

4. Хмара Л.А. Тенденции совершенствования специализированного землеройного оборудования к тракторам и экскаваторам. Сб. научных трудов: Интенсификация рабочих процессов строительных и дорожных машин. Вып. 15. Дн-ск: ПГАСиА, 2002 - С. 4-27.

5. Хмара Л.А., Коваленко Р.В. Исследование процесса копания грунта одноковшовым гидравлическим экскаватором с телескопическим рабочим оборудованием. Вестник приднепровской государственной академии строительства и архитектуры. Днепропетровск: Gaudeamus. 2002. №8. – С.33-40.

6. Модернізація та підвищення продуктивності будівельних машин /Хмара Л.А., Колісник М.П., Станевський В.П. – К.: Будівельник, 1992. – 152 с.

7. Баловнев В.И., Хмара Л.А. Интенсификация разработки грунтов в дорожном строительстве. – М.: Транспорт. 1993. – 383 с.

8. Машины для земляных работ /Под ред. Гаркави Н.Г. – М.: Высш. шк. 1982. – 335 с.

9. Методические указания к выполнению курсового проекта «Одноковшовые гидравлические экскаваторы» к дисциплине «Машины для земляных работ» для студентов механических специальностей /Сост. В.К. Тимошенко, Л.А. Хмара, М.И. Деревянчук, И.А. Кулик. – Днепропетровск: ДИСИ, 1989. – 64 с.

**УДК 621.878.25**

**Л.А. ХМАРА, докт. техн. наук., М.И. ДЕРЕВЯНЧУК, ст. преп.,**

**М.А. СПИЛЬНИК, асп., О.А. ПОТОЦКИЙ, магистр.**

*ГВУЗ «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры»*

## **ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА КОПАНИЯ ГРУНТА СКРЕПЕРОМ С ПОЛУКРУГЛЫМ ДНИЩЕМ И ЗАДНЕЙ СТЕНКОЙ МАЯТНИКОВОГО ТИПА**

**Введение.** Скрепер является землеройно-транспортной машиной циклического действия, предназначенной для послойной разработки грунта и его транспортировки с последующей отсыпкой, частичным уплотнением и планировкой [1].

Самоходный скрепер с тяговой загрузкой наиболее простая и надежная в работе землеройно-транспортная машина. Однако в традиционной конструкции ковша скрепера существует ряд недостатков. Существуют технические решения, которые частично решают проблемы по загрузке, но не рассматривалась проблема по выгрузке. Поэтому

повышение эффективности данного процесса может быть достигнуто за счет совершенствования формы элементов конструкции ковша [2, 3].

Применение полукруглого днища с использованием задней стенки маятникового типа требует проведения экспериментальных исследований в направлении определения рациональных геометрических параметров скреперов указанного типа [4, 5].

Целью экспериментальных исследований является изучение физического взаимодействия с грунтовой средой ковша скрепера, снабженного сменными радиусами полукруглого днища и задней стенкой маятникового типа.

**Задачи исследования:** разработать рабочее оборудование ковша скрепера с полукруглым днищем и задней стенкой маятникового типа; провести экспериментальные исследования ковша скрепера со сменными радиусами полукруглого днища и задней стенкой маятникового типа; определить рациональные параметры полукруглого днища скрепера с задней стенкой маятникового типа.

**Основной материал.** Экспериментальные исследования процесса копания и выгрузки скрепера, оборудованного полукруглым днищем и задней стенкой маятникового типа, проводились на стенде для физического моделирования рабочих процессов землеройно-транспортных машин кафедры СДМ ГВУЗ «ПГАСА» (рис.1). Для подготовки грунтовой среды, находящейся в грунтовом контейнере, использовался комплект рыхлительно-планировочного инструмента и уплотняющий каток.

Техническая характеристика стенда для физического моделирования рабочих процессов землеройно-транспортных машин представлена в таблице.1.

Таблица 1.

Техническая характеристика стенда

№ п/п	Наименование параметра	Размерность	Числовые значения
1	Габаритные размеры стенда	м	9,5×1,5×1,7
2	Геометрические размеры грунтового контейнера	м	6,0×0,6×0,35
3	Объем грунта в контейнере	м <sup>3</sup>	1,2
4	Пределы изменения скорости тензометрической тележки	м/с	0,04-1,2
5	Мощность двигателя привода тензометрической тележки	кВт	4,0
6	Масса стенда	кг	2500

Контроль плотности моделируемой грунтовой среды, влажности, температуры окружающей среды, массы набранного в ковш грунта и других необходимых параметров, выполнялся с помощью лабораторного оборудования: модели динамического плотномера

ДорНИИ, влагомером модели ТГА, термометра, аналитических весов с комплектом гирь, линейки 1м.

Контроль и замер силовых и энергетических параметров процесса, при проведении экспериментальных исследований осуществлялся электрической измерительной системой стенда. В комплект этой системы входят: универсальные тензозвенья, аналогово-цифровой преобразователь, персональный компьютер.

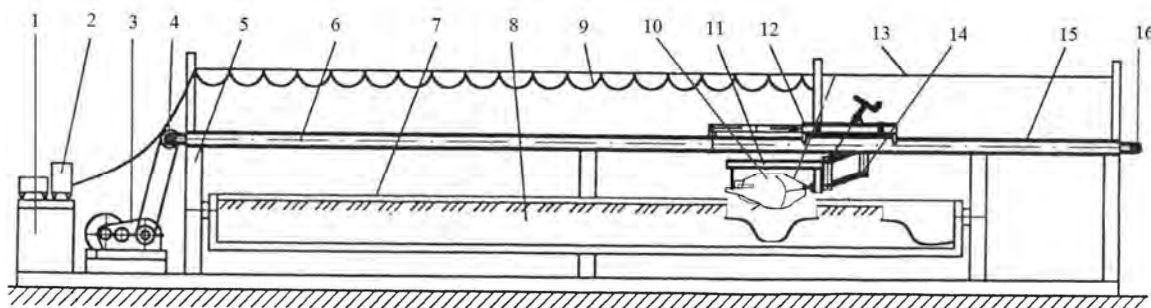


Рис.1. Схема стенда для физического моделирования рабочих процессов ЗТМ: 1 - пульт управления; 2 - приборы; 3 - привод; 4 – ведущий вал; 5 - рама; 6 – направляющие балки; 7 – грунтовый контейнер; 8 - грунт; 9 - кабель; 10 – модель ковша скрепера; 11 - Г-образный кронштейн; 12 – тензометрическая тележка; 13 - струна; 14 - параллелограммный механизм; 15 – приводной канат; 16 – ведомый вал.

Для исследования данного процесса за основу была взята физическая модель самоходного скрепера ДЗ -357, выполненная в масштабе 1:10 ( $K_1=10$ ). Были изготовлены модели ковшей: ковш традиционного типа с плоским днищем и задней стенкой; ковши с полукруглыми днищами (3 различных радиуса) и задней стенкой маятникового типа (рис.2, 3).

Расчет геометрических параметров моделей осуществлялся на основе положений теории подобия и основ физического моделирования с использованием критериев геометрического подобия физических моделей [6, 7, 8, 9].

$$\left(\frac{\tau}{\gamma_r l}\right)_m = \left(\frac{\tau}{\gamma_r l}\right)_n; \left(\frac{v^2}{gl}\right)_m = \left(\frac{v^2}{gl}\right)_n; \rho_m = \rho_n; \delta_m = \delta_n; \left(\frac{d}{l}\right)_m = \left(\frac{d}{l}\right)_n; \alpha_{im} = \alpha_{in}; \left(\frac{l_i}{l}\right)_m = \left(\frac{l_i}{l}\right)_n.$$

где  $l_i$  - некоторый линейный параметр оборудования;  $l$  – определяющий линейный размер оборудования;  $d$  – линейный размер кусков и отдельных включений, находящихся в грунте;  $\alpha_i$  - углы, определяющие геометрию рабочего оборудования.

Критерии подобия процесса взаимодействия ножа скрепера с грунтом имеют вид:

$$\Pi_{01} = \frac{\tau}{\gamma_r l}; \Pi_{02} = \frac{\sigma}{\gamma_r l}; \Pi_{03} = \frac{\eta v}{\gamma_r l^2}; \Pi_{04} = \frac{v^2}{gl}; \Pi_{05} = \frac{E}{\sigma}; \Pi_{06} = \frac{C\omega^1}{\sigma}; \Pi_{07} = \frac{C\omega^2}{\tau}; \Pi_{08} = \frac{\sigma}{\tau}; \Pi_{09} = \frac{\sigma_{cm}}{\tau};$$

$$\Pi_{10}=\rho ; \Pi_{011}=\delta ; \Pi_{012}=\alpha ; \Pi_{013}=\frac{P}{\gamma_r l^3} .$$

Критерии подобия процесса движения пласта в полости ковшей:

$$\Pi_{014}=\omega ; \Pi_{015}=\frac{\gamma_{pr} l}{\sigma} ; \Pi_{016}=\frac{c_{pw}}{\sigma} .$$

Критерии геометрического подобия процесса копания:

$$\Pi_{017}=\frac{B}{l} ; \Pi_{018}=\frac{H}{l} ; \Pi_{019}=\frac{R}{l} ; \Pi_{020}=\frac{L_k}{l} ; \Pi_{021}=\frac{h}{l} ; \Pi_{022}=\frac{d}{l} .$$

Проведение экспериментов в лабораторных условиях позволяет создать близкий к эксплуатационному режим работы, визуально наблюдать за процессами, происходящими как в ковше скрепера, так и вне его.

В качестве определяющих геометрических параметров ковша скрепера приняты: ширина ковша -  $B$ , высота стенки ковша -  $H_k$ , угол резания -  $\alpha_p$ . Остальные параметры определялись согласно теории подобия.

Физическая модель ковша представляет собой сборную универсальную конструкцию из листового металла, позволяющую производить установку исследуемой задней стенки и днища, изменять угол резания.

Моделирование грунта осуществляется песчано-глинистой смесью, которая состоит из кварцевого песка на 85% и лессовидного суглинка. При экспериментах применялось не полное моделирование физико-механических свойств разрабатываемой среды, а принадлежность грунта к категориям определялась по показателю  $C_{уд}$ . Осуществлялись измерения и поддерживалась постоянная влажность для данной категории грунта.

Исходя из геометрических размеров модели выбраны: одно днище традиционного типа и три полукруглые днища равные  $R_2 = 113$  мм,  $R_2 = 79$  мм,  $R_2 = 71$  мм, которые соответствовали технологическим параметрам скрепера.

При копании ковшом скрепера с традиционным днищем и днищами  $R_2 = 113$  мм,  $R_2 = 79$  мм,  $R_2 = 71$  мм, глубина копания  $h$ , путь копания  $L_k$ , влажность грунта, скорость движения ковша и температура окружающей среды оставались постоянными. При исследованиях копания и выгрузки скреперов с традиционным и полукруглыми типами днищ, изучалась и масса набираемого в ковш грунта (рис.4).

Процесс заполнения ковшей скреперов сопровождается потерями грунта в призму волочения и в боковые валики. Количественные потери грунта в призме волочения по сравнению с ковшом традиционного типа, снижаются на 9-20%, в боковых валиках на 5-12%.

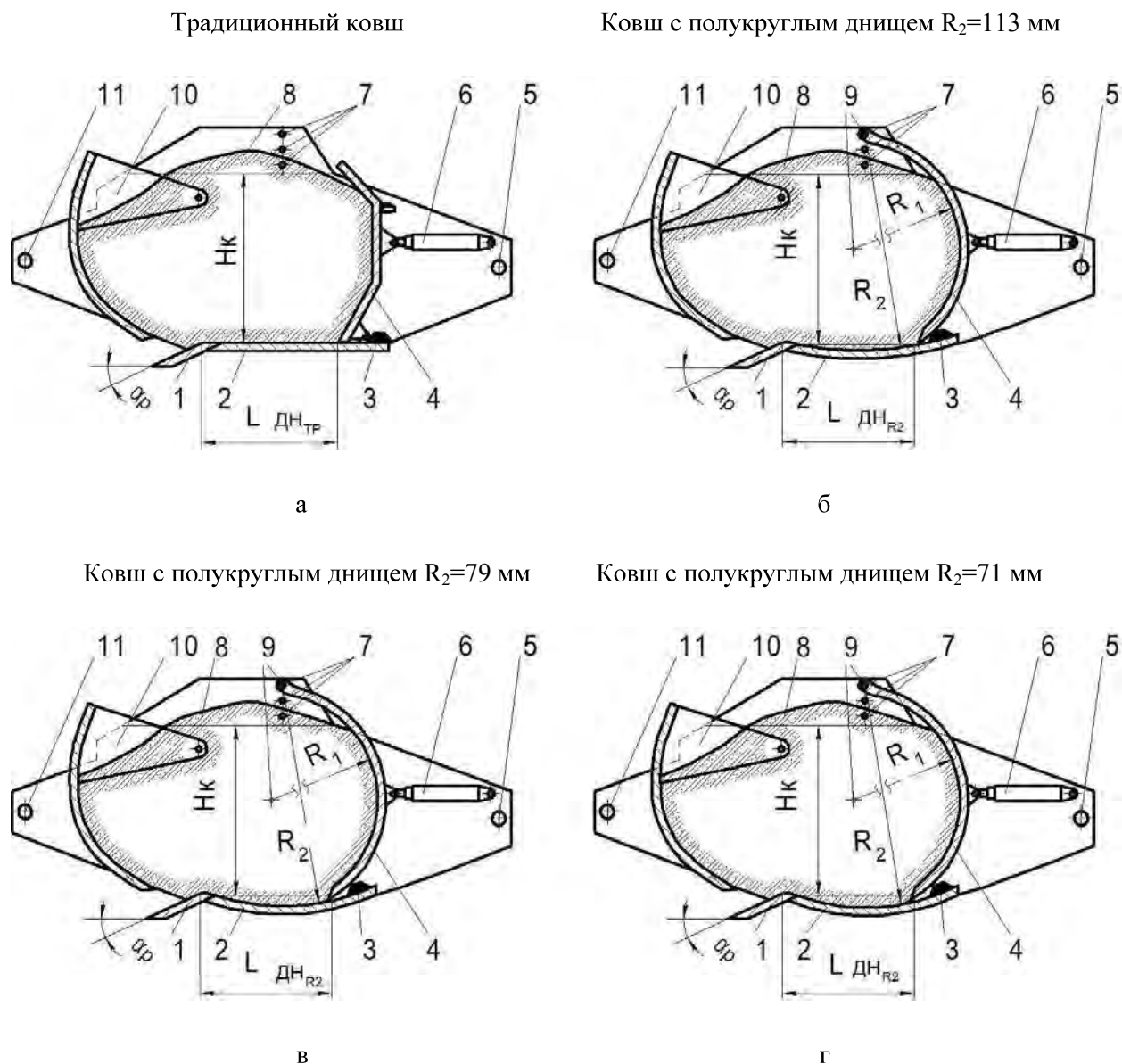


Рис.2. Физические модели исследуемых типов ковшей скреперов (продольный разрез ковша скрепера и вид сверху): а – традиционный ковш, продольный разрез; б - продольный разрез ковша скрепера с полукруглым дном и задней стенкой маятникового типа при  $R_2 = 113$  мм; в - продольный разрез ковша скрепера с полукруглым дном и задней стенкой маятникового типа при  $R_2 = 79$  мм; г - продольный разрез ковша скрепера с полукруглым дном и задней стенкой маятникового типа при  $R_2 = 71$  мм; 1 - нож; 2 - дно ковша; 3 – упор задней стенки; 4 - задняя стенка; 5 – крепление задней части ковша; 6 - гидроцилиндр привода задней стенки; 7 – отверстия крепления оси подвеса задней стенки; 8 - грунтовая среда; 9 – центры радиусов; 10 – передняя заслонка; 11 - крепление передней части ковша;  $R_1$  – радиус задней стенки;  $R_2$  – радиус дна.

При выгрузке ковшей скреперов с традиционным дном и днами с  $R_2 = 113$  мм,  $R_2 = 79$  мм,  $R_2 = 71$  мм, изучался характер сопротивления выгрузки  $P_{вг}$  и масса грунта  $G_{гр}$ , набранного в ковши. Исследование характера сопротивления выгрузки  $P_{вгтр}$ ,  $P_{вгR_2}$  по



полукруглым дном и задней стенкой маятникового типа;  $A_{\text{общ}R_2} / G_{\text{ГР}R_2}$  - 11-23% - суммарный показатель копания и выгрузки ковша с полукруглым дном и задней стенкой маятникового типа. Общее среднее усилие скрепера снижается на 14%.

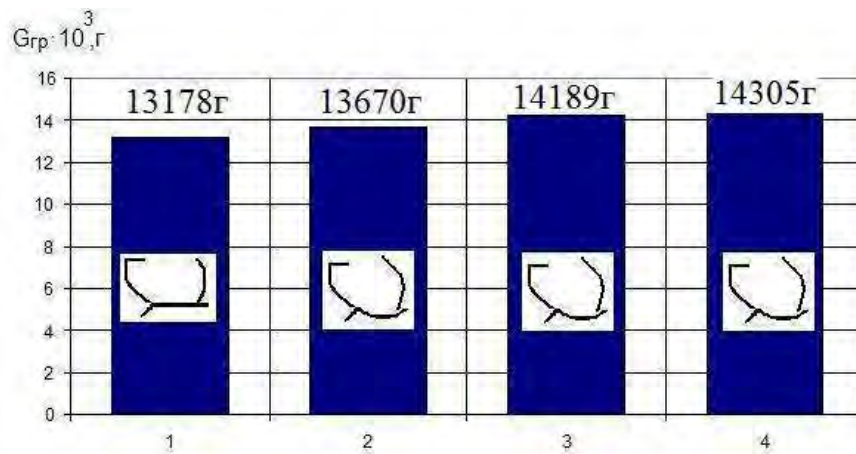


Рис.4. Гистограммы массы грунта в ковше: 1 – масса грунта в традиционном ковше,  $G_{\text{ГР}TP}$ ; 2 – масса грунта в ковше с полукруглым дном и задней стенкой маятникового типа,  $G_{\text{ГР}R_2}$  при  $R_2 = 113$  мм; 3 – масса грунта в ковше с полукруглым дном и задней стенкой маятникового типа,  $G_{\text{ГР}R_2}$  при  $R_2 = 79$  мм; 4 – масса грунта в ковше с полукруглым дном и задней стенкой маятникового типа,  $G_{\text{ГР}R_2}$  при  $R_2 = 71$  мм.

#### Выгрузка

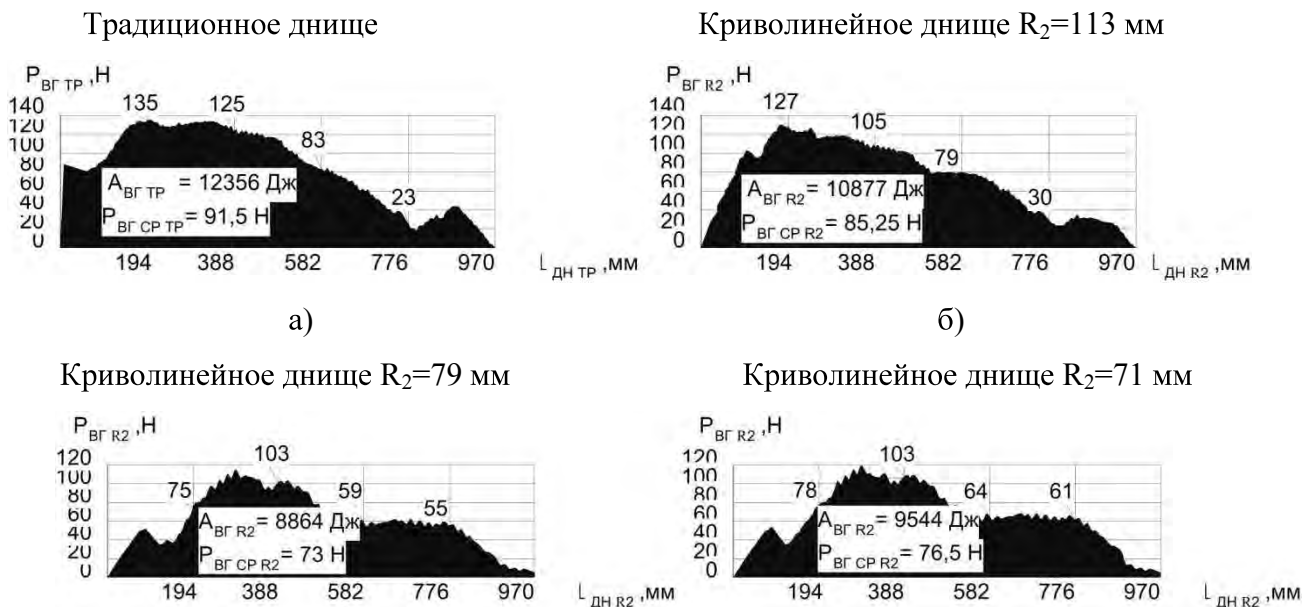
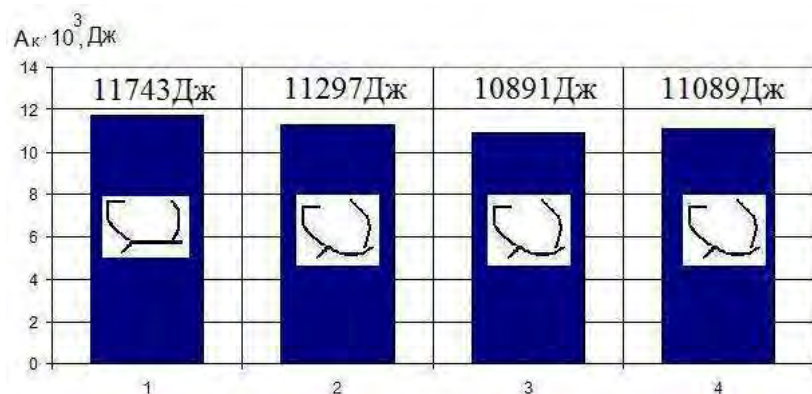
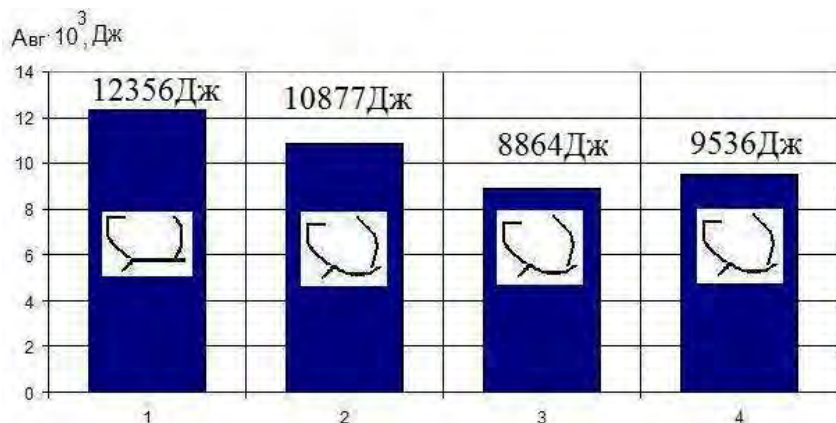


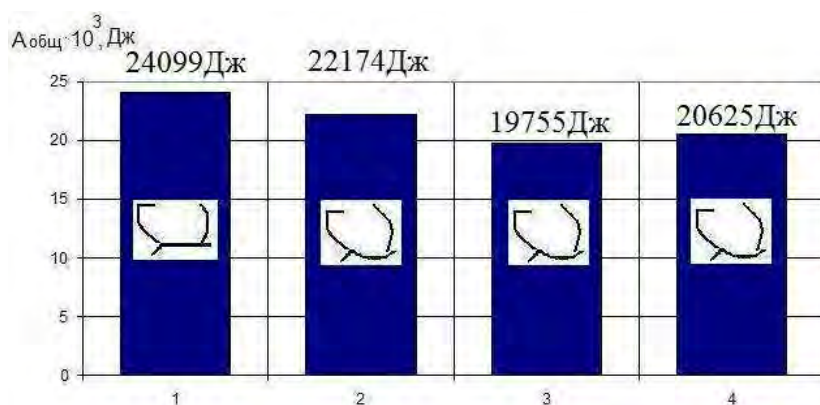
Рис.5. График изменения усилия выгрузки,  $P_{\text{вг}}$  от длины дна скрепера,  $L_{\text{дн}}$ : а – традиционный ковш,  $L_{\text{дн}TP}$ ; б – ковш с полукруглым дном и задней стенкой маятникового типа,  $L_{\text{дн}R_2}$  при  $R_2 = 113$  мм; в – ковш с полукруглым дном и задней стенкой маятникового типа,  $L_{\text{дн}R_2}$  при  $R_2 = 79$  мм; г – ковш с полукруглым дном и задней стенкой маятникового типа,  $L_{\text{дн}R_2}$  при  $R_2 = 71$  мм.



а



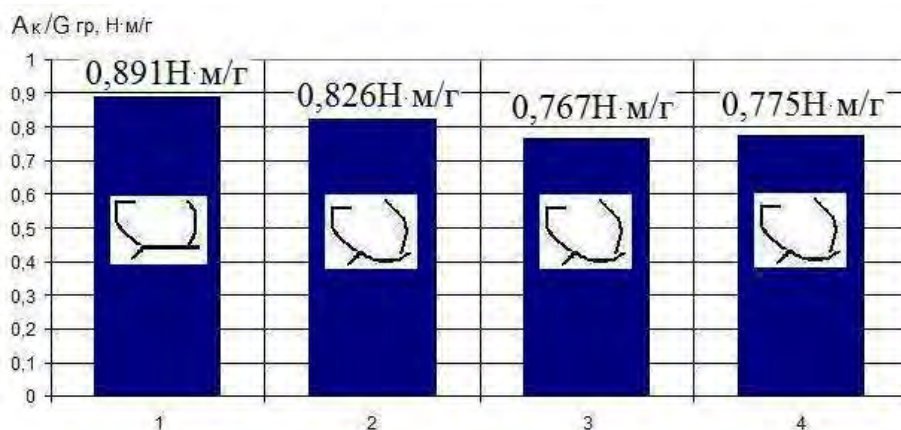
б



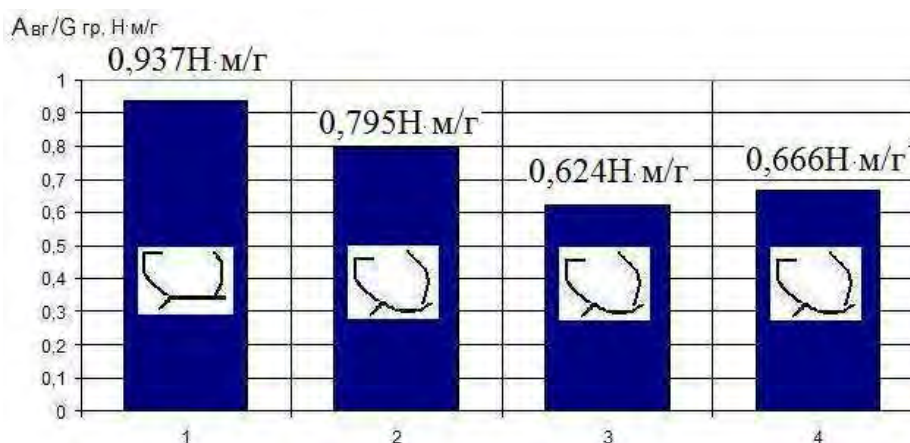
в

Рис.6. Гистограммы работы скреперов: 1 – традиционный ковш; 2 – ковш с полукруглым дном при  $R_2 = 113$  мм и задней стенкой маятникового типа; 3 – ковш с полукруглым дном при  $R_2 = 79$  мм. и задней стенкой маятникового типа. 4 – ковш с полукруглым дном при  $R_2 = 71$  мм и задней стенкой маятникового типа. а - гистограммы копания; б - гистограммы выгрузки; в - гистограммы копания и выгрузки.

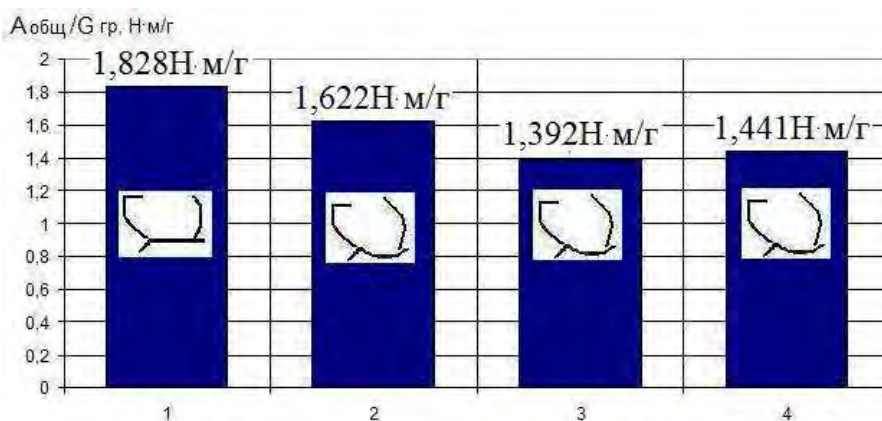




а

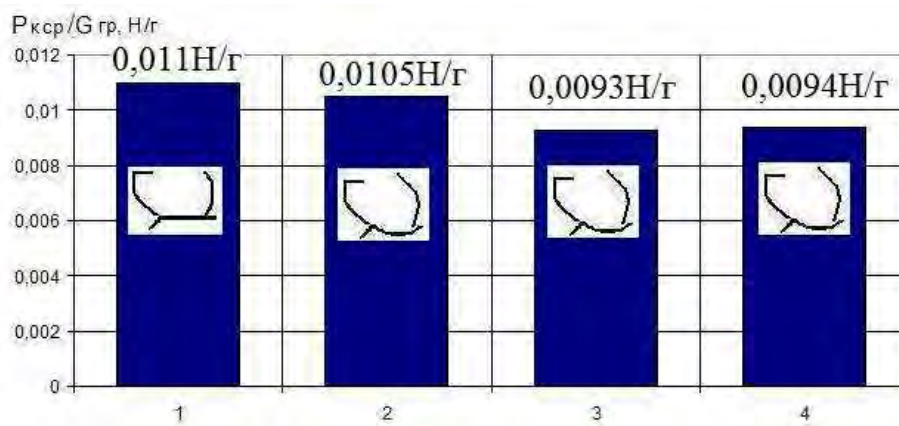


б

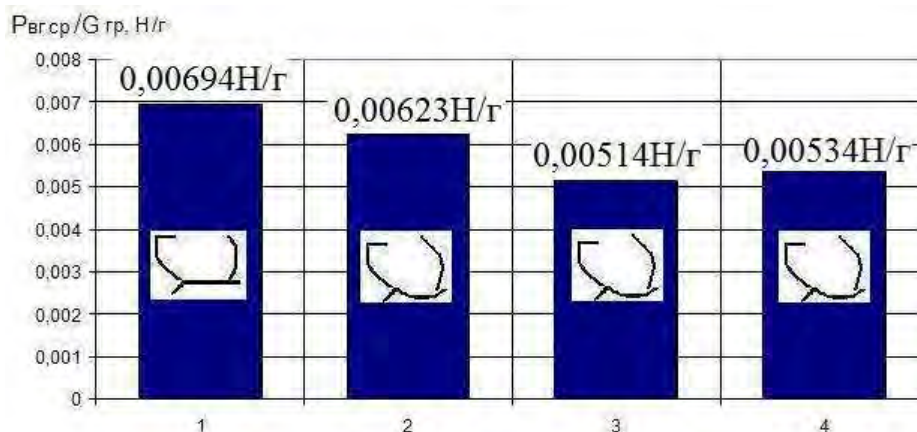


в

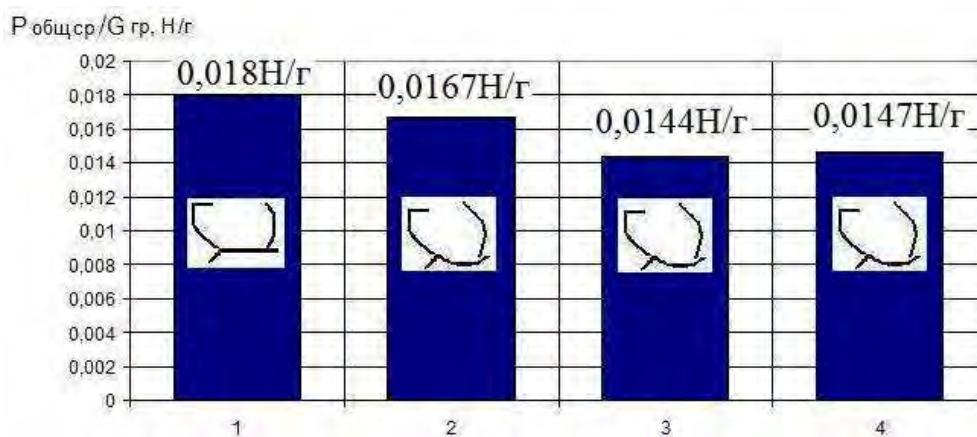
Рис.7. Гистограммы удельных показателей - отношения работы к массе грунта в ковше: 1 – традиционный ковш; 2 – ковш с полукруглым днищем при  $R_2 = 113$  мм и задней стенкой маятникового типа. 3 – ковш с полукруглым днищем при  $R_2 = 79$  мм и задней стенкой маятникового типа. 4 – ковш с полукруглым днищем при  $R_2 = 71$  мм и задней стенкой маятникового типа; а - гистограммы удельных показателей копания; б - гистограммы удельных показателей выгрузки; в - гистограммы удельных показателей копания и выгрузки.



а



б



в

Рис.8. Гистограммы удельных показателей - отношения среднего усилия копания к массе грунта в ковше: 1 – традиционный ковш; 2 – ковш с полукруглым дном при  $R_2 = 113$  мм и задней стенкой маятникового типа; 3 – ковш с полукруглым дном при  $R_2 = 79$  мм и задней стенкой маятникового типа; 4 – ковш с полукруглым дном при  $R_2 = 71$  мм и задней стенкой маятникового типа; а - гистограммы средних удельных показателей копания; б - гистограммы средних удельных показателей выгрузки; в - гистограммы средних удельных показателей работы по копанию и выгрузке.

При сравнении отношения среднего усилия к массе грунта в традиционном ковше с ковшами с полукруглым днищем и задней стенкой маятникового типа получены следующие результаты (рис. 8):

$P_{KcpR2} / G_{ГРR2}$  - 5-15% - при копании грунта ковшом с полукруглым днищем и задней стенкой маятникового типа;

$P_{ВГcpR2} / G_{ГРR2}$  - 10-26% - при выгрузке грунта ковшом с полукруглым днищем и задней стенкой маятникового типа;

$P_{ОБЦcpR2} / G_{ГРR2}$  - 7-20% - общий показатель копания и выгрузки ковша с полукруглым днищем и задней стенкой маятникового типа.

Максимальное снижение среднего сопротивления и выполненной работы происходит при использовании днища  $R_2 = 79$  мм.

**Выводы.** 1. На основе критериев подобия разработано рабочее оборудование ковша скрепера с полукруглым днищем и маятниковой выгрузкой.

2. Экспериментальные исследования ковша скрепера с полукруглым днищем и маятниковой выгрузкой показали эффективность решения с применением днища  $R_2=79$ мм.

3. По полученным результатам: - использование в конструкциях полукруглой формы днища позволяет увеличить их геометрическую вместимость до 9%.

- благодаря снижению потерь грунта в боковые валики и призму волочения объем набираемого в ковш с полукруглым днищем и задней стенкой маятникового типа по сравнению с традиционной конструкцией увеличивается на 3,7...8,6%, что является существенным резервом повышения производительности скреперных агрегатов.

- использование криволинейной формы данной части скреперных ковшей улучшаются условия поступления грунта в их полость, в результате заметно улучшаются силовые и энергетические показатели процесса копания грунта. Отношение работы процесса заполнения ковша скрепера к массе набранного грунта уменьшается на 14%.

- использование на ковшах полукруглой формы днища существенно упрощает механизм разгрузки, позволяя использовать задние стенки маятникового типа. Выгрузка ковшей с полукруглой формой днища задними стенками маятникового типа позволяют до 20% снизить пиковые нагрузки на механизм их привода, а также снизить энергоемкость выгрузки оставшейся части грунта на 28%.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Машины для земляных работ: Навчальний посібник / Хмара Л.А., Кравець С.В., Нічке В.В., Назаров Л.В., Скоблюк М.П., Нікітін В.Г. Під загальною редакцією проф. Хмари Л.А. та проф. Кравця С.В. Рівне – Дніпропетровськ-Харків. – 2010 - 557 с.
2. Хмара Л.А., Деревянчук М.І., Спільник М.А. Патент України на корисну модель «Скреперний ківш» № 48873 МПК E02F 3/64 Бюл №7, 2010.
3. Хмара Л.А., Деревянчук М.І., Спільник М.А. Патент України на корисну модель «Скреперний ківш» № 48872 МПК E02F 3/64 Бюл №7, 2010.
4. Особенности процесса копания грунта скреперным ковшом с криволинейным днищем. А.В. Бакулин, Б.И. Харкун, В.И. Уткин. Журнал «Строительные и дорожные машины». 1991. №11. с.6-9.
5. Результаты экспериментального изучения скреперного ковша с криволинейным днищем. А.В. Бакулин, Б.И. Харкун, В.И. Уткин. Журнал «Строительные и дорожные машины». 1993. №7. с.4-7.
6. Баловнев В.И., Хмара Л.А. Интенсификация разработки грунтов в дорожном строительстве. - М. : Транспорт, 1993. – 383 с.
7. Хмара Л.А. Определение параметров рабочих органов дорожно-строительных машин повышенной эффективности. Депонир. рукоп. (монография). №3238. ЦИНИС Госстроя СССР, 1982. 178с.
8. Баловнев В.И. Моделирование процессов взаимодействия со средой рабочих органов дорожно-строительных машин. - М.:Высшая школа, 1981. – 335 с.
9. Баловнев В.И. Физическое моделирование резания грунтов. – М.: Высшая школа, 1969. – 159 с.
10. Баловнев В.И. Моделирование процессов взаимодействия со средой рабочих органов дорожно-строительных машин: Учеб. Пособие для студентов высш. Учеб. Заведений 2-е изд., перераб. – М.: Машиностроение, 1994. – 432 с.: ил.
11. Спільник А.Я. Исследование конструкции задней стенки скрепера поляризационно - оптическим методом / А. Я.Спільник, М. А. Спільник, Г. Г. Шломчак// «Строительство. Материаловедение. Машиностроение. Интенсификация рабочих процессов строительных и дорожных машин. Серия: Подъемно - транспортные, строительные и дорожные машины и оборудование»// Сб. научн. тр. 2011. - №63. – С. 135-141.