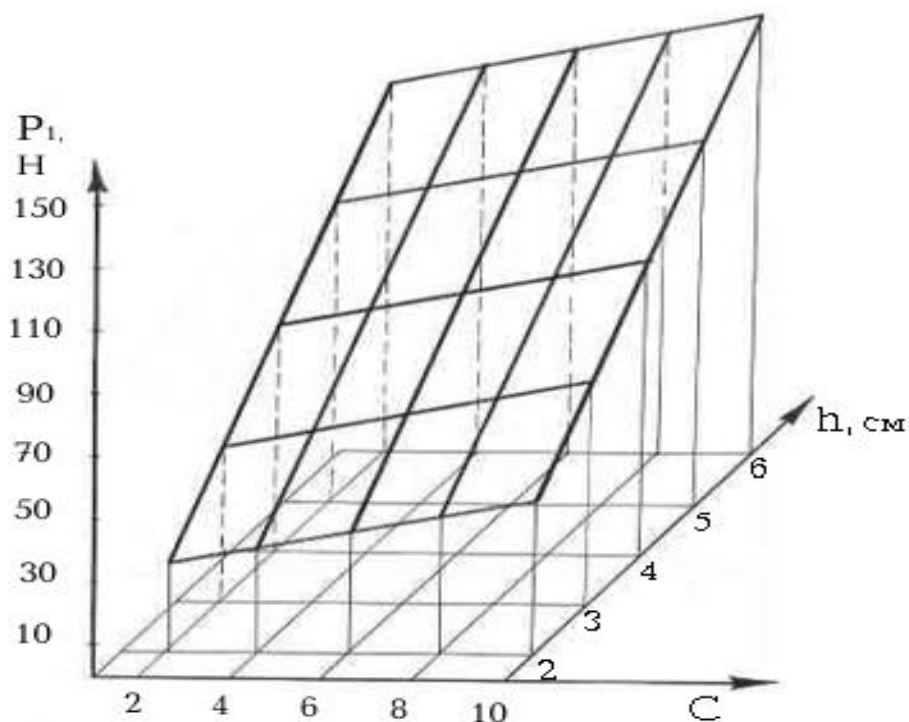


Рисунок 8. Изменение силы сдвига в зависимости от глубины грунта (h) и прочности грунта (C) при установке режущей кромки под углом 45°.

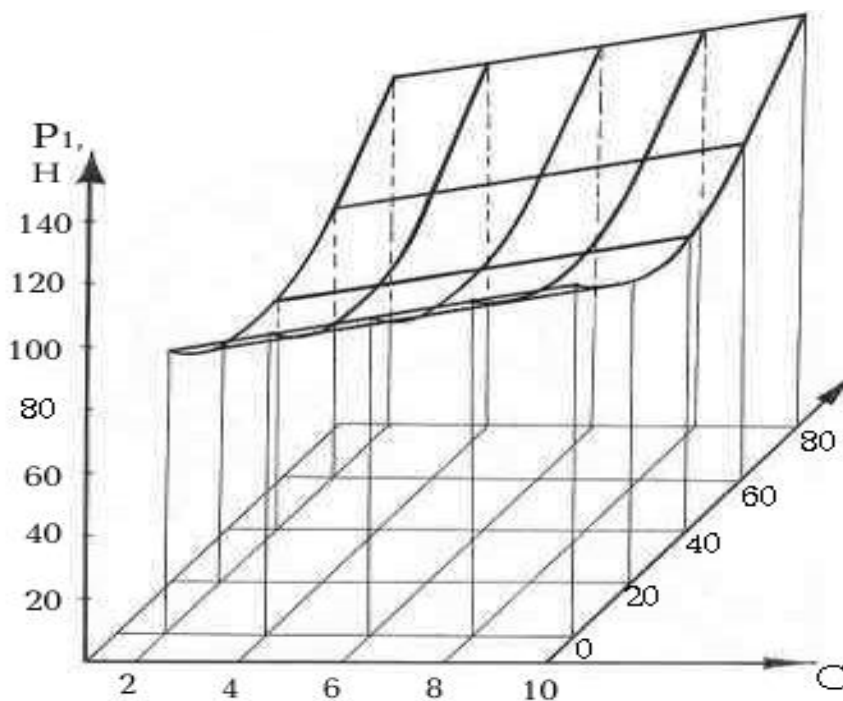


Рисунок 9. Изменение силы резания в зависимости от угла установки режущей кромки (φ) и прочности грунта (C) на глубине $h = 4$ см.

Список литературы

1. Королев А.В. Рациональная работа гидравлических экскаваторов с обратной лопатой // Строительные и дорожные машины, 2001. №4. С.9-11.
2. Дуйсебаев Ж.А., Мырзашев С.М., Абдигалиев М.А. Теоретическое обоснование параметра ковша с самоприспосабливающейся режущей кромкой // Вестник КазГАСА. № 4(22). 2006 г. С.69-74.
3. Волобоев В.Г. Методологические основы обоснования параметров элементов рабочего оборудования землеройных и землеройно-транспортных машин / В. Г. Волобоев. – Омск: СибАДИ, 2002. – 168 с.
4. Воронов Ю.Е. Решение задачи оптимизации параметров карьерных одноковшовых экскаваторов / Ю.Е. Воронов, П.А. Зыков // Изв. вузов. Горный журнал. – 2012. – № 8. - С. 12–15.
5. Zhambyl Duisebayev, Anuarbek Aimen, Berikbay Orazaliyev, Umirzhan Kokayev, Raigul Toxambayeva. Improving Efficiency of Earthworks in Hydraulic Engineering Construction Civil Engineering and Architecture 10(7): 3097-3109, 2022
6. Пенчук В.А., Линник И.И., Пенчук В.В. Особенности эксплуатации и модернизации машин для земляных работ // Строительные и дорожные машины. 2001. №5. С.16-18.
7. Мырзашев С., Абдигалиев М., Дуйсебаев Ж.А. Классификация РО ЗМ по форме режущей кромки // Вестник НАН РК. Алматы, 2004. С. 145-150.
8. Дуйсебаев Ж.А., Мырзашев С.М., Абдигалиев М.А. Исследование рабочего процесса бульдозера ДЗ-42 с самоизменяемым углом резания отвала // Вестник КазНТУ. № 1 (57). 2007 г. С. 75-78.
9. Герасимова Т.А. Исследование и совершенствование методов проектных расчетов несущих конструкций экскаваторов: дис. ... канд. техн. наук / Т.А. Герасимова. - Красноярск, 2005. 143 с.
10. Дуданов И.В. Автоматизация исполнительных систем гидравлического экскаватора: дис. ... канд. тех. наук / И.В. Дуданов. - Самара, 2008, - 215 с.
11. Насонов М.Ю. Оценка долговечности несущих металлоконструкций одноковшовых экскаваторов при разработке взорванных горных пород: дис. ... д-ра техн. наук / М.Ю. Насонов. – Кемерово, 2009. – 324 с.
12. Шестаков В.С., Хорошавин С.А. Определение параметров экскаватора с рабочим оборудованием «прямая лопата» при эскизном проектировании // Горное оборудование и электромеханика. - № 9. – 2012, С. 30-36.

Ж.А. Дуйсебаев¹, Б.А. Алимбаев², У.Ш. Коқаев³, С.О. Торбекова³

^{1,2}М.Х. Дулати атындағы Тараз өңірлік университеті, Тараз, Қазақстан

³Л.Н. Гумилев атындағы Еуразиялық ұлттық университеті, Астана, Қазақстан

Гидротехникалық құрылыстағы жер жұмыстарының тиімділігін көтеруге бағытталған, экскаватордың жұмысшы аспабын эксперименталдық зерттеулер әдістемесі

Аңдатпа. Мақалада гидротехникалық құрылыста жер жұмыстарының тиімділігін арттыруға бағытталған экскаватордың жұмыс құралын эксперименттік зерттеу әдістемесі келтірілген. Априорлық ақпарат пен іздеу эксперименттері негізінде зерттеу бағдарламасы мен әдістемесі орындалды, факторлардың өзі, олардың деңгейлері мен факторлардың өзгеру аралықтары анықталды, физикалық модельдеу және табиғи зерттеулер эксперименттерінің нәтижелерін жоспарлау және өңдеу матрицалары құрылды.

Зертханалық зерттеулер үшін қолданыстағы топырақ арнасы пайдаланылды. Болашақ ауқымды зерттеулер үшін кинематикалық және технологиялық параметрлердің кеңейтілген диапазоны бар жаңа сақиналы топырақ арнасы және жаңа жұмыс органдары мен олардың элементтерін физикалық модельдеуге арналған стендтер жасалды. Масштабты негіздей отырып, жаңа жұмыс органдарының модельдері, арнайы тензометриялық арба, физикалық модельдеу процестерінің параметрлерін өлшеуге арналған тензометриялық буындар, даладағы жұмыс органдарының, жабдықтар мен машиналардың заттай үлгілерін зерттеуге арналған тензопальцтар жасалды және сыналды.

Физикалық модельдеу стендіндегі шөмішпен жүргізілген эксперименттердің нәтижелері жерді беру функциясындағы өздігінен өзгертін жиек пішіні S бар топырақты қазу процесінің энергия сыйымдылығының келесідей графикалық тәуелділіктерін алуға мүмкіндік берді: серіппесінің алдын ала қысу күші F_{np} , қазу тереңдігі h және кесу жылдамдығы v_r . Осы шелек үшін жүргізілген минималды оңтайландыру топырақты қазудың энергия сыйымдылығы бойынша ең үлкен тиімділікке айнымалы факторлардың келесі мәндерінде қол жеткізуге болатындығын көрсетті: топырақты беру $s=5$ мм; қазу тереңдігі $h=0,3-0,5$ м; кесу жылдамдығы $v_r=0,13 - 0,17$ м/с және серіппені алдын-ала қысу күші $F=30-50$ Н.

Түйін сөздер: грунтты өңдеу, экскаватор үлгілері, зерттеу аймақтары, жұмысшы процесс, кескіш ернеуі, ожау, жер қазғыш машиналар, гидротехникалық құрылыс.

Z.A.Duisebayev¹, B.A.Alimbayev², O.Kokayev³, S.Torebekova³

^{1,2} *M.Kh.Dulaty Taraz Regional university, Taraz, Kazakhstan*

³ *L.N.Gumilyov Eurasian National University*

The methodology of experimental studies of the excavator working tool aimed at improving the efficiency of excavation in hydraulic engineering

Abstract. The article provides a methodology of experimental studies of the working tool of an excavator, aimed at improving the efficiency of earthworks in hydraulic engineering construction. Based on a priori information and research experiments, the program and methodology of research are defined, the factors themselves, their levels and intervals of variable factors, The planning and processing matrices of physical modelling experiments and field studies have been created.

For laboratory studies, an existing ground channel is used. For future extensive studies, a new annular ground channel with an extended range of cinematic and technological parameters and stands for the physical simulation of new working organs and their elements have been created. New working organ models with scale justification, special tensometric trolley, tensometric links for measuring the parameters of physical modelling processes, tensofingers – for studying the real samples of working organs, field equipment and machines.

The results of experiments with a bucket on a physical modelling stand allowed to obtain graphical dependence of energy intensity E of the digging process with self-changing shape of the edge in the function of ground supply S , the pre-compression force of the spring F_{np} , depth of dig h and cutting speed v_r . The minimum optimization performed for this bucket showed that the greatest efficiency in terms of energy consumption of digging the soil can be achieved with the following values of variable factors:

feed of soil $S = 5$ mm; depth of digging $h = 0.3... 0.5$ m; cutting speed $v_p = 0.13... 0.17$ m/s and spring pre-compression force $F = 30...50$ N.

Keywords: soil treatment, excavator samples, research areas, workflow, cutting edge, bucket, earthmoving machines, hydraulic engineering.

Информация об авторах:

Дүйсебаев Жамбыл Амангельдиевич – докторант специальности 8D07411-«Гидротехническое строительство и сооружения», Таразский региональный университет имени М.Х.Дулати, Тараз, Казахстан.

Алимбаев Базартай Алимбаевич – доктор технических наук, профессор, Таразский региональный университет имени М.Х.Дулати, Тараз, Казахстан.

Кокаев Умиржан Шералиевич – к.т.н., доцент, Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан.

Төребекова Сымбат Орынбековна – докторант специальности 8D07113 «Транспорт, транспортная техника и технологии», Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан.

Дүйсебаев Жамбыл Амангелдіұлы – М.Х. Дулати атындағы Тараз өңірлік университетінің 8D07411– «Гидротехникалық құрылыс және құрылымдар» мамандығының докторанты, Тараз, Қазақстан.

Алимбаев Базартай Алимбаевич – техника ғылымдарының докторы, профессор, М.Х.Дулати атындағы Тараз өңірлік университеті, Тараз, Қазақстан.

Кокаев Умиржан Шералиевич – техника ғылымдарының кандидаты, доцент, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия Ұлттық Университеті, Астана, Қазақстан.

Төребекова Сымбат Орынбекқызы – Л. Н.Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің, «Көлік, көлік техникасы және технологиялары» мамандығының докторанты, Астана, Қазақстан.

Zhambyl Duisebayev – doctoral student of the educational program 8D07411-«Hydraulic engineering and structures», M.H. Dulati Taraz Regional University, Taraz, Kazakhstan.

Alimbayev Bazartay – doktor of Technical Sciences, PhD, Professor of the Department of Mechanics, M.H. Dulati Taraz Regional University, Taraz, Kazakhstan.

Kokayev Umirzhan – candidate of technical sciences, docent, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan.

Torebekova Symbat – doctoral student of the educational program 8D07113 – «Transport, transport technique and technologies», L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan.



Copyright: © 2024 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY NC) license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>).